

(19)



Евразийское  
патентное  
ведомство

(21) 202491708 (13) A1

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ЕВРАЗИЙСКОЙ ЗАЯВКЕ

(43) Дата публикации заявки  
2024.11.13

(51) Int. Cl. C07C 273/04 (2006.01)  
B01D 5/00 (2006.01)

(22) Дата подачи заявки  
2023.02.21

(54) ПРОИЗВОДСТВО КАРБАМИДА С НИЗКИМ СОДЕРЖАНИЕМ БИУРЕТА

(31) 22157781.0

(72) Изобретатель:

(32) 2022.02.21

Патил Рахул (NL)

(33) EP

(74) Представитель:

(86) PCT/NL2023/050084

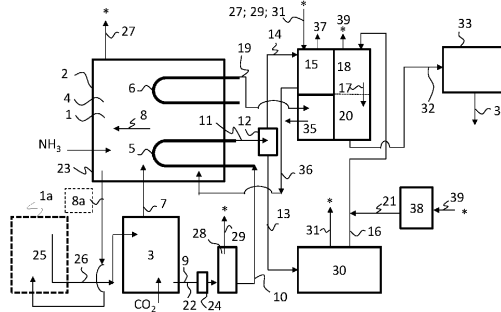
Нилова М.И. (RU)

(87) WO 2023/158314 2023.08.24

(71) Заявитель:

СТАМИКАРБОН Б.В. (NL)

(57) Изобретение относится к способу производства карбамида, причем карбамат в растворе карбамида среднего давления (СД) разлагается в трубном пучке конденсатора карбамата высокого давления (ВД) и полученный газ конденсируется при косвенном теплообмене с раствором карбамида, подлежащим нагреву, и при этом отпариватель высокого давления (ВД) предпочтительно работает с относительно низкой эффективностью отпаривания.



202491708 A1

202491708 A1

# ПРОИЗВОДСТВО КАРБАМИДА С НИЗКИМ СОДЕРЖАНИЕМ БИУРЕТА

## ОБЛАСТЬ ТЕХНИКИ

Данное изобретение относится к области производства карбамида из аммиака и диоксида углерода на установке по производству карбамида, содержащей секцию синтеза  
5 высокого давления.

## УРОВЕНЬ ТЕХНИКИ

Типовые установки по производству карбамида проиллюстрированы в Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry, Chapter Urea, 2010.

10 В US 2015/0119603 описан способ производства карбамида из аммиака и диоксида углерода на установке по производству карбамида, содержащей секцию синтеза высокого давления с горизонтальным конденсатором затопленного типа. Способ включает теплообмен между технологической средой высокого давления, поступающей в секцию кожуха конденсатора затопленного типа, и карбамид-содержащим раствором среднего  
15 давления, поступающим в первую секцию теплообмена, обеспеченную в конденсаторе затопленного типа. Способ дополнительно включает теплообмен между технологической средой высокого давления и паровым конденсатом низкого давления, принимаемым во второй секции теплообмена, обеспеченной в конденсаторе затопленного типа, с получением пара низкого давления.

20 В US 2020/0306663 описан способ производства карбамида, при котором конденсатор карбамата высокого давления используется для восхождения пара (например, в трубном пучке), который используется в вариантах осуществления изобретения для подачи тепла на стадию диссоциации раствора карбамида среднего давления, полученного из отпаривателя, или неотпаренного раствора карбамида из реактора.

25 Производство охлаждающей воды из доступных источников воды, например, из речной воды на предприятиях коммунального обслуживания для заводов по производству карбамида часто включает такие стадии, как флокуляция и кондиционирование (добавление добавок, например, для предотвращения загрязнения и коррозии).

30 Сохраняется потребность в установках по производству карбамида и способах, имеющих хорошую энергетическую эффективность и/или низкое содержание биурета в получаемом карбамиде.

## СУЩНОСТЬ ИЗОБРЕТЕНИЯ

Изобретение относится, в первом аспекте, к способу производства карбамида из аммиака и углекислого газа на установке по производству карбамида, причем установка по производству карбамида содержит секцию синтеза высокого давления (ВД),  
5 содержащую зону реакции, конденсатор карбамата и отпариватель, причем конденсатор карбамата содержит кожухотрубный теплообменник, имеющий межтрубное пространство и первый и второй горизонтальные трубные пучки, причем способ включает:  
конденсацию газа из отпаривателя в межтрубном пространстве с получением, таким образом, карбаматсодержащего потока жидкости высокого давления; расширение  
10 раствора карбамида из указанной секции синтеза до среднего давления (СД) с получением первого раствора карбамида среднего давления (СД), содержащего карбамат; нагрев указанного первого раствора карбамида СД в указанном первом трубном пучке, и, таким образом, разложение указанного карбамата, содержащегося в указанном первом растворе карбамида СД; подвергание потока флюида, выходящего из указанного первого трубного  
15 пучка, газожидкостному разделению с получением второго раствора карбамида среднего давления (СД) и потока газа среднего давления (СД); конденсацию указанного потока газа СД при среднем давлении в первом отсеке конденсации с образованием, таким образом, карбамата, и нагрев, посредством непрямого теплообменного контакта, раствора карбамида, подлежащего нагреву, с получением нагретого раствора карбамида, на первой  
20 ступени выпаривания; и восхождение пара в указанном втором трубном пучке, предпочтительно с использованием указанного пара для дальнейшего нагрева посредством непрямого теплообмена указанного нагретого раствора карбамида, на второй ступени выпаривания.

Изобретение также относится к установке по производству карбамида,  
25 содержащей: секцию синтеза высокого давления (ВД), содержащую зону реакции, конденсатор карбамата и отпариватель, причем конденсатор карбамата содержит кожухотрубный теплообменник, содержащий межтрубное пространство и первый и второй горизонтальные трубные пучки, причем отпариватель имеет выпускное отверстие газа, соединенное с впускным отверстием в указанное межтрубное пространство;  
30 расширительное устройство для расширения раствора карбамида из указанной секции синтеза до среднего давления (СД) с получением первого раствора карбамида среднего давления (СД); причем первый трубный пучок выполнен с возможностью нагрева указанного первого раствора карбамида СД и, таким образом, разложения карбамата,

содержащегося в указанном первом растворе карбамида СД; блок газожидкостного разделения, соединенный с выходом из указанного первого трубного пучка и имеющий выход для второго раствора карбамида среднего давления (СД) и выход для потока газа среднего давления (СД); первый отсек конденсации для конденсации указанного потока  
5 газа СД; первую ступень выпаривания для нагрева раствора карбамида, подлежащего нагреву, посредством непрямого теплообменного контакта с указанным первым отсеком конденсации с получением нагретого раствора карбамида; и вторую ступень выпаривания для дальнейшего нагрева нагретого раствора карбамида, предпочтительно посредством непрямого теплообменного контакта с паром из второго трубного пучка.

10 Изобретение также относится к способу модификации существующей установки по производству карбамида, причем существующая установка по производству карбамида содержит: секцию синтеза высокого давления (ВД), содержащую зону реакции, конденсатор карбамата и отпариватель, причем конденсатор карбамата содержит кожухотрубный теплообменник, содержащий межтрубное пространство и первый и  
15 второй горизонтальные трубные пучки, причем отпариватель имеет выпускное отверстие газа, соединенное с впускным отверстием в указанное межтрубное пространство; расширительное устройство для расширения раствора карбамида из указанной секции синтеза до среднего давления (СД) с получением первого раствора карбамида среднего давления (СД); причем первый трубный пучок выполнен с возможностью нагрева  
20 указанного первого раствора карбамида СД и, таким образом, разложения карбамата, содержащегося в указанном первом растворе карбамида СД; блок газожидкостного разделения, соединенный с выходом из указанного первого трубного пучка и имеющий выход для второго раствора карбамида среднего давления (СД) и выход для потока газа среднего давления (СД); первый отсек конденсации для конденсации указанного потока  
25 газа СД; первую ступень выпаривания для нагрева раствора карбамида, подлежащего нагреву, посредством непрямого теплообменного контакта с указанным первым отсеком конденсации с получением нагретого раствора карбамида; предпочтительно, вторую ступень выпаривания для дальнейшего нагрева нагретого раствора карбамида посредством непрямого теплообменного контакта с паром из второго трубного пучка;  
30 причем способ включает: добавление к установке линии подачи для добавления водного потока в раствор карбамида, подлежащий нагреву, до или на первой ступени выпаривания.

## КРАТКОЕ ОПИСАНИЕ ГРАФИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ

На Фиг. 1 схематически проиллюстрирован типовой процесс производства карбамида и установка в соответствии с изобретением.

- 5 На Фиг. 2 схематически проиллюстрирован типовой процесс производства карбамида и установка в соответствии с изобретением.

Любые варианты осуществления, проиллюстрированные на фигурах, являются только примерами и не ограничивают изобретение.

## 10 ПОДРОБНОЕ ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ

Способ производства карбамида осуществляют на установке по производству карбамида. Установка по производству карбамида содержит секцию синтеза высокого давления (ВД). Секция синтеза ВД содержит зону реакции, конденсатор карбамата и отпариватель, все работающие при давлении в диапазоне высокого давления (ВД).

- 15 Отпариватель высокого давления (ВД), как правило, предлагается в виде вертикального кожухотрубного теплообменника, выполненного с возможностью приема раствора карбамида в трубки сверху и имеющий выпускное отверстие газа сверху и выпускное отверстие для отпаренного раствора карбамида снизу, и выполнен с возможностью приема теплоносителя, например, пара, в кожух. Предпочтительно, отпариватель ВД представляет собой отпариватель  $\text{CO}_2$  высокого давления (ВД),
- 20 имеющий впускное отверстие для  $\text{CO}_2$ , используемого в качестве продувочного газа в трубках, снизу.

- В предпочтительном варианте осуществления изобретения с отпаривателем  $\text{CO}_2$  ВД, соотношение N/C раствора карбамида на выходе из зоны реакции (или реактора)
- 25 составляет, например, 2,8–3,8, например, 2,9–3,2, предпочтительно с давлением синтеза в диапазоне 140–150 бар в секции синтеза, причем зона реакции (например, реактор), конденсатор и отпариватель предпочтительно образуют по существу изобарическую петлю.

- Относительно низкое соотношение N/C на выходе из зоны реакции и
- 30 предпочтительное отпаривание  $\text{CO}_2$  ВД способствуют предпочтительному возврату на повторную переработку карбамата из конденсатора карбамата среднего давления (СД) в секцию синтеза ВД без отдельного возврата на повторную переработку  $\text{NH}_3$ .

В предпочтительном варианте осуществления изобретения отпариватель ВД представляет собой кожухотрубный теплообменник, причем по меньшей мере некоторые части отпаривателя ВД, которые находятся в контакте с раствором карбамида в процессе работы (смачиваемые части) изготовлены из дуплексной ферритно-аустенитной нержавеющей стали, и предпочтительно все смачиваемые части изготовлены из дуплексной ферритно-аустенитной нержавеющей стали. Подходящая дуплексная нержавеющая сталь для смачиваемых частей отпаривателя ВД включает, например, супердуплексную сталь под названием сталь Safurex® и имеющую состав 29Cr-6,5Ni-2Mo-N, которая также обозначается как UNS S32906. В частности, дуплексная сталь для смачиваемых частей отпаривателя ВД имеет, например, данный состав (мас. %): С: макс. 0,05, Si: макс. 0,8; Mn: 0,3–4,0; Cr: 28–35; Ni: 3–10; Mo: 1,0–4,0; N: 0,2—0,6; Cu: макс. 1,0; W: макс. 2,0; S: макс. 0,010; Се: 0–0,2; остальное Fe и обычно встречающиеся примеси (состав 1). Предпочтительно, содержание феррита составляет 30–70 об. % и более предпочтительно 30–55 %. Более предпочтительно, сталь содержит (мас. %): С макс. 0,02, Si макс. 0,5, Cr 29–33, Mo от 1,0 до 2,0, N от 0,36 до 0,55, Mn от 0,3 до 1,0, остальное Fe и (неустраняемые) примеси; все в мас. %, как описано в публикации WO 95/000674, включенной в данный документ посредством ссылки.

Более предпочтительно, дуплексная нержавеющая сталь, которая необязательно используется, в частности, для трубок отпаривателя, имеет данный состав, в мас. %: С макс. 0,030; Si макс. 0,8; Mn макс. 2,0; Cr от 29,0 до 31,0; Ni от 5,0 до 9,0; Mo менее 4,0; W менее 4,0; N от 0,25 до 0,45; Cu макс. 2,0; S макс. 0,02; P макс. 0,03; остальное Fe и неизбежно возникающие примеси; и при этом содержание Mo+W более 3,0, но менее 5,0 (состав 2); более предпочтительно при этом содержание Mo+W более 3,0, но менее 4,0; с предпочтительными составами стали, как описано в публикации US 2018/0195158 A1, включенной в данный документ посредством ссылки. Предпочтительным образцом дуплексной нержавеющей стали является сталь с обозначением UNS S83071.

В особо предпочтительном варианте осуществления изобретения трубки отпаривателя изготовлены из дуплексной нержавеющей стали состава 2, указанного в данном документе выше, и по меньшей мере некоторые, предпочтительно все, другие смачиваемые части отпаривателя ВД изготовлены из дуплексной нержавеющей стали, предпочтительно из супердуплексной стали, имеющей состав 1, указанный в данном документе выше.

В настоящее время обнаружено, что в предпочтительных вариантах осуществления способа по данному изобретению, где отпариватель ВД работает с предпочтительной эффективностью отпаривания альфа ( $\alpha$ ), составляющей 70 % или менее, более предпочтительно 65 % или менее, более предпочтительно 55–65%, и при этом

5 используется отпариватель ВД, описанный выше, при этом по меньшей мере некоторые детали отпаривателя ВД, которые находятся в контакте с раствором карбамида в процессе работы (смачиваемые детали) изготовлены из дуплексной ферритно-аустенитной нержавеющей стали, более предпочтительно, трубки отпаривателя изготовлены из дуплексной стали, имеющей состав 2, что очень предпочтительно, поскольку позволяет

10 эксплуатировать отпариватель ВД с ожидаемым сроком службы по меньшей мере 20 лет даже в условиях отсутствия кислорода. В контексте данного документа, условия отсутствия кислорода, в частности, указывают на то, что пассивирующий кислород не добавляют, более конкретно, кислород не добавляют намеренно ни в один из потоков исходного  $\text{NH}_3$  и исходного  $\text{CO}_2$  в секцию синтеза ВД. Избежание пассивации кислородом

15 обеспечивает преимущества улучшенной безопасности и улучшенной конверсии, и, например, предпочтительно, может быть исключен реактор извлечения водорода для исходного потока  $\text{CO}_2$ .

Конденсатор карбамата ВД используется для конденсации потока газа из отпаривателя, содержащего  $\text{NH}_3$  и  $\text{CO}_2$ , посредством конденсации карбамата. Конденсатор

20 карбамата предпочтительно представляет собой горизонтальный конденсатор затопленного типа.

Конденсатор карбамата представляет собой горизонтальный конденсатор карбамата и является кожухотрубным теплообменником. Важно отметить, что конденсатор карбамата содержит первый и второй трубные пучки. Кроме того,

25 конденсатор карбамата содержит межтрубное пространство между трубками и кожухом. Трубные пучки являются горизонтальными и представляют собой, например, U-образные трубные пучки с горизонтальными трубными отводами. Межтрубное пространство имеет впускное отверстие для газа из отпаривателя, подлежащего конденсации, с образованием, таким образом, карбамата. Такой конденсатор карбамата может упоминаться, как

30 конденсатор затопленного типа, в частности, как горизонтальный конденсатор затопленного типа.

Реакция конденсации карбамата в межтрубном пространстве является экзотермической. При работе конденсатора трубные пучки погружены в жидкость,

находящуюся в межтрубном пространстве. Время пребывания жидкости в межтрубном пространстве может позволить реакции образования карбамида происходить уже, по меньшей мере частично, в межтрубном пространстве.

5 Как правило, горизонтальный конденсатор карбамата содержит распылитель, расположенный в межтрубном пространстве, для распределения газа из отпаривателя в межтрубном пространстве. Распылитель пролегает, например, горизонтально над дном межтрубного пространства для горизонтального распределения газа. Предпочтительно, по меньшей мере часть распылителя расположена ниже трубных пучков.

10 В предпочтительном варианте осуществления изобретения конденсатор карбамата с первым и вторым горизонтальными U-образными трубными пучками содержит зону реакции в межтрубном пространстве между кожухом конденсатора и изгибом U-образного трубного пучка. В частности, предпочтительно U-образные горизонтальные трубные пучки пролегают над менее 80 % или менее 70 % горизонтальной длины кожуха, или межтрубного пространства, а оставшаяся часть межтрубного пространства  
15 обеспечивает указанную зону реакции в межтрубном пространстве. Следовательно, конденсатор карбамата и зона реакции обеспечены единственной емкостью, которая может упоминаться, как реактор затопленного типа. Реактор затопленного типа предпочтительно содержит перегородки в корпусе. Предпочтительно, одна из перегородок выполнена в виде переливной перегородки, обеспечивающей разделение газа и жидкости  
20 в межтрубном пространстве. Предпочтительно, межтрубное пространство имеет выпускное отверстие жидкости и отдельно выпускное отверстие для газа. В процессе работы образование карбамида происходит уже в межтрубном пространстве; в частности, зона реакции может обеспечивать достаточное время пребывания жидкости для реакции образования карбамида. Раствор карбамида из межтрубного пространства реактора  
25 затопленного типа подается, например, непосредственно в отпариватель ВД. Предпочтительно, часть распылителя пролегает горизонтально в зоне реакции.

В предпочтительном варианте осуществления изобретения горизонтальный конденсатор затопленного типа содержит кожухотрубный теплообменник, который содержит емкость, которая содержит кожух и по меньшей мере два трубных пучка,  
30 причем кожух включает в себя пространство емкости, причем трубные пучки содержат трубки, имеющие торцы. Трубные пучки обеспечены в пространстве емкости. Межтрубное пространство обеспечено между трубками и кожухом. Межтрубное пространство ограничено кожухом. Предпочтительно, теплообменник дополнительно



содержит перераспределительную камеру, расположенную в указанном пространстве емкости, более предпочтительно в межтрубном пространстве. Перераспределительная камера содержит стенку для отделения первого флюида в межтрубном пространстве от второго флюида внутри перераспределительной камеры. Каждый трубный пучок

5 содержит множество трубок. Предпочтительно, две или более трубок в одном из указанных трубных пучков соединены с одной перераспределительной камерой таким образом, чтобы указанный второй флюид мог протекать между указанными двумя или более трубками трубного пучка и указанной перераспределительной камерой.

Предпочтительно, теплообменник дополнительно содержит канал, проходящий от

10 отверстия для второй текучей среды в указанном кожухе через указанное пространство емкости в указанную перераспределительную камеру. Предпочтительно, канал пролегает через межтрубное пространство. Канал и перераспределительная камера совместно обеспечивают жидкостное сообщение между трубками и отверстием в кожухе. Вторым флюидом может протекать между торцом трубки и указанным отверстием для второго

15 флюида в указанном кожухе через указанную перераспределительную камеру и указанный канал. Предпочтительно, стенка перераспределительной камеры отделена от кожуха. Предпочтительно, перераспределительная камера расположена на расстоянии от кожуха. Предпочтительно, перераспределительные камеры имеют форму коробки.

Предпочтительно, каждая из перераспределительных камер содержит первую стенку,

20 снабженную отверстиями для трубок и противоположную вторую стенку; предпочтительно, как первая, так и вторая стенка находятся снаружи в сообщении по текучей среде с наружной поверхностью трубки.

Предпочтительно, конденсатор содержит, для каждой из указанных трубок, два из указанных каналов, включая впускной канал и выпускной канал, и содержит две из

25 указанных перераспределительных камер, включая впускную перераспределительную камеру для распределения исходного охлаждающего флюида из указанного впускного канала по множеству трубок указанного трубного пучка, и выпускную перераспределительную камеру для объединения нагретого охлаждающего флюида из тех трубок в указанном выпускном канале. Пример такого конденсатора карбамата описан в

30 US 2020/0306663. Конденсатор карбамата ВД, описанный в приведенной публикации, может быть использован в данном изобретении. Конструкция, в частности, имеет преимущества, поскольку первый трубный пучок в процессе эксплуатации содержит в трубках едкий раствор карбамида, содержащий карбамат.

Конденсатор затопленного типа также может содержать кожухотрубный теплообменник, содержащий трубную решетку, содержащую муфты, пролегающие через трубную решетку. Пример описан в US 2015/0086440. Муфты защищают внутреннюю часть трубной решетки, выполненную из углеродистой стали, от воздействия агрессивной технологической среды в трубках.

В некоторых вариантах осуществления изобретения зона реакции частично или полностью выполнена в виде вертикального реактора карбамида, как правило, вертикального реактора карбамида с впускным отверстием для жидкости из межтрубного пространства конденсатора карбамата ВД снизу вертикального реактора, и, как правило, вертикальный реактор карбамида оснащен средствами для отвода раствора карбамида из верхней части реактора, например, выпускным отверстием или сливным стаканом. Реактор, как правило, оснащен тарелками. В некоторых вариантах осуществления изобретения зона реакции оснащена двумя аппаратами, например, частично конденсатором и частично вертикальным реактором карбамида. В других вариантах осуществления изобретения зона реакции полностью оснащена вертикальным реактором карбамида. Также возможен горизонтальный реактор карбамида.

В некоторых вариантах осуществления изобретения установка не содержит вертикальный реактор карбамида, и зона реакции, например, обеспечивается той же емкостью, которая обеспечивает конденсатор карбамата, например, в случае реактора затопленного типа. В некоторых вариантах осуществления изобретения реактор затопленного типа объединен с вертикальным реактором карбамида, расположенным между реактором затопленного типа и отпаривателем; затем вертикальный реактор карбамида получает жидкость из межтрубного пространства реактора затопленного типа. Установка также может содержать два или более реакторов, установленных параллельно. Вертикальный реактор карбамида может содержать одно или более впускных отверстий снизу для исходного  $\text{NH}_3$  и/или  $\text{CO}_2$ .

Первый трубный пучок используется для нагрева раствора карбамида в трубках, который также содержит карбамат. Следовательно, по меньшей мере часть карбамата разлагается на  $\text{NH}_3$  и  $\text{CO}_2$ . Раствор карбамида находится в трубках при среднем давлении и его получают посредством расширения раствора карбамида высокого давления (ВД) из секции синтеза до среднего давления, необязательно, с использованием дальнейших технологических стадий, например, мгновенного испарения, с получением первого раствора карбамида среднего давления (СД). Как правило, первый трубный пучок

выполнен с возможностью нагрева первого раствора карбамида СД и, таким образом, разложения карбамата, содержащегося в первом растворе карбамида СД.

Раствор карбамида из отпаривателя, в частности, из отпаривателя  $\text{CO}_2$  ВД, например, мгновенно испаряют в емкости мгновенного испарения при среднем давлении, например, 20–30 бар, с получением пара, образовавшегося при мгновенном испарении, и раствора карбамида мгновенного испарения. Более предпочтительно, давление при мгновенном испарении составляет 23–28 бар, еще более предпочтительно 25–28 бар.

Пар, образовавшийся при мгновенном испарении, является относительно обогащенным  $\text{CO}_2$  и подается, напрямую или косвенно, в конденсатор карбамата СД, для регулировки (снижения) отношения N/C в конденсаторе. Мгновенное испарение представляет собой адиабатическое расширение раствора карбамида и отделение высвобождаемой жидкости. Емкость мгновенного испарения, например, имеет впускное отверстие жидкости и выпускное отверстие газа сверху, и выпускное отверстие жидкости снизу.

Давление мгновенно испаренного раствора карбамида необязательно дополнительно снижают в диапазоне среднего давления и раствор подают в первый трубный пучок в качестве первого раствора карбамида СД. Предпочтительно, давление раствора карбамида мгновенного испарения поддерживают на одном и том же уровне и раствор подают в первый трубный пучок в качестве первого раствора карбамида СД. Стадия мгновенного испарения позволяет направлять только жидкость в первый трубный пучок, таким образом, способствуя хорошему распределению жидкости по трубкам.

Раствор карбамида, подаваемый в первый трубный пучок, необязательно полностью или частично поступает из выпускного отверстия жидкости отпаривателя ВД. Необязательно, весь раствор карбамида из зоны реакции подается в отпариватель ВД. Необязательно, весь отпаренный раствор карбамида подается, после мгновенного испарения, в первый трубный пучок. В типовом варианте осуществления изобретения только отпаренный раствор карбамида, после необязательного мгновенного испарения, подается в первый трубный пучок. В типовом варианте осуществления изобретения весь раствор карбамида на входе в первый трубный пучок поступает из отпаривателя ВД. На выходе из первого трубного пучка получают поток флюида, который подвергается газожидкостному разделению с получением второго раствора карбамида среднего давления (СД) и потока газа среднего давления (СД). Раствор карбамида СД, как правило, расширяется и подается, напрямую или косвенно, в секцию извлечения низкого давления

(НД), в частности, в декомпозиере низкого давления (НД), работающий, например, при 2–8 бар, предпочтительно 4–6 бар.

Предпочтительно, раствор карбамида после газожидкостного разделения при среднем давлении приводят в противоточный контакт с паром отпаренного раствора карбамида из процесса мгновенного испарения. Предпочтительно, раствор карбамида  
5 соответственно подвергают адиабатическому отпариванию среднего давления (СД) указанным паром. Такое приведение в контакт, например, проводимое в виде адиабатического отпаривания СД, помогает снизить соотношение N/C в растворе карбамида, что может быть предпочтительно для конденсации карбамата в секции низкого  
10 давления (НД), в частности, для получения более низкого соотношения N/C в конденсаторе карбамата низкого давления (НД), таким образом, улучшая работу конденсатора карбамата НД. Раствор карбамида расширяют до низкого давления после предпочтительного адиабатического отпаривания СД и затем подают в декомпозиер низкого давления (НД). Приведение в контакт, например, адиабатическое СД  
15 отпаривание, в частности, применимо для предпочтительных вариантов осуществления изобретения, в которых отпариватель ВД работает с предпочтительной относительно низкой эффективностью отпаривания  $\alpha$ . Кроме того, газ после приведения в контакт СД, предпочтительно адиабатического отпаривания СД, конденсируют и возвращают в виде потока карбамата при среднем давлении, таким образом, имеющем относительно более  
20 низкое содержание воды, чем поток карбамата (НД).

В декомпозиере НД раствор карбамида нагревают для удаления большего количества карбамата. Полученный раствор карбамида НД необязательно подвергают мгновенному испарению при атмосферном давлении, расширяют и предпочтительно подают под давлением (ниже атмосферного), как правило, составляющим 0,2–0,5 бар абс.,  
25 предпочтительно 0,25–0,35 бар абс. на первую ступень выпаривания.

Газ из декомпозиера НД, как правило, конденсируется в конденсаторе карбамата НД с образованием раствора карбамата низкого давления (НД). Как правило, поток, содержащий воду, добавляют в конденсатор карбамата НД для получения достаточного количества воды, чтобы избежать кристаллизации карбамата в конденсаторе карбамата  
30 НД.

Поток газа СД, полученный из потока флюида из первого трубного пучка, конденсируют с образованием раствора карбамата среднего давления (СД). Эта реакция является экзотермической и осуществляется в первом отсеке конденсации, то есть при

непрямом теплообменном контакте, т. е. через стенку, с раствором карбамида, подлежащим нагреву, с получением нагретого раствора карбамида. Как правило, этот раствор карбамида, подлежащий нагреву, поступает из декомпозера НД; но другие источники раствора карбамида также возможны, например, в случае установок по  
5 производству карбамида с двумя секциями синтеза ВД, расположенными параллельно. Конденсацию осуществляют при среднем давлении. Раствор карбамата СД возвращается в секцию синтеза ВД.

Газ СД подается в первый отсек конденсации. Отходящий газ из конденсатора карбамата ВД и/или отходящий газ из зоны реакции также может быть конденсирован в  
10 указанном первом отсеке конденсации. Газ, поступающий после мгновенного испарения отпаренного раствора карбамида, также может подаваться, напрямую или косвенно, в указанный первый отсек конденсации. Раствор карбамата из секции извлечения НД также может подаваться напрямую или косвенно в указанный первый отсек конденсации для предотвращения кристаллизации карбамата посредством обеспечения содержания воды в  
15 правильном количестве в растворе карбамата.

Установка содержит, например, конденсатор карбамата СД, который представляет собой кожухотрубный теплообменник с раствором карбамида, подлежащим нагреву, в трубках и с по меньшей мере первым и вторым отсеком конденсации в межтрубном пространстве.

20 Трубки или части трубок, которые находятся в контакте с указанным первым отсеком конденсации, обеспечивают первую ступень выпаривания для выпаривания воды из раствора карбамида. В контексте данного документа, термин «первая ступень выпаривания» не исключает наличия предшествующих блоков выпаривания воды из раствора карбамида, например, между декомпозером НД и первой ступенью выпаривания  
25 может присутствовать аппарат предварительного выпаривания.

В предпочтительных вариантах осуществления изобретения с линией подачи для добавления водного потока в раствор карбамида, подлежащий нагреву, до или на первой ступени выпаривания, указанная линия подачи соединена, в частности, с указанными трубками указанного конденсатора карбамата СД или с линией подачи раствора  
30 карбамида в указанные трубки указанного конденсатора карбамата СД.

Конденсацию в первом отсеке конденсации выполняют, как правило, при температуре 100–125 °С на выходе из межтрубного пространства, предпочтительно

110 °С–120 °С, и/или предпочтительно при 20–30 бар, более предпочтительно при 23–28 бар, еще более предпочтительно 25–28 бар.

Соотношение N/C в потоке жидкого карбамата из первого отсека конденсации предпочтительно находится в диапазоне 2,1–2,5, предпочтительно 2,2–2,4. Следовательно, 5 весьма привлекательно, что конденсация может быть осуществлена в условиях, близких к условиям азеотропа (NH<sub>3</sub>/CO<sub>2</sub>), таким образом, эффективно обеспечивая относительно низкое содержание воды (в виде мас. %), необходимое в растворе карбамата для предотвращения кристаллизации карбамата при давлении и температуре конденсации.

Температура может варьироваться в первом отсеке конденсации, от входа до 10 выхода (например, снизу вверх), например, от 140 °С до 115 °С.

Содержание воды в растворе карбамата, полученном из первого отсека конденсации, как правило, составляет 18–24 мас. %, предпочтительно 18–21 мас. %, более предпочтительно 19,0 мас. % или менее, например, при температуре на выходе из межтрубного пространства 110–120 °С.

15 Предпочтительно, чтобы установка не содержала специального конденсатора NH<sub>3</sub>. Весьма привлекательно, что достаточная конденсация потока газа СД может быть получена в первом отсеке конденсации, таким образом, можно избежать необходимости использования дополнительного конденсатора карбамата СД. Из-за выпаривания воды из раствора карбамида на первой ступени выпаривания для отвода тепла из первого отсека 20 конденсации, потребление охлаждающей воды может быть преимущественно относительно низким.

Неконденсированный газ из первого отсека конденсации, например, подается, после газожидкостного отделения от раствора карбамата СД, в скруббер среднего давления (СД), где его, например, промывают раствором карбамата из секции извлечения 25 НД. Полученную жидкость могут вернуть в первый отсек конденсации.

Поток газа из скруббера СД является предпочтительно небольшим и подается, например, в абсорбер, в частности, в абсорбер низкого давления (НД).

Раствор карбамата СД из первого отсека конденсации, как правило, возвращают в секцию синтеза ВД с использованием насоса, например, в конденсатор затопленного типа.

30 Конденсацию потока газа СД осуществляют посредством непрямого теплообменного контакта, т. е. через теплообменную стенку, с раствором карбамида, подлежащим нагреву, с получением нагретого раствора карбамида. Раствор карбамида, подлежащий нагреву, присутствует на первой ступени выпаривания. Начальное

содержание водного раствора карбамида составляет, например, 10–35 мас. %. Давление в трубном пространстве составляет, как правило, 0,2–0,50 бар абс., предпочтительно 0,25–0,35 бар абс. Раствор карбамида, как правило, концентрируют посредством указанного нагрева посредством непрямого теплообмена с конденсирующимся потоком газа СД, и  
5 выпаривания полученной в результате воды из раствора карбамида, до концентрации по меньшей мере 90 мас. % (карбамида + биурета), или по меньшей мере 92 мас. % (карбамида + биурета), и, например, менее 96 мас. % карбамид (включая биурет). Следовательно, как правило, такие концентрации карбамида достигаются в конце первой ступени выпаривания. Раствор карбамида с первой ступени выпаривания также может  
10 упоминаться как расплав карбамида.

Как правило, первый отсек конденсации и первая ступень выпаривания выполнены с возможностью противотока по обе стороны теплообменной стенки, например, с падающей пленкой на ступени выпаривания и восходящим потоком в отсеке конденсации.

Раствор карбамида, как правило, концентрируют на первой ступени выпаривания  
15 до максимального содержания карбамида, достигаемого посредством непрямого теплообмена с первым отсеком конденсации, который имеет температуру конденсации, при этом сохраняя достаточную разницу температур на теплообменной стенке.

Раствор карбамида, подлежащий нагреву, например, имеет по меньшей мере 60 мас. % (карбамида + биурета) на входе первой ступени выпаривания, например, в  
20 диапазоне 65–75 мас. % (карбамида + биурета).

Раствор карбамида, например, подвергают мгновенному испарению при давлении ниже атмосферного перед первой стадией выпаривания для извлечения  $\text{NH}_3$ . Резервуар раствора карбамида может присутствовать между декомпозером НД и первой стадией выпаривания, как правило, после мгновенного испарения при давлении ниже  
25 атмосферного.

Второй трубный пучок горизонтального конденсатора затопленного типа используется для восхождения пара, как правило, пара НД под давлением в диапазоне 3,5–8,5 бар, как правило, например, 4–5 бар.

Этот пар НД предпочтительно используется, по меньшей мере частично, для  
30 дальнейшего нагрева нагретого раствора карбамида на второй ступени выпаривания; предпочтительно посредством подачи пара во второй отсек конденсации при непрямом теплообменном контакте со второй ступенью выпаривания, т. е. через теплообменную стенку, например, стенки трубок.

Предпочтительно, часть, не весь, пар НД, который поднимается по второму трубному пучку, подается в и/или конденсируется во втором отсеке конденсации, например, 1–20 мас. % пара НД, например, 1–10 мас. % пара НД или, например, 5–15 мас. % пара НД; более предпочтительно в комбинации с третьей стадией выпаривания с использованием пара СД. Пар СД, например, извлекается из компрессора CO<sub>2</sub> ВД.

Оставшаяся часть пара НД из второго трубного пучка, например, по меньшей мере 80 мас. % этого пара, может быть использована, например, для блоков, потребляющих пар НД, например, эжекторов, декомпозиера НД, секции обработки сточных вод и парового обогрева трубопроводов.

10 Предпочтительно, трубки данного теплообменника имеют вход сверху для раствора карбамида, и предпочтительно первый отсек конденсации расположен над вторым отсеком конденсации.

Предпочтительно, не прямой теплообмен с паром, в частности, конденсирующимся паром, обеспечивает увеличение содержания карбамида (включая биурет) в нагретом растворе карбамида по меньшей мере на 1,0 мас. % (процентный пункт), например, от 15 94 мас. % до по меньшей мере 96 мас. % карбамида (включая биурет), посредством выпаривания воды. Увеличение содержания карбамида достигается на второй ступени выпаривания. Предпочтительно, содержание карбамида (включая биурет) увеличивается на макс. 5,0 мас. % (процентных пунктов) на второй ступени выпаривания, или макс. 20 2,0 мас. %, например, от 95 мас. % до 96 мас. %. Предпочтительно только относительно небольшую часть пара НД из второго трубного пучка, например, 1,0–20 мас. %, конденсируют во втором отсеке конденсации, или 1,0–10 мас. %, или даже 1,0–5 мас. % данного пара НД, для лучшего контроля содержания карбамида в расплаве карбамида со второй ступени выпаривания. Следовательно, вторая ступень выпаривания используется 25 для управления процессом с целью компенсации колебаний конденсации газа в первом отсеке конденсации. Неожиданно обнаружили, что комбинация первой и второй ступеней выпаривания вместе с предпочтительной относительно низкой эффективностью отпаривания в отпаривателе ВД, например, менее 70 %, или, например, 55 %–65 %, или, например, 60 %–65 %, обеспечивает достаточное количество пара НД, доступное для 30 потребляющего пар НД оборудования, например, эжекторов, декомпозиера НД, секции обработки сточных вод и парового обогрева трубопроводов, и при получении преимущественно высокого и контролируемого содержания карбамида в расплаве карбамида (например, выше 95 мас. % карбамида включая биурет), даже если только 1,0–



20 мас. % пара НД из второго трубного пучка конденсируется во втором отсеке конденсации.

Особенно в комбинации с предпочтительной следующей третьей стадией выпаривания с использованием, например, пара СД, предпочтительно только  
5 относительно небольшая часть пара НД из второго трубного пучка, например, 1,0–20 мас. %, конденсируется во втором отсеке конденсации, или 1,0–10 мас. %, или даже 1,0–5 мас. %, особенно в комбинации с предпочтительной следующей третьей стадией выпаривания с использованием пара СД. Неожиданно обнаружили, что комбинация  
10 первой, второй, и третьей ступеней выпаривания и относительно низкая эффективность отпаривания в отпаривателе ВД, например, менее 70 мас. %, или 55 %–65%, или, например, 60 %–65 %, позволяет иметь достаточное количество пара НД для такого оборудования, как эжекторы, декомпозиер НД, секции очистки сточных вод и парового обогрева трубопроводов, и при этом предпочтительно получать очень высокое  
15 содержание карбамида в расплаве карбамида (более 99 мас. % карбамида включая биурет) на третьей ступени выпаривания.

Раствор карбамида (расплав) на выходе со второй ступени выпаривания, например, имеет концентрацию менее 98 мас. % карбамида (включая биурет).

Температура во втором отсеке конденсации составляет, например, по меньшей мере 135 °С, например, 135–160 °С, а температура на второй ступени выпаривания  
20 составляет, например, по меньшей мере 130 °С, например, 130–140 °С или 130–135 °С.

Максимальная температура во втором отсеке конденсации, например, по меньшей мере на 5 °С выше или по меньшей мере на 10 °С выше, чем максимальная температура в первом отсеке конденсации.

Раствор карбамида предпочтительно имеет одинаковое давление на первой и на  
25 второй ступенях выпаривания. Первая и вторая ступени выпаривания могут быть обеспечены в единственном кожухотрубном теплообменнике, имеющем трубный пучок и разделенный кожух с первым отсеком конденсации в межтрубном пространстве на входе в трубки и вторым отсеком конденсации в межтрубном пространстве на выходе из трубок. Соответственно, в некоторых вариантах осуществления изобретения первая и вторая  
30 ступени выпаривания обеспечиваются двумя зонами трубок трубных пучков, причем эти зоны не разделены в трубном пространстве, а определяются различными теплоносителями в межтрубном пространстве. Первая и вторая ступени выпаривания могут быть также обеспечены двумя отдельными теплообменниками.

В некоторых вариантах осуществления изобретения раствор карбамида (например, расплав карбамида) со второй ступени выпаривания имеет содержание карбамида (включая биурет) по меньшей мере 96,0 мас. % и, следовательно, может быть использован в блоке грануляции без необходимости дальнейшего увеличения содержания карбамида, например, в блоке грануляции с форсунками с пленочным распылением, например, как описано в US 4701353.

В некоторых вариантах осуществления изобретения раствор карбамида (например, расплав карбамида) со второй ступени выпаривания дополнительно концентрируют посредством нагрева при более низком давлении, например, менее 0,30 бар абс. или менее 0,10 бар абс., например, до концентрации карбамида по меньшей мере 97,0 мас. % или по меньшей мере 99,0 мас. % карбамида (включая биурет), например, до 99,7 мас. % карбамида (включая биурет) и полученный расплав карбамида, например, подается в грануляционную башню, блок пастиллиции или гранулятор. Нагрев при предпочтительном давлении менее 0,10 бар абс. осуществляют, например, на третьей ступени выпаривания, которая представляет собой, например, кожухотрубный теплообменник.

Предпочтительно, расплав карбамида на входе третьей ступени выпаривания имеет концентрацию карбамида менее 98 мас. % или менее 97 мас. % (включая биурет). Предпочтительно, третья ступень выпаривания обеспечивает увеличение содержания карбамида по меньшей мере на 1,0 мас. % (процентный пункт), и/или по меньшей мере до 98,5% или выше 99,0 мас. % карбамида (включая биурет). Третья ступень выпаривания предпочтительно представляет собой кожухотрубный теплообменник, в котором используется пар в качестве теплоносителя, более предпочтительно пар СД, имеющий давление 5–10 бар, например, 8–10 бар. Следовательно, на третьей ступени выпаривания используется, как правило, теплоноситель, отличный от того, который используется на второй ступени выпаривания. Третья ступень выпаривания работает при более низком давлении, для расплава карбамида, чем давление на второй ступени выпаривания.

В варианте осуществления изобретения на третьей ступени выпаривания используется пар СД, например, 8–9 бар абс., что обеспечивает получение расплава карбамида с содержанием карбамида по меньшей мере 98,5 мас. %, включая биурет, например, с содержанием воды менее 1,5 мас. %. Испаритель третьей ступени работает, например, при температуре выше 135 °С, например, при около 140 °С, и/или под давлением менее 15 кПа, например, 1–5 кПа или 5–15 кПа расплава карбамида. Давление

от 1 до 5 кПа, например, используется для получения расплава карбамида, с, например, по меньшей мере 99,5 мас. % карбамида, включая биурет, и/или, например, менее 0,5 мас. % влаги, который подходит, например, для грануляции и пастилляции. Давление от 10 до 15 кПа, например, используется для получения расплава карбамида с содержанием влаги, например, от 1,0 до 3 мас. %, подходящего, например, для грануляции в псевдооживленном слое.

Вследствие низкого содержания воды в полученном растворе карбамида (со второй ступени выпаривания или необязательной третьей ступени выпаривания), раствор карбамида, например, подается в блок грануляции, предпочтительно в блок грануляции в псевдооживленном слое. Раствор карбамида, полученный из трубок, в частности, со второй ступени выпаривания, может упоминаться, как расплав карбамида.

Пар, который высвобождается в трубках (первой и второй ступеней выпаривания) содержит, главным образом,  $H_2O$  и  $NH_3$ , и его отделяют от раствора карбамида и, как правило, конденсируют в виде аммиачной воды, как правило, в вакуумном конденсаторе. Полученную аммиачную воду, например, используют частично в качестве абсорбента в абсорбере, в частности, в абсорбере НД. Аммиачная вода может быть добавлена частично в раствор карбамида, подлежащий нагреву до или внутри первой ступени выпаривания.

Аммиачная вода содержит, например, от 2 до 10 мас. %  $NH_3$ , например, от 4 до 7 мас. %  $NH_3$ , и содержит по меньшей мере 90 мас. %  $H_2O$ .

Конденсатор карбамата ВД содержит первый и второй горизонтальный трубные пучки, предпочтительно как первый, так и второй трубный пучок являются U-образными трубными пучками. Каждый из трубных пучков имеет горизонтальные отводы. В некоторых вариантах осуществления изобретения первый трубный пучок расположен вертикально над вторым трубным пучком. В некоторых вариантах осуществления изобретения второй трубный пучок (для восхождения пара) расположен вертикально над первым трубным пучком (для нагрева раствора карбамида СД).

В типовом варианте осуществления изобретения конденсатор карбамата ВД содержит два U-образных трубных пучка, расположенных, снизу вверх, в компоновке АВВА, ВААВ, ААВВ, или ВВАА, где А — прямые отводы первого трубного пучка (при работе с раствором карбамида в трубках), а В — прямые отводы второго трубного пучка. В случае АВВА, первый трубный пучок обвит вокруг второго трубного пучка, что является предпочтительным. В случае ВВАА, первый трубный пучок расположен над вторым трубным пучком. Компоновка АВВА является предпочтительной, поскольку

большой изгиб первого трубного пучка, который в процессе работы принимает раствор карбамида, позволяет легче производить очистку внутренних поверхностей трубок в случае их загрязнения.

Отпариватель ВД предпочтительно работает с эффективностью отпаривания (альфа;  $\alpha$ ), составляющей 70 % или менее, например, 58–70 %; предпочтительно макс. 65 %  
5 (альфа;  $\alpha$ ), составляющей 70 % или менее, например, 58–70 %; предпочтительно макс. 65 %, например, 55 %–65 %, или, например, 60 %–65 %, например, около 61 %. Эффективность отпаривания выше 70 % также возможна, но является менее предпочтительной.

Специалист в данной области техники понимает, что «эффективность отпаривания»  
10 отпаривания» относится к чистоте карбамида на выходе жидкости из отпаривателя, а не к энергоэффективности отпаривателя.

Эффективность отпаривания показывает количество аммиака, преобразованного в карбамид (и биурет), деленное на общее количество аммиака, как правило, измеренное на выходе жидкости из отпаривателя. Это определение эквивалентно определению  
15 конверсии  $\text{NH}_3$ , основанному на выходе из отпаривателя.

Отпаривание под высоким давлением с относительно низкой эффективностью отпаривания (например,  $\alpha$  менее 75%) требует значительно менее тепла, т. е. предпочтительно обеспечивает гораздо более низкий расход пара в отпаривателе ВД. Отпариватель ВД, как правило, имеет впускное отверстие для пара в межтрубном  
20 пространстве, например, для пара СД, например, по меньшей мере 20 бар. Пар может быть получен из компрессора  $\text{CO}_2$  высокого давления (ВД) на установке по производству карбамида, но также может поставляться предприятием коммунального обслуживания.

Кроме того, отпаривание высокого давления включает более низкие температуры раствора карбамида с предпочтительной более низкой эффективностью отпаривания и это  
25 снижает гидролиз карбамида в отпаривателе по сравнению с отпариванием с более высокой эффективностью отпаривания. Сниженный гидролиз эффективно обеспечивает увеличение конверсии или по меньшей мере увеличение выхода карбамида.

Соответственно, поток исходного ( $\text{CO}_2$  и  $\text{NH}_3$ , в кг/ч) может быть уменьшен (при том же производстве карбамида в кг/ч), что обеспечивает более длительное время пребывания в  
30 зоне реакции (при фиксированном размере оборудования для зоны реакции). Это дополнительно увеличивает конверсию карбамида (или выход карбамида). В типовом варианте осуществления изобретения в общей сложности может быть достигнуто увеличение производительности по карбамиду на от около 7 % до около 10 % (при

постоянном объеме зоны реакции), или в альтернативном варианте зона реакции может быть на 7 %–10 % менее по объему при той же производительности по карбамиду. Зона реакции часто предлагается в виде реактора из стали марки «карбамид», которая является дорогим конструкционным материалом.

5 Кроме того, при снижении эффективности отпаривания снижается теплообменная (конденсационная) мощность конденсатора карбамата высокого давления (ККВД). Это может обеспечить, например, меньшую площадь поверхности теплообмена (например, меньший трубный пучок) или, в случае фиксированной площади поверхности теплообмена, увеличение давления пара, который поднимается по ККВД. Однако, что  
10 предпочтительно, в первом трубном пучке все еще может быть достигнута достаточная диссоциация среднего давления, а уровень карбамата в растворе карбамида на выходе из первого трубного пучка является достаточно низким, чтобы обеспечить подачу в секцию извлечения НД, возможно, после адиабатического отпаривания СД.

Предпочтительно, в отпаривателе ВД с технологией отпаривания  $\text{CO}_2$ , температура  
15 в межтрубном пространстве находится в диапазоне 194–200 °С, предпочтительно 195 °С; т. е. эти температуры относятся, в частности, к секции отпаривателя ВД, которая принимает пар в качестве теплоносителя.

Более низкая эффективность отпаривания также предпочтительно обеспечивает снижение образования биурета в отпаривателе, в частности, при содержании биурета на  
20 0,05–0,1 мас. % менее в расчете на мас. % готового карбамидного продукта; например, с 0,65–0,85 мас. % биурета в готовом карбамидном продукте.

Более низкая эффективность отпаривания приводит к большему количеству возвратного карбамата после отпаривателя ВД, но значительная часть этого карбамата преимущественно разлагается при среднем давлении в первом трубном пучке и  
25 конденсируется в секции СД в теплообменном контакте с раствором карбамида, подлежащим нагреву, таким образом, полученный раствор карбамата СД может иметь относительно более низкую долю воды (мас. %); и эта конденсация СД также способствует предпочтительной высокой степени испарения воды из раствора карбамида на первой ступени выпаривания.

30 Предпочтительно, воды, содержащейся в растворе карбамата НД, подаваемом в первый отсек конденсации, достаточно для предотвращения кристаллизации карбамата в первом отсеке конденсации.

Предпочтительно, соотношение Н/С на выходе из зоны реакции составляет, например, макс. 0,60, или макс. 0,55, или макс. 0,50, и, например, находится в диапазоне 0,40–0,50.

Предпочтительно, в раствор карбамида, подлежащий нагреву, добавляют водный  
5 поток, причем указанный водный поток добавляют до или внутри первой ступени  
выпаривания; более предпочтительно, до первой ступени выпаривания. Водный поток  
содержит, например, по меньшей мере 90 мас. %  $H_2O$  и, например, 3–10 мас. %  $NH_3$  и  
представляет собой, например, аммиачную воду. Предпочтительно, водный поток  
добавляют в количестве, обеспечивающем уменьшение содержания карбамида (включая  
10 биурет) на по меньшей мере 2,0 процентных пункта по массе, например, от 72 мас. %  
(карбамид + биурет) до 70 мас. % (карбамид + биурет), относительно содержания  
карбамида (включая биурет) на входе первой ступени выпаривания. Как правило,  
снижение составляет менее 10 процентных пунктов по массе. Например, количество  
добавляемой воды составляет по меньшей мере 5 мас. % от количества воды, которая уже  
15 присутствует в растворе карбамида. Предпочтительно, количество добавляемой воды  
составляет по меньшей мере 1,0 мас. % раствора карбамида, подлежащего нагреву, и/или  
предпочтительно макс. 10 мас. % раствора карбамида, подлежащего нагреву.

Как это ни странно, было обнаружено, что добавление воды в раствор карбамида,  
который подается на ступень выпаривания, которая используется для выпаривания воды,  
20 обеспечивает предпочтительные результаты, в частности, в комбинации с  
предпочтительной более низкой эффективностью отпаривания отпаривателя ВД. Более  
низкая эффективность отпаривания обеспечивает большее количество карбамата в  
отпаренном растворе карбамида и, следовательно, большее количество карбамата будет  
конденсироваться в первом отсеке конденсации. Первый отсек конденсации работает при  
25 точке конденсации, т. е. фиксированной температуре для заданного давления и состава;  
при этом среднее давление способствует достаточному разложению карбамата в первом  
трубном пучке. С другой стороны, раствор карбамида, подлежащий нагреву, как правило,  
поступает из секции извлечения НД, поэтому он имеет заданное количество и состав.  
Кроме того, между обеими сторонами теплообменной стенки между первым отсеком  
30 конденсации и первой ступенью выпаривания должна поддерживаться достаточная  
разница температур, чтобы обеспечить теплообмен. Добавленная вода весьма  
привлекательно обеспечивает достаточную конденсацию карбамата в первом отсеке  
конденсации с еще более низкой эффективностью отпаривания.

Водный поток поступает, например, из конденсатора в секции выпаривания или, например, из абсорбера.

Водный поток представляет собой, например, аммиачную воду из указанного вакуумного конденсатора. Добавляемый водный поток поступает, например, из абсорбера  
5 НД или абсорбера атмосферного давления. Абсорбер атмосферного давления может принимать пары, например, из паровых эжекторов и вакуумных конденсаторов, или, например, неконденсированный газ из конденсатора карбамата НД. Абсорбер НД может принимать пар, например, из первого отсека конденсации. Абсорбер, например, используется для приведения в контакт пара с водой (например, очищенным  
10 технологическим конденсатом из секции ОСВ).

Содержание воды в растворе карбамида увеличивается перед секцией выпаривания в этом предпочтительном варианте осуществления изобретения, что весьма привлекательно гарантирует, что достаточное количество газа СД может быть конденсировано посредством теплообмена с раствором карбамида, особенно с учетом  
15 относительно низкой эффективности отпаривания в отпаривателе ВД и относительно высокой температурой конденсации газа СД. Это обеспечивает повышенную гибкость, в частности, для адаптации к изменениям эффективности отпаривания в отпаривателе ВД, без необходимости внесения каких-либо структурных изменений в конденсатор карбамата ВД и без риска нарушения образования пара НД во втором трубном пучке.

В предпочтительных вариантах осуществления изобретения, в которых аммиачную воду добавляют в раствор карбамида, включение  $\text{NH}_3$  в добавленную воду может способствовать эффективному подавлению образования биурета в первой секции  
выпаривания и, возможно, также на второй ступени выпаривания. Например, образование биурета на первой ступени выпаривания может быть уменьшено по меньшей мере на 5 %,  
25 например, на 5–15 %, относительно количества биурета, образованного на первой ступени выпаривания без добавления аммиачной воды.

Кроме того, предпочтительно время пребывания раствора карбамида в трубках может быть относительно коротким, что позволяет снизить образование биурета.

Раствор карбамида со второй ступени выпаривания, в частности, расплав  
30 карбамида со второй ступени выпаривания, предпочтительно подается, напрямую или косвенно, в секцию окончательной обработки. Секция окончательной обработки приспособлена для отверждения расплава карбамида с получением твердого карбамидного продукта. Секция окончательной обработки представляет собой, например,

блок грануляции или грануляционную башню. Блок грануляции представляет собой, например, блок грануляции в псевдооживленном слое и имеет, например, форсунки с пленочным распылением. Соответственно, третья ступень выпаривания предлагается между второй ступенью выпаривания и секцией окончательной обработки.

5 Пар, полученный из первой и второй ступеней выпаривания, в частности, водяной пар, как правило, конденсируется в вакуумном конденсаторе с образованием водного конденсата. Водный конденсат, который содержит некоторое количество  $\text{NH}_3$  и карбамид, например, частично или полностью подается в секцию очистки сточных вод (ОСВ). Секция ОСВ предпочтительно содержит блок гидролиза и десорбер для получения  
10 очищенного технологического конденсата. Очищенный технологический конденсат подается, например, по меньшей мере частично, в абсорбер НД или абсорбер атмосферного давления. Обработка воды в ОСВ является энергоемкой.

В данном изобретении, предпочтительно по меньшей мере часть водного конденсата используется в качестве аммиачной воды, которую добавляют в раствор  
15 карбамида, который подается в первую секцию выпаривания. Следовательно, предпочтительно нагрузка на ОСВ является более низкой по сравнению с другими источниками воды, например, очищенным технологическим конденсатом или паровым конденсатом. Весьма привлекательно, что присутствие  $\text{NH}_3$  и возможное присутствие карбамида в водном конденсате не являются проблемой, если конденсат добавляют в  
20 раствор карбамида.

Изобретение также относится к установке по производству карбамида. Установка предпочтительно является пригодной для осуществления заявленного способа  
производства карбамида. Установка содержит секцию синтеза высокого давления (ВД). Секция ВД содержит зону реакции, конденсатор карбамата и отпариватель. Зона реакции  
25 представляет собой, например, вертикальный реактор карбамида или часть объединенной емкости. Зона реакции может быть обеспечена одним или более блоками, соединенными последовательно и/или параллельно. Конденсатор карбамата содержит кожухотрубный теплообменник, который содержит межтрубное пространство и первый и второй  
горизонтальные трубные пучки. Отпариватель имеет выпускное отверстие газа,  
30 соединенное с входом в указанное межтрубное пространство конденсатора карбамата ВД. Установка также содержит расширительное устройство для расширения раствора карбамида из указанной секции синтеза до среднего давления (СД) с получением первого



раствора карбамида СД. Установка предпочтительно содержит емкость мгновенного испарения для адиабатического мгновенного испарения первого раствора карбамида СД.

Первый трубный пучок выполнен с возможностью нагрева указанного первого раствора карбамида СД и, таким образом, разложения карбамата, содержащегося в  
5 указанном первом растворе карбамида СД. Установка содержит соединение по текучей среде от расширительного устройства до входа в первый трубный пучок. Установка содержит блок газожидкостного разделения, соединенный с выходом из указанного первого трубного пучка. Блок имеет выход для второго раствора карбамида СД и выход для потока газа СД. Установка предпочтительно содержит секцию извлечения НД,  
10 принимающую второй раствор карбамида СД, и предпочтительно содержит адиабатический блок отпаривания СД для отпаривания второго раствора карбамида СД с использованием пара от предпочтительного адиабатического мгновенного испарения.

Установка содержит первый отсек конденсации для конденсации указанного потока газа СД; первую ступень выпаривания для нагрева раствора карбамида,  
15 подлежащего нагреву, посредством непрямого теплообменного контакта с указанным первым отсеком конденсации с получением нагретого раствора карбамида. На установке предпочтительно имеется вторая ступень выпаривания для дальнейшего нагрева нагретого раствора карбамида, более предпочтительно при косвенном теплообменном контакте с паром из второго трубного пучка. Установка предпочтительно содержит линию подачи  
20 раствора карбамида из секции извлечения НД на первую ступень выпаривания.

Заявленная установка по производству карбамида содержит линию подачи для добавление водного потока в раствор карбамида, подлежащий нагреву, с добавлением  
указанного водного потока до или на первой ступени выпаривания. Следовательно, водный поток добавляют в раствор карбамида, подлежащий нагреву, в частности, в  
25 раствор карбамида, подлежащий нагреву на первой ступени выпаривания. Следовательно, линия подачи позволяет объединить раствор карбамида с водным потоком в точке, расположенной до первой ступени выпаривания, или на первой ступени выпаривания. Раствор карбамида, подлежащий нагреву, как правило, представляет собой раствор карбамида из секции извлечения НД.

30 Линия подачи предпочтительно расположена до первой ступени выпаривания, например, соединена с линией подачи раствора карбамида из секции извлечения НД на входе первой ступени выпаривания, и более предпочтительно после мгновенного испарения атмосферного давления, если таковое имеется, между секцией извлечения НД и

первой ступенью выпаривания. Линия подачи представляет собой линию подачи жидкости. Линия подачи предпочтительно соединена с трубками (трубным пространством) предпочтительно используемого кожухотрубного конденсатора карбамата СД; указанные трубки обеспечивают первую ступень выпаривания.

- 5 Линия подачи соединена с блоком, обеспечивающим водный поток, более предпочтительно указанный водный поток обеспечен по меньшей мере частично указанной аммиачной водой. В варианте осуществления изобретения установка содержит абсорбер, имеющий выпускное отверстие жидкости, соединенное с указанной линией подачи. Абсорбер представляет собой, например, абсорбер НД или абсорбер
- 10 атмосферного давления, описанный далее в данном документе. В предпочтительном варианте осуществления изобретения установка содержит вакуумный конденсатор, имеющий выпускное отверстие жидкости, соединенное с указанной линией подачи. Предпочтительно, таким образом, водный конденсат из вакуумного конденсатора не должен подаваться в секцию очистки сточных вод (ОСВ), по меньшей мере для той части
- 15 воды, которая направляется в линию подачи.

Изобретение также относится к способу модификации существующей установки по производству карбамида. Существующая установка по производству карбамида предпочтительно содержит или модифицирована таким образом, чтобы она содержала:

- секцию синтеза высокого давления (ВД), содержащую зону реакции,

20 конденсатор карбамата и отпариватель, причем конденсатор карбамата содержит кожухотрубный теплообменник, содержащий межтрубное пространство и первый и второй горизонтальный трубные пучки, причем отпариватель имеет выпускное отверстие газа, соединенное с впускным отверстием в указанное межтрубное пространство,

- расширительное устройство для расширения раствора карбамида из

25 указанной секции синтеза до среднего давления (СД) с получением первого раствора карбамида СД,

- причем первый трубный пучок выполнен с возможностью нагрева указанного первого раствора карбамида СД и, таким образом, разложением карбамата, содержащегося в указанном первом растворе карбамида СД,

30 - блок газожидкостного разделения, соединенный с выходом из указанного первого трубного пучка и имеющий выход для потока жидкости СД и выход для потока газа СД,

- первый отсек конденсации для конденсации указанного потока газа СД,

- первую ступень выпаривания для нагрева раствора карбамида, подлежащего нагреву, посредством непрямого теплообменного контакта с указанным первым отсеком конденсации с получением нагретого раствора карбамида,

5 - предпочтительно вторую ступень выпаривания для дальнейшего нагрева нагретого раствора карбамида, более предпочтительно посредством непрямого теплообменного контакта с паром из второго трубного пучка.

Способ включает добавление к установке линии подачи для добавления водного потока в раствор карбамида, подлежащий нагреву, выполненную с возможностью добавления указанного водного потока до или на первой ступени выпаривания, 10 предпочтительно до первой ступени выпаривания. В некоторых вариантах осуществления изобретения добавленная линия подачи соединена с выпускным отверстием жидкости из абсорбера. В существующей установке по производству карбамида абсорбер имеет, например, выпускное отверстие жидкости, соединенное с секцией очистки сточных вод (ОСВ). В предпочтительном варианте осуществления изобретения, добавленная линия 15 подачи соединена с выпускным отверстием жидкости вакуумного конденсатора.

Предпочтительно, способом получают установку по производству карбамида в соответствии с изобретением. Все предпочтения для установки по производству карбамида по изобретению также применимы для модифицированной установки.

20 Термин «существующая установка по производству карбамида» используется без предположения, что указанные признаки существующего завода являются частью современного уровня техники, и без признания какого-либо предшествующего уровня техники.

На **Фиг. 1** проиллюстрирована типовая установка и процесс в соответствии с изобретением. Секция синтеза ВД содержит зону реакции (1), конденсатор карбамата ВД (2) и отпариватель ВД (3). Отпариватель ВД предпочтительно представляет собой отпариватель  $\text{CO}_2$  ВД. Как правило, исходный  $\text{CO}_2$  подается в отпариватель  $\text{CO}_2$  ВД. Зона реакции (1), например, состоит из емкости (23), которая также обеспечивает конденсатор карбамата ВД (2). Необязательно, зона реакции (1) обеспечивается частично или 25 полностью необязательным вертикальным реактором (25).

30 Раствор синтеза карбамида (26) из зоны реакции (1) содержит карбамид, воду и карбамат аммония и подается в отпариватель (3). Газ (7) из отпаривателя подается в межтрубное пространство (4) конденсатора карбамата ВД (2) и конденсируется в нем с протеканием экзотермической реакции с образованием раствора карбамата ВД (8),

который подается в виде потока жидкости в зону реакции (1), например, внутри в емкости (23). Конденсатор карбамата ВД (2) представляет собой кожухотрубный теплообменник, содержащий первый трубный пучок (5) и второй трубный пучок (6). Второй трубный пучок (6) проиллюстрирован расположенным над первым трубным пучком (5), но возможны и другие компоновки. Первый трубный пучок (5) принимает в трубках первый раствор карбамида СД (10), который также содержит карбамат. Посредством непрямого теплообмена с конденсацией технологической среды в межтрубном пространстве (4), карбамат в растворе карбамида по меньшей мере частично разлагается с образованием  $\text{CO}_2$  и  $\text{NH}_3$ . Флюид (11) на выходе из первого трубного пучка подвергают газожидкостному разделению (12) с получением потока газа СД (14) и второго раствора карбамида СД (13).

Поток газа СД (14) содержит  $\text{CO}_2$  и  $\text{NH}_3$  и конденсируется в первом отсеке конденсации (15). Первый отсек конденсации (15) находится в непрямом теплообменном контакте, через теплообменную стенку, с раствором карбамида (16), подлежащим нагреву на первой ступени выпаривания (18). Первый отсек конденсации (15) представляет собой, например, отсек в межтрубном пространстве кожухотрубного теплообменника с раствором карбамида (16), подлежащим нагреву в трубках. Предпочтительно, также отходящий газ (27) из конденсатора карбамата ВД (2) подается в первый отсек конденсации (15). Раствор карбамата СД (36) подается из первого отсека конденсации (15) напрямую или косвенно в секцию синтеза ВД, в частности, в межтрубное пространство (4).

Раствор карбамида (9) из секции синтеза расширяют с использованием расширительного устройства, например, расширительного клапана (24), подвергают газожидкостному разделению, например, в блоке адиабатического мгновенного испарения (28), и подают в качестве первого раствора карбамида СД (10) в первый трубный пучок (5) конденсатора карбамата (2). В частности, как правило, отпаренный раствор карбамида (22) из отпаривателя ВД (3) расширяют с использованием расширительного устройства, например, расширительного клапана (24), до среднего давления и подвергают газожидкостному разделению, например, в блоке адиабатического мгновенного испарения (28). Пар (29), образовавшийся при мгновенном испарении, обогащенный  $\text{CO}_2$ , в частности, при адиабатическом мгновенном испарении раствора карбамида, отпаренного в отпаривателе  $\text{CO}_2$  ВД, подается предпочтительно в первый

отсек конденсации (15), как правило, после приведения в контакт с потоком жидкости (13) (не показан).

Второй раствор карбамида СД (13), как правило, подается в декомпозер НД секции извлечения НД (30). Газ из декомпозера НД конденсируется в конденсаторе карбамата НД (не показан) с образованием раствора карбамата НД (31), также содержащего воду, который предпочтительно также подается в первый отсек конденсации (15). Как правило, некоторое количество воды добавляют в конденсатор карбамата НД для предотвращения кристаллизации (не показана). Раствор карбамида НД (16) из декомпозера НД предпочтительно используется в качестве раствора карбамида (10), который нагревают на первой ступени выпаривания (18). Раствор карбамида НД (16), как правило, превращается в расплав карбамида (32) посредством нагрева и выпаривания воды. Нагрев осуществляют на первой ступени выпаривания (18), которая находится в теплообменном контакте с первым отсеком конденсации (15). Нагретый раствор карбамида (17), полученный на первой ступени выпаривания (18), дополнительно нагревают на второй ступени выпаривания (20), предпочтительно посредством теплообмена с паром низкого давления (19), который поднимается по второму трубному пучку (6) и который подается во второй отсек конденсации (35), где пар (19) по меньшей мере частично конденсируется посредством непрямого теплообменного контакта со второй ступенью выпаривания (20).

Как правило, первый (15) и второй (35) отсеки конденсации отделены друг от друга и удерживают разные флюиды в процессе работы. Как правило, первая (18) и вторая (20) ступени выпаривания могут быть обеспечены одним трубным пучком. Например, первый (15) и второй (35) отсеки конденсации и первая (18) и вторая (20) ступени выпаривания обеспечены кожухотрубным конденсатором, имеющим межтрубное пространство, разделенное на два отсека, которые представляют собой первый (15) и второй (35) отсеки конденсации.

Как правило, исходный  $\text{NH}_3$  также подается в секцию синтеза ВД, в частности, в конденсатор карбамата ВД (2).

Расплав карбамида (32) со второй ступени выпаривания (20) необязательно подается в секцию окончательной обработки (33), где его отверждают с получением твердого карбамидного продукта (34).

В предпочтительном варианте осуществления изобретения водный поток добавляют, по линии подачи (21), в раствор карбамида (16), который подается на первую ступень выпаривания (18).

Раствор карбамида (16) нагревают на первой ступени выпаривания (18) посредством непрямого теплообменного контакта с флюидом в отсеке конденсации (15); следовательно, первая ступень выпаривания (18) и отсек конденсации (15) представляют собой отдельные и разделенные отсеки.

5 В вариантах осуществления изобретения с кожухотрубным теплообменником, который работает с раствором карбамида (16), подлежащим нагреву в трубках, и в котором первый отсек конденсации (15) представляет собой отсек межтрубного пространства указанного теплообменника, линия подачи (21) соединена с трубками указанного теплообменника.

10 Предпочтительно, неконденсированный газ (37) из первого отсека конденсации (15) подается, необязательно через скруббер СД, с использованием раствора карбамата (31) из секции извлечения НД в качестве очищающей жидкости, в абсорбер (не показан) для извлечения  $\text{NH}_3$ . Абсорбер также принимает поток воды (например, очищенный технологический конденсат).

15 Водяной пар (39) из ступени выпаривания подается в вакуумный конденсатор (38). В типовом варианте осуществления изобретения технологический конденсат из вакуумного конденсатора (38) подается по меньшей мере частично в водный поток по линии подачи (21).

На Фиг. 1 также проиллюстрирован вариант осуществления изобретения с  
20 необязательным вертикальным реактором (25), который в этом варианте осуществления изобретения обеспечивает вторую часть (1a) зоны реакции, и с линией подачи (8) из первой части зоны реакции, обеспеченной в емкости (23), в указанную вторую часть (1a). В вариантах осуществления изобретения без такого вертикального реактора, например, с реактором затопленного типа в виде емкости (23), раствор синтеза карбамида (26) может  
25 быть получен непосредственно из емкости (23). В дополнительных вариантах осуществления изобретения, где необязательный вертикальный реактор (25) используется в качестве зоны реакции (1), раствор карбамата ВД (8) подается в вертикальный реактор (25) и раствор синтеза карбамида (26) может быть получен из вертикального реактора (25).

30 На Фиг. 2 проиллюстрирован вариант осуществления изобретения, в котором расплав карбамида (32), например, имеющий 4 мас. % воды, дополнительно концентрируют до концентрированного расплава карбамида (32a) посредством выпаривания воды до уровня содержания воды, например, 0,3 мас. %, на третьей ступени

выпаривания (40). Третья ступень выпаривания (40) работает при более низком давлении раствора карбамида, чем вторая ступень выпаривания (20) и в ней используется не прямой теплообмен с паром СД (41), составляющим 8–9 бар, в качестве теплоносителя. Все остальные ссылочные позиции такие же, как на Фиг. 1.

5 В контексте данного документа, эффективность отпаривания альфа ( $\alpha$ ) =  $(2 \cdot \text{мас. \% карбамида}/60) / ((2 \cdot \text{мас. \% карбамида}/60) + (\text{мас. \% NH}_3/17))$ , измеряемые на выходе жидкости из отпаривателя, причем мас. % NH<sub>3</sub> включает все молекулы аммиака, включая карбамат аммония. Биурет объединен с карбамидом, поскольку количества биурета очень малы.

10 Соотношение N/C (соотношение NH<sub>3</sub> : CO<sub>2</sub>) в зоне реакции отражает состав так называемой исходной смеси перед производством карбамида, состоящей только из NH<sub>3</sub>, CO<sub>2</sub> и H<sub>2</sub>O, который используется в области техники установок по производству карбамида, и представляет собой молярное соотношение, измеряемое на выходе из зоны реакции для раствора синтеза карбамида.

15 Соотношение N/C для газовых потоков представляет собой молярное отношение NH<sub>3</sub> к CO<sub>2</sub>.

Соотношение N/C для конденсаторов карбамата, например, первого отсека конденсации, представляет собой молярное отношение NH<sub>3</sub> к CO<sub>2</sub>, включая эти компоненты, присутствующие в виде карбамата, определяемые на выходе для

20 карбаматной жидкости.

Соотношение N/C в зоне реакции, в контексте данного документа, относится к молярному отношению H<sub>2</sub>O : CO<sub>2</sub>, в частности, отражающему состав так называемой исходной смеси. Соотношение N/C, например, измеряется на выходе из реактора.

25 Термин «карбамат» в контексте данного документа относится к карбамату аммония и используется в данной области техники.

30 В контексте данного документа, для технологических потоков (т. е. не для паропроводов) высокое давление (ВД) превышает 100 бар, например, составляет от 120 до 300 бар, как правило, от 150 до 200 бар. Среднее давление (СД) составляет, например, от 10 до 70 бар (включая промежуточное давление от 30 до 70 бар), в частности, от 15 до 30 бар, а низкое давление (НД) составляет, например, от 0 до 10 бар, в частности, от 1 до 8 бар или от 2 до 5 бар. Все значения давления указаны в барах (бар абс.).

Конденсация в конденсаторе карбамата относится к так называемой конденсации карбамата, которая включает реакционное взаимодействие NH<sub>3</sub> и CO<sub>2</sub> до карбамата с





135 °С для точной настройки концентрации карбамида при том же давлении. Третья ступень выпаривания обеспечивается отдельным испарителем, в котором используется пар СД для концентрации расплава до 99,7 мас. % при ~140 °С.

**ФОРМУЛА ИЗОБРЕТЕНИЯ**

1. Способ производства карбамида из аммиака и углекислого газа на установке по производству карбамида,  
причем установка по производству карбамида содержит секцию синтеза высокого давления (ВД), содержащую зону реакции (1), конденсатор карбамата (2) и  
5 отпариватель (3),  
причем конденсатор карбамата (2) содержит кожухотрубный теплообменник с межтрубным пространством (4) и первым и вторым горизонтальными трубными пучками (5, 6),  
включающий:
- 10 - конденсацию газа (7) из отпаривателя (3) в межтрубном пространстве (4) с получением, таким образом, карбаматсодержащего потока жидкости высокого давления (8);  
- расширение раствора карбамида (9) из указанной секции синтеза до среднего давления (СД) с получением первого раствора карбамида СД (10), содержащего карбамат;
- 15 - нагрев указанного первого раствора карбамида СД (10) в указанном первом трубном пучке (5) и, таким образом, разложение указанного карбамата, содержащегося в указанном первом растворе карбамида СД (10);  
- подвергание потока флюида (11) на выходе из указанного первого трубного пучка (5) газожидкостному разделению (12) с получением второго раствора карбамида СД (13) и потока газа (14) СД;
- 20 - конденсацию указанного потока газа (14) СД при среднем давлении в первом отсеке конденсации (15) с образованием, таким образом, карбамата, и нагрев посредством непрямого теплообменного контакта, раствора карбамида (16), подлежащего нагреву, с получением нагретого раствора карбамида (17) на первой ступени выпаривания (18); и
- 25 - восхождение пара (19) в указанном втором трубном пучке (6) и использование указанного пара для дальнейшего нагрева посредством непрямого теплообменного контакта указанного нагретого раствора карбамида (17) на второй ступени выпаривания (20), причем пар (19) предпочтительно по меньшей мере частично конденсируется во втором отсеке конденсации (35) посредством непрямого
- 30 теплообменного контакта с указанным нагретым раствором карбамида (17) на указанной второй ступени выпаривания (20).

2. Способ по п. 1, отличающийся тем, что указанный отпариватель (3) работает с эффективностью отпаривания альфа ( $\alpha$ ), составляющей 70 % или менее, предпочтительно 65 % или менее, более предпочтительно 55–65 %.
- 5 3. Способ по п. 2, дополнительно включающий добавление водного потока в раствор карбамида (16) перед указанной первой стадией выпаривания (18) или внутри нее.
4. Способ по п. 3, отличающийся тем, что указанный водный поток представляет собой аммиачную воду, содержащую 1,0–10,0 мас. %  $\text{NH}_3$ .
- 10 5. Способ по п. 3 или 4, отличающийся тем, что водный поток добавляют в количестве, обеспечивающем снижение на 2–10 мас. % содержания карбамида в растворе карбамида на входе первой ступени выпаривания (18).
- 15 6. Способ по любому из предшествующих пунктов, отличающийся тем, что отпариватель (3) представляет собой отпариватель  $\text{CO}_2$ .
7. Способ по любому из предшествующих пунктов, отличающийся тем, что раствор карбамида из указанной секции синтеза, который расширяют до среднего давления, 20 представляет собой отпаренный раствор карбамида (22) из отпаривателя (3).
8. Способ по любому из предшествующих пунктов, отличающийся тем, что указанный конденсатор карбамата (2) и указанная зона реакции (1) обеспечиваются единственной емкостью (23), предпочтительно реактором затопленного типа.
- 25 9. Способ по любому из предшествующих пунктов, отличающийся тем, что раствор карбамида со второй ступени выпаривания дополнительно концентрируют посредством нагрева на третьей ступени выпаривания (40) под давлением менее 0,30 бар абс. до концентрации карбамида по меньшей мере 97,0 мас. % карбамида, включая биурет, и 30 полученный в результате расплав карбамида подают в грануляционную башню, блок пастиллиции или гранулятор.

10. Способ по п. 9, отличающийся тем, что на третьей ступени выпаривания (40) используют пар среднего давления (40).
11. Способ по п. 10, отличающийся тем, что 1–20 мас. % пара (19), который  
5 поднимается в указанном втором трубном пучке (6), используют для дальнейшего нагрева посредством непрямого теплообменного контакта с указанным нагретым раствором карбамида (17) на второй ступени выпаривания (20).
12. Установка по производству карбамида, содержащая:
- 10 - секцию синтеза высокого давления (ВД), содержащую зону реакции (1), конденсатор карбамата (2) и отпариватель (3), причем конденсатор карбамата (2) содержит кожухотрубный теплообменник, содержащий межтрубное пространство (4) и первый и второй горизонтальные трубные пучки (5, 6), причем отпариватель (3) имеет выпускное отверстие газа (7), соединенное с впускным отверстием в указанное  
15 межтрубное пространство (4);
- расширительное устройство (24) для расширения раствора карбамида (9) из указанной секции синтеза до среднего давления (СД) с получением первого раствора карбамида СД (10);
- причем первый трубный пучок (5) выполнен с возможностью нагрева указанного  
20 первого раствора карбамида СД (10) и, таким образом, разложения карбамата, содержащегося в указанном первом растворе карбамида СД;
- блок газожидкостного разделения (12), соединенный с выходом из указанного первого трубного пучка (5) и имеющий выход для второго раствора карбамида СД (13) и выход для потока газа (14) СД;
- 25 - первый отсек конденсации (15) для конденсации указанного потока газа (14) СД;
- первую ступень выпаривания (18) для нагрева раствора карбамида (16), подлежащего нагреву, посредством непрямого теплообменного контакта с указанным первым отсеком конденсации (15) с получением нагретого раствора карбамида (17); и
- вторую ступень выпаривания (20) для дальнейшего нагрева нагретого раствора  
30 карбамида (17) посредством непрямого теплообменного контакта с паром (19) из второго трубного пучка (6).

13. Установка по производству карбамида по п. 12, содержащая линию подачи (21) для добавления водного потока в раствор карбамида (16), подлежащий нагреву, перед или на первой ступени выпаривания (18).
- 5 14. Установка по производству карбамида по п. 13, содержащая абсорбер (38), имеющий выпускное отверстие жидкости, соединенное с указанной линией подачи (21).
15. Установка по производству карбамида по п. 13, содержащая вакуумный конденсатор, имеющий выпускное отверстие жидкости, соединенное с указанной линией  
10 подачи (21).
16. Установка по производству карбамида по любому из пп. 12–15, отличающаяся тем, что указанный отпариватель (3) представляет собой отпариватель CO<sub>2</sub>.
- 15 17. Способ модификации существующей установки по производству карбамида, при этом существующая установка по производству карбамида содержит:
- секцию синтеза высокого давления (ВД), содержащую зону реакции (1), конденсатор карбамата (2) и отпариватель (3), причем конденсатор карбамата (2) содержит кожухотрубный теплообменник, содержащий межтрубное пространство (4) и  
20 первый и второй горизонтальные трубные пучки (5, 6), причем отпариватель (3) имеет выпускное отверстие газа (7), соединенное с впускным отверстием в указанное межтрубное пространство (4);
  - расширительное устройство (24) для расширения раствора карбамида из указанной секции синтеза до среднего давления (СД) с получением первого раствора карбамида  
25 СД (10);
  - причем первый трубный пучок (5) выполнен с возможностью нагрева указанного первого раствора карбамида СД (10) и, таким образом, разложения карбамата, содержащегося в указанном первом растворе карбамида СД;
  - блок газожидкостного разделения (12), соединенный с выходом из указанного  
30 первого трубного пучка и имеющий выход для второго раствора карбамида СД (13) и выход для потока газа СД (14);
  - первый отсек конденсации (15) для конденсации указанного потока газа (14) СД;

- первую ступень выпаривания (18) для нагрева раствора карбамида (16), подлежащего нагреву, посредством непрямого теплообменного контакта с указанным первым отсеком конденсации (15) с получением нагретого раствора карбамида (17);

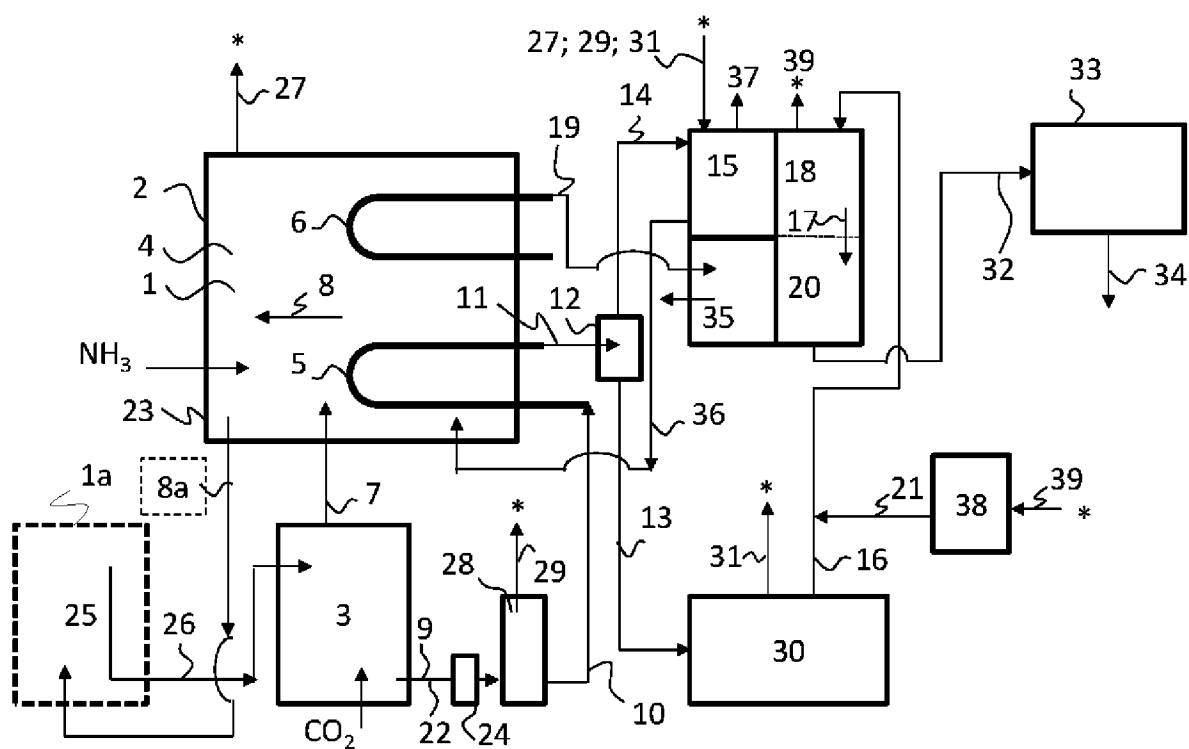
5 - предпочтительно вторую ступень выпаривания (20) для дальнейшего нагрева нагретого раствора карбамида (17) посредством непрямого теплообменного контакта с паром (19) из второго трубного пучка (6);

при этом способ включает:

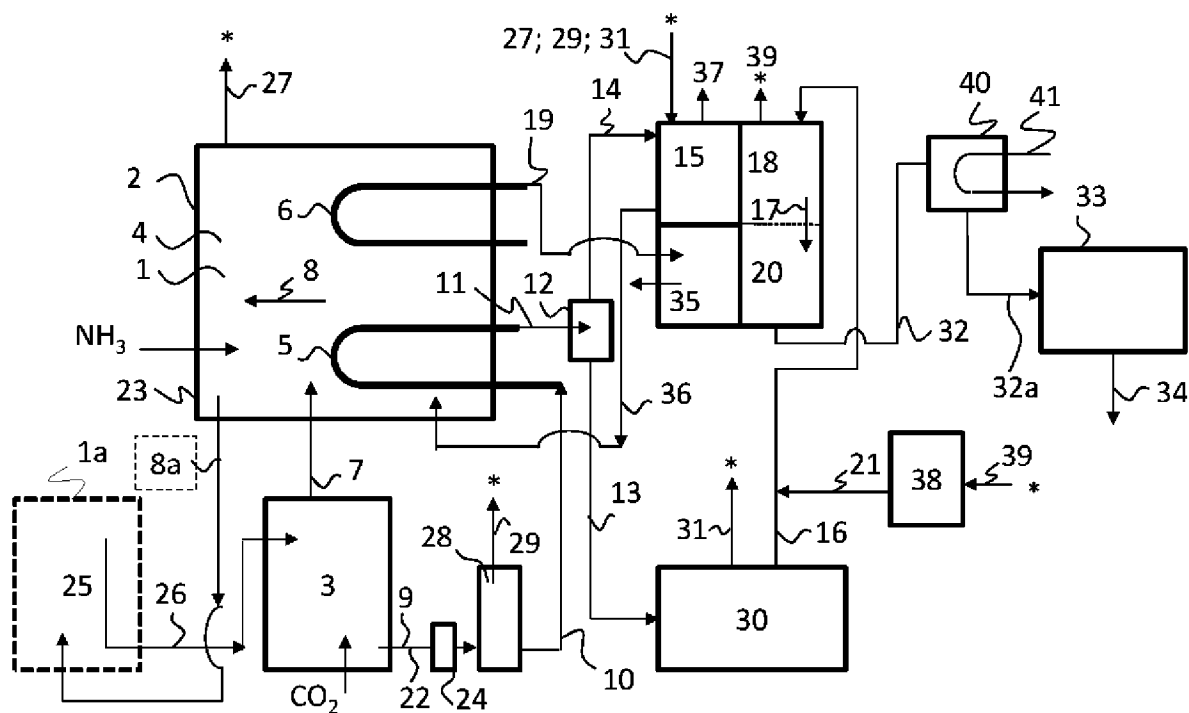
добавление к установке линии подачи (21) для добавления водного потока в раствор карбамида (16), подлежащий нагреву, до или на первой ступени выпаривания (18).

10

18. Способ по п. 17, отличающийся тем, что добавленная линия подачи (21) соединена с выпускным отверстием жидкости из абсорбера (38).



ФИГ. 1



ФИГ. 2