

(19)



**Евразийское  
патентное  
ведомство**

(21) **202491308** (13) **A1**

(12) **ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ЕВРАЗИЙСКОЙ ЗАЯВКЕ**

(43) Дата публикации заявки  
2024.09.12

(51) Int. Cl. *C07C 273/04* (2006.01)  
*B01D 3/00* (2006.01)

(22) Дата подачи заявки  
2022.12.19

(54) **ПРОИЗВОДСТВО КАРБАМИДА С ТЕХНОЛОГИЕЙ ТЕРМИЧЕСКОГО  
ОТПАРИВАНИЯ**

(31) 21216056.8

(72) Изобретатель:

(32) 2021.12.20

**Ван Ден Тиллаарт Йохан Альберт  
Арно, Мостерт Элко (NL)**

(33) EP

(86) PCT/NL2022/050732

(74) Представитель:

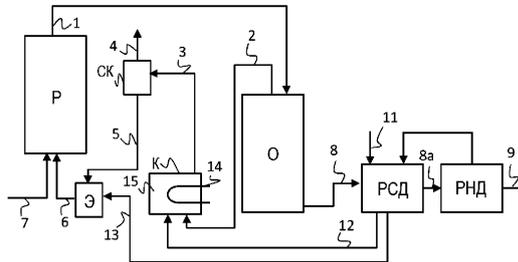
(87) WO 2023/121443 2023.06.29

**Нилова М.И. (RU)**

(71) Заявитель:

**СТАМИКАРБОН Б.В. (NL)**

(57) Изобретение относится к установке по производству карбамида и процессу с технологией термического отпаривания, а также к способу модификации установки по производству карбамида с технологией термического отпаривания. Предлагается установка по производству карбамида с термическим отпаривателем и конденсатором карбамата высокого давления с межтрубным пространством, причем газ из отпаривателя конденсируется в межтрубном пространстве.



202491308

A1

A1

202491308

# ПРОИЗВОДСТВО КАРБАМИДА С ТЕХНОЛОГИЕЙ ТЕРМИЧЕСКОГО ОТПАРИВАНИЯ

## ОБЛАСТЬ ТЕХНИКИ

[1] Изобретение относится к производству карбамида на  
5 установке по производству карбамида с технологией термического  
отпаривания (также известной, как установка с технологией  
самоотпаривания).

## УРОВЕНЬ ТЕХНИКИ

10

[2] Приведенный для примера способ производства карбамида с  
технологией термического отпаривания представлен в Энциклопедии  
Ульмана по индустриальной химии (Ullmann's Encyclopaedia of Industrial  
Chemistry), 2010, глава Карбамид, Фиг. 25. В проиллюстрированном  
15 способе секция синтеза высокого давления включает в себя  
вертикальный реактор, термический отпариватель, конденсатор  
карбамата высокого давления испарительного типа, сепаратор  
карбамата и жидкостно-жидкостный эжектор на основе аммиака.  
Конденсатор карбамата высокого давления представляет собой  
20 кожухотрубный теплообменник с U-образным трубным пучком, в котором  
газ из отпаривателя поступает в трубы, а пар поднимается по кожуху.

[3] В US4082797A описана зона конденсации карбамата для  
установки по производству карбамида, состоящая из горизонтального  
25 пучка трубок, который находится под статическим давлением столба  
жидкости. В GB1184004A описан термический отпариватель для  
установки по производству карбамида.

[4] В EP2128129 описан способ модернизации традиционной  
30 установки по производству карбамида с технологией самоотпаривания,  
при котором традиционный горизонтальный кожухотрубный конденсатор

карбамата заменен вертикальным затопленным агрегатом. Отмечается, что линии подачи газообразного аммиака и углекислого газа из отпаривателя и возвратного карбаматного раствора модифицированы таким образом, чтобы они поступали в трубки нового вертикального затопленного конденсатора.

[5] Сохраняется потребность в улучшении установок по производству карбамида с технологией термического отпаривания. Также существует потребность в способах модификации существующих установок по производству карбамида с технологией термического отпаривания для повышения производительности и/или улучшения эксплуатации.

#### СУЩНОСТЬ ИЗОБРЕТЕНИЯ

[6] Изобретение относится, в первом аспекте, к установке по производству карбамида, содержащей секцию синтеза высокого давления (ВД), содержащую реактор, термический отпариватель и конденсатор карбамата высокого давления (ВД), при этом конденсатор карбамата ВД содержит кожухотрубный теплообменник, содержащий трубный пучок и межтрубное пространство, при этом установка содержит линию подачи газа из выпускного отверстия газа термического отпаривателя во впускное отверстие газа указанного межтрубного пространства.

[7] Изобретение также относится к способу производства карбамида, осуществляемому на установке по производству карбамида в соответствии с изобретением, включающему: приведение в химическое взаимодействие  $\text{NH}_3$  с  $\text{CO}_2$  в реакторе с получением потока синтеза карбамида; подачу по меньшей мере жидкой части потока синтеза в отпариватель; подачу газа из отпаривателя в межтрубное пространство

конденсатора карбамата ВД; и конденсацию указанного газа в указанном межтрубном пространстве конденсатора карбамата ВД.

[8] Изобретение также относится к способу модификации существующей установки по производству карбамида, причем существующая установка по производству карбамида содержит реактор, термический отпариватель и конденсатор карбамата ВД испарительного типа, при этом конденсатор карбамата ВД испарительного типа представляет собой кожухотрубный теплообменник, выполненный с возможностью приема газа из термического отпаривателя в трубки; способ включает: замену конденсатора карбамата ВД испарительного типа на заменяющий конденсатор карбамата ВД, который представляет собой кожухотрубный теплообменник, содержащий трубный пучок и межтрубное пространство, имеющее впускное отверстие газа и выполненное с возможностью приема газа из отпаривателя и конденсации указанного газа до карбамата в указанном межтрубном пространстве; и соединение выпускного отверстия газа из термического отпаривателя с указанным впускным отверстием газа в межтрубное пространство, и предпочтительно обеспечение линии подачи исходного  $\text{CO}_2$  в межтрубное пространство, предпочтительно при этом заменяющий конденсатор карбамата ВД соответствует определенному для установки по производству карбамида, и/или при этом в результате использования указанного способа получают установку по производству карбамида в соответствии с изобретением.

25

#### КРАТКОЕ ОПИСАНИЕ ГРАФИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ

[9] На Фиг. 1 схематически проиллюстрирована приведенная для примера технологическая схема способа производства карбамида в соответствии с изобретением.

30

[10] На Фиг. 2 схематически проиллюстрирован приведенный для примера конденсатор карбамата ВД (конденсатор затопленного типа), который может быть использован в изобретении.

5 [11] На Фиг. 3 схематически проиллюстрирован приведенный для примера конденсатор карбамата ВД (реактор затопленного типа), который может быть использован в изобретении.

[12] На Фиг. 4 схематически проиллюстрирован приведенный для  
10 примера термический отпариватель, который может быть использован в изобретении.

[13] На Фиг. 5 схематически проиллюстрирован приведенный для  
15 примера паровой котел испарительного типа, используемый на существующих установках (не в соответствии с изобретением).

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

## 20 ПОДРОБНОЕ ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ

[15] Изобретение относится к способу производству карбамида, к установке с технологией термического отпаривания и к способу модификации существующей установки с технологией термического  
25 отпаривания до установки с технологией термического отпаривания по изобретению. Способ производства карбамида предпочтительно осуществляют на установке в соответствии с изобретением. Способом модификации существующей установки предпочтительно получают установку по производству карбамида в соответствии с изобретением.

30

[16] Изобретение может быть использовано как для вновь создаваемых установок по производству карбамида с технологией

термического отпаривания («с нуля»), так и для модификации существующих установок по производству карбамида с технологией термического отпаривания («модернизации»), а также для других видов модификаций существующих установок.

5

[17] Установка содержит секцию синтеза высокого давления (ВД), содержащую реактор, отпариватель и конденсатор, все работающие при высоком давлении. Кроме того, секция синтеза, как правило, содержит сепаратор карбамата и эжектор, также работающие под высоким  
10 давлением.

15

[18] Реактор имеет выпускное отверстие для флюида синтеза, соединенное с впускным отверстием отпаривателя, для протекания по меньшей мере жидкости из выпускного отверстия реактора в  
15 отпариватель.

20

[19] Реактор представляет собой, например, вертикальный реактор с одним или более впускными отверстиями снизу и выпускным отверстием сверху и, например, тарелками. Реактор, как правило, имеет  
20 впускное отверстие снизу для исходного  $\text{CO}_2$  и впускное отверстие для потока, содержащего исходный  $\text{NH}_3$  и карбамат.

25

[20] Отпариватель представляет собой кожухотрубный теплообменник, с отгоняемым раствором карбамида в виде падающей  
25 пленки в трубках и с нагреваемым флюидом, в частности, паром, в кожухе. Отпариватель имеет выпускное отверстие для отпаренного раствора карбамида снизу, выпускное отверстие для газа сверху и впускное отверстие для потока флюида, содержащего жидкость, содержащую карбамид из реактора, сверху. В некоторых вариантах  
30 осуществления поток флюида из реактора содержит как газ, так и жидкость. В некоторых вариантах осуществления установка содержит газожидкостный сепаратор ВД в реакторе или в линии подачи флюида

между реактором и верхом отпаривателя, и жидкость из сепаратора подается в отпариватель сверху, а газ из сепаратора подается, например, также в верхнюю часть отпаривателя или, например, в нижнюю часть отпаривателя (трубное пространство) или в другой блок.

5

[21] Трубки в отпаривателе представляют собой, например, Zr или Ti трубки, или биметаллические трубки. Каждая из биметаллических трубок, например, содержит или состоит из двух трубок; например, наружной трубки, изготовленной из стали, например, 25Cr-22Ni-2Mo, и

10 внутренней трубки, изготовленной, например, из циркония.

Предпочтительно биметаллические трубки содержат наружную стальную трубку и внутреннюю трубку, например, из Zr. Внутренняя и наружная трубка биметаллической трубки предпочтительно имеют металлургическое соединение.

15

[22] Возможны также другие типы материалов для трубок отпаривателя, например, дуплексные ферритно-аустенитные нержавеющие стали. Подходящая дуплексная нержавеющая сталь для трубок отпаривателя включает, например, сталь, доступную в виде стали

20 Safurex® (Safurex® Star) и имеющую состав 29Cr-6,5Ni-2Mo-N, которая

также обозначается кодом ASME 2295-3 и UNS S32906, или, например, сталь, доступную в виде стали DP28W™ и имеющую состав 27Cr-7,6Ni-

1Mo-2,3W-N, которая также обозначается кодом ASME 2496-1 и UNS S32808. Дуплексная сталь для трубок отпаривателя имеет, например,

25 состав (мас. %): C: 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. 0,01

Ce: 0–0,2, остальное Fe и (неустраняемые) примеси. Предпочтительно, содержание феррита составляет 30–70 об. % и более предпочтительно

30–55 %. Более предпочтительно, сталь содержит (мас. %): C макс.

30 0,02, макс. 0,5 Si, Cr 29–33, Mo 1,0–2,0, N 0,36–0,55, Mn 0,3–1,0,

остальное Fe и примеси. Также подходящей является дуплексная

нержавеющая сталь, имеющая состав (мас. %): C макс. 0,030; Si макс.

0,8; Mn макс. 2,0; Cr 29,0–31,0; Ni 5,0–9,0; Mo менее 4,0; W менее 4,0; N 0,25–0,45; Cu макс. 2,0; S макс. 0,02; P макс. 0,03; остальное Fe и неизбежно возникающие примеси; и при этом содержание Mo+W составляет более 3,0, но менее 5,0 (мас. %), еще более

5 предпочтительным является состав стали, описанный в публикации WO 2017/014632, включенной в данный документ посредством ссылки. Эти составы стали могут также быть использованы для наружной трубки биметаллической трубки.

10 [23] Конденсатор карбамата высокого давления (ВД) выполнен с возможностью конденсации газа из верха отпаривателя, который содержит  $\text{NH}_3$  и  $\text{CO}_2$ , до карбамата аммония, в конденсационном пространстве конденсатора. Таким образом, в конденсационном пространстве конденсатора образуется жидкая фаза, содержащая

15 карбамат аммония, а в данном изобретении также карбамид и воду. Конденсатор также принимает возвратный раствор карбамата, в частности, из установки по производству карбамида среднего давления (СД), в конденсационное пространство.

20 [24] Конденсатор карбамата ВД представляет собой кожухотрубный теплообменник, содержащий трубный пучок, кожух и межтрубное пространство. В изобретении пространством конденсации является межтрубное пространство конденсатора. Соответственно, конденсация карбамата осуществляется в межтрубном пространстве

25 конденсатора. Это обеспечивает отличие от котлов испарительного типа, используемых в установках по производству карбамида с технологией термического отпаривания предшествующего уровня техники.

[25] Конденсатор представляет собой теплообменник, в котором

30 используется косвенный теплообмен с охлаждающим флюидом, например, с питательной водой котла в качестве охлаждающего флюида. В изобретении охлаждающий флюид подается в трубки.

[26] В вариантах осуществления, в которых установка содержит реактор и конденсатор по отдельности, установка содержит линию подачи жидкости для подачи карбамат-содержащей жидкости, образованной в межтрубном пространстве конденсатора карбамата ВД, в реактор.

[27] Таким образом, конденсатор в установке по изобретению отличается от конденсатора испарительного типа, используемого, например, в Энциклопедии Ульмана по промышленной химии (Ullmann's Encyclopaedia of Industrial Chemistry, Chapter Urea), 2010, Фиг. 25.

[28] В приведенных для примера вариантах осуществления установки по изобретению межтрубное пространство содержит выпускное отверстие для потока флюида, содержащего как газ, так и жидкость, которое соединено с газожидкостным сепаратором ВД (сепаратором карбамата), имеющим выпускное отверстие газа и выпускное отверстие жидкости. Выпускное отверстие жидкости сепаратора соединено, как правило, через эжектор, с впускным отверстием реактора для подачи жидкости, содержащей карбамат, карбамид и воду, в реактор. Выпускное отверстие газа, например, соединено с секцией извлечения СД, например, для подачи газа напрямую или косвенно в конденсатор карбамата среднего давления (СД).

25

[29] В некоторых вариантах осуществления изобретения конденсатор имеет как выпускное отверстие газа, так и отдельное выпускное отверстие жидкости из межтрубного пространства (выпускное отверстие газа в межтрубном пространстве и отдельное выпускное отверстие жидкости в межтрубном пространстве). Выпускное отверстие жидкости в межтрубном пространстве, например, косвенно соединено с реактором через эжектор высокого давления (ВД). В некоторых

вариантах осуществления газ из выпускного отверстия газа в межтрубном пространстве подается в секцию извлечения СД, в частности, напрямую или косвенно, в конденсатор карбамата СД. Таким образом, дополнительное пространство в межтрубном пространстве, по сравнению с конденсацией в трубках, может также позволить эффективное разделение газа и жидкости уже в конденсаторе, например, в конденсаторной емкости. Это может устранить необходимость в отдельном сепараторе карбамата. Разделение газа и жидкости может быть обеспечено, например, в верхней части конденсаторной емкости или, например, с использованием перегородки, выполненной в виде переливной перегородки.

[30] В эжекторе, как правило, в качестве движущего флюида используется аммиак высокого давления (ВД), в частности, сжатый жидкий  $\text{NH}_3$ , подаваемый в реактор.

[31] В альтернативном или дополнительном варианте, например, используется насос для транспортировки жидкости из конденсатора, например, через сепаратор карбамата, в реактор.

[32] Секция синтеза может содержать два (или более) конденсатора карбамата ВД, например, два конденсатора карбамата ВД, расположенные последовательно или параллельно. Один или оба из двух конденсаторов карбамата ВД представляют собой, например, кожухотрубный теплообменник, выполненный с возможностью конденсации в кожухе, как описано.

[33] Процесс осуществляется, например, при давлении реактора в диапазоне 120–200 бар, например, 140–165 бар. Процесс осуществляется, как правило, при соотношении N/C на выходе из реактора 2,8–4,0, предпочтительно 3,2–3,6, причем соотношение N/C относится к теоретической исходной смеси. Температура на выходе из

реактора находится, например, в диапазоне 180–200 °С, предпочтительно 185–190 °С. Конверсия CO<sub>2</sub> в реакторе составляет, например, более 50 %, например, более 60 %.

5 [34] Высокое отношение N/C на выходе из реактора, предпочтительно 3,2–3,6, способствует эффективному отпариванию в термическом отпаривателе. Давление в отпаривателе, например, находится в диапазоне 145–150 бар трубках. Как правило, отпариватель работает при более низком давлении, чем в реакторе, например, на по  
10 меньшей мере 2 бара ниже, или на по меньшей мере 5 бар ниже, как правило, макс. на 10 бар ниже. Как правило, конденсатор работает при том же давлении, что и отпариватель, например, в диапазоне 145–150 бар.

15 [35] Температура на входе в отпариватель (сверху) составляет, например, 185–195 °С. Температура на выходе из отпаривателя составляет, например, по меньшей мере 200 °С, предпочтительно, например, по меньшей мере 205 °С, например, менее 220 °С. Содержание NH<sub>3</sub> в отходящем потоке снизу отпаривателя составляет,  
20 например, 20–30 мас. %, например, 20–25 мас. %.

[36] Отпаренный раствор карбамида подается в секцию извлечения СД. Раствор карбамида из секции извлечения СД подается в секцию извлечения низкого давления (НД). Раствор карбамида из секции  
25 извлечения НД может подаваться, например, в секцию испарения для образования расплава карбамида. Расплав карбамида подается, например, в секцию окончательной обработки для получения твердого готового карбамида. Секция окончательной обработки представляет собой, например, гранулятор или грануляционную башню. Расплав  
30 карбамида может, например, также быть использован в производстве меламина. Раствор карбамида может, например, также быть использован в производстве жидких удобрений, например, карбамидно-аммиачной

смеси (КАС). Карбамид также может быть использован, например, для снижения выбросов NOx, в частности, для изготовления жидкости для очистки выхлопных газов дизельных двигателей и прекурсоров жидкости для очистки выхлопных газов дизельных двигателей.

5

[37] Секция извлечения СД (или секция возврата в рецикл) содержит декомпозер среднего давления (СД), принимающий отпаренный раствор карбамида, необязательно, через ректификатор. Декомпозер СД представляет собой кожухотрубный теплообменник, как правило, в котором используется пар в качестве теплоносителя. Декомпозер СД имеет выпускное отверстие газа, соединенное с секцией конденсации карбамата СД. Секция конденсации карбамата СД, например, содержит первый конденсатор карбамата СД для конденсации карбамата при косвенном теплообмене с раствором карбамида, который нагревается в конденсаторе/предварительном нагревателе (например, кожухотрубном теплообменнике с раствором карбамида, который нагревается в трубках, а карбамат конденсируется при СД в кожухе). Секция конденсации карбамата СД, например, содержит второй конденсатор карбамата СД для второй конденсации карбамата с использованием охлаждающей воды. Второй конденсатор карбамата СД, например, принимает неконденсированный газ из первого конденсатора карбамата СД. Поток флюида из конденсатора(ов) карбамата СД подается в разделительную колонну аммиака и карбамата. Например, в разделительной колонне применяется орошение жидким аммиаком. Разделительная колонна имеет выпускное отверстие газа, соединенное с конденсатором аммиака, который соединен с приемником аммиака, при этом приемник аммиака также принимает часть или весь исходный NH<sub>3</sub>. Приемник аммиака имеет выход жидкости к аммиачному насосу, который используется для перекачивания аммиака частично в разделительную колонну, а частично в аммиачный насос высокого давления (ВД), соединенный с линией подачи аммиака в эжектор ВД. Таким образом, аммиак возвращается в рецикл в виде потока аммиака из секции

10  
15  
20  
25  
30

извлечения СД в реактор ВД, указанный поток также содержит часть или весь исходный  $\text{NH}_3$ , и указанный поток аммиака является движущим флюидом для эжектора ВД. Разделительная колонна также имеет выпускное отверстие жидкости снизу, соединенное с насосом карбамата ВД для подачи возвратного карбаматного раствора в конденсатор карбамата ВД.

[38] Как правило, секция извлечения СД имеет отдельные выпускные отверстия для аммиака и для карбаматного раствора, которые возвращаются в рецикл по отдельности в секцию синтеза ВД.

[39] Секция извлечения НД содержит декомпозер низкого давления (НД), принимающий раствор карбамида из секции извлечения СД, в частности, из декомпозера СД, и имеющий выпускное отверстие для раствора карбамида, как правило, соединенное с предварительным нагревателем раствора карбамида, и выпускное отверстие для газа, соединенное с конденсатором карбамата низкого давления (НД). Водный раствор карбамата низкого давления (НД) из секции извлечения НД, в частности, из конденсатора карбамата НД, подается в секцию извлечения СД, например, в кожух предварительного нагревателя, где карбамат конденсируется. Водная фракция в возвратном растворе карбамата НД может быть использована для предотвращения кристаллизации карбамата в секции конденсации СД.

[40] Конденсатор карбамата ВД в установке по изобретению представляет собой кожухотрубный теплообменник, выполненный с возможностью конденсации в кожухе, т. е. в межтрубном пространстве, и присутствия охлаждающего флюида в трубках. Например, охлаждающим флюидом является питательная вода котла, а пар поднимается по трубкам. Конденсатор имеет впускное отверстие для газа из отпаривателя, подлежащего конденсации, в кожухе, и выпускное

отверстие из кожуха для потока флюида, содержащего жидкость, содержащую карбамат, воду и карбамид.

[41] Выполняя конденсацию карбамата в межтрубном пространстве, можно обеспечить относительно более длительное время пребывания по сравнению с конденсаторами с конденсацией в трубках. Это преимущественно увеличивает эффективность синтеза, т. е. конверсию до карбамида.

10 [42] Более того, эффективность конденсации преимущественно выше благодаря более высокому эффективному коэффициенту теплопередачи. Кроме того, температура жидкости на выходе (конденсата) преимущественно значительно выше благодаря более высокой концентрации карбамида в жидкости. Более высокое  
15 содержание карбамида увеличивает температуру конденсации. Эта более высокая температура конденсации преимущественно дает возможность, например, восхождения по трубкам пара более высокого давления и/или, например, использования меньшей поверхности теплообмена, т. е. меньших размеров оборудования. Более того, из-за  
20 образования карбамида в конденсаторе часть тепла используется внутри и не нуждается в отводе из конденсатора посредством теплопередачи по трубкам. Эти эффекты позволяют подниматься пару более высокого давления, уменьшить трубный пучок или повысить производительность синтеза, или объединить эти преимущества. Более высокая температура  
25 жидкости на выходе может также повысить температуру в вертикальном реакторе, таким образом, улучшая конверсию  $\text{CO}_2$  и выход карбамида в вертикальном реакторе и/или допуская более низкое давление в вертикальном реакторе, что может способствовать улучшению отпаривания в термическом отпаривателе.

30

[43] Конденсатор карбамата ВД представляет собой, в межтрубном пространстве, емкость с газовым перемешиванием, в котором газы  $\text{CO}_2$  и

$\text{NH}_3$  конденсируются в ходе экзотермической реакции до карбамата вокруг трубного пучка в межтрубном пространстве, при этом емкость обеспечивает время удержания, позволяющее конденсированному карбамату частично обезводиться до карбамида и воды в жидкой фазе.

- 5 Реакция дегидратации является эндотермической и более медленной, чем реакция конденсации карбамата. Жидкая фаза в межтрубном пространстве конденсатора тщательно перемешивается газами из отпаривателя. В процессе работы в межтрубном пространстве присутствует скопление жидкости, в которое погружен трубный пучок.
- 10 Время пребывания, обеспечиваемое объемом межтрубного пространства, может позволить реакции превращения карбамата аммония в карбамид и воду протекать в преимущественной высокой степени. Образование пузырьков газа в межтрубном пространстве, например, с использованием распылителя, обеспечивает высокую степень турбулентности и
- 15 предоставляет большую площадь для массо- и теплопередачи между конденсируемым газом и жидкостью в межтрубном пространстве.

- [44] В некоторых вариантах осуществления реакционное взаимодействие карбамата аммония с карбамидом и водой протекает до
- 20 такой степени, что жидкость из выпускного отверстия межтрубного пространства содержит, например, 2–30 мас. % карбамида, например, по меньшей мере 5 мас. %, или по меньшей мере 10 мас. % карбамида, и/или до 25 мас. % карбамида или до 20 мас. % карбамида, например, 5–25 мас. % карбамида, 10–25 мас. % карбамида или 10–20 мас. %
- 25 карбамида.

[45] Раствор синтеза карбамида, например, жидкость из реактора, содержит, например, 30–40 мас. % карбамида.

- 30 [46] Карбамид образуется в межтрубном пространстве конденсатора в силу относительно длительного времени пребывания в относительно большом объеме межтрубного пространства конденсатора.

[47] Температура конденсации в межтрубном пространстве в некоторых вариантах осуществления может быть относительно высокой, например, по меньшей мере 165 °С или по меньшей мере 170 °С, в результате образования высококипящих компонентов (карбамида и воды). Предпочтительно, температура жидкости на выходе из межтрубного пространства конденсатора составляет по меньшей мере 165 °С, например, по меньшей мере 170 °С.

10 [48] Конденсатор карбамата ВД предпочтительно имеет горизонтальный трубный пучок, например, U-образный трубный пучок, с горизонтальными отводами трубок. Горизонтальный затопленный конденсатор карбамата преимущественно имеет относительно высокий коэффициент теплопередачи.

15

[49] Конденсатор карбамата ВД, например, содержит распылитель (газораспределитель) для распределения газа, подлежащего конденсации, в кожухе. Распылитель расположен горизонтально, т. е. для горизонтального распределения конденсируемого газа в кожухе, и используется в комбинации с горизонтальным трубным пучком и конденсацией в межтрубном пространстве конденсатора. Распылитель может способствовать улучшенному перемешиванию технологических флюидов во всем объеме межтрубного пространства, в частности, перемешиванию газа и жидкости.

25

[50] Распылитель представляет собой устройство, используемое для равномерного введения флюида, т. е. газа из десорбера, во второй объем флюида, т. е. технологического флюида в межтрубном пространстве. Распылитель представляет собой, например, горизонтальную трубку с отверстиями. Распылитель расположен в нижней части межтрубного пространства, в частности, под трубным пучком. Распылитель представляет собой, например, горизонтальную

30

трубку с боковыми ответвлениями с отверстиями в верхней части, предназначенную для распределения газа в межтрубном пространстве по длине и, необязательно, также по ширине межтрубного пространства конденсатора. Распылитель преимущественно способствует достижению  
5 оптимальных условий в межтрубном пространстве.

[51] Поток газа, выходящий из отпаривателя, распределяется внутри конденсатора через распылитель и смешивается с раствором карбамата в межтрубном пространстве конденсатора. Раствор карбамата,  
10 например, подается из секции извлечения СД. Смешение газа и жидкости в межтрубном пространстве конденсатора преимущественно исключает необходимость во внешнем смесительном оборудовании.

[52] Межтрубное пространство, например, снабжено  
15 вертикальными дефлекторными пластинами, расположенными параллельно трубному пучку, и, возможно, перегородками.

[53] Например, используется конденсатор затопленного типа, например, описанный в журнале «Азот» («Nitrogen») № 222, выпуска  
20 июля-августа 1996 г., стр. 29–31, или, например, проиллюстрированный на Фиг. 18 в Энциклопедии Ульмана по индустриальной химии (Ullmann's Encyclopaedia of Industrial Chemistry), 2010, глава Карбамид (для установки по производству карбамида с технологией отпаривания CO<sub>2</sub>).  
Например, конденсатор карбамата ВД представляет собой конденсатор  
25 затопленного типа, содержащий горизонтальный U-образный трубный пучок, который пролегает по существу на всю длину межтрубного пространства. Направление длины параллельно отводам U-образного трубного пучка в конденсаторе затопленного типа. Конденсатор затопленного типа может иметь единственное выпускное отверстие из  
30 межтрубного пространства или отдельные выпускные отверстия для газа и для жидкости из межтрубного пространства.

[54] Необязательно, используется реактор затопленного типа, например, описанный в US 5767313, или, например, проиллюстрированный на Фиг. 19 в Энциклопедии Ульмана по индустриальной химии (Ullmann's Encyclopaedia of Industrial Chemistry), 2010, глава Карбамид (для установки по производству карбамида с технологией отпаривания CO<sub>2</sub>).

[55] В некоторых вариантах осуществления, например, с реактором затопленного типа, конденсатор карбамата ВД предлагается в виде емкости, содержащей горизонтальный U-образный трубный пучок и межтрубное пространство, содержащее зону конденсации и зону реакции. Например, трубный пучок пролегает на участок, например, 10–70 %, например, 20–50 % длины межтрубного пространства, таким образом, обеспечивая зону конденсации емкости, где расположен трубный пучок, и зону реакции. В данном документе отводы U-образных трубок расположены горизонтально по длине емкости. Зона реакции расположена горизонтально между изгибом U-образного трубного пучка и выходом жидкости из межтрубного пространства. Емкость содержит трубную решетку. Зона конденсации расположена между трубной решеткой и изгибом U-образного трубного пучка. Такая конфигурация именуется в данном документе «реактором затопленного типа». Реактор затопленного типа имеет выпускное отверстие газа сверху межтрубного пространства. Реактор затопленного типа, как правило, содержит перегородки в межтрубном пространстве. Перегородки расположены перпендикулярно трубному пучку и снабжены, например, отверстиями или зазорами и могут использоваться, например, для обеспечения отсеков по длине реактора затопленного типа. Как правило, в реакторе затопленного типа распылитель пролегает горизонтально по длине емкости за пределы U-образного трубного пучка в зону реакции. Распылитель, как правило, также пролегает горизонтально в зоне конденсации. Как правило, часть распылителя расположена под U-образным трубным пучком.

[56] Как правило, реактор затопленного типа имеет выпускное отверстие жидкости для раствора карбамида соединенное, как правило, через жидкость-жидкостный эжектор, с вертикальным карбамидным реактором, например, послереактором.

[57] Установка, как правило, дополнительно содержит паровую емкость, принимающую флюид из выпускного отверстия трубного пучка, указанный флюид содержит пар и захваченные капли воды.

10 Предпочтительная паровая емкость предлагается в связи с восхождением пара в трубках конденсатора карбамата ВД.

[58] Паровая емкость используется для очистки пара посредством удаления капель воды. Паровая емкость представляет собой, как правило, газожидкостный сепаратор, работающий под действием силы тяжести. Паровая емкость представляет собой, как правило, вертикальную емкость с впускным отверстием сбоку, выпускным отверстием жидкости снизу и выпускным отверстием газа сверху. Сухой пар из выпускного отверстия газа паровой емкости может быть использован в дальнейшем в процессе, например, для нагрева. Паровая емкость может быть соединена непосредственно с конденсатором, в частности, с выпускным отверстием коллектора трубного пучка, или по трубопроводу. Жидкость из паровой емкости, как правило, возвращается во впускное отверстие коллектора трубного пучка конденсатора.

20 Паровая емкость содержит, например, туманоуловитель. Туманоуловитель представляет собой, например, сетчатую прокладку из плетеной проволоки, расположенную между впускным отверстием и выпускным отверстием газа.

30 [59] Установка может содержать дополнительный конденсатор карбамата ВД, который может быть расположен последовательно или параллельно (потoku процесса) с конденсатором карбамата ВД.

Дополнительный конденсатор карбамата ВД может, например, быть конденсатором испарительного типа, как имеющийся, например, на существующей установке по производству карбамида. В вариантах осуществления, в которых конденсатор карбамата ВД и дополнительный  
5 конденсатор карбамата ВД расположены последовательно (для конденсации газа), конденсатор карбамата ВД может быть размещен до или после дополнительного конденсатора карбамата ВД.

[60] Конденсатор карбамата ВД размещен, например, в  
10 приподнятом положении и на одном уровне с паровой емкостью. Конденсатор может быть размещен, например, над необязательно используемым дополнительным конденсатором карбамата ВД. Это может быть преимущественно при модернизации существующей установки по производству карбамида с технологией термического отпаривания.

15

[61] В альтернативном варианте осуществления конденсатор карбамата ВД имеет вертикальный трубный пучок, например, U-образный трубный пучок с вертикальными отводами трубок. Например, конденсатор оснащен горизонтальной трубной решеткой, впускным  
20 коллектором для охлаждающего флюида и выпускным коллектором для нагретого охлаждающего флюида (например, пара), все они расположены в нижней части конденсатора

[62] Предпочтительно, возвратный раствор карбамата из секции  
25 извлечения СД вводится в конденсатор карбамата ВД отдельно от газовой смеси из отпаривателя. Конденсатор содержит, например, распределитель жидкости или одно или более сопел в межтрубном пространстве для введения возвратного раствора карбамата в межтрубное пространство.

30

[63] В процессе работы, трубный пучок погружен в технологическую среду в межтрубном пространстве. Как правило, в

трубках образуется пар низкого давления (НД). Давление пара составляет, например, 2–9 бар, преимущественно, например, 5,0–9,0 бар или, например, 5,0–6,0 бар.

5 [64] Образующийся в конденсаторе карбамата ВД пар НД, например, используется в качестве нагревательного флюида в декомпозиере СД. Возможны и другие варианты использования.

10 [65] Отмечается, что в приведенный для примера установке по производству карбамида с технологией термического отпаривания предшествующего уровня техники пар НД, необходимый в декомпозиере СД, частично получают из межтрубного пространства конденсатора карбамата ВД и частично из пара среднего давления (СД). Соответственно, более высокое давление пара НД, получаемое в  
15 вариантах осуществления данного изобретения, может преимущественно обеспечить снижение расхода пара СД установки по производству карбамида.

20 [66] Кожух (т. е. стенка емкости) конденсатора карбамата ВД, внутренняя поверхность которого выходит в межтрубное пространство, как правило, оснащен футеровкой из коррозионно-стойкой стали карбамидного класса, например, футеровкой из дуплексной ферритно-аустенитной нержавеющей стали, поскольку в процессе эксплуатации в межтрубном пространстве присутствует коррозионно-активная  
25 технологическая среда, содержащая карбамат. Стенка кожуха, например, изготовлена из углеродистой стали и способна выдерживать высокие давления в межтрубном пространстве, например, по меньшей мере 140 бар.

30 [67] Трубки изготовлены, например, из коррозионно-стойкой стали, например, из дуплексной ферритно-аустенитной нержавеющей стали. В вариантах осуществления с зоной реакции в конденсаторе

карбамата ВД, например, вариантах осуществления с использованием реактора затопленного типа, количество стали карбамидного класса, необходимое для зоны реакции, может быть относительно небольшим по сравнению с обеспечением того же объема реакционной смеси в трубках.

5

[68] Конденсатор содержит, как правило, трубную решетку, а отводы трубок, как правило, соединены с трубной решеткой, необязательно посредством муфт или других соединительных средств, например, с использованием сварки внутренних отверстий. Трубная решетка снабжена, например, со стороны, пролегающей в межтрубное пространство, наплавкой и/или облицовкой из коррозионно-стойкой стали карбамидного класса, например, облицовкой из дуплексной нержавеющей стали.

10

15

[69] Внутренние детали в межтрубном пространстве предпочтительно изготовлены из коррозионно-стойкой стали карбамидного класса, например, дуплексной нержавеющей стали.

20

[70] Конденсатор карбамата ВД размещен, например, на уровне земли или на возвышении, например, на высоте до 10 м над уровнем земли.

25

[71] Необязательно, часть исходного  $\text{CO}_2$  подается в конденсатор карбамата ВД напрямую или косвенно, например, через отпариватель высокого давления (ВД) или с использованием комбинации как прямой, так и косвенной подачи в конденсатор карбамата ВД.

30

[72] Необязательно, часть исходного  $\text{CO}_2$  подается в межтрубное пространство конденсатора карбамата ВД. Это может быть преимущественно использовано для коррекции соотношения N/C для оптимальной конденсации карбамата, в частности, для уменьшения соотношения N/C, например, для увеличения температуры конденсации.

В интересующем варианте осуществления часть исходного  $\text{CO}_2$  подается непосредственно в межтрубное пространство конденсатора карбамата ВД.

5 [73] Необязательно, часть исходного  $\text{CO}_2$  подается в отпариватель ВД, например, в нижнюю часть трубного пространства, и, таким образом, непосредственно в конденсатор карбамата ВД. Исходный  $\text{CO}_2$  может содержать некоторое количество  $\text{O}_2$  и, таким образом, обеспечивать пассивацию термического отпаривателя ВД.

10

[74] Например, до 50 мол. % исходного (свежего)  $\text{CO}_2$  подается в отпариватель, например, по меньшей мере 1 мол. %, например, до 20 мол. % или до 15 мол. % (или мас. %), например, 10–30 мол. %. Например, до 80 мол. % исходного  $\text{CO}_2$  подается (непосредственно) в  
15 конденсатор, например, по меньшей мере 1 мол. %, предпочтительно до 40 мол. %. Предпочтительно по меньшей мере 50 мол. % исходного  $\text{CO}_2$  подается непосредственно в реактор. Все указанные процентные доли могут также относиться к мас. %. В данном документе, количества  $\text{CO}_2$  выражены в процентных долях относительно исходного  $\text{CO}_2$ ,  
20 полученного в зоне, очерченной границами установки по производству карбамида, например, от установки аммиака, например, от секции производства синтез-газа установки аммиака. В обеспечивающем преимуществе варианте осуществления, особенно в случае модернизации, дополнительный  $\text{CO}_2$  подается непосредственно в  
25 межтрубное пространство конденсатора карбамата ВД.

[75] Способ производства карбамида по изобретению включает приведение в химическое взаимодействие  $\text{NH}_3$  с  $\text{CO}_2$  в реакторе с получением потока синтеза карбамида; подачу по меньшей мере жидкой  
30 фракции потока синтеза в отпариватель, необязательно, подачу всего потока синтеза карбамида в отпариватель; подачу газа из отпаривателя, т. е. из трубок, в межтрубное пространство конденсатора карбамата ВД;

и конденсацию указанного газа в указанном межтрубном пространстве конденсатора карбамата ВД таким образом, чтобы конденсация карбамата осуществлялась в межтрубном пространстве. Процесс осуществляется на установке, как описано.

5

[76] Температура жидкости на выходе из конденсатора составляет, например, по меньшей мере 165 °С, или по меньшей мере 170 °С, и, например, до 180 °С. Эта относительно высокая температура жидкости на выходе преимущественно обеспечивается более высокой температурой конденсации из-за различного состава технологической среды в межтрубном пространстве конденсатора карбамата высокого давления по сравнению с технологической средой в конденсаторе карбамата испарительного типа, и может также преимущественно способствовать более высокой температуре в реакторе. Это, в свою очередь, может быть использовано для достижения более высокой конверсии в реакторе, относительно меньшего реактора и/или более низкого рабочего давления реактора, или комбинации этих факторов. Более низкое давление в реакторе может, в свою очередь, обеспечить более низкое давление и преимущественно более высокую эффективность отпаривания в отпаривателе ВД и/или меньший расход пара в отпаривателе ВД. Все предпочтения для установки в равной степени применимы и к способу производства карбамида.

[77] Изобретение также относится к способу модификации существующей установки по производству карбамида с получением модифицированной установки по производству карбамида. Существующая установка по производству карбамида содержит реактор, термический отпариватель и конденсатор карбамата высокого давления (ВД) испарительного типа, все в секции синтеза ВД. Конденсатор карбамата ВД испарительного типа представляет собой кожухотрубный теплообменник, выполненный с возможностью приема газа из термического отпаривателя в трубки, т. е. в трубное пространство

конденсатора карбамата ВД испарительного типа. Способ включает стадию замены конденсатора карбамата ВД испарительного типа на заменяющий конденсатор карбамата высокого давления, который представляет собой кожухотрубный теплообменник, содержащий

5 трубный пучок и межтрубное пространство, имеющее впускное отверстие газа. Заменяющий конденсатор карбамата ВД выполнен с возможностью приема газа из отпаривателя в межтрубное пространство и конденсации указанного газа до карбамата в указанном межтрубном пространстве. Заменяющий конденсатор карбамата ВД представляет собой, например,

10 конденсатор затопленного типа или реактор затопленного типа. Все признаки и предпочтения, описанные в данном документе для конденсатора карбамата ВД установки по производству карбамида по изобретению применимы также для заменяющего конденсатора карбамата ВД. Способ также включает соединение выпускного отверстия

15 газа термического отпаривателя с указанным впускным отверстием газа в межтрубное пространство. Предпочтительно, способ также включает обеспечение линии подачи части исходного  $\text{CO}_2$  в межтрубное пространство. Все предпочтения, описанные для установки по производству карбамида по изобретению также применимы для

20 модифицированной установки по производству карбамида. Способ необязательно также включает добавление паровой емкости, рассмотренной в данном документе выше.

[78] Весьма изящно, способ по данному изобретению включает

25 замену конденсатора ВД испарительного типа на существующей установке по производству карбамида с технологией термического отпаривания на затопленный конденсатор, т. е. кожухотрубный конденсатор с конденсацией в межтрубном пространстве, который способен преимущественно генерировать, например, до 60 %

30 дополнительного объема реакционной смеси, например, 50–60 % дополнительного объема реакционной смеси. Этот дополнительный объем реакционной смеси может быть использован для обеспечения

дополнительной производительности установки, или сниженного потребления энергии (пар более высокого давления поднимается в конденсаторе), или комбинации того и другого. Например, увеличение производительности, например, на 1–5 %, может быть достигнуто  
5 посредством замены конденсатора ВД испарительного типа на конденсатор карбамата ВД, используемый в данном изобретении.

[79] Более того, эти преимущества могут быть получены при низких капитальных затратах и без необходимости существенных  
10 изменений в секции синтеза ВД.

[80] Существующая установка содержит отпариватель ВД с технологией термического отпаривания и необязательно может дополнительно содержать отпариватели ВД, например, с технологией  
15 отпаривания  $\text{CO}_2$ , расположенные последовательно или параллельно.

[81] Способ модификации существующей установки может быть использовано в качестве модернизации существующей установки. Преимуществом является то, что необходимы только минимальные  
20 регулировки в секции синтеза ВД.

[82] На **Фиг. 1** проиллюстрирована приведенная для примера технологическая схема (установки или способа) в соответствии с изобретением. Установка по производству карбамида содержит секцию  
25 синтеза ВД, содержащую реактор (Р), отпариватель (О) и конденсатор (К). Конденсатор (К) карбамата ВД представляет собой кожухотрубный теплообменник с горизонтальным U-образным трубным пучком (14) и межтрубным пространством (15). Поток синтеза карбамида (1) из реактора (Р) подается в верхнюю часть  
30 отпаривателя (О), который является термическим отпаривателем. Поток (2) газа из отпаривателя, содержащий  $\text{CO}_2$  и  $\text{NH}_3$ , подается в межтрубное пространство (15) конденсатора (К). Пар поднимается по

трубкам (14) из воды, например, из питательной воды котла. Жидкая фаза, содержащая карбамат аммония, образуется в межтрубном пространстве (15), и карбамат является уже частично прореагировавшим до карбамида и воды в межтрубном пространстве (15). Жидкость (3) из межтрубного пространства (15) подается, вместе с газообразными компонентами из межтрубного пространства (15) конденсатора (К), в сепаратор (СК) карбамата который представляет собой газожидкостный сепаратор, работающий под высоким давлением ВД. Газ (4) из сепаратора карбамата подается, например, в секцию извлечения СД (ВСД). Жидкость (5) из сепаратора (СК) карбамата подается в эжектор (Э). Флюид (6) из эжектора (Э) подается в реактор (Р), который в проиллюстрированном примере также принимает весь исходный  $\text{CO}_2$  (7). В других приведенных для примера вариантах осуществления, как проиллюстрировано на Фиг. 3, часть (7а) исходного  $\text{CO}_2$  (7) подается в конденсатор (К) карбамата ВД. Отпаренный раствор (8) карбамида из отпаривателя (О) ВД подается в секцию (ВСД) извлечения СД. Отпаренный раствор (8а) карбамида из секции (ВСД) извлечения СД подается в секцию (ВНД) извлечения НД с получением раствора (9) карбамида, который подается, например, в секцию испарения (не показана). Раствор (10) карбамата из секции (ВНД) извлечения НД подается в секцию (ВСД) извлечения СД. Секция (ВСД) извлечения СД также принимает исходный  $\text{NH}_3$  (11). Возвратный раствор (12) карбамата СД подается, с использованием насоса карбамата ВД (не показан), из секции (ВСД) извлечения СД в секцию синтеза ВД, в частности, в межтрубное пространство (15) конденсатора (К) карбамата ВД. Отдельный поток (13)  $\text{NH}_3$ , включая исходный  $\text{NH}_3$  и возвратный  $\text{NH}_3$ , подается, с использованием насоса аммиака ВД (не показан), из секции (ВСД) извлечения СД в эжектор (Э) ВД в качестве движущего флюида.

30

[83] На **Фиг. 2** схематически проиллюстрирован приведенный для примера конденсатор (К) карбамата ВД, который может быть

использован в процессе, установке и способе по изобретению, например, в процессе схемы по Фиг. 1. Конденсатор (К) карбамата ВД представляет собой, в частности, конденсатор затопленного типа. Конденсатор содержит U-образный трубный пучок (14) и распылитель (16) для  
5 распределения газа (2) из отпаривателя (О) в межтрубном пространстве (15). Межтрубное пространство (15) также содержит впускное (2b) отверстие газа для приема указанного газа (2) из отпаривателя (О). Конденсатор (К) содержит единственное выпускное отверстие (3a) из межтрубного пространства, через которое отводится  
10 поток флюида (3), содержащий как жидкость, так и газ. Выходы трубок (14) соединены с паровой емкостью (ПЕ). Паровая емкость может быть непосредственно присоединена к конденсаторной емкости. Возвратный раствор (12) карбамата СД подается в межтрубное пространство (15) конденсатора (К) карбамата ВД.

15

[84] На **Фиг. 3** схематически проиллюстрирован приведенный для примера конденсатор (К) карбамата ВД, который может быть использован в процессе, установке и способе по изобретению, например, в процессе схемы по Фиг. 1. В частности, реактор затопленного типа  
20 проиллюстрирован как конденсатор (К) карбамата ВД. Конденсатор (К) содержит U-образный трубный пучок (14) и распылитель (16) для распределения газа (2) из отпаривателя (О) в межтрубном пространстве (15). Конденсатор (К) содержит межтрубное пространство (15), впускное отверстие (2b) газа для газа (2) из  
25 отпаривателя (О), выпускное отверстие (4) газа и отдельное выпускное отверстие (5) жидкости. Межтрубное пространство (15) содержит зону (17) конденсации вокруг U-образного трубного пучка (14) и зону (18) реакции, расположенную за трубным пучком, между стенкой (19) и изгибом (14) U-образного трубного пучка.

30 Конденсатор (К) содержит кожух или стенку (19) емкости, который в процессе эксплуатации контактирует изнутри с коррозионно-активной технологической средой, в частности, карбаматом, и оснащен изнутри,

например, коррозионно-стойким покрытием. Распылитель (16) пролегает горизонтально как в зону (17) конденсации, так и в зону (18) реакции. Таким образом, конденсация газа из участка распылителя (16), который пролегает в зону (18) реакции, может обеспечить тепло для реакции

5 образования карбамида. Перегородка (20) работает как переливная перегородка, и, таким образом, обеспечивает разделение газа и жидкости. Верхняя часть перегородки (20) расположена выше верхней части трубного пучка (14). Таким образом, трубный пучок (14) является затопленным в процессе эксплуатации. Перегородка (20) расположена

10 горизонтально на расстоянии от изгиба U-образного трубного пучка (14), например, на по меньшей мере 10 %, например, до 50 % горизонтальной длины межтрубного пространства (15), чтобы обеспечить время пребывания в зоне (18) реакции, расположенной между этой переливной

15 перегородкой (20) и указанным изгибом U-образного трубного пучка (14). Возвратный раствор (12) карбамата СД подается в межтрубное пространство (15) конденсатора (К) карбамата ВД. Межтрубное пространство (15) имеет впускное отверстие для части (7а) исходного  $\text{CO}_2$ , подаваемого непосредственно в межтрубное пространство (15) в этом варианте осуществления. Выпускные отверстия

20 трубок (14) могут быть соединены с паровой емкостью (не показана).

[85] На **Фиг. 4** схематически проиллюстрирован приведенный для примера отпариватель (О) ВД, который может быть использован в способе изобретения и установке, например, на технологической схеме

25 по Фиг. 1. Отпариватель (О) имеет впускное отверстие сверху для потока синтеза карбамида или раствора (1), выпускное отверстие сверху для газа (2), выпускное отверстие снизу для отпаренного раствора (8) карбамида и содержит трубки (21) отпаривателя. На практике, отпариватель (О) содержит множество трубок (21) отпаривателя,

30 например, более 1000. Отпариватель (О) принимает пар в межтрубное пространство для нагрева раствора (1) карбамида, который подается в

виде падающей пленки в трубках (21), что приводит к отпарке с удалением аммиака и карбамата из раствора (1) карбамида.

[86] На **Фиг. 5** схематически проиллюстрирован паровой котел (К1) испарительного типа, используемый в существующих установках по производству карбамида с технологией термического отпаривания. Газ (2) из отпаривателя подается в трубки U-образного трубного пучка. Выход трубного пучка соединен с сепаратором (СК) карбамата. Пар поднимается по межтрубному пространству из питательной воды (ПВК) котла.

[87] В данной области применения, 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 10 до 40 бар, и низкое давление (НД) составляет, например, от 1,0 до 10 бар, в частности, от 1,0 до 8 бар, например, от 1,5 до 5 бар. Все значения давления указаны в барах абсолютного давления. Соотношение N/C, используемое в данном документе для потоков раствора карбамида и карбамата, отражает состав так называемой исходной смеси перед производством карбамида, состоящей только из  $\text{NH}_3$ ,  $\text{CO}_2$  и  $\text{H}_2\text{O}$ , используется в области техники установок по производству карбамида и является молярным отношением. Соотношение N/C для газовых потоков указывает на молярное отношение  $\text{NH}_3$  к  $\text{CO}_2$ .

[88] Термин «карбамат» в контексте данного документа относится к карбамату аммония и используется в области производства карбамида. Конденсация в конденсаторе карбамата относится к так называемой карбаматной конденсации, которая включает реакционное взаимодействие  $\text{NH}_3$  с  $\text{CO}_2$  с образованием карбамата аммония, таким образом, фактически газообразные  $\text{NH}_3$  и  $\text{CO}_2$  превращаются в карбамат,

который входит в состав жидкой фазы. Разложение карбамата относится к реакции диссоциации карбамата на  $\text{NH}_3$  и  $\text{CO}_2$ .

[89] Термины «типичный» и «в частности» используются для  
5 обозначения признаков, которые могут использоваться в некоторых вариантах осуществления, но не являются обязательными. Предпочтительные признаки не являются обязательными.

[90] Термин «содержащая» и производные формы используются  
10 для указания на то, что могут присутствовать дополнительные элементы и стадии, помимо перечисленных.

[91] В контексте данного документа, термин межтрубное  
15 пространство, в целом, относится к пространству между трубками, ограниченному кожухом (стенкой кожуха) кожухотрубного теплообменника. Термин «трубное пространство» относится к внутреннему пространству трубок.

[92] Изобретение относится к установке по производству  
20 карбамида и процессу с технологией термического отпаривания, а также к способу модификации установки по производству карбамида с технологией термического отпаривания. Описана установка по производству карбамида с термическим отпаривателем и конденсатором карбамата высокого давления с межтрубным пространством, причем газ  
25 из отпаривателя конденсируется в межтрубном пространстве.

[93] Изобретение далее будет дополнительно проиллюстрировано следующим примером, который не ограничивает формулу изобретения.

30 **Пример 1**

[94] В установке по производству карбамида с технологией термического отпаривания (самоотпаривания) существующий конденсатор карбамата ВД испарительного типа заменили конденсатором затопленного типа. Результаты представлены в

5 таблице 1; выпускное отверстие жидкости относится к выпускному отверстию технологической области конденсатора. Сравнение двух конструкций проводится на основе одинакового количества отходящего газа из технологической области конденсатора (например, отходящего газа, подаваемого в секцию рекуперации СД).

10

[95] Температура жидкости на выходе из установки по изобретению существенно выше благодаря более высокой концентрации карбамида.

15

[96] Более высокая температура в технологической области конденсатора может быть использована, например, для восхождения пара более высокого давления, что, как установлено, обеспечивает снижение расхода пара установкой на 0–10 %, как правило, на 2–5 %. Содержание карбамида в жидкости на выходе из конденсатора,

20 составляющее 17 мас. % в данном примере, может быть использовано для увеличения производительности установки по производству карбамида на 0–7 %, как правило, на 2–5 %.

Таблица 1

	<b>Для справки</b>	<b>По изобретению</b>
Тип конденсатора ВД	Конденсатор испарительного типа	Конденсатор затопленного типа
Количество отходящего газа из конденсатора	6000 кг/ч	6000 кг/ч
Температура жидкости на выходе	160 °С	172 °С
Содержание карбамида в жидкости на выходе	0 мас. %	17 мас. %

## ФОРМУЛА ИЗОБРЕТЕНИЯ

1. Установка по производству карбамида, содержащая секцию синтеза высокого давления (ВД), содержащую реактор (Р), термический отпариватель (О) и конденсатор (К) карбамата высокого давления, при этом конденсатор карбамата (К) высокого давления содержит кожухотрубный теплообменник, содержащий трубный пучок (14) и межтрубное пространство (15), при этом установка содержит линию (2) подачи газа из выпускного отверстия (2а) газа термического отпаривателя (О) во впускное отверстие (2b) газа указанного межтрубного пространства (15).

2. Установка по производству карбамида по п. 1, в которой конденсатор (К) содержит распылитель (16) в межтрубном пространстве (15) для распределения газа (2) из термического отпаривателя (О) в межтрубное пространство (15).

3. Установка по производству карбамида по п. 1 или 2, в которой трубный пучок (14) в конденсаторе (К) представляет собой горизонтальный трубный пучок, предпочтительно U-образный трубный пучок.

4. Установка по производству карбамида по любому из предшествующих пунктов, дополнительно содержащая секцию (СДВ) извлечения среднего давления (СД), при этом секция (СДВ) извлечения СД имеет линию (12) возврата карбамата и отдельную линию (13) возврата аммиака в секцию синтеза ВД.

5. Установка по производству карбамида по любому из предшествующих пунктов, дополнительно содержащая паровую емкость (ПЕ), соединенную с выходом трубного пучка (14) конденсатора (К).

6. Установка по производству карбамида по любому из предшествующих пунктов, в которой термический отпариватель (О) содержит трубки (21) отпаривателя, при этом трубки отпаривателя  
5 изготовлены из Zr или Ti, или являются биметаллическими трубками отпаривателя; при этом биметаллические трубки отпаривателя предпочтительно содержат наружную трубку, изготовленную из стали, и внутреннюю трубку, изготовленную, например, из циркония.

10 7. Установка по производству карбамида по любому из предшествующих пунктов, в которой межтрубное пространство (15) конденсатора (К) содержит выпускное отверстие (3а) для флюида, содержащего жидкость, и при этом установка содержит подсоединение (3) потока жидкости из указанного выпускного  
15 отверстия (3а) к реактору (Р).

8. Установка по производству карбамида по любому из предшествующих пунктов, в которой конденсатор (К) представляет собой емкость, содержащую горизонтальный U-образный трубный  
20 пучок (14), зону (17) конденсации и зону (18) реакции.

9. Установка по производству карбамида по любому из предшествующих пунктов, в которой конденсатор (К) содержит кожух (19), причем кожух (19) оснащен футеровкой из коррозионно-  
25 стойкой стали карбамидного класса, например, футеровкой из дуплексной ферритно-аустенитной нержавеющей стали.

10. Способ производства карбамида, осуществляемый на установке по производству карбамида по любому из предшествующих  
30 пунктов, включающий:

- приведение в химическое взаимодействие  $\text{NH}_3$  с  $\text{CO}_2$  в реакторе (Р) с получением потока (1) синтеза карбамида;

- подачу по меньшей мере жидкой части потока (1) синтеза в отпариватель (O);

- подачу газа (2) из отпаривателя в межтрубное пространство (15) конденсатора (K) карбамата ВД; и

5 - конденсацию указанного газа (2) в указанном межтрубном пространстве (15) конденсатора (K) карбамата ВД.

11. Способ производства карбамида по п. 10, в котором реактор работает при соотношении N/C на выходе из реактора 3,2–3,6.

10

12. Способ производства карбамида по п. 10 или 11, в котором отпариватель работает при давлении на по меньшей мере 2 бара ниже, чем в реакторе.

15 13. Способ производства карбамида по любому из пп. 10–12, в котором жидкость (5), отводимая из указанного межтрубного пространства (15), содержит по меньшей мере 5 мас. % карбамида, предпочтительно по меньшей мере 10 мас. % карбамида.

20 14. Способ производства карбамида по любому из пп. 10–13, в котором температура конденсации в указанном межтрубном пространстве (15) составляет по меньшей мере 165 °C.

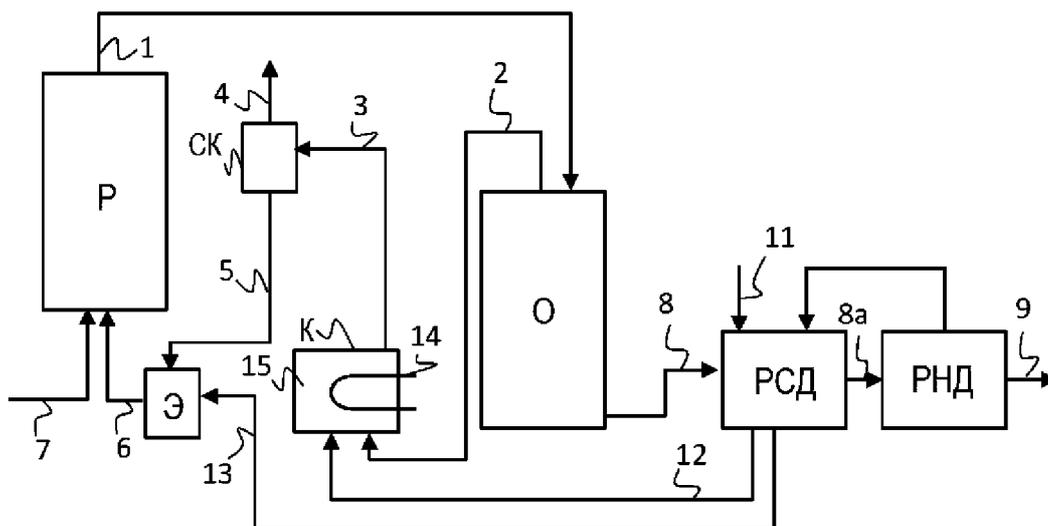
25 15. Способ модификации существующей установки по производству карбамида, содержащей реактор (P), термический отпариватель (O) и конденсатор (K1) карбамата высокого давления испарительного типа,

при этом конденсатор (K1) карбамата испарительного типа высокого давления представляет собой кожухотрубный теплообменник, выполненный с возможностью приема газа из термического отпаривателя (O) в трубки;

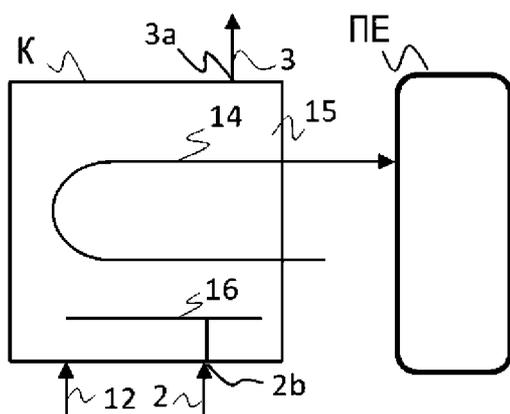
30

способ включает:

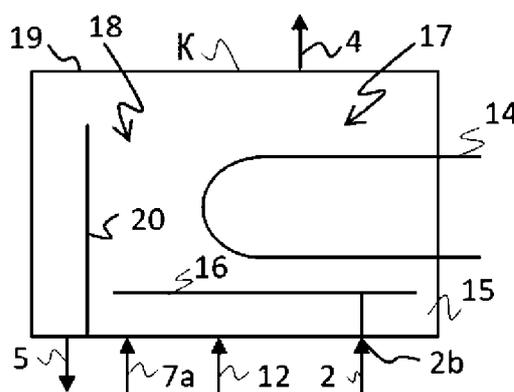
- замену указанного конденсатора (К1) карбамата ВД испарительного типа на заменяющий конденсатор (К) карбамата высокого давления, который представляет собой кожухотрубный теплообменник, содержащий трубный пучок (14) и межтрубное пространство (15), имеющее впускное отверстие газа (2b) и выполненное с возможностью приема газа (2) из отпаривателя и конденсацию указанного газа до карбамата в указанном межтрубном пространстве (15); и
- соединение выпускного отверстия (2a) газа термического отпаривателя (О) с указанным впускным отверстием газа (2b) межтрубного пространства (15) и предпочтительно обеспечение линии подачи исходного  $\text{CO}_2$  в межтрубное пространство (15),  
причем предпочтительно заменяющий конденсатор (К) карбамата высокого давления соответствует определенному в любом из пп. 1–3, 8 или 9, и/или при этом в результате использования способа получают установку по производству карбамида по любому из пп. 4–7.



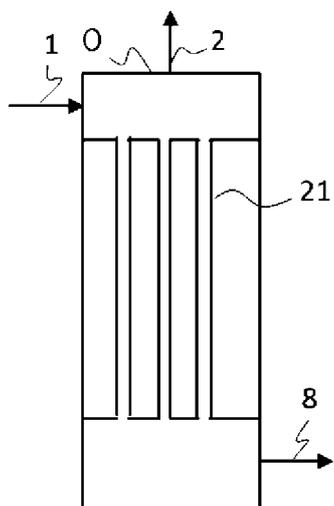
Фиг. 1



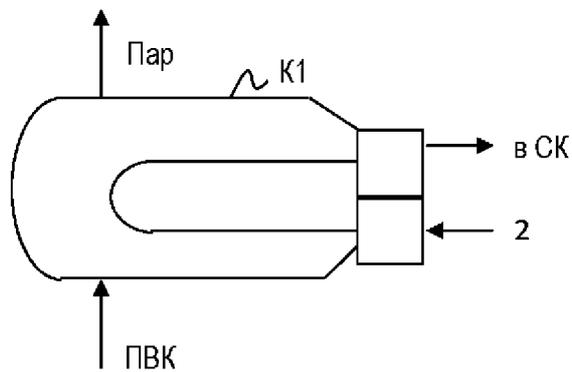
Фиг. 2



Фиг. 3



Фиг. 4



Фиг. 5