

(19)



Евразийское
патентное
ведомство

(21) 202191768 (13) A1

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ЕВРАЗИЙСКОЙ ЗАЯВКЕ

(43) Дата публикации заявки
2021.08.11

(51) Int. Cl. C07C 273/04 (2006.01)
C07C 273/14 (2006.01)

(22) Дата подачи заявки
2019.12.18

(54) СПОСОБ И УСТАНОВКА ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА КАРБАМИДА С ИНТЕГРАЦИЕЙ
ТЕПЛА В СЕКЦИИ РЕГЕНЕРАЦИИ НИЗКОГО ДАВЛЕНИЯ

(31) 18215356.9

(32) 2018.12.21

(33) EP

(86) PCT/NL2019/050851

(87) WO 2020/130817 2020.06.25

(71) Заявитель:
СТАМИКАРБОН Б.В. (NL)

(72) Изобретатель:

Патил Рауль, Бейтинк Фредерикус
Хенрикус Мария (NL)

(74) Представитель:

Фелицына С.Б. (RU)

(57) Настоящее изобретение относится к способу производства карбамида, в котором применяют стриппер высокого давления и устройство для осуществления разложения под низким давлением, соединенные с конденсатором карбамата низкого давления, который находится в теплообменном контакте через стенку с устройством для осуществления разложения под давлением ниже атмосферного, в котором обрабатывают карбамидный раствор, полученный из устройства для осуществления разложения под низким давлением.

A1

202191768

202191768

A1

СПОСОБ И УСТАНОВКА ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА КАРБАМИДА С ИНТЕГРАЦИЕЙ ТЕПЛА В СЕКЦИИ РЕГЕНЕРАЦИИ НИЗКОГО ДАВЛЕНИЯ

Область техники, к которой относится изобретение

Настоящее изобретение относится к способу и установке для производства карбамида посредством стриппинга, а также к способу модификации существующей установки для производства карбамида.

Уровень техники

Известны способы получения карбамида с помощью стриппера высокого давления и без стриппера высокого давления. В способе получения карбамида без стриппера высокого давления тепло, подаваемое в раствор для синтеза карбамида, как правило, применяют только один раз; таким образом, этот тип процесса можно назвать процессом $N=1$. В способах получения карбамида с помощью стриппинга высокого давления тепло подают в первый нагреватель (стриппер), регенерируют в конденсаторе карбамата высокого давления и повторно применяют в нагревателях низкого давления. Подаваемое тепло эффективно применяют дважды; таким образом, применяется термин «процесс $n=2$ ». Среднее энергопотребление в стриппинг-процессе составляет 0,8–1,0 тонны пара на тонну карбамида.

В одном примере типичного способа получения карбамида посредством стриппинга CO_2 по технологии Stamicarbon газ из устройства для осуществления разложения под низким давлением пропускают через ректификационную колонну (для противоточного контакта с поступающим карбамидным раствором), а затем подают непосредственно в конденсатор карбамата низкого давления, в котором применяется охлаждающая вода. Карбамидный раствор из устройства для осуществления разложения под низким давлением подают в испарительный сосуд, а затем в предварительный испаритель, где его нагревают (Ullmann 's Encyclopaedia, chapter Urea, 2010).

В Ullmann 's Encyclopaedia, chapter Urea, 2010, было упомянуто, что в 1980-х годах были описаны некоторые способы, направленные на более высокое снижение энергопотребления путем дальнейшего применения эффекта кратного умножения к $N=3$, в котором тепло, подаваемое на первый нагреватель (стриппер), эффективно применяется три раза ($N=3$). В частности, в концептуальной форме раствор для синтеза карбамида преобразуют в плав карбамида путем последовательного пропускания через три нагревателя, причем второй нагреватель применяет тепло конденсации конденсатора для газа из первого нагревателя; третий нагреватель применяет тепло конденсации, обеспечиваемое конденсатором, применяемым для конденсации газа из второго

нагревателя.

В US 2015/0119603 описан способ производства карбамида из аммиака и диоксида углерода в установке для производства карбамида, содержащей секцию синтеза высокого давления с горизонтальным бассейновым конденсатором. Способ включает обмен тепла от технологической среды высокого давления, поступившей в кожуховую секцию бассейнового конденсатора, к карбамидсодержащему раствору среднего давления, поступившему в первую секцию теплообмена, предусмотренную в бассейновом конденсаторе, для по меньшей мере разложения карбамата аммония на NH_3 и CO_2 . В одном варианте осуществления газ, полученный в первой секции теплообмена, подают в испаритель конденсатора среднего давления, где газ по меньшей мере частично конденсируют, и причем воду из смеси карбамида и воды выпаривают в условиях вакуума. Можно видеть, что нагревание эффективно применяется три раза в процессе, описанном в US 2015/0119603.

Недостатком способа, предложенного в US 2015/0119603, является то, что первая секция теплообмена, например U-образный трубный пучок, контактирует с технологической средой с обеих сторон. Технологическая среда содержит карбамат аммония и обладает высокой коррозионной активностью при температурах, связанных с работой под высоким давлением и средним давлением. Это затрудняет создание горизонтального бассейнового конденсатора, в частности соединения трубы с трубной решеткой, с учетом того, что коррозионная текучая среда в трубах проходит через расточенные отверстия в трубной решетке, причем трубная решетка состоит из углеродистой стали, расположенной между двумя стойкими к коррозии слоями.

В US 2015/0086440 описан способ сборки трубной решетки и теплообменника с U-образными трубами, включающий применение муфт, вставленных в трубную решетку; муфты выполнены из коррозионностойкой дуплексной нержавеющей стали.

В брошюре Launch Melt Ultra Low Energy Design на сайте www.stamicarbon.com упоминается, что за счет непосредственной тепловой интеграции между конденсатором высокого давления и ректифицирующим нагревателем среднего давления, с последующим прямым теплообменом между конденсатором среднего давления и нагревателем испарителя первой ступени подвод пара в установку для производства карбамида сводится к минимуму до беспрецедентно низких уровней, составляющих менее 600 кг пара на тонну производимого карбамида. В настоящем документе «прямой» теплообмен и «прямая тепловая интеграция» относятся к теплообмену между отдельными потоками через стенку без использования теплопередающей текучей среды.

В US 2018/0258034 описан способ производства карбамида, в котором в одном

варианте осуществления аммиачное сырье нагревают с помощью пара, генерируемого теплом конденсации разлагаемого газа.

В US 2012/0302789 описан способ производства карбамида, в котором карбамидный раствор из стриппера подвергают адиабатическому расширению и разделению пара и жидкости перед поступлением жидкости в первую секцию регенерации. Пар можно конденсировать, а выделяемое при этом тепло конденсации можно применять для концентрирования карбамидного раствора.

Целью настоящего изобретения является обеспечение энергоэффективного способа и установки для производства карбамида с простой конструкцией секции высокого давления.

Изложение сущности изобретения

В первом аспекте настоящее изобретение относится к способу производства карбамида, включающему:

А) создание условий для образования карбамида из аммиака и диоксида углерода в реакционной зоне высокого давления с образованием таким образом первого карбамидного раствора, который также содержит карбамат,

В) подвергание первого карбамидного раствора стриппингу высокого давления для разложения карбамата с применением тепла с образованием таким образом потока газа и второго карбамидного раствора, также содержащего карбамат, и подвергание указанного потока газа конденсации в конденсаторе карбамата высокого давления с образованием таким образом первого карбаматсодержащего раствора и выделением тепла конденсации, причем карбаматсодержащий раствор подают в реакционную зону высокого давления,

С) подвергание указанного второго карбамидного раствора разложению карбамата под низким давлением или первую обработку указанного второго карбамидного раствора под средним давлением и подвергание обработанного второго карбамидного раствора разложению под низким давлением, причем указанное разложение карбамата под низким давлением включает нагревание в устройстве для осуществления разложения под низким давлением карбамидного раствора, содержащего карбамат, с применением указанного тепла конденсации из конденсатора карбамата высокого давления с разложением карбамата, при этом получают первый пар и третий карбамидный раствор, также содержащий карбамат, и расширение третьего карбамидного раствора до давления ниже атмосферного с получением таким образом расширенного третьего карбамидного раствора,

Д) подвергание указанного первого пара конденсации в первом конденсаторе карбамата низкого давления с получением таким образом второго карбаматсодержащего

раствора и второго пара и выделением дополнительного тепла конденсации, причем первый конденсатор карбамата низкого давления имеет выход для второго карбаматсодержащего раствора, который находится в жидкостном сообщении со входом реакционной зоны высокого давления, и подвергание указанного расширенного третьего карбамидного раствора разложению карбамата в устройстве для осуществления разложения под давлением ниже атмосферного с применением указанного дополнительного тепла конденсации из указанного первого конденсатора карбамата низкого давления путем теплопередачи через теплообменную стенку между указанным первым конденсатором карбамата низкого давления и указанным устройством для осуществления разложения под давлением ниже атмосферного с получением таким образом четвертого карбамидного раствора и третьего пара, и

Е) подвергание указанного третьего пара конденсации в конденсаторе карбамата под давлением ниже атмосферного при косвенном теплообмене с охлаждающей текучей средой с получением таким образом четвертого карбаматсодержащего раствора.

В еще одном аспекте настоящее изобретение относится к установке для производства карбамида, содержащей:

А) реакционную зону высокого давления для создания условий образования карбамида из аммиака и диоксида углерода с образованием таким образом первого карбамидного раствора, который также содержит карбамат,

В) стриппер высокого давления для подвергания первого карбамидного раствора стриппингу высокого давления для разложения карбамата с применением тепла с образованием таким образом потока газа и второго карбамидного раствора, также содержащего карбамат,

и конденсатор карбамата высокого давления для подвергания указанного потока газа конденсации с образованием таким образом первого карбаматсодержащего раствора и выделением тепла конденсации,

С) устройство для осуществления разложения под низким давлением, причем устройство для осуществления разложения под низким давлением выполнено с возможностью подвергания указанного второго карбамидного раствора разложению под низким давлением, или причем установка выполнена с возможностью первой обработки по меньшей мере части второго карбамидного раствора при среднем давлении в секции среднего давления с получением обработанного второго карбамидного раствора, и устройство для осуществления разложения под низким давлением выполнено с возможностью подвергания указанного обработанного второго карбамидного раствора разложению под низким давлением, и причем указанное разложение карбамата под

низким давлением включает нагревание карбамидного раствора, содержащего карбамат, с применением указанного тепла конденсации от конденсатора карбамата высокого давления для разложения карбамата с получением таким образом первого пара и третьего карбамидного раствора, также содержащего карбамат, и расширительную систему для расширения третьего карбамидного раствора до давления ниже атмосферного с получением таким образом расширенного третьего карбамидного раствора,

D) первый конденсатор карбамата низкого давления для подвергания указанного первого пара конденсации с получением таким образом второго карбаматсодержащего раствора и второго пара и выделением дополнительного тепла конденсации, причем первый конденсатор карбамата низкого давления имеет выход для второго карбаматсодержащего раствора, который находится в жидкостном сообщении с реакционной зоной высокого давления, и устройство для осуществления разложения под давлением ниже атмосферного для подвергания указанного расширенного третьего карбамидного раствора разложению карбамата с применением указанного дополнительного тепла конденсации из указанного первого конденсатора карбамата низкого давления путем теплопередачи через теплообменную стенку между указанным первым конденсатором карбамата низкого давления и указанным устройством для осуществления разложения под давлением ниже атмосферного с получением таким образом четвертого карбамидного раствора и третьего пара, и

E) конденсатор карбамата под давлением ниже атмосферного, выполненный с возможностью подвергания конденсации указанного третьего пара при косвенном теплообмене с охлаждающей текучей средой с получением таким образом четвертого карбаматсодержащего раствора, и предпочтительно имеющий выход для всего четвертого карбаматсодержащего раствора или его части, находящийся в жидкостном сообщении со входом реакционной зоны высокого давления.

Краткое описание графических материалов

На фиг. 1 представлена схема иллюстративного варианта осуществления в соответствии с настоящим изобретением.

На фиг. 2 представлена схема иллюстративного варианта осуществления в соответствии с настоящим изобретением.

На фиг. 3 представлена схема иллюстративного варианта осуществления в соответствии с настоящим изобретением.

На фиг. 4 схематично показан иллюстративный вариант осуществления способа в соответствии с настоящим изобретением модификации существующей установки.

Подробное описание

Настоящая заявка в целом основана на разумном представлении о том, что в способе получения карбамида типа со стриппером высокого давления газ из устройства для осуществления разложения секции регенерации низкого давления подают последовательно в два конденсатора, и применяют тепло конденсации, выделяемое в расположенном выше по потоку конденсаторе из указанных двух конденсаторов, для разложения под давлением ниже атмосферного карбамата в карбамидном растворе, полученном из устройства для осуществления разложения под низким давлением.

Таким образом, тепло сначала применяется в стриппере (S) высокого давления, а затем выделяется в конденсаторе карбамата высокого давления (НРСС), тепло от конденсатора карбамата высокого давления применяется во второй раз в устройстве для осуществления разложения карбамата под низким давлением (LP) (LPD) для осуществления разложения карбамата, и выделяется в расположенном выше по потоку первом конденсаторе карбамата LP (LPC1), который применяется для частичной конденсации газа из устройства для осуществления разложения LP, и тепло, выделяемое в первом конденсаторе карбамата LP, применяется в третий раз для разложения карбамата в карбамидном растворе, полученном из устройства для осуществления разложения под низким давлением (LPD), в устройстве для осуществления разложения под давлением ниже атмосферного (LLPD) за счет теплообмена через стенку между первым конденсатором карбамата LP и устройством для осуществления разложения под давлением ниже атмосферного, таким образом, без теплопередающей текучей среды для передачи тепла от LPC1 к LLPD. Это обеспечивает хорошую тепловую интеграцию в секции регенерации низкого давления. Кроме того, часть воды испаряется из карбамидного раствора в устройстве для осуществления разложения под давлением ниже атмосферного (LLPD).

Соответственно, первый конденсатор карбамата LP (LPC1) характеризуется тепловой интеграцией с устройством для осуществления разложения под давлением ниже атмосферного (LLPD) за счет теплообмена через стенку, а не с помощью теплопередающей текучей среды между этими блоками. Использование такого устройства для осуществления разложения под давлением ниже атмосферного предпочтительно сочетают с осуществлением стриппинга высокого давления при более низкой эффективности стриппинга α (альфа) стриппера высокого давления, например при эффективности α стриппинга менее 75%, более предпочтительно 60–70% и предпочтительно с помощью CO_2 в качестве стриппинг-газа, по сравнению с эффективностью α стриппинга более 78% в известном способе получения карбамида

посредством стриппинга CO_2 .

В предпочтительном варианте осуществления стриппер НР работает с эффективностью (α) стриппинга, составляющей 75% или менее, например 50–75% или предпочтительно 60–70%, например 63–68%, причем в стриппере предпочтительно применяется CO_2 в качестве стриппинг-газа.

Соответственно, стриппинг высокого давления с более низкой эффективностью стриппинга (например, α менее чем 75%) требует значительно меньшего количества тепла, т.е. обеспечивает гораздо более низкое потребление пара. Кроме того, стриппинг высокого давления включает более низкие температуры, что снижает гидролиз карбамида в стриппере по сравнению со стриппингом при более высокой эффективности стриппинга. Пониженный гидролиз обеспечивает эффективное увеличение конверсии или по меньшей мере увеличение выхода карбамида. Соответственно, поток сырья (CO_2 и NH_3 в кг/ч) может быть уменьшен (при том же производстве карбамида в кг/ч), что обеспечивает более длительную продолжительность нахождения (при фиксированном объеме реакционной зоны). Это дополнительно увеличивает степень конверсии карбамида (или выход карбамида). В одном примере осуществления можно достичь в общей сложности от приблизительно 7% до приблизительно 10% дополнительной производительности карбамида (на основании постоянного объема реакционной зоны), или альтернативно реакционная зона может быть на 7–10% по объему меньше при той же производительности карбамида. Реакционная зона часто представляет собой реактор из стали карбамидного класса, который является дорогостоящим конструкционным материалом.

Кроме того, при более низкой эффективности стриппинга снижается нагрузка теплообмена (нагрузка конденсации) НРСС, например на более чем 25%, например на 30–40%, что может обеспечивать меньшую площадь поверхности теплообмена (например меньший трубный пучок) или, в случае фиксированной площади теплообменной поверхности, для повышения давления пара, поднятого в НРСС, например повышения давления на 1 бар, что делает пар более пригодным для дальнейшего использования.

Кроме того, использование тепла конденсации, выделяемого в LPC1 для отделения NH_3 , CO_2 и воды из потока, содержащего карбамид (в условиях ниже атмосферного давления), в LLPD обеспечивает преимущественно низкую температуру стенки теплообменника (для стенки LPHX) из-за меньшей разности температур. Это обеспечивает снижение образования биурета. Температура стенки теплообменника, в частности, ниже, чем при использовании типичной теплопередающей текучей среды, такой как пар LP при абсолютном давлении приблизительно 4,5 бар. Аналогичным

образом, в необязательном варианте осуществления теплообменная стенка стенки МРНХ с конденсатором карбамата среднего давления МРС может быть ниже, чем при использовании пара LP для предварительного испарения.

Более низкая эффективность стриппинга также преимущественно обеспечивает снижение образования биурета по сравнению со стриппером.

Общий эффект использования тепла конденсации карбамата в LPC1 и предпочтительном МРС наряду с более низкой эффективностью стриппинга количественно выражается в снижении содержания биурета на от 0,04 мас.% до 0,06 мас.% в конечном продукте.

Пар из устройства для осуществления разложения под давлением ниже атмосферного конденсируется в конденсаторе под давлением ниже атмосферного (LLPC) с получением карбаматсодержащего раствора, который содержит воду, карбамат и некоторое количество карбамида (например, 35–45 мас.% карбамата, остальное — в основном вода и приблизительно 0,5–2% (например, мас.%) захваченного карбамида). В предпочтительных вариантах осуществления настоящего изобретения данный карбаматсодержащий раствор подают частично или полностью в реакционную зону высокого давления, предпочтительно полностью, хотя он содержит фракцию с высоким содержанием воды (например, по меньшей мере 40 мас.% воды, например 65–55 мас.% воды). Несколько более высокая рециркуляция воды в реакционную зону уравновешена преимуществом значительно сниженного потребления пара, в частности для стриппинга высокого давления. Устройство для осуществления разложения под давлением ниже атмосферного обеспечивает достаточную очистку карбамидного раствора даже при более низкой степени стриппинга высокого давления. В предпочтительных вариантах осуществления карбаматсодержащий раствор из LLPC частично или полностью, предпочтительно полностью, опосредованно подают во вход реакционной зоны высокого давления, например, сначала путем подачи карбаматсодержащего раствора, содержащего, например, по меньшей мере 50 мас.% воды, в другой конденсатор карбамата, где водную фракцию преимущественно применяют для предотвращения кристаллизации карбамата.

Напротив, в известных установках для производства карбамида водные потоки, содержащие небольшое количество аммиака и карбамида (или, соответственно, содержащие большую часть воды), причем эти потоки получают, например, с помощью конденсаторов секции вакуумного испарения, как правило, направляют в секцию обработки сточных вод для очистки. Очистка может, например, включать десорбцию (для удаления аммиака) и гидролиз (для удаления карбамида). Очистка является высокоэнергоемкой (характеризуется высоким потреблением пара), в частности, для

гидролизатора. Таким образом, преимуществом является то, что конденсат из LLPC может быть полностью возвращен в реакционную зону синтеза НР, таким образом не увеличивая нагрузку на какую-либо секцию обработки сточных вод, при этом по-прежнему обеспечивая удовлетворительную конверсию.

Присутствие карбамида в конденсате из LLPC считается главным образом или полностью обусловленным физическим уносом капель из LLPD в потоке пара, без ограничения какой-либо теорией.

В необязательном варианте осуществления часть или весь карбаматсодержащий раствор, например конденсат, из LPCC проходит обработку в десорбционной колонне или в секции обработки сточных вод, например фракции 10–90 мас.% конденсата и, например, путем разделения конденсата на часть, подаваемую в конечном итоге в реакционную зону высокого давления, и часть, подаваемую в десорбционную колонну или секцию обработки сточных вод. При обработке конденсата в десорбере и/или секции обработки сточных вод образуются два потока — очищенный конденсат (например, по существу чистая вода) в качестве первого потока, причем очищенный конденсат, как правило, не вводят повторно в технологические потоки в реакционной зоне высокого давления. Второй поток, как правило, представляет собой карбаматсодержащий раствор, содержащий более 10 мас.% карбамата, и его возвращают, например, в реакционную зону высокого давления.

Пар (несконденсированные газы, включая NH_3 и CO_2) в первом конденсаторе карбамата LP обязательно конденсируют во втором расположенном ниже по потоку конденсаторе карбамата LP (LPC2), в котором применяется охлаждающая вода; конденсат (карбаматсодержащий раствор) возвращают в реакционную зону синтеза карбамида; в некоторых других вариантах осуществления вместо этого пар выпускают в атмосферу после необязательной очистки. В первом предпочтительном варианте осуществления карбаматсодержащий раствор из LPC2 подают в LPC1, поскольку в LPC1 часто требуется подача воды во избежание кристаллизации карбамата в LPC1. Во втором предпочтительном варианте осуществления карбаматсодержащий раствор из LPC1 подают в LPC2, а карбаматсодержащий раствор из LLPC подают в LPC1. В этом варианте осуществления, в частности, пар (V2) и жидкость (C2) подают, например, в виде смеси, из LPC1 в LPC2 для дополнительной конденсации паров (V2) относительно охлаждающей текучей среды (например, охлаждающей воды) в присутствии жидкости (C2), полученной из LPC1. Карбаматсодержащий раствор (C2) из LPC2, например, подают в секцию синтеза высокого давления, в частности возвращают в реакционную зону НР. Таким образом, карбамат (C4) из LLPC сначала обеспечивает необходимую подачу воды в LPC1, чтобы

избежать кристаллизации карбамата в LPC1. Жидкость (C2) из LPC1, поданная в LPC2, обеспечивает необходимую подачу воды в LPC2. Этот второй предпочтительный вариант осуществления менее предпочтителен, чем первый предпочтительный вариант осуществления, с точки зрения энергетических преимуществ, но по-прежнему обеспечивает значительные энергетические преимущества по сравнению с существующими способами получения карбамида со стриппингом CO_2 .

Карбамидный раствор из стриппера предпочтительно расширяют до среднего давления (MP) и подвергают обработке под средним давлением, после чего расширяют до низкого давления и подают в устройство для осуществления разложения LP. Более предпочтительно, обработка под средним давлением представляет собой адиабатическое быстрое испарение с получением выпаренного карбамидного раствора и пара среднего давления. В альтернативном варианте осуществления обработка под средним давлением представляет собой разложение под средним давлением с получением обработанного карбамидного раствора и пара среднего давления. Разложение под средним давлением может включать нагревание; применяемое в нем тепло можно подавать, например, в виде пара, например, от НРСС. Тепло может, например, также подаваться путем теплообмена через стенку с конденсирующей средой в НРСС, более конкретно, если НРСС представляет собой кожухотрубный теплообменник, содержащий трубный пучок, путем подачи карбамидного раствора среднего давления через трубы НРСС, в то время как технологическая среда высокого давления присутствует со стороны кожуха и конденсируется со стороны кожуха, выделяя тем самым тепло. Для обоих типов предпочтительной обработки MP, быстрого испарения MP и разложения MP, пар MP предпочтительно конденсируют в конденсаторе MP (MPC), который предпочтительно также принимает карбаматсодержащий раствор из LPC1 и/или из необязательного LPC2 (причем растворы содержат некоторое количество воды), чтобы избежать кристаллизации карбамата. Полученный карбаматсодержащий раствор закачивают и подают в реакционную зону высокого давления, например через конденсатор карбамата высокого давления. Тепло конденсации, выделяемое в конденсаторе давления MP, предпочтительно применяется для испарения воды из карбамидного раствора из устройства для осуществления разложения под давлением ниже атмосферного за счет теплообмена через стенку.

Существенным преимуществом является то, что не требуется никакой специальной конструкции секции высокого давления (для установок, возводимых с нуля), также нет необходимости в специальных модификациях секции высокого давления (для модернизации существующих установок для производства карбамида). Дополнительное

оборудование, такое как теплообменный сосуд для LPC1/LLPD, представляет собой оборудование низкого давления, необязательно с дополнительным оборудованием среднего давления, таким как теплообменный сосуд MPC/PEV, и, следовательно, работает при более низких температурах, при которых карбамат является менее коррозионным. Это значительно снижает затраты на оборудование по сравнению с оборудованием высокого давления, например, из-за отсутствия необходимости применения специальных коррозионностойких материалов, таких как сплавы из дуплексной нержавеющей стали.

Способ производства карбамида согласно настоящему изобретению включает создание условий для образования карбамида из аммиака и диоксида углерода в реакционной (R) зоне высокого давления с образованием таким образом первого карбамидного раствора (U1), который также содержит карбамат. Способ дополнительно включает подвергание первого карбамидного раствора стриппингу высокого давления (S) для разложения карбамата с применением тепла (H1, S1) с образованием таким образом потока газа (SG) и второго карбамидного раствора (U2), также содержащего карбамат, и подвергание потока газа (SG) конденсации в конденсаторе карбамата высокого давления (HPCC) с образованием таким образом первого карбаматсодержащего раствора (C1) и выделением тепла конденсации (H2, S2), причем карбаматсодержащий раствор (C1) подают в реакционную зону высокого давления.

Способ дополнительно включает подвергание второго карбамидного раствора (U2) разложению карбамата под низким давлением, или первую обработку указанного второго карбамидного раствора (U2) под средним давлением (MPP) и подвергание обработанного второго карбамидного раствора (U2a) разложению под низким давлением. Разложение карбамата под низким давлением включает нагревание в устройстве для осуществления разложения под низким давлением (LPD) карбамидного раствора (U2, U2a), содержащего карбамат, с применением указанного тепла конденсации (H2, S2) из конденсатора карбамата высокого давления с разложением карбамата с получением таким образом первого пара (V1) и третьего карбамидного раствора (U3), также содержащего карбамат, и расширение третьего карбамидного раствора до давления ниже атмосферного (F1, X1) с получением таким образом расширенного третьего карбамидного раствора (U3a).

Способ дополнительно включает подвергание первого пара (V1) конденсации в первом конденсаторе карбамата низкого давления (LPC1) с получением таким образом второго карбаматсодержащего раствора (C2) и второго пара (V2) и выделением дополнительного тепла конденсации (H3). Первый конденсатор карбамата низкого давления имеет выход для второго карбаматсодержащего раствора (C2), который находится в жидкостном сообщении со входом реакционной зоны высокого давления (R).

Способ дополнительно включает подвергание указанного расширенного третьего карбамидного раствора (U3a) разложению карбамата в устройстве для осуществления разложения под давлением ниже атмосферного (LLPD) с применением указанного дополнительного тепла конденсации (H3) из указанного первого конденсатора карбамата низкого давления (LPC1) путем теплообмена через теплообменную стенку (LPHX) между указанным первым конденсатором карбамата низкого давления (LPC1) и указанным устройством для осуществления разложения под давлением ниже атмосферного (LLPD) с получением таким образом четвертого карбамидного раствора (U4) и третьего пара (V3). Способ дополнительно включает подвергание указанного третьего пара (V3) конденсации в конденсаторе карбамата под давлением ниже атмосферного (LLPC) при косвенном теплообмене с охлаждающей текучей средой с получением таким образом четвертого карбаматсодержащего раствора (C4).

Способ необязательно дополнительно включает подвергание второго пара (V2) конденсации во втором конденсаторе карбамата низкого давления (LPC2) при косвенном теплообмене с охлаждающей текучей средой (CW) с получением таким образом третьего карбаматсодержащего раствора (C3), причем второй конденсатор карбамата низкого давления (LPC2) имеет выход для третьего карбаматсодержащего раствора (C3), который находится в жидкостном сообщении со входом реакционной зоны высокого давления (R). В некоторых вариантах осуществления вместо этого второй пар (V2) выпускают в атмосферу необязательно после очистки.

В предпочтительном варианте осуществления конденсатор карбамата под давлением ниже атмосферного (LLPC) имеет выход для по меньшей мере части четвертого карбаматсодержащего раствора (C4), который находится в жидкостном сообщении с реакционной зоной высокого давления (R).

Установка для производства карбамида (UP) согласно настоящему изобретению содержит реакционную зону высокого давления (R) для создания условий для образования карбамида из аммиака и диоксида углерода с образованием таким образом первого карбамидного раствора (U1), который также содержит карбамат; и стриппер (S) высокого давления для стриппинга первого карбамидного раствора под высоким давлением для разложения карбамата с применением тепла (H1, S1) с получением таким образом потока газа (SG) и второго карбамидного раствора (U2), также содержащего карбамат, и конденсатор карбамата высокого давления (HPCC) для подвергания указанного потока газа (SG) конденсации с образованием таким образом первого карбаматсодержащего раствора (C1) и выделением тепла конденсации (H2, S2).

Установка для производства карбамида дополнительно содержит устройство для

осуществления разложения под низким давлением (LPD). Устройство для осуществления разложения под низким давлением (LPD) выполнено с возможностью подвергания указанного второго карбамидного раствора (U2) разложению под низким давлением, или установка выполнена с возможностью первоначальной обработки по меньшей мере части второго карбамидного раствора (U2) при среднем давлении (MPP) в секции среднего давления (MPP) с получением обработанного второго карбамидного раствора, а устройство для осуществления разложения под низким давлением (LPD) выполнено с возможностью подвергания указанного обработанного второго карбамидного раствора разложению под низким давлением. Разложение карбамата под низким давлением включает нагревание карбамидного раствора, содержащего карбамат, с применением указанного тепла конденсации (H2, S2) из конденсатора карбамата высокого давления для разложения карбамата с получением таким образом первого пара (V1) и третьего карбамидного раствора (U3), также содержащего карбамат. Установка для производства карбамида дополнительно содержит расширительную систему (F1, X1) для расширения третьего карбамидного раствора до давления ниже атмосферного с получением таким образом расширенного третьего карбамидного раствора (U3a). Установка для производства карбамида дополнительно содержит первый конденсатор карбамата низкого давления (LPC1) для подвергания указанного первого пара (V1) конденсации с получением таким образом второго карбаматсодержащего раствора (C2) и второго пара (V2) и выделением дополнительного тепла конденсации (H3). Первый конденсатор карбамата низкого давления (LPC1) имеет выход для второго карбаматсодержащего раствора (C2), находящийся в жидкостном сообщении с реакционной зоной высокого давления (R).

Установка для производства карбамида дополнительно содержит устройство для осуществления разложения под давлением ниже атмосферного (LLPD) для подвергания указанного расширенного третьего карбамидного раствора (U3a) разложению карбамата с применением указанного дополнительного тепла конденсации (H3) из указанного первого конденсатора карбамата низкого давления (LPC1) путем теплообмена через теплообменную стенку (LPHX) между указанным первым конденсатором карбамата низкого давления (LPC1) и указанным устройством для осуществления разложения под давлением ниже атмосферного (LLPD) с получением таким образом четвертого карбамидного раствора (U4) и третьего пара (V3).

Установка для производства карбамида дополнительно содержит конденсатор карбамата под давлением ниже атмосферного (LLPC), который выполнен с возможностью подвергания указанного третьего пара (V3) конденсации при косвенном теплообмене с

охлаждающей текучей средой с получением таким образом четвертого карбаматсодержащего раствора (C4), и который предпочтительно имеет выход для всего или части четвертого карбаматсодержащего раствора (C4), который находится в жидкостном сообщении со входом реакционной зоны высокого давления (R).

Настоящее изобретение относится к способу производства карбамида и установке для производства карбамида, которая предпочтительно выполнена для данного способа. Иллюстративный способ и установка представлены на фиг. 1.

Установка для производства карбамида (UP) содержит секцию синтеза HP, содержащую реакционную зону HP (R), стриппер HP (S) и конденсатор карбамата HP (HPCC). Реакционная зона HP (R) выполнена с возможностью создания условий для образования карбамида из аммиака и диоксида углерода с образованием таким образом первого карбамидного раствора (U1), который также содержит карбамат (карбамат аммония), и обычно также содержит воду и аммиак. Способ включает создание условий для образования карбамида из аммиака и диоксида углерода в реакционной зоне HP (R) с образованием таким образом первого карбамидного раствора (U1). Реакцию проводят, например, при соотношении N/C 2,5–3,5, предпочтительно 3,0–3,2. Соотношение N/C представляет собой молярное соотношение NH_3 и CO_2 в реакционной зоне на основе теоретической исходной смеси.

Стриппер HP (S) выполнен с возможностью подвергания первого карбамидного раствора (U1) (реакция синтеза карбамида) стриппингу высокого давления для разложения части карбамата на NH_3 и CO_2 с применением тепла (H1), в частности, с применением первого пара (S1) с образованием таким образом потока газа (SG) (например, смешанного газа), который содержит NH_3 и CO_2 , и второго карбамидного раствора (U2) (подвергнутый стриппингу карбамидный раствор), также содержащего карбамат, аммиак и воду. В стриппере HP применяется, например, CO_2 в качестве стриппинг-газа в установке для производства карбамида установки для стриппинга CO_2 , как показано на фиг. 1. Также можно применять стриппинг аммиака и самостриппинг; в комбинации с подачей сырья CO_2 в реакционную зону (R). Стриппинг высокого давления, как правило, включает противоточный контакт между поступающим первым карбамидным раствором и потоком газа, имеющим более низкое давление паров NH_3 или CO_2 по сравнению с первым карбамидным раствором.

В предпочтительном варианте осуществления первый карбамидный раствор (U1) имеет соотношение N/C приблизительно 3 (например, 2,5–3,5), подвергнутый стриппингу карбамидный раствор (U2) на выходе стриппера имеет соотношение N/C приблизительно 2,0–2,3, необязательно от 2,10 до 2,30.

Первый пар (S1), например, отбирают из паровой турбины компрессора подачи CO_2 установки для производства карбамида. Первый пар, например, обычно получают из инженерной установки, например специальной системы кипячения с применением ископаемого топлива, необязательно через паровую турбину, или, например, получают из расположенной выше по потоку установки для производства аммиака, или он представляет собой, например, насыщенный пар (например, от 18 до 20 бар абс.), получаемый из любой установки.

Конденсатор карбамата НР (НРСС) содержит сторону технологической среды, сторону охлаждающей текучей среды и теплообменную стенку между этими сторонами и выполнен с возможностью подвергания указанного потока газа (SG) конденсации с образованием таким образом первого карбаматсодержащего раствора (C1) со стороны технологической среды. Такая конденсация карбамата включает выделение тепла конденсации (H2), предпочтительно путем образования второго пара (S2) со стороны охлаждающей текучей среды. Конденсатор карбамата высокого давления (НРСС) имеет соединение для подачи первого карбаматсодержащего раствора (C1) в реакционную зону высокого давления (R). Установка для производства карбамида выполнена с возможностью подачи первого карбаматсодержащего раствора (C1) из конденсатора карбамата высокого давления (НРСС) в реакционную зону высокого давления, необязательно с помощью соединения между отдельными сосудами или с помощью транспортировки раствора внутрь объединенного сосуда. Способ включает подачу карбаматсодержащего раствора (C1) в реакционную зону высокого давления.

Способ включает подачу сырья NH_3 в реакционную зону НР, необязательно через НРСС. Уже в конденсаторе карбамата высокого давления может образовываться некоторое количество карбамида, например более 10 мас.%, более 30 мас.% и/или менее 90 мас.% от общего количества карбамида, образующегося в ходе технологического процесса. Соответственно, реакционная зона НР в некоторых вариантах осуществления предусмотрена по меньшей мере частично в конденсаторе карбамата НР. Конденсатор карбамата НР представляет собой, например, теплообменник, применяющий охлаждающую воду в качестве охлаждающей жидкости, например кожухотрубный теплообменник, например с U-образным трубным пучком и, например с охлаждающей водой в трубах и технологической средой на стороне кожуха.

Установка для производства карбамида может содержать одну или более реакционных зон НР. В некоторых вариантах осуществления реакционная зона НР представляет собой реактор, например вертикальный реактор, который представляет собой сосуд, отдельный от конденсатора карбамата НР. В некоторых вариантах

осуществления реакционная зона НР и конденсатор карбамата НР могут быть обеспечены отдельными сосудами. В некоторых вариантах осуществления реакционная зона НР или по меньшей мере одно из реакционных зон НР и конденсатора карбамата НР объединены в одном сосуде, причем один сосуд предпочтительно представляет собой сосуд с горизонтальной погруженной частью конденсатора; необязательно установка содержит дополнительную реакционную зону НР ниже по потоку от сосуда, например в виде вертикального реактора. Конденсатор в таком объединенном сосуде представляет собой, например, кожухотрубный теплообменник с трубным пучком. Трубный пучок может представлять собой, например, U-образный трубный пучок или прямой трубный пучок. В процессе эксплуатации охлаждающую текучую среду, как правило, подают через трубки, а поток газа (SG) из стриппера подают в секцию кожуха. Сосуд находится, например, в бассейновом реакторе, как описано в US 5767313, или вертикальном комбинированном реакторе, как описано в US 6680407.

Оборудование НР, например реактор, стриппер и конденсатор карбамата НР, изготавливают, например, из коррозионностойкого материала, такого как сталь карбамидного класса, например ферритно-аустенитная дуплексная нержавеющая сталь, по меньшей мере для деталей, находящихся в контакте с технологической средой.

Установка для производства карбамида содержит соединение между выходом реакционной зоны НР и входом стриппера НР для первого карбамидного раствора, соединение между выходом стриппера и входом конденсатора карбамата НР для потока газа (SG), и в некоторых вариантах осуществления соединение между выходом конденсатора карбамата НР и входом реакционной зоны НР для первого карбаматного раствора. Стриппер предпочтительно имеет вход для стриппинг-газа, а конденсатор карбамата НР предпочтительно имеет вход для аммиачного сырья.

В некоторых вариантах осуществления установка для производства карбамида содержит скруббер НР для очистки газов из выхода секции синтеза НР, например из НРСС. Эти газы представляют собой, в частности, инертные компоненты (например, пассивирующий воздух, если он применяется). В предпочтительных вариантах осуществления с конденсатором среднего давления установка для производства карбамида предпочтительно не содержит скруббер НР.

Установка для производства карбамида дополнительно содержит секцию регенерации низкого давления, принимающую по меньшей мере часть, например весь, второй карбамидный раствор (U2) из стриппера, и необязательно секцию среднего давления (МРР) между стриппером и секцией регенерации низкого давления для обработки по меньшей мере части, необязательно всего, второго карбамидного раствора

(U2) с получением обработанного второго карбамидного раствора (U2a).

Установка для производства карбамида, в частности секция регенерации LP, содержит устройство для осуществления разложения под низким давлением (LPD). Устройство для осуществления разложения под низким давлением (LPD) выполнено с возможностью подвергания второго карбамидного раствора (U2) и/или обработанного второго карбамидного раствора (U2a) разложению карбамата под низким давлением и имеет вход для этих потоков с соединением с выходом стриппера и/или соединением с выходом секции среднего давления (MPP). Разложение LP включает нагревание необязательно обработанного второго карбамидного раствора, содержащего карбамат (U2, U2a), с применением тепла конденсации (H2) из конденсатора карбамата HP для разложения карбамата, предпочтительно за счет теплообмена со вторым паром (S2) с получением таким образом первого пара (V1), который содержит CO_2 и NH_3 , а также водяные пары, и третьего карбамидного раствора (U3), также содержащего карбамат и воду.

Устройство для осуществления разложения LP содержит, например, ректификационную колонну для контакта между поступающим (необязательно обработанным) вторым карбамидным раствором, содержащим карбамат (U2, U2a), и первым паром (V1), в частности для противоточного контакта между этими потоками. Ректификационную колонну применяют, например, для снижения содержания воды в первом паре (V1). Ректификационная колонна содержит, например, насадку и имеет, например, зону теплообменника для теплообмена с паром в нижней части.

В предпочтительном варианте осуществления часть подаваемого CO_2 подают в испарительный аппарат с атмосферным испарителем (F1) для регулирования соотношения N/C первого пара (V1), чтобы получить желаемое меньшее соотношение N/C для лучшей конденсации первого пара (V1). В предпочтительном варианте осуществления адиабатический испарительный сосуд (F1) выполнен с возможностью противоточного контакта между потоком газообразного CO_2 и карбамидным раствором, таким образом подвергая стриппингу часть веществ NH_3 в карбамидном растворе, предпочтительно в адиабатических условиях.

Испарительный сосуд (F1) предпочтительно содержит слой насадки для осуществления такого контакта. В предпочтительном варианте осуществления испарительный сосуд (F1) представляет собой стриппер атмосферного давления. В предпочтительном варианте осуществления часть подаваемого CO_2 подают в атмосферный испаритель (F1), причем указанная часть составляет, например, от 1 до 10 мас.%, более предпочтительно от 3 до 8 мас.% от общего количества подаваемого CO_2 в

установку для производства карбамида. В предпочтительном варианте осуществления эффект стриппинга CO_2 , подаваемого в атмосферный испаритель, обеспечивает снижение соотношения N/C с приблизительно 4,0 на входе для карбамидного раствора (U3) до приблизительно 2,6 на выходе для карбамидного раствора (U3a). Преимущество коррекции N/C в испарительном сосуде заключается в том, что температура конденсации в LLPC является достаточно высокой (например, выше 30°C) для использования стандартной доступной охлаждающей воды (например, $30\text{--}40^\circ\text{C}$) в LLPC для конденсации карбамата под давлением ниже атмосферного.

Установка, в частности секция регенерации низкого давления, дополнительно содержит расширительную систему (F1, X1) для расширения третьего карбамидного раствора (U3) до давления ниже атмосферного (менее 1,0 бар абс., например, 0,10–0,9 бар абс., предпочтительно 0,3–0,5 бар абс.) с получением таким образом расширенного третьего карбамидного раствора (U3a). Способ дополнительно включает такое расширение.

В предпочтительном варианте осуществления расширительная система содержит атмосферный испарительный сосуд (F1), имеющий вход для третьего карбамидного раствора (U3), для расширения карбамидного раствора до атмосферного давления (например, от 1 до 2 бар абс., например от 1,0 до 1,8 бар абс. или предпочтительно 1,0–1,3 бар абс.), например, при адиабатическом быстром испарении с получением четвертого пара (V4) и карбамидного раствора, и расширительный клапан (X1) для дополнительного расширения карбамидного раствора до давления ниже атмосферного с получением расширенного третьего карбамидного раствора (U3a). Способ предпочтительно дополнительно включает конденсацию четвертого пара (V4) в конденсаторе атмосферного давления (APC) с получением пятого карбаматсодержащего раствора (C5). Конденсатор атмосферного давления (APC) имеет выход для пятого карбаматсодержащего раствора (C5), который находится в непрямом жидкостном сообщении с реактором высокого давления (R) для осуществления рециркуляции карбамата. Способ предпочтительно включает подачу пятого карбаматсодержащего раствора (C5) в первый и/или второй конденсатор карбамата низкого давления (LPC1, LPC2). Таким образом, водная фракция пятого карбаматсодержащего раствора (C5) преимущественно применяется для предотвращения кристаллизации карбамата в первом и/или втором конденсаторе карбамата низкого давления (LPC1, LPC2).

Секция регенерации низкого давления дополнительно содержит первый конденсатор карбамата низкого давления (LPC1) для подвергания первого пара (V1) конденсации карбамата с получением таким образом второго карбаматсодержащего

раствора (C2) и второго пара (V2) и выделением дополнительного тепла конденсации (H3). Конденсация является частичной. Первый конденсатор карбамата низкого давления (LPC1) имеет вход с соединением с выходом для первого пара (V1) устройства для осуществления разложения под низким давлением. Рабочее давление LPC1 предпочтительно составляет 6–9 бар абс., более предпочтительно оно составляет 8 бар абс.; эти давления обеспечивают оптимальную температуру конденсации в LPC1 для тепловой интеграции с LLPD.

Первый конденсатор карбамата низкого давления (LPC1) имеет выход для второго карбаматсодержащего раствора (C2), находящийся в жидкостном сообщении с реакционной зоной высокого давления (R). Таким образом, способ включает опосредованную подачу второго карбаматсодержащего раствора (C2) в реакционную зону высокого давления (R), необязательно через второй конденсатор карбамата LP и, например, через конденсатор карбамата HP, с помощью насоса. Таким образом, способ включает возврат карбамата в секцию синтеза HP.

Установка для производства карбамида дополнительно содержит устройство для осуществления разложения под давлением ниже атмосферного (LLPD), которое выполнено с возможностью подвергания указанного расширенного третьего карбамидного раствора (U3a) разложению карбамата с применением дополнительного тепла конденсации (H3) из первого конденсатора карбамата низкого давления (LPC1) с получением таким образом четвертого карбамидного раствора (U4) и третьего пара (V3). Устройство для осуществления разложения под давлением ниже атмосферного (LLPD) имеет вход с соединением с выходом для расширенного третьего карбамидного раствора (U3a) расширительной системы и имеет выход для четвертого карбамидного раствора (U4) и выход для третьего пара (V3).

Установка для производства карбамида содержит теплообменную стенку (LPHX) между указанным первым конденсатором карбамата низкого давления (LPC1) и указанным устройством для осуществления разложения под давлением ниже атмосферного (LLPD). Таким образом, на практике конденсатор карбамата низкого давления (LPC1) и указанное устройство для осуществления разложения под давлением ниже (LLPD) объединены в одном сосуде, более конкретно в теплообменнике, например в кожухотрубном теплообменнике, при этом расширенный третий карбамидный раствор (U3a) находится на первой стороне (например, на стороне труб) и первый пар (V1) – на второй стороне теплообменника (например, на стороне кожуха), разделенный для массопереноса стенкой теплообменника (LPHX). Один сосуд предпочтительно выполнен в виде кожухотрубного теплообменника с трубами и стороной кожуха, который более

предпочтительно выполнен в виде погружного конденсатора на стороне кожуха (LPC1), причем трубы погружены в жидкую фазу на стороне кожуха, и с испарением с падающей пленкой в трубах (LPD1) и потоком в трубах в противотоке к потоку в стороне кожуха.

Способ включает теплопередачу через эту теплообменную стенку (LPHX). Четвертый карбамидный раствор (U4) предпочтительно содержит по меньшей мере 60 мас.% карбамида, более предпочтительно по меньшей мере 70 мас.% карбамида, например, от 70 до 80 мас.% карбамида, например от 70 до 76 мас.% карбамида.

Установка для производства карбамида дополнительно содержит второй конденсатор карбамата низкого давления (LPC2), который выполнен с возможностью подвергания указанного второго пара (V2) конденсации при косвенном теплообмене, как правило, с охлаждающей текучей средой, такой как охлаждающая вода (CW), с получением таким образом третьего карбаматсодержащего раствора (C3).

Второй конденсатор карбамата низкого давления (LPC2) имеет вход, соединенный с выходом для второго пара (V2) первого конденсатора карбамата низкого давления (LPC1), и имеет выход для третьего карбаматсодержащего раствора (C3), который находится в жидкостном сообщении со входом реакционной зоны HP (R), для подачи третьего карбаматсодержащего раствора (C3) в конечном итоге в реакционную зону HP (R), как правило, через конденсатор карбамата HP и с помощью насоса. Вторым конденсатор карбамата низкого давления (LPC2) представляет собой, например, кожухотрубный теплообменник.

В необязательном варианте осуществления LPC2 можно исключить. При соответствующих рабочих условиях для блока LPC1/LLPD и при тепловой интеграции между LPC1 и LLPD LPC2 может иметь очень низкую тепловую нагрузку или не иметь ее вовсе (тепловую нагрузку для охлаждения охлаждающей водой). Таким образом, в необязательном варианте осуществления LPC2 опущен. В таком варианте осуществления карбаматный раствор (C4) из конденсатора под давлением ниже атмосферного (LLPC) подают, например, в первый конденсатор LP (LPC1), а пар (V2) из первого конденсатора LP (LPC1) выпускается в атмосферу, необязательно после очистки.

Установка для производства карбамида дополнительно содержит конденсатор карбамата под давлением ниже атмосферного (LLPC), который выполнен с возможностью подвергания третьего пара (V3) конденсации карбамата при косвенном теплообмене с охлаждающей текучей средой (CW) с получением таким образом четвертого карбаматсодержащего раствора (C4). Конденсатор карбамата под давлением ниже атмосферного (LLPC) имеет вход для третьего пара (V3) с соединением с выходом для третьего пара (V3) устройства для осуществления разложения под давлением ниже

атмосферного (LLPD) и имеет выход для четвертого карбаматсодержащего раствора (C4).

Четвертый карбаматсодержащий раствор (C4) содержит, например, по меньшей мере 20 мас.% карбамата и, например, менее 70 мас.% карбамата, например, 30–50 мас.% карбамата, как правило, с остатком в виде по существу воды.

Выход для конденсатора карбамата под давлением ниже атмосферного (LLPC) предпочтительно предназначен для всего четвертого карбаматного раствора (C4) или его части и предпочтительно находится в жидкостном сообщении со входом реакционной зоны высокого давления (R). В оптимальном варианте конденсатор карбамата под давлением ниже атмосферного (LLPC) имеет выход для всего или части четвертого карбаматсодержащего раствора (C4), находящийся в жидкостном сообщении со входом десорбционной колонны и/или секции обработки сточных вод. Способ предпочтительно включает подачу всего четвертого карбаматсодержащего раствора (C4) или его части в реакционную зону высокого давления (R), предпочтительно через первый и/или второй конденсаторы карбамата низкого давления (LPC1, LPC2), а затем через конденсатор карбамата НР. Конденсатор карбамата под давлением ниже атмосферного (LLPC) предпочтительно представляет собой кожухотрубный теплообменник с конденсацией на стороне кожуха и охлаждающей водой в трубах; кроме того, предпочтительно горизонтальный поверхностный конденсатор с горизонтальным трубным пучком и конденсацией на поверхности труб или дополнительно предпочтительно вертикальный конденсатор с падающей пленкой с вертикальным трубным пучком. Предпочтительно трубы выполнены в виде прямого трубного пучка. Трубы предпочтительно снабжены материалом из нержавеющей стали с обеих сторон (внутренняя и наружная поверхности стенки трубы), поскольку трубы с обеих сторон подвергаются воздействию технологической среды, содержащей карбамат. В особенно предпочтительном варианте осуществления применяют прямой трубный пучок со сталью марки 316L на стороне кожуха (наружная поверхность трубы) и сталью марки 304L на стороне труб (внутренняя поверхность трубы).

В предпочтительном варианте осуществления конденсатор карбамата под давлением ниже атмосферного (LLPC) имеет выход для по меньшей мере части четвертого карбаматсодержащего раствора (C4), который находится в жидкостном сообщении с реакционной зоной высокого давления (R), предпочтительно через первый и/или второй конденсаторы карбамата низкого давления (LPC1, LPC2) и необязательно через конденсатор карбамата НР (НРСС). В необязательном варианте осуществления, в котором установка для производства карбамида не содержит конденсатор среднего давления, четвертый карбаматсодержащий раствор предпочтительно подают в скруббер

НР установки для производства карбамида, причем скруббер НР имеет выход для карбаматного раствора, соединенный со входом конденсатора карбамата НР.

В предпочтительном варианте осуществления третий карбаматсодержащий раствор (С3) подают в первый конденсатор карбамата низкого давления (LPC1), а четвертый карбаматсодержащий раствор (С4) подают во второй конденсатор карбамата низкого давления (LPC2); и установка соответственно содержит соединение между выходом LPC2 и входом LPC1 для третьего карбаматсодержащего раствора (С3) и соединение от выхода LLPC со входом LPC2 для четвертого карбаматсодержащего раствора (С4). Второй карбаматсодержащий раствор (С2) подают в реакционную зону НР. Это обеспечивает энергоэффективный способ и установку для производства карбамида.

На фиг. 1 представлена технологическая схема примера такого варианта осуществления, в котором дополнительно стриппер представляет собой стриппер CO_2 , и применяется предпочтительный атмосферный конденсатор (APC). Необязательно применяют блок обработки под средним давлением (MPP). Часть подаваемого CO_2 применяют для коррекции N/C в атмосферном испарителе (F1). Кроме того, для каждого этапа расширения/снижения давления предусмотрены расширительные клапаны (не показаны), например, между стриппером НР и устройством для осуществления разложения под низким давлением. Кроме того, предусмотрены насосы и/или эжекторы (не показаны) для увеличения давления потоков жидкости, например в потоке С4 из LLPC в LPC. Кроме того, LLPC, LPC2 и MPC, как правило, имеют выходы для несконденсированных паров (в частности, инертных компонентов, например, из необязательно применяемого пассивирующего воздуха и/или из следов водорода, и/или N_2 из подаваемого CO_2 и/или подаваемого NH_3). Конденсатор карбамата НР НРСС в некоторых вариантах осуществления имеет выход для газа, соединенный со скруббером НР или скруббером МР; в других вариантах осуществления секция синтеза НР не содержит скруббер НР. Эти выходы не показаны на фиг. 1. Кроме того, стрелки для тепла (Н1, Н2, Н3) указывают на схематические тепловые потоки, а не технологические потоки; то же самое относится и к тепловому потоку Н4, как показано на фиг. 3.

В другом варианте осуществления второй карбаматсодержащий раствор (С2) подают из выхода первого конденсатора карбамата низкого давления (LPC1) во вход второго конденсатора карбамата низкого давления (LPC2), а четвертый карбаматсодержащий раствор (С4) подают из выхода конденсатора карбамата под давлением ниже атмосферного (LLPC) во вход первого конденсатора карбамата низкого давления (LPC1); и установка содержит соединения между этими входами и выходами.

На фиг. 2 схематично проиллюстрирован пример такого варианта осуществления, в

котором раствор C4 подают из LLPC в LPC2, причем этот вариант осуществления менее предпочтителен, чем вариант осуществления, представленный на фиг. 1.

Каждый из первого конденсатора карбамата низкого давления (LPC1) и второго конденсатора карбамата низкого давления (LPC2) независимо предпочтительно представляет собой погружной конденсатор с жидкостью в качестве непрерывной фазы и представляет собой, например, кожухотрубный теплообменник, предпочтительно с охлаждающей текучей средой в трубах; первый и второй конденсаторы карбамата низкого давления предпочтительно представляют собой такие конденсаторы. Первый конденсатор карбамата низкого давления (LPC1) представляет собой объединенный блок с узлом для осуществления разложения под давлением ниже атмосферного (LLPD), и этот объединенный блок предпочтительно представляет собой кожухотрубный теплообменник с трубным пучком и конденсацией пара (V1) со стороны кожуха и нагреванием карбамидного раствора (U3a) в трубах, более предпочтительно выполненный в виде погружного конденсатора. Предпочтительно нагревание карбамидного раствора включает испарение с падающей пленкой в трубах, при этом альтернативно в трубах можно применять испарение с восходящей пленкой; кроме того, трубы предпочтительно расположены на стороне кожуха, погруженной в жидкую фазу карбаматсодержащего раствора, альтернативно на стороне кожуха можно применять, например, конденсацию с падающей пленкой. Трубный пучок предпочтительно является вертикальным.

Первый конденсатор карбамата низкого давления (LPC1) предпочтительно работает при более высокой температуре, чем второй конденсатор карбамата низкого давления (LPC2), например при температуре по меньшей мере на 10°C или по меньшей мере на 20°C выше. LPC1 предпочтительно применяют для частичной конденсации пара, а LPC2 применяют для конденсации оставшихся CO₂ и NH₃ в паре V2 до карбамата. В некоторых вариантах осуществления LPC1 и LPC2 интегрированы в один кожух.

Секция регенерации LP содержит, например, блоки LPD, LPC1, LPC2, F1, APC, LLPD и LLPC; хотя F1, APC, LLPD и LLPC работают при давлении менее 2 бар абс.

В предпочтительном варианте осуществления способ включает первую переработку указанного второго карбамидного раствора (U2) при среднем давлении (MPP) и подвергание обработанного второго карбамидного раствора (U2a) разложению карбамата низкого давления (LPD). Обработка под средним давлением предпочтительно включает удаление аммиака и/или карбамата из карбамидного раствора, и в результате такой обработки получают обработанный второй карбамидный раствор (U2a), также содержащий карбамат, и пятый пар (V5), содержащий NH₃ и CO₂, например 60 мас.% CO₂, 5 мас.% воды и остаток в виде NH₃. Снижение давления подвергнутого стриппингу

карбамидного раствора (U2) до среднего давления обеспечивает разложение карбамата.

Способ предпочтительно включает конденсацию пятого пара в конденсаторе среднего давления (MPC) с получением шестого карбаматсодержащего раствора (C6). Предпочтительно второй карбаматсодержащий раствор (C2) из указанного первого конденсатора карбамата низкого давления (LPC1) и/или третий карбаматсодержащий раствор (C3) из конденсатора карбамата под давлением ниже атмосферного (LLPC) подают в конденсатор среднего давления (MPC), и установка содержит соединения между входами и выходами для таких потоков. Предпочтительно конденсатор среднего давления (MPC) имеет выход для шестого карбаматсодержащего раствора (C6), находящийся в жидкостном сообщении со входом реакционной зоны высокого давления (R), и предпочтительно способ включает подачу шестого карбаматсодержащего раствора (C6) непосредственно или опосредованно в реакционную зону высокого давления (R).

Предпочтительно способ дополнительно включает нагревание четвертого карбамидного раствора (U4) из конденсатора карбамата под давлением ниже атмосферного (LLPD) (необязательно через резервуар для хранения карбамида) в предварительном испарителе (PEV) для испарения воды из карбамидного раствора, необязательно также разложение некоторого количества оставшегося карбамата, применение тепла конденсации (H4), выделяемого при конденсации карбамата в указанном конденсаторе среднего давления (MPC), с получением таким образом пятого карбамидного раствора (U5) с пониженным содержанием воды и шестого пара (V6), который в основном представляет собой водяной пар. Шестой пар, например, конденсируется, и конденсат, например, направляется в секцию обработки сточных вод. Пятый карбамидный раствор (U5) содержит, например, по меньшей мере 80 мас.% карбамида, предпочтительно по меньшей мере 85 мас.% карбамида, например, 86–95 мас.% карбамида, например, 93 мас.% карбамида. Пример способа в соответствии с данным вариантом осуществления показан на фиг. 3.

Предпочтительно конденсатор карбамата среднего давления (MPC) представляет собой объединенный сосуд с предварительным испарителем (PEV) и более предпочтительно представляет собой кожухотрубный теплообменник с трубным пучком и конденсацией пара MP(V5) на стороне кожуха и нагреванием карбамидного раствора (U4) в трубах, более предпочтительно выполненный в виде погружного конденсатора. Предпочтительно нагревание карбамидного раствора включает испарение с падающей пленкой в трубах, при этом альтернативно в трубах можно применять испарение с восходящей пленкой; трубы предпочтительно расположены на стороне кожуха, погруженной в жидкую фазу карбаматсодержащего раствора. Предпочтительно

кожухотрубный теплообменник выполнен с возможностью обеспечения потока в трубах в противотоке к потоку на стороне кожуха, так что вход для пара находится рядом с выходом для карбамидного раствора. Трубный пучок MPC предпочтительно является вертикальным.

Предпочтительно обработка при среднем давлении включает адиабатическое быстрое испарение второго карбамидного раствора (U2) в испарительном сосуде среднего давления (MPF), вследствие чего обработанный карбамидный раствор представляет собой испаренный второй карбамидный раствор (U2a). Этот вариант осуществления показан на фиг. 3.

В комбинации с секцией регенерации низкого давления в соответствии с настоящим изобретением преимущественно может быть достигнут очень энергоэффективный способ путем адиабатического быстрого испарения в качестве обработки под средним давлением. Кроме того, адиабатический испарительный сосуд среднего давления представляет собой относительно простое оборудование.

На фиг. 3 схематично представлен иллюстративный вариант осуществления с испарительным сосудом среднего давления (MPF) для адиабатического быстрого испарения второго карбамидного раствора (U2) из стриппера HP. На фиг. 3 также схематически показано, что в секции регенерации LP происходит такой же процесс, как и на фиг. 1; т.е. раствор C2 подают из LPC1 в LPC2, а раствор C4 подают из LLPC в LPC1; эта конфигурация не зависит от применения обработки MP, и также возможны другие конфигурации. Например, в дополнительном примере установка для производства карбамида содержит испарительный сосуд среднего давления (MPF), а конфигурация секции регенерации LP соответствует приведенной на фиг. 2.

В другом варианте осуществления обработка при среднем давлении включает нагревание второго карбамидного раствора (U2) в устройстве для осуществления разложения под средним давлением с разложением карбамата. При нагреве под средним давлением в качестве нагревающей текучей среды применяют, например, пар. В одном варианте осуществления нагрев под средним давлением включает теплообмен через стенку с конденсирующей технологической средой высокого давления в конденсаторе карбамата HP; например, в конденсаторе карбамата HP, имеющем два трубных пучка, один для второго карбамидного раствора (U2), необязательно после испарителя, а другой для охлаждающей воды для образования пара.

Карбамидный раствор (U4) из устройства для осуществления разложения под давлением ниже атмосферного (LPD) и/или карбамидный раствор (U5) из предварительного испарителя (PEV) подают, например, в секцию испарения установки

для производства карбамида (UP), которая содержит, например, одну, две, три или более ступеней вакуумного испарения, расположенных последовательно для испарения воды с получением пара и плава карбамида (например, с по меньшей мере 95 мас.% или по меньшей мере 99 мас.% карбамида); пар, например, конденсируют и подают в секцию обработки сточных вод. Секция обработки сточных вод (WWT) содержит, например, десорбционную колонну и установку глубокого гидролиза. Глубокий гидролиз обычно включает в себя нагревание с применением пара, например пара под давлением более 10 бар, в качестве нагревающей текучей среды. Очищенный конденсат из WWT, как правило, не возвращают в секцию синтеза HP в качестве технологической среды, но необязательно после использования в качестве охлаждающей текучей среды он утилизируется на границе установки. Плава карбамида, например, подают в секцию конечной обработки для отверждения с образованием твердого карбамидного продукта, такую как гранулятор или грануляционная башня. Карбамидные растворы можно также применять, например, в качестве жидкости для производства жидкости для очистки выхлопных газов дизельных двигателей (DEF) и/или жидкого удобрения, такого как мочевино-аммониевый нитрат (UAN).

Настоящее изобретение также относится к способу модификации существующей установки для производства карбамида для получения установки в соответствии с настоящим изобретением.

В предпочтительном способе модификации существующей установки для производства карбамида существующий конденсатор карбамата LP становится необязательным вторым конденсатором карбамата LP и добавляют теплообменный сосуд для LPC1/LLPD, необязательно дополнительно добавляют секцию обработки MP, содержащую теплообменник для MPC/PEV и, например, испарительный сосуд MP MPF или устройство для осуществления разложения под средним давлением.

Для предпочтительного способа модификации существующей установки для производства карбамида существующая установка для производства карбамида содержит: реакционную зону высокого давления (R) для образования первого карбамидного раствора (U1), который также содержит карбамат; стриппер (S) высокого давления для подвергания первого карбамидного раствора стриппингу высокого давления для разложения карбамата с помощью тепла (H1, S1) с образованием таким образом потока газа (SG) и второго карбамидного раствора (U2), также содержащего карбамат; и конденсатор карбамата высокого давления (HPCC) для подвергания указанного потока газа (SG) конденсации с образованием таким образом первого карбаматсодержащего раствора (C1) и выделением тепла конденсации (H2, S2), причем конденсатор карбамата

высокого давления (НРСС) имеет соединение для подачи карбаматсодержащего раствора (C1) в реакционную зону высокого давления. Существующая установка дополнительно содержит устройство для осуществления разложения под низким давлением (LPD), причем устройство для осуществления разложения под низким давлением (LPD) выполнено с возможностью подвергания указанного второго карбамидного раствора (U2) разложению под низким давлением, или причем устройство для осуществления разложения под низким давлением (LPD) выполнено с возможностью подвергания обработанного второго карбамидного раствора разложению карбамата под низким давлением, и при этом существующая установка выполнена с возможностью первоначальной обработки указанного второго карбамидного раствора (U2) при среднем давлении (MPP) в секции среднего давления с получением указанного обработанного второго карбамидного раствора. Разложение карбамата под низким давлением включает нагревание второго карбамидного раствора, содержащего карбамат (U2), с применением указанного тепла конденсации (H2, S2) из конденсатора карбамата высокого давления для разложения карбамата с получением таким образом первого пара (V1) и третьего карбамидного раствора (U3), также содержащего карбамат.

Способ включает добавление существующего конденсатора карбамата низкого давления, выполненного с возможностью подвергания первого пара (V1) конденсации, и расширительной системы (F1, X1) для расширения третьего карбамидного раствора до давления ниже атмосферного с получением таким образом расширенного третьего карбамидного раствора (U3a), если существующая установка не содержит такой расширительный сосуд. Способ дополнительно включает добавление блока, содержащего первый конденсатор карбамата низкого давления (LPC1) и устройство для осуществления разложения под давлением ниже атмосферного (LLPD), причем первый конденсатор карбамата низкого давления (LPC1) выполнен с возможностью подвергания указанного первого пара (V1) конденсации с получением таким образом второго карбаматсодержащего раствора (C2) и второго пара (V2) и выделением дополнительного тепла конденсации (H3), причем первый конденсатор карбамата низкого давления (LPC1) имеет выход для транспортировки второго карбаматсодержащего раствора (C2) в реакционную зону высокого давления (R), и при этом устройство для осуществления разложения под давлением ниже атмосферного (LLPD) выполнено с возможностью подвергания указанного расширенного третьего карбамидного раствора (U3a) разложению карбамата с применением указанного дополнительного тепла конденсации (H3) из указанного первого конденсатора карбамата низкого давления (LPC1) путем теплообмена через теплообменную стенку (LPHX) между указанным первым конденсатором карбамата

низкого давления (LPC1) и указанным устройством для осуществления разложения под давлением ниже атмосферного (LLPD), с получением таким образом четвертого карбамидного раствора (U4) и третьего пара (V3). Способ необязательно дополнительно включает модификацию существующего конденсатора карбамата низкого давления во второй конденсатор карбамата низкого давления (LPC2), имеющий вход для указанного второго пара (V2) и выполненный с возможностью конденсации второго пара (V2) при косвенном теплообмене с охлаждающей текучей средой (CW), с получением таким образом третьего карбаматсодержащего раствора (C3), и имеющий выход для транспортировки третьего карбаматсодержащего раствора (C3) в реакционную зону высокого давления (R). Способ дополнительно включает добавление конденсатора карбамата под давлением ниже атмосферного (LLPC), выполненного с возможностью подвергания указанного третьего пара (V3) конденсации при косвенном теплообмене с охлаждающей текучей средой с получением таким образом четвертого карбаматсодержащего раствора (C4) и имеющего выход для транспортировки части или всего четвертого карбаматсодержащего раствора (C4) в реакционную зону высокого давления (R). Модифицированная установка предпочтительно представляет собой установку согласно настоящему изобретению и предпочтительно выполнена с возможностью осуществления способа производства карбамида согласно настоящему изобретению, предпочтительно с предпочтительными признаками способа и признаками установки, как описано выше в настоящем документе.

На фиг. 4 представлен пример такого способа модификации существующей установки для производства карбамида. Существующая установка содержит секцию синтеза HP с реактором R, стриппером S и конденсатором карбамата HP HPCC и секцию регенерации LP, содержащую устройство для осуществления разложения LP LPD, а также существующий конденсатор LP, применяющий охлаждающую воду CW для пара V1 из LPD, например в виде кожухотрубного теплообменника с U-образным трубным пучком. Добавляют теплообменный блок, обеспечивающий первый конденсатор карбамата LP LPC1, а также устройство для осуществления разложения под давлением ниже атмосферного LLPD, например сосуд в соответствии с описанием, предпочтительно кожухотрубный теплообменник с прямым трубным пучком, а также конденсатор карбамата под давлением ниже атмосферного LLPC. Добавленные в данном способе блоки обозначены штриховкой. Существующий конденсатор LP необязательно становится LPC2, принимающим пар V2 из добавленного блока LPC1. Карбаматный раствор C4 из LLPC, например, подают в LPC2, а карбаматный раствор C3 из LPC2, например, подают в LPC1. Альтернативно также можно применять конфигурацию,

показанную на фиг. 2.

Предпочтительно в модифицированной установке атмосферный конденсатор (APC) имеет выход для пятого карбаматсодержащего раствора (C5), соединенный со вторым конденсатором карбамата низкого давления (LPC2).

В еще одном предпочтительном варианте осуществления способ модификации установки включает добавление секции обработки МР (MPP), предпочтительно адиабатического испарительного сосуда (MPF), как описано в настоящем документе.

Способ согласно настоящему изобретению предпочтительно осуществляют на установке согласно настоящему изобретению. Установка согласно настоящему изобретению предпочтительно подходит для установки согласно настоящему изобретению. Предпочтения, описанные в связи с установкой, также применимы к способу. Предпочтения, описанные в связи со способом, также применимы к установке.

В контексте настоящего документа НР составляет по меньшей мере 100 бар абс., например, 110–160 бар абс., МР составляет 20–60 бар абс., LP составляет 4–10 бар абс., атмосферное давление составляет 1–2 бар абс., например 1,0–1,8 бар абс., и давление ниже атмосферного (LLP) составляет менее 1,0 бар абс., например, 0,2–0,5 бар абс.; эти диапазоны давления предназначены для технологических решений и необязательно одинаковы для пара и нагревающих текучих сред. Сокращение «бар абс.» означает бар абсолютного давления.

Термин «жидкостное сообщение» относится к линии для потока (например, к трубкам или каналам), позволяющей жидкости проходить между двумя блоками, необязательно через несколько промежуточных блоков. Жидкостное сообщение не включает транспортировку газовой фазы, и, следовательно, два блока, соединенные испарителем, линией для потока пара и конденсатором, не находятся в жидкостном сообщении, хотя они находятся в сообщении по текучей среде (что включает как транспортировку газовой фазы, так и транспортировку жидкости). Первый блок находится в жидкостном сообщении со вторым блоком, например, если выход для жидкости первого блока соединен со входом конденсатора, а выход для жидкости конденсатора соединен со входом второго блока.

Эффективность стриппера (альфа) определяется как количество аммиака, преобразованного в карбамид (и биурет), деленное на общее количество аммиака, которое обычно измеряют на выходе для жидкости стриппера. Это определение эквивалентно определению конверсии NH_3 на основе выхода стриппера. Таким образом, $\alpha = (2 * \text{мас.}\% \text{ карбамида} / 60) / ((2 * \text{мас.}\% \text{ карбамида} / 60) + (\text{масс.}\% \text{ NH}_3 / 17))$, измеренное на выходе для жидкости стриппера, причем $\text{мас.}\% \text{ NH}_3$ включает в себя все соединения аммиака,

включая карбамат аммония. Специалисту в данной области понятно, что «эффективность стриппинга» относится к чистоте карбамида на выходе для жидкости стриппера, а не к энергоэффективности стриппера.

Конденсация в конденсаторе карбамата относится к так называемой конденсации карбамата, которая включает реакцию NH_3 и CO_2 с образованием карбамата аммония, который представляет собой жидкость, в результате чего газообразные NH_3 и CO_2 превращаются в жидкую фазу. Разложение карбамата относится к реакции диссоциации карбамата на NH_3 и CO_2 .

Пример 1

Пример способа реализуется согласно схеме способа, представленной на фиг. 3. Стриппер НР работает с типовой эффективностью стриппинга (альфа), равной 0,63, и стриппер имеет на выходе подвергнутый стриппингу карбамидный раствор U1 при температуре 170–180°C и давлении 140–145 бар (НР) (все давления являются абсолютными), который адиабатически испаряется в MPF с получением испаренного карбамидного раствора U2a при давлении 20–30 бар (MP) и температуре 140–150°C. Поток U2a подают в устройство для осуществления разложения LPD для разложения карбамата, которое имеет ректификационную колонну, с получением потока U3 при давлении 5–8 бар (LP) и температуре 130–140°C, который испаряется в испарительном сосуде F1 до давления 1–1,3 бар и расширяется в клапане X1 до давления 0,3–0,5 бар (LLP) при температуре 60–70°C на входе LLPD. Необязательно в испарительный сосуд F1 добавляют некоторое количество свежего CO_2 для коррекции N/C. Пар V3 из LLPD находится при температуре 70–85°C и давлении 0,3–0,5 бар. Карбамидный раствор U4 на выходе LLPD и входе PEV находится при давлении 0,3–0,5 бар и температуре 75–90°C, и его нагревают с получением карбамидного раствора U5 при давлении 125–135°C и температуре 0,3–0,5 бар. Пар V5 из MPF находится при давлении 20–30 бар и температуре 140–150°C и конденсируется в MPC с образованием карбаматного раствора C6 при давлении 20–30 бар и температуре 105–115°C. MPC представляет собой кожухотрубный теплообменник для противоточного потока в кожухе и трубах с температурой на входе газа на стороне кожуха 140–150°C, которая находится на том же конце, что и выходы труб для карбамидного раствора.

LLPC нагревает охлаждающую воду CW от 32°C до 35°C, раствор C4 на выходе LLPC находится при давлении 0,3–0,5 бар и температуре 35–40°C и закачивается в LPC2 с получением карбаматного раствора C3 при давлении 5–8 бар и температуре 75–85°C, нагревая охлаждающую воду CW от 55°C до 65°C, которую подают в LPC1. Пар V2 из LPC1 находится при температуре 85–95°C и давлении 5–8 бар. Очень низкое

энергопотребление составляет 580–660 кг пара на тонну карбамидного продукта. Кроме того, тепловая нагрузка конденсатора карбамата НР снижается на 37%. При отсутствии MPF (например, как показано на фиг. 1) по-прежнему достигается низкое энергопотребление 720–800 кг пара на тонну карбамидного продукта. Эти значения потребления пара основаны на паре при давлении 18–23 бар абс. и температуре приблизительно 300°C; также можно применять, например, насыщенный пар при давлении 18–23 бар абс. В этом примере подвергнутый стриппингу карбамидный раствор U2 содержит в данном примере 44 мас.% карбамида, 15 мас.% NH_3 , 16 мас.% CO_2 и 25 мас.% H_2O . Карбамидный раствор U5 из PEV имеет концентрацию карбамида 86–95 мас.%, предпочтительно 93 мас.%. Карбамидный раствор U4 из LLPD имеет концентрацию карбамида 70–76 мас.%, предпочтительно 73 мас.%.

ФОРМУЛА ИЗОБРЕТЕНИЯ

1. Способ производства карбамида, включающий стадии, на которых:

А) создают условия для образования карбамида из аммиака и диоксида углерода в реакционной зоне (R) высокого давления с образованием первого карбамидного раствора (U1), который также содержит карбамат,

В) подвергают первый карбамидный раствор стриппингу (S) высокого давления для разложения карбамата с применением тепла (H1, S1) с получением потока газа (SG) и второго карбамидного раствора (U2), также содержащего карбамат, и подвергают указанный поток газа (SG) конденсации в конденсаторе (HPCC) карбамата высокого давления с образованием первого карбаматсодержащего раствора (C1) и выделением тепла конденсации (H2, S2), причем карбаматсодержащий раствор (C1) подают в реакционную зону высокого давления,

С) подвергают указанный второй карбамидный раствор (U2) разложению карбамата под низким давлением или первой обработке указанного второго карбамидного раствора (U2) при среднем давлении (MPP) и подвергают обработанный второй карбамидный раствор (U2a) разложению под низким давлением, причем указанное разложение карбамата под низким давлением включает нагревание в устройстве (LPD) для осуществления разложения под низким давлением карбамидного раствора (U2, U2a), содержащего карбамат, с помощью указанного тепла конденсации (H2, S2) из конденсатора карбамата высокого давления для разложения карбамата с получением таким образом первого пара (V1) и третьего карбамидного раствора (U3), также содержащего карбамат, и расширения третьего карбамидного раствора до давления ниже атмосферного (F1, X1) с получением таким образом расширенного третьего карбамидного раствора (U3a),

Д) подвергают указанный первый пар (V1) конденсации в первом конденсаторе (LPC1) карбамата низкого давления с получением второго карбаматсодержащего раствора (C2) и второго пара (V2) и выделением дополнительного тепла конденсации (H3), причем первый конденсатор карбамата низкого давления имеет выход для второго карбаматсодержащего раствора (C2), который находится в жидкостном сообщении со входом реакционной зоны (R) высокого давления,

и подвергают указанный расширенный третий карбамидный раствор (U3a) разложению карбамата в устройстве (LLPD) для осуществления разложения под давлением ниже атмосферного с применением указанного дополнительного тепла конденсации (H3) из указанного первого конденсатора (LPC1) карбамата низкого давления путем теплообмена через теплообменную стенку (LPHX) между указанным

первым конденсатором (LPC1) карбамата низкого давления и указанным устройством (LLPD) для осуществления разложения под давлением ниже атмосферного с получением таким образом четвертого карбамидного раствора (U4) и третьего пара (V3), и

Е) подвергают указанный третий пар (V3) конденсации в конденсаторе (LLPC) карбамата под давлением ниже атмосферного при косвенном теплообмене с охлаждающей текучей средой с получением таким образом четвертого карбаматсодержащего раствора (C4).

2. Способ по п. 1, отличающийся тем, что конденсатор (LLPC) карбамата под давлением ниже атмосферного имеет выход для по меньшей мере части четвертого карбаматсодержащего раствора (C4), который находится в жидкостном сообщении с реакционной зоной (R) высокого давления.

3. Способ по п. 1 или 2, дополнительно включающий:

подвержение указанного второго пара (V2) конденсации во втором конденсаторе (LPC2) карбамата низкого давления при косвенном теплообмене с охлаждающей текучей средой (CW) с получением таким образом третьего карбаматсодержащего раствора (C3), причем второй конденсатор (LPC2) карбамата низкого давления имеет выход для третьего карбаматсодержащего раствора (C3), который находится в жидкостном сообщении со входом реакционной зоны (R) высокого давления.

4. Способ по любому из предшествующих пунктов, отличающийся тем, что расширение третьего карбамидного раствора до давления ниже атмосферного включает атмосферное испарение (F1) с получением четвертого пара (V4) и карбамидного раствора, который дополнительно расширяют до давления ниже атмосферного с получением расширенного третьего карбамидного раствора (U3a), и причем способ включает конденсацию четвертого пара (V4) в конденсаторе (APC) атмосферного давления с получением пятого карбаматсодержащего раствора (C5) и подачу пятого карбаматсодержащего раствора (C5) в указанный первый конденсатор (LPC1) карбамата низкого давления и/или в указанный второй конденсатор (LPC2) карбамата низкого давления.

5. Способ по любому из предшествующих пунктов, включающий первую обработку указанного второго карбамидного раствора (U2) при среднем давлении (MPR), причем в результате указанной обработки получают обработанный второй карбамидный раствор (U2a), дополнительно содержащий карбамат, и пятый пар (V5), и конденсацию указанного пятого пара в конденсаторе (MPC) среднего давления с получением шестого карбаматсодержащего раствора (C6), причем указанный второй карбаматсодержащий раствор (C2) из указанного первого конденсатора (LPC1) карбамата низкого давления и/

или третий карбаматсодержащий раствор (C3) из конденсатора (LLPC) карбамата под давлением ниже атмосферного подают в указанный конденсатор (MPC) среднего давления, и при этом указанный конденсатор (MPC) среднего давления имеет выход для шестого карбаматсодержащего раствора (C6), находящийся в жидкостном сообщении со входом реакционной зоны (R) высокого давления,

причем способ дополнительно включает подвергание обработанного второго карбамидного раствора (U2a) указанному разложению карбамата под низким давлением (LPD) и нагревание указанного четвертого карбамидного раствора (U4) в предварительном испарителе (PEV) для испарения воды с применением тепла конденсации (H4), выделенного в указанном конденсаторе (MPC) среднего давления, с получением пятого карбамидного раствора (U5) и шестого пара (V6).

6. Способ по п. 5, отличающийся тем, что указанная обработка при среднем давлении включает адиабатическое быстрое испарение второго карбамидного раствора (U2) в испарительном сосуда (MPF) среднего давления, причем обработанный карбамидный раствор представляет собой испаренный второй карбамидный раствор (U2a).

7. Способ по п. 5, отличающийся тем, что указанная обработка при среднем давлении включает нагревание второго карбамидного раствора (U2) в устройстве для осуществления разложения под средним давлением с разложением таким образом карбамата.

8. Способ по любому из пп. 3–7, отличающийся тем, что третий карбаматсодержащий раствор (C3) подают в первый конденсатор (LPC1) карбамата низкого давления, причем четвертый карбаматсодержащий раствор (C4) подают во второй конденсатор (LPC2) карбамата низкого давления.

9. Способ по любому из пп. 3–7, отличающийся тем, что указанный второй карбаматсодержащий раствор (C2) подают из указанного первого конденсатора (LPC1) карбамата низкого давления в указанный второй конденсатор (LPC2) карбамата низкого давления, причем четвертый карбаматсодержащий раствор (C4) подают в первый конденсатор (LPC1) карбамата низкого давления.

10. Способ по любому из предшествующих пунктов, отличающийся тем, что в стриппере высокого давления в качестве стриппинг-газа применяют CO₂, и эффективность стриппинга составляет 60–70%.

11. Установка для производства карбамида (UP), содержащая:

А) реакционную зону (R) высокого давления для создания условий образования карбамида из аммиака и диоксида углерода с образованием первого карбамидного

раствора (U1), который также содержит карбамат,

В) стриппер (S) высокого давления для подвергания первого карбамидного раствора стриппингу высокого давления для разложения карбамата с применением тепла (H1, S1) с образования таким образом потока газа (SG) и второго карбамидного раствора (U2), также содержащего карбамат,

и конденсатор (HPCC) карбамата высокого давления для подвергания указанного потока газа (SG) конденсации с образованием таким образом первого карбаматсодержащего раствора (C1) и выделением тепла конденсации (H2, S2),

С) устройство (LPD) для осуществления разложения под низким давлением,

причем устройство (LPD) для осуществления разложения под низким давлением выполнено с возможностью подвергания указанного второго карбамидного раствора (U2) разложению при низком давлении, или установка выполнена с возможностью первоначальной обработки по меньшей мере части второго карбамидного раствора (U2) при среднем давлении (MPP) в секции (MPP) среднего давления с получением обработанного второго карбамидного раствора, и устройство (LPD) для осуществления разложения под низким давлением выполнено с возможностью подвергания указанного обработанного второго карбамидного раствора разложению под низким давлением, причем указанное разложение карбамата под низким давлением включает нагревание карбамидного раствора, содержащего карбамат, с применением указанного тепла конденсации (H2, S2) из конденсатора карбамата высокого давления для разложения карбамата с получением таким образом первого пара (V1) и третьего карбамидного раствора (U3), также содержащего карбамат,

и расширительную систему (F1, X1) для расширения третьего карбамидного раствора до давления ниже атмосферного с получением расширенного третьего карбамидного раствора (U3a),

Д) первый конденсатор (LPC1) карбамата низкого давления для подвергания указанного первого пара (V1) конденсации с получением таким образом второго карбаматсодержащего раствора (C2) и второго пара (V2) и выделением дополнительного тепла конденсации (H3), причем первый конденсатор (LPC1) карбамата низкого давления имеет выход для второго карбаматсодержащего раствора (C2), находящийся в жидкостном сообщении с реакционной зоной (R) высокого давления,

и устройство (LLPD) для осуществления разложения под давлением ниже атмосферного для подвергания указанного расширенного третьего карбамидного раствора (U3a) разложению карбамата с помощью указанного дополнительного тепла конденсации (H3) из указанного первого конденсатора (LPC1) карбамата низкого давления путем

теплообмена через теплообменную стенку (LPHX) между указанным первым конденсатором (LPC1) карбамата низкого давления и указанным устройством (LLPD) для разложения под давлением ниже атмосферного с получением таким образом четвертого карбамидного раствора (U4) и третьего пара (V3), и

Е) конденсатор (LLPC) карбамата под давлением ниже атмосферного, выполненный с возможностью подвергания указанного третьего пара (V3) конденсации при косвенном теплообмене с охлаждающей текучей средой с получением таким образом четвертого карбаматсодержащего раствора (C4), и предпочтительно имеющий выход для всего или части четвертого карбаматсодержащего раствора (C4), находящийся в жидкостном сообщении со входом реакционной зоны высокого давления (R).

12. Установка для производства карбамида по п. 11, дополнительно содержащая второй конденсатор (LPC2) карбамата низкого давления, выполненный с возможностью подвергания указанного второго пара (V2) конденсации при косвенном теплообмене с охлаждающей текучей средой (CW), с получением таким образом третьего карбаматсодержащего раствора (C3), и имеющий выход для третьего карбаматсодержащего раствора (C3), находящийся в жидкостном сообщении со входом реакционной зоны (R) высокого давления.

13. Установка для производства карбамида по п. 11 или 12, отличающаяся тем, что установка содержит секцию (MPP) обработки среднего давления для обработки указанного второго карбамидного раствора (U2) при среднем давлении, причем в результате указанной обработки получают обработанный второй карбамидный раствор (U2a), также содержащий карбамат, и пятый пар (V5), причем указанная установка дополнительно содержит конденсатор (MPC) среднего давления для конденсации указанного пятого пара с получением шестого карбаматсодержащего раствора (C6) и имеющий выход для указанного второго карбаматного раствора (C2) из указанного первого конденсатора (LPC1) карбамата низкого давления и/или выход для третьего карбаматсодержащего раствора (C3) из конденсатора (LLPC) карбамата под давлением ниже атмосферного, соединенный с указанным конденсатором (MPC) среднего давления, и при этом указанный конденсатор (MPC) среднего давления имеет выход для шестого карбаматсодержащего раствора (C6), находящийся в жидкостном сообщении со входом реакционной зоны (R) высокого давления, причем секция (MPP) обработки среднего давления имеет выход для указанного обработанного второго карбамидного раствора (U2a), соединенный с указанным устройством (LPD) для осуществления разложения карбамата под низким давлением,

причем установка дополнительно содержит предварительный испаритель (PEV)

для нагрева указанного четвертого карбамидного раствора (U4) для испарения воды с применением тепла конденсации (H4), выделяемого в указанном конденсаторе (MPC) среднего давления, с получением таким образом пятого карбамидного раствора (U5) и шестого пара (V6),

причем секция (MPP) обработки среднего давления представляет собой испарительный сосуд среднего давления (MPF) для адиабатического быстрого испарения второго карбамидного раствора (U2).

14. Способ модификации существующей установки для производства карбамида предпочтительно для получения установки для производства карбамида по п. 11, причем существующая установка для производства карбамида содержит:

А) реакционную зону (R) высокого давления для образования первого карбамидного раствора (U1), который также содержит карбамат,

В) стриппер (S) высокого давления для подвергания первого карбамидного раствора стриппингу высокого давления для разложения карбамата с применением тепла (H1, S1) с образования таким образом потока газа (SG) и второго карбамидного раствора (U2), также содержащего карбамат,

и конденсатор (HPCC) карбамата высокого давления для подвергания указанного потока газа (SG) конденсации с образованием таким образом первого карбаматсодержащего раствора (C1) и выделением тепла конденсации (H2, S2), причем конденсатор (HPCC) карбамата высокого давления имеет соединение для подачи карбаматсодержащего раствора (C1) в реакционную зону высокого давления,

С) устройство (LPD) для осуществления разложения под низким давлением, причем устройство (LPD) для осуществления разложения под низким давлением выполнено с возможностью подвергания указанного второго карбамидного раствора (U2) разложению под низким давлением,

или устройство (LPD) для осуществления разложения под низким давлением выполнено с возможностью подвергания обработанного второго карбамидного раствора разложению карбамата под низким давлением, и при этом существующая установка выполнена с возможностью первоначальной обработки указанного второго карбамидного раствора (U2) при среднем давлении (MPP) в секции среднего давления с получением указанного обработанного второго карбамидного раствора, причем указанное разложение карбамата под низким давлением включает нагревание второго карбамидного раствора (U2), содержащего карбамат, с применением указанного тепла конденсации (H2, S2) из конденсатора карбамата высокого давления для разложения карбамата с получением таким образом первого пара (V1) и третьего карбамидного раствора (U3), также

содержащего карбамат, и

D) конденсатор (LPC2) карбамата низкого давления, выполненный с возможностью подвергания первого пара (V1) конденсации,

причем способ включает:

- добавление расширительной системы (F1, X1) для расширения третьего карбамидного раствора до давления ниже атмосферного с получением таким образом расширенного третьего карбамидного раствора (U3a), если существующая установка не содержит такого расширительного сосуда,

- добавление блока, содержащего первый конденсатор (LPC1) карбамата низкого давления и устройство (LLPD) для осуществления разложения под давлением ниже атмосферного,

D1) причем первый конденсатор (LPC1) карбамата низкого давления выполнен с возможностью подвергания указанного первого пара (V1) конденсации с получением таким образом второго карбаматсодержащего раствора (C2) и второго пара (V2) и выделением дополнительного тепла конденсации (H3), причем первый конденсатор (LPC1) карбамата низкого давления имеет выход для транспортировки второго карбаматсодержащего раствора (C2) в реакционную зону высокого давления (R),

D2) причем устройство (LLPD) для осуществления разложения под давлением ниже атмосферного выполнено с возможностью подвергания указанного расширенного третьего карбамидного раствора (U3a) разложению карбамата с применением указанного дополнительного тепла конденсации (H3) от указанного первого конденсатора (LPC1) карбамата низкого давления путем теплообмена через теплообменную стенку (LPHX) между указанным первым конденсатором (LPC1) карбамата низкого давления и указанным устройством (LLPD) для осуществления разложения под давлением ниже атмосферного, с получением таким образом четвертого карбамидного раствора (U4) и третьего пара (V3),

- необязательно модификацию существующего конденсатора карбамата низкого давления во второй конденсатор (LPC2) карбамата низкого давления, имеющий вход для указанного второго пара (V2) и выполненный с возможностью конденсации второго пара (V2) при косвенном теплообмене с охлаждающей текучей средой (CW), с получением таким образом третьего карбаматсодержащего раствора (C3), и имеющий выход для транспортировки третьего карбаматсодержащего раствора (C3) в реакционную зону (R) высокого давления, и

- добавление конденсатора (LLPC) карбамата под давлением ниже атмосферного, выполненного с возможностью подвергания указанного третьего пара (V3) конденсации

при косвенном теплообмене с охлаждающей текучей средой с получением таким образом четвертого карбаматсодержащего раствора (С4) и имеющего выход для транспортировки части или всего четвертого карбаматсодержащего раствора (С4) в реакционную зону высокого давления (R), причем модифицированная установка предпочтительно подходит для осуществления способа производства карбамида по п. 1.

The diagram illustrates a CO₂ capture process using a chemical looping cycle. The main components and their interactions are as follows:

- Reactor (R):** Receives feed gas C1 and produces H1 and U1.
- Separator (S):** Separates H1 into S1 (recycled to R) and H2 (recycled to R). It also receives CO₂ and produces U2.
- Main Process (MP):** A dashed box containing a reactor where H2 and U2 interact to produce H2 and S2.
- Preheaters:**
 - LPC1:** Preheats H2 from the MP using U3 from F1. It produces V1 and V2.
 - LPC2:** Preheats H2 from the HPCC using V2 from LPC1. It produces C2 and C3.
 - LLPC:** Preheats H2 from the HPCC using V3 from LPC1. It produces C4 and CW.
 - LLPD:** Preheats H2 from the MP using V4 from APC. It produces U4 and U3a.
- Other Components:**
 - HPCC:** High-Pressure CO₂ Compressor, receiving H2 from the HPCC and producing S2.
 - SG:** Steam Generator, receiving U1 from R and producing NH₃ for the HPCC.
 - APC:** Ammonia Production Compressor, receiving U3a from the LLPD and producing V4.
 - F1:** Fuel Gas Compressor, receiving CO₂ and producing U3.
 - BEPX:** Biomethane Production Exchanger, receiving H2 from the HPCC.

ФИГ. 2

