

(19)



Евразийское
патентное
ведомство

(11) 042032

(13) B1

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ЕВРАЗИЙСКОМУ ПАТЕНТУ

(45) Дата публикации и выдачи патента
2022.12.28

(21) Номер заявки
202193312

(22) Дата подачи заявки
2020.06.05

(51) Int. Cl. *B01D 1/06* (2006.01)
B01D 19/00 (2006.01)

(54) УСТАНОВКА ПО ПРОИЗВОДСТВУ КАРБАМИДА СО СТРИППЕРОМ И СПОСОБ
СТРИППИНГА

(31) 19179019.5

(32) 2019.06.07

(33) EP

(43) 2022.03.17

(86) PCT/NL2020/050364

(87) WO 2020/246886 2020.12.10

(71)(73) Заявитель и патентовладелец:
СТАМИКАРБОН Б.В. (NL)

(72) Изобретатель:
Жеверс Ламбертус Вильгельмус,
Колома Гонсалес Хуан (NL)

(74) Представитель:
Фелицына С.Б. (RU)

(56) US-A1-2012097378
US-A-4579304
EP-A1-1195194
EP-A1-1375475
WO-A1-2005090893

(57) Описан осуществляемый в стриппере способ стриппинга раствора синтеза карбамида, поступающего из процесса образования карбамида, в котором аммиак и CO₂ вступают в реакцию в условиях образования карбамида. Пространство кожуха стриппера содержит непрерывную вертикальную зону.

B1

042032

042032

B1

Область техники, к которой относится изобретение

Изобретение относится к способу стриппинга раствора синтеза карбамида и установке по производству карбамида. Изобретение также относится к кожухотрубному теплообменнику, стрипперу для установки по производству карбамида, способу производства карбамида и способу модификации установки по производству карбамида. Изобретение дополнительно относится к способу модификации установки по производству карбамида.

Уровень техники

Установки по производству карбамида в соответствии с технологической схемой стриппинг-процесса включают в себя стриппер высокого давления (НР), который представляет собой кожухотрубный теплообменник, содержащий вертикальный трубный пучок, кожух и пространство кожуха между кожухом и трубами. Стриппер выполнен в виде теплообменника с падающей пленкой для введения раствора синтеза карбамида, подлежащего стриппингу, в трубки и для введения конденсируемой текучей среды теплоносителя в пространство кожуха. Кожух содержит ввод для конденсируемой газообразной текучей среды теплоносителя, такого как водяной пар, а также вывод для конденсата. Большая часть водяного пара конденсируется в пространстве кожуха. Например, из стриппера в процессе эксплуатации отводят по меньшей мере 15 кг/ч или, например 20–40 кг/ч, конденсата водяного пара на трубку.

Раствор синтеза карбамида содержит, помимо карбамида, карбамат аммония и воду и, как правило, свободный аммиак и CO_2 . Карбамат аммония является чрезвычайно коррозионным при обычных температурах в стриппере (например, выше 150°C, например в диапазоне 180–220°C). Поэтому трубки стриппера, как правило, выполнены из специальных сортов стали, таких как двухфазная аустенитно-ферритная нержавеющая сталь. Примеры сортов стали описаны в WO 95/00674, WO 2017/013180 и WO 2017/014632.

Несмотря на то что эти виды стали обычно обеспечивают хорошую коррозионную стойкость и длительный срок службы трубок стриппера, определенная коррозия все же может возникать. В частности, в примере однопоточной установки по производству карбамида с проектной производительностью, например, по меньшей мере 2700 МТПД (метрических тонн в день) карбамида стриппер может содержать, например, трубный пучок из от 3500 до 6000 трубок, дающих диаметр трубного пучка от около 3,0 до 3,5 м.

Могут быть использованы трубные пучки с еще большим количеством трубок. Оказалось, что для очень больших трубных пучков существует определенный риск коррозии.

Коррозия трубок стриппера зависит от температуры в трубках. Отмечалось, что коррозия возникает преимущественно в определенных вертикальных участках трубки из-за температурного профиля по трубкам в направлении снизу вверх. Максимальную коррозию трубок, например, наблюдали в вертикальной зоне, составляющей 70–90% эффективной длины трубки от верхней части эффективной длины трубки. В верхних частях трубок температура карбамидного раствора все еще относительно низкая и повышается сверху вниз. В нижней части эффективной длины трубки концентрация карбамата аммония является низкой.

Как правило, для кожухотрубных теплообменников обычно устанавливают перегородки на стороне кожуха для более высокого коэффициента теплопередачи за счет повышенной турбулентности и для конструктивной опоры трубок и таким образом снижают вероятность повреждения из-за вибрации. Кроме того, в стрипперах установок по производству карбамида в пространстве кожуха обычно размещают перегородки для улучшения теплообмена между водяным паром и трубками за счет формирования желаемой структуры потока водяного пара в пространстве кожуха. Например, на странице 8 журнала World Fertilizer Magazine за февраль 2019 г. схематически показана конструкция стриппера НР установки по производству карбамида с дисковыми и кольцевыми перегородками.

Пример вариантов размещения перегородок включает в себя односегментную, двухсегментную и дисковую и кольцевую перегородки. Такого рода перегородки представляют собой пластины перегородок с отверстиями для трубок. Пластины перегородки оставляют определенное свободное пространство в пространстве кожуха в горизонтальном поперечном сечении на высоте перегородок и тем самым обеспечивают циркуляцию потока текучей среды теплоносителя вдоль перегородки. Расстояние между центрами перегородок называется шагом перегородки, и его можно регулировать для изменения скорости поперечного потока. На практике шаг перегородки обычно меньше некоторого максимального шага перегородки, который обычно намного меньше внутреннего диаметра кожуха. При правильно выбранном шаге сегментные перегородки служат не только для направления потока в пространстве кожуха, но также для защиты трубок от повреждения из-за вибрации и предотвращения изгиба трубок.

Сегментные перегородки, дисковые перегородки, кольцевые перегородки и другие виды перегородок, как правило, представляют собой металлические пластины с отверстиями для трубок. Как правило, трубки проходят через отверстия без значительного зазора, например, не более 2,0 мм, как правило, не более 0,5 мм, например 0,2 мм. Поэтому отверстия для трубок в пластинах перегородок обычно не обеспечивают заметного дренажа конденсата.

Цель настоящего изобретения - обеспечить стриппер высокого давления для установки по производству карбамида, который по меньшей мере частично решает вышеупомянутые проблемы коррозии трубок стриппера; а также установку по производству карбамида, которая включает в себя такой стрип-

пер, и способ стриппинга карбамидного раствора с использованием такого стриппера. Дополнительные цели обсуждаются в приведенном ниже описании.

Раскрытие изобретения

В первом аспекте изобретение относится к способу стриппинга раствора синтеза карбамида, поступающего из процесса образования карбамида, в котором аммиак и CO_2 вступают в реакцию в условиях образования карбамида, причем раствор синтеза карбамида содержит карбамид, воду и карбамат аммония, при этом способ включает в себя стадии, на которых

подвергают указанный раствор синтеза карбамида стриппингу и косвенному теплообмену с газообразной текучей средой теплоносителя в стриппере, причем указанный стриппер представляет собой вертикальный кожухотрубный теплообменник, содержащий трубный пучок, содержащий трубки, кожух и пространство кожуха, при этом раствор синтеза карбамида обеспечивают в виде падающей пленки в трубках и при этом текучая среда теплоносителя поступает в пространство кожуха и по меньшей мере частично конденсируется в пространстве кожуха,

причем указанный трубный пучок предпочтительно имеет эффективную длину трубки, составляющую от 4 до 9 м, при этом эффективная длина трубки определяется как длина части трубки, которая находится в контакте с текучей средой теплоносителя,

причем указанный трубный пучок имеет предельный наружный трубный диаметр и предпочтительно отношение эффективной длины трубки к предельному наружному трубному диаметру составляет 2,5 или менее, при этом предельный наружный трубный диаметр представляет собой диаметр окружности, обведенной вокруг наиболее удаленных от центра трубок в трубном пучке,

причем пространство кожуха на каждом уровне по вертикали предпочтительно имеет область дренажа для конденсата текучей среды теплоносителя,

при этом указанное пространство кожуха предпочтительно содержит непрерывную вертикальную зону с вертикальной длиной по меньшей мере 1,6 м, причем указанная непрерывная вертикальная зона не включает в себя перегородки (и предпочтительно не включает в себя сегментные перегородки, дисковые перегородки или кольцевые перегородки) и/или при этом в указанной непрерывной вертикальной зоне для каждого горизонтального поперечного сечения указанного пространства кожуха в указанной вертикальной зоне разница в площади области дренажа для конденсата текучей среды теплоносителя между любыми двумя круглыми областями площадью по меньшей мере $0,25 \text{ м}^2$, которые имеют одинаковый размер и которые находятся в области указанного горизонтального поперечного сечения и в границах указанного предельного наружного трубного диаметра, составляет менее 5% относительно средней площади области дренажа указанных двух круглых областей; и/или при этом указанная непрерывная вертикальная зона не включает в себя перегородки.

В дополнительном аспекте изобретение относится к способу стриппинга раствора синтеза карбамида, поступающего из процесса образования карбамида, в котором аммиак и CO_2 вступают в реакцию в условиях образования карбамида, причем раствор синтеза карбамида содержит карбамид, воду и карбамат аммония, при этом способ включает в себя стадии, на которых

подвергают указанный раствор синтеза карбамида стриппингу и косвенному теплообмену с газообразной текучей средой теплоносителя в стриппере, причем указанный стриппер представляет собой вертикальный кожухотрубный теплообменник, содержащий трубный пучок, содержащий трубки, кожух и пространство кожуха, при этом раствор синтеза карбамида обеспечивают в виде падающей пленки в трубках и при этом текучая среда теплоносителя поступает в пространство кожуха и по меньшей мере частично конденсируется в пространстве кожуха,

причем указанный трубный пучок предпочтительно имеет эффективную длину трубки, составляющую от 4 до 9 м, при этом эффективная длина трубки определяется как длина части трубки, которая находится в контакте с текучей средой теплоносителя,

причем пространство кожуха на каждом уровне по вертикали, где трубки контактируют с текучей средой теплоносителя, предпочтительно имеет область дренажа для конденсата текучей среды теплоносителя, и

при этом трубки опираются на полосы, причем ширина полос предпочтительно составляет менее 10 мм.

Изобретение также относится к таким стрипперам, которые используют или которые описаны в указанных способах.

Изобретение также относится к установке по производству карбамида, содержащей секцию синтеза высокого давления с секцией реакции получения карбамида, конденсатор карбамата высокого давления и стриппер, причем указанный стриппер выполнен в виде вертикального кожухотрубного теплообменника с падающей пленкой и содержит трубный пучок, содержащий трубки, кожух и верхнюю трубную решетку и нижнюю трубную решетку, а также пространство кожуха, обеспеченное в кожухе между верхней и нижней трубными решетками, причем указанный стриппер выполнен с возможностью поддержания падающей пленки раствора синтеза карбамида, подлежащего стриппингу, в трубках и содержит выпуск для газообразной текучей среды теплоносителя, подаваемой в пространство кожуха, и выпуск для газообразной текучей среды теплоносителя и конденсата текучей среды теплоносителя из пространства

кожуха,

причем указанный трубный пучок предпочтительно имеет эффективную длину трубки, составляющую от 4 до 9 м, при этом эффективная длина трубки определяется как длина части трубки, которая при эксплуатации находится в контакте с текучей средой теплоносителя,

причем трубный пучок имеет предельный наружный трубный диаметр и предпочтительно отношение эффективной длины трубки к предельному наружному трубному диаметру составляет 2,5 или менее, при этом предельный наружный трубный диаметр представляет собой диаметр окружности, обведенной вокруг наиболее удаленных от центра трубок в трубном пучке,

причем пространство кожуха на каждом уровне по вертикали, где трубки контактируют с текучей средой теплоносителя, предпочтительно имеет область дренажа для конденсата текучей среды теплоносителя,

при этом указанное пространство кожуха предпочтительно (1) содержит непрерывную вертикальную зону с вертикальной длиной по меньшей мере 1,6 м, причем для каждого горизонтального поперечного сечения указанного пространства кожуха в указанной вертикальной зоне разница в площади области дренажа между любыми двумя круглыми областями площадью по меньшей мере 0,25 м², которые имеют одинаковый размер и которые находятся в указанном горизонтальном поперечном сечении в пределах указанного предельного наружного трубного диаметра, составляет менее 5% относительно средней площади области дренажа указанных двух круглых областей, и/или (2) при этом указанная непрерывная вертикальная зона не включает в себя перегородки,

причем трубки (3) предпочтительно опираются на полосы, при этом ширина полос предпочтительно составляет менее 10 мм. Изобретение также относится к такому стрипперу. Стриппер, например, имеет указанный признак (1), или указанный признак (2), или признак (3), например признак (1) и (2) в комбинации, или признак (2) и (3) в комбинации, или признаки (1), (2) и (3) в комбинации. То же самое относится и к стрипперу, используемому в способе.

Краткое описание чертежей

На фиг. 1 схематично представлен стриппер в соответствии с изобретением.

На фиг. 2 схематично представлен стриппер в соответствии с изобретением.

На фиг. 3 схематично представлена несущая конструкция стриппера в соответствии с изобретением.

На фиг. 4 схематично представлена установка по производству карбамида в соответствии с изобретением.

Осуществление изобретения

Изобретение основано на рациональном осознании того, что коррозия трубок стриппера в стрипперах высокого давления установок по производству карбамида может быть уменьшена путем предотвращения накопления конденсата текучей среды теплоносителя (например, конденсата водяного пара) в пространстве кожуха стриппера вблизи трубок в вертикальных зонах трубок, где трубки подвержены риску коррозии. Такое накопление конденсата в пространстве кожуха может, в частности, происходить при большом диаметре трубного пучка, и, соответственно, также велики традиционно используемые перегородки (например, сегментные перегородки или дисковые и кольцевые перегородки), так что дренаж не удаляет или недостаточно удаляет конденсат. Авторы настоящего изобретения неожиданно обнаружили, что за счет предотвращения такого накопления конденсата повышается эффективность локального теплообмена в тех зонах стриппера, где существует риск накопления конденсата. Такая более высокая эффективность локального теплообмена повышает общую эффективность теплообмена стриппера, что приводит к более высокой эффективности стриппинга (альфа). Соответственно для достижения заданной фиксированной эффективности стриппинга (альфа) температура и, следовательно, давление водяного пара на стороне кожуха стриппера могут быть ниже, чем в случае накопления конденсата. Более высокая температура и, следовательно, давление водяного пара на стороне кожуха (для компенсации сниженной локальной эффективности теплообмена в случае накопления конденсата) приводит к слишком высокой температуре по меньшей мере в зонах других трубок (трубок без накопленного конденсата на стороне кожуха), т.е. приводит к образованию горячих участков в стриппере. В результате возникает коррозия трубок (внутренних стенок) под действием карбамата аммония, содержащегося в растворе синтеза карбамида, поступающем в указанные трубки. Возможна коррозия, локализованная в указанных горячих участках. Таким образом, в изобретении снижается риск коррозии в трубках стриппера.

Как правило, срок службы отдельной трубки стриппера определяется минимальной толщиной стенки, с тем чтобы избежать риска разрыва трубки и точечных раковин и риска утечки или небольших утечек коррозионной среды в пространство кожуха. Во время отключения установки для технического обслуживания трубку с толщиной стенок ниже безопасного минимального значения, как правило, нужно заглушать. Заглушка трубки неизбежно создает значительный фактор риска отказа (в частности, авария заглушки создает риск утечки). Более того, периодичность технического обслуживания стриппера определяется трубками в трубном пучке с самой высокой скоростью коррозии.

В предпочтительных вариантах осуществления в настоящем изобретении (по существу) не используют сегментные перегородки и дисковые и кольцевые перегородки. В модельных исследованиях неожиданно было обнаружено, что при этом улучшается теплообмен. Это еще более неожиданно, поскольку

ку такие перегородки традиционно используют для улучшения теплопередачи в кожухотрубных теплообменниках за счет формирования поперечного течения текучей среды теплоносителя. Отказ от использования перегородок с пластинами перегородок в пространстве кожуха позволяет избежать накопления конденсата в пространстве кожуха в вертикальной зоне, где трубы подвержены большему риску коррозии. Такой зоной риска коррозии является, например, зона выше уровня, который составляет 10% эффективной длины трубы над верхней поверхностью нижней трубной решетки. В соответствии с изобретением некоторое накопление конденсата может по-прежнему происходить в пространстве кожуха на нижней трубной решетке; но это не влияет на риск коррозии.

В настоящем изобретении несущую конструкцию для трубок, такую как решетчатая конструкция, предпочтительно размещают в пространстве кожуха, чтобы предотвратить изгиб трубок и/или предотвратить вибрацию трубок.

В настоящем документе для технологических потоков (в частности, карбамидного раствора) высоким давлением (HP) считается по меньшей мере 100 бар абс., например 110-160 бар абс., средним давлением (MP) считается 20-60 бар абс., низким давлением (LP) считается 4-10 бар абс. Эти диапазоны давления относятся к технологическим растворам и необязательно являются такими же для текучих сред теплоносителя, таких как водяной пар. Сокращение "бар абс." означает бар абсолютного давления.

В первом аспекте настоящее изобретение относится к способу стриппинга раствора синтеза карбамида. Раствор синтеза карбамида поступает из процесса образования карбамида, в котором аммиак и CO_2 вступают в реакцию в условиях образования карбамида. Раствор синтеза карбамида, например, поступает из секции реакции получения карбамида, которая расположена в секции высокого давления установки по производству карбамида, причем секция высокого давления дополнительно содержит конденсатор карбамата высокого давления.

В одном аспекте изобретение также относится к способу производства карбамида, включающему в себя стадии, на которых осуществляют реакцию NH_3 и CO_2 в условиях образования карбамида в реакционной зоне секции высокого давления установки по производству карбамида с образованием раствора синтеза карбамида, осуществляют стриппинг указанного раствора синтеза карбамида при высоком давлении в стриппере в соответствии с изобретением, чтобы получить подвергнутый стриппингу карбамидный раствор и смешанный газ, и осуществляют конденсацию указанного смешанного газа с образованием раствора карбамата аммония в конденсаторе высокого давления, и осуществляют подачу указанного раствора карбамата аммония из указанного конденсатора высокого давления в указанную реакционную зону. Способ производства карбамида осуществляют в составляющей объект изобретения установке по производству карбамида с составляющим объект изобретения стриппером, как описано выше.

Раствор синтеза карбамида содержит карбамид, воду и карбамат аммония, свободный аммиак и некоторое количество свободного CO_2 . Раствор синтеза карбамида находится под высоким давлением в трубках стриппера, например выше 100 бар или выше 140 бар. Карбамидный раствор на впуске стриппера находится, например, при по меньшей мере 180°C.

Способ включает в себя подвергание раствора синтеза карбамида в трубках стриппера стриппингу и косвенному теплообмену через стенку трубки с текучей средой теплоносителя, которая обеспечивается в пространстве кожуха стриппера, при этом текучая среда теплоносителя по меньшей мере частично конденсируется (например, на по меньшей мере 80 мас.% или на по меньшей мере 90 мас.%) и передает тепло раствору синтеза карбамида внутри трубок. Конденсация происходит по большей части на внешних поверхностях трубок.

Температура стенки трубки в самой верхней части эффективной длины трубки (непосредственно под верхней трубной решеткой) составляет, например, по меньшей мере 175°C, предпочтительно в диапазоне 175-185°C. Наиболее высокая температура стенки трубки достигается, например, в вертикальной зоне при 70-90% эффективной длины трубки от верхней части эффективной длины трубки (т.е. от нижней части верхней трубной решетки) и составляет, например, по меньшей мере 180°C, например 190-225°C.

Текучая среда теплоносителя предпочтительно представляет собой водяной пар. Давление водяного пара составляет, например, 15-30 бар, и, например, используют насыщенный водяной пар или водяной пар с температурой вплоть до на 10°C выше температуры насыщенного водяного пара. Массовая доля водяного пара на выпуске кожуха составляет, например, 0-20% (относительно общего выходного водяного пара, т.е. с учетом конденсата), предпочтительно 0,0-5%, и это значит, что конденсации достаточно для обеспечения хорошей теплопередачи.

Стриппер представляет собой вертикальный кожухотрубный теплообменник с трубным пучком, кожухом и пространством кожуха. Кожух образован, например, цилиндрическим сосудом. Стриппер также содержит верхнюю и нижнюю трубные решетки. Трубный пучок состоит из трубок, предпочтительно прямых трубок. В данном способе раствор синтеза карбамида обеспечивают в виде падающей пленки в трубках, а текучая среда теплоносителя поступает в пространство кожуха. Пространство кожуха представляет собой пространство внутри кожуха между трубными решетками, т.е. не занятое трубками. Таким образом, пространство кожуха не включает в себя объем стенки трубки и внутренней области трубок. В случае использования сегментной перегородки или дисковой и кольцевой перегородки пласти-

на перегородки установлена в пространстве кожуха. Стриппер выполнен в виде теплообменника с падающей пленкой так, что трубный пучок размещен вертикально. Трубки задают вертикальную ось стриппера.

Способ включает подвергание раствора синтеза карбамида стриппину. Стриппинг обычно включает контакт раствора синтеза карбамида в трубках стриппера с противоточным потоком отпарного газа. Парциальное давление паров NH_3 и/или CO_2 в потоке отпарного газа ниже, чем в растворе карбамида. Процесс стриппинга представляет собой, например, стриппинг CO_2 , стриппинг аммиаком или автостриппинг. Такие типы стриппинга известны специалистам в области установок по производству карбамида.

Соответственно стриппинг включает, например, стриппинг CO_2 с использованием по меньшей мере части сырьевого CO_2 в качестве отпарного газа, который поступает в трубки в нижней части (причем подаваемый CO_2 , например, содержит некоторое количество добавленного пассивирующего воздуха, например 0,01-0,6 об.% O_2 относительно подаваемого CO_2), или, например, стриппинг аммиаком с использованием сырьевого NH_3 , который поступает в качестве отпарного газа в трубки в нижней части.

Стриппинг может также включать, например, автостриппинг, при котором отпарной газ эффективно формируется при нагревании раствора синтеза карбамида в трубках стриппера, причем раствор синтеза карбамида содержит избыток аммиака (например, отношение N/C более 3), так что нагревание в нижних частях трубок стриппера приводит к образованию относительно обогащенного аммиаком газа. Полученный газ проходит вверх через трубки стриппера и выступает в качестве отпарного газа для падающей пленки раствора синтеза карбамида в верхних частях трубок.

Под воздействием нагревания и отпарного газа карбамат аммония в растворе синтеза карбамида разлагается на CO_2 и NH_3 в трубках стриппера, причем CO_2 и NH_3 удаляются в виде газа из жидкости и отводятся из стриппера через верхнюю часть в виде потока смешанного газа, который по меньшей мере частично подают в конденсатор карбамата высокого давления. Разложение карбамата аммония является эндотермическим процессом.

Как правило, но не исключительно эффективная длина трубок трубного пучка составляет от 4 до 9 м, например 6-7 м, причем эффективная длина трубки определяется как длина части трубки, которая находится в контакте с водяным паром. Таким образом, эффективная длина трубки равна вертикальной длине пространства кожуха, расположенного между трубными решетками.

Как обычно принято в данной области, для трубного пучка устанавливается предельный наружный трубный диаметр (OTL). Предельный наружный трубный диаметр определяется окружностью, обведенной вокруг наиболее удаленных от центра трубок в трубном пучке. Диаметр этой окружности представляет собой диаметр OTL.

Как правило, но не исключительно отношение эффективной длины трубки к предельному наружному трубному диаметру трубного пучка составляет 2,5 или менее, например 2,0 или менее.

Трубный пучок содержит, например, по меньшей мере 1000 трубок, по меньшей мере 2000 трубок, по меньшей мере 3000 трубок, или по меньшей мере 4000 трубок, или по меньшей мере 5000 трубок, или даже по меньшей мере 8000 трубок, или даже больше трубок. Например, в установке по производству карбамида с проектной мощностью около 3500 МTPD карбамида можно использовать более 4000 трубок. Экономия за счет увеличения масштабов в случае установок по производству карбамида стимулирует применение все более крупномасштабных установок по производству карбамида, которые ограничиваются, главным образом, возможностями изготовления и транспортировки оборудования, такого как стриппер. Таким образом, настоящее изобретение также можно эффективно использовать в стрипперах с очень большим количеством трубок, таким как, например, от 8000 до 10000 трубок или даже от 10000 до 20000 трубок. OTL трубного пучка может составлять, например, по меньшей мере 2 м, по меньшей мере 2,5 м, по меньшей мере 3,0 м или даже по меньшей мере 4,0 м. Интервалы между трубками, толщина стенки трубки и внутренний диаметр трубки по существу не зависят от производительности стриппера, так что стриппер с большим числом трубок обычно имеет больший диаметр OTL и может иметь такую же эффективную длину трубки.

Пространство кожуха предпочтительно имеет область дренажа для конденсата водяного пара на каждом уровне по вертикали пространства кожуха. В некоторых вариантах осуществления пространство кожуха имеет область дренажа конденсата водяного пара на каждом уровне по вертикали, где трубки контактируют с водяным паром. Такой контакт трубок с водяным паром предпочтительно обеспечивают для по меньшей мере некоторых трубок (но не обязательно всех трубок) на каждом уровне по вертикали пространства кожуха, причем пространство кожуха ограничивается трубными решетками. В настоящем документе под областью дренажа понимается незанятая (пустая) область пространства кожуха, подходящая для слива конденсата, присутствующего на стороне кожуха трубок. Таким образом, область дренажа не включает в себя любые занятые части (например, перегородками), а также не включает в себя площадь поверхности, занятую трубками (внутренним пространством и стенкой трубки), поскольку трубки не являются частью пространства кожуха. Таким образом, область дренажа также является областью для течения водяного пара. Соответственно пространство кожуха предпочтительно не подразделяется в вертикальном направлении для потока водяного пара и/или конденсата.

Стриппер содержит выпуск для конденсата, расположенный в нижней части пространства кожуха, например, обеспеченный в кожухе непосредственно над нижней трубной решеткой.

Пространство кожуха предпочтительно включает в себя вертикальную зону с длиной по вертикали по меньшей мере 1,6 м, которая не включает в себя перегородки (в частности, не включает в себя сегментные перегородки, дисковые перегородки или кольцевые перегородки) или по существу не включает в себя перегородки. Пространство кожуха предпочтительно вообще не включает в себя сегментные перегородки или дисковые и кольцевые перегородки. В других вариантах осуществления, в которых в пространстве кожуха обеспечены такие перегородки (сегментные перегородки или дисковые и кольцевые перегородки), каждую перегородку предпочтительно устанавливают на расстоянии по вертикали от других перегородок и трубных решеток, составляющем больше 1,6 м, более предпочтительно больше 3 м. Это относится, в частности, к перегородкам с площадью поверхности (исключая отверстия для труб) более 20% или более 50% горизонтальной площади поверхности пространства кожуха, что характерно для сегментных перегородок, кольцевых перегородок и дисковых перегородок. В настоящем документе термин "горизонтальный" относится к плоскости, перпендикулярной трубкам.

Как правило, но не исключительно пространство кожуха содержит непрерывную вертикальную зону длиной по вертикали по меньшей мере 1,6 м, причем для каждого горизонтального поперечного сечения указанного пространства кожуха в указанной вертикальной зоне разница в площади области дренажа между любыми двумя круглыми областями площадью по меньшей мере $0,25 \text{ м}^2$, предпочтительно от $0,25$ до $0,50 \text{ м}^2$, составляет менее 5% относительно средней площади области дренажа двух указанных круглых областей, причем указанные круглые области имеют одинаковый размер (круги одинакового диаметра) и при этом указанные круглые области обе находятся в границах указанного предельного наружного трубного диаметра. В настоящем документе термин "горизонтальный" относится к плоскости, перпендикулярной трубкам. В настоящем документе под областью дренажа понимается незанятая (пустая) область пространства кожуха, подходящая для слива конденсата, присутствующего на стороне кожуха трубок. Например, каждая из двух круглых областей имеет диаметр 0,60 м. В одном варианте осуществления длина непрерывной вертикальной зоны по вертикали составляет от 1,6 до 3,0 м. В предпочтительном варианте осуществления длина непрерывной вертикальной зоны по вертикали составляет по меньшей мере 3,0 м. В предпочтительном варианте осуществления длина непрерывной вертикальной зоны по вертикали составляет по меньшей мере 60%, по меньшей мере 70%, по меньшей мере 80% или даже и наиболее предпочтительно по меньшей мере 90% эффективной длины трубки. Большая по длине или относительно большая по длине непрерывная вертикальная зона выгодным образом обеспечивает хорошую теплопередачу в стриппере.

Как схематически показано на фиг. 1, стриппер (1) (представляющий собой пример кожухотрубного теплообменника) содержит кожух (2) и трубный пучок (3), который состоит из трубок (4) (показаны только четыре трубки, на практике, как правило, устанавливается более 3000 трубок). Стриппер дополнительно содержит верхнюю трубную решетку (6) и нижнюю трубную решетку (7). Пространство в кожухе между трубными решетками, которое не занято трубками (ни стенкой трубок, ни внутренним пространством трубки), образует пространство (5) кожуха. Для трубного пучка устанавливают предельный наружный трубный диаметр (OTL) (12), который определяется окружностью, обведенной вокруг внешних трубок. Кожух (2) содержит впуск (16) для введения газообразной текучей среды теплоносителя (например, водяного пара) в пространство (5) кожуха, который расположен в верхней части, и выпуск (17) для конденсата (и, возможно, части остаточного водяного пара) из пространства кожуха в нижней части.

Стриппер в целях иллюстрации содержит пластину сегментной перегородки (8); использование пластины сегментной перегородки не является предпочтительным. Сегментная перегородка (8) имеет вырез (9), который образует открытое пространство (19) для течения водяного пара и дренажа конденсата в пространстве кожуха на высоте перегородки (8).

Пространство (5) кожуха дополнительно включает в себя непрерывную вертикальную зону (10), которая не содержит сегментных перегородок и дисковых и кольцевых перегородок или других конструкций, которые занимают значительную площадь горизонтальной поверхности. Для каждого горизонтального поперечного сечения (11) указанной непрерывной вертикальной зоны (10) предельный наружный трубный диаметр (12) определяет область (13) поперечного сечения (11), которая находится в пределах указанного предельного наружного трубного диаметра (12). В этой области (13) могут быть выделены две круглые области (14А, 14В) площадью по меньшей мере $0,25 \text{ м}^2$ и с одинаковым диаметром, и, таким образом, обе области находятся в указанном горизонтальном поперечном сечении и в границах OTL. Площадь указанных двух круглых областей предпочтительно составляет $0,25\text{--}0,50 \text{ м}^2$. Диаметр указанных двух круглых областей предпочтительно составляет 0,60 м.

Следует отметить, что на упрощенном чертеже на фиг. 1 диаметр круглых областей (14, 15) составляет около 20% диаметра OTL, например круглые области диаметром 0,60 м и диаметр OTL 3,0 м. При этом трубки (4) показаны в увеличенном диаметре. На практике любая круглая область площадью по меньшей мере $0,25 \text{ м}^2$ в OTL будет охватывать, как правило, по меньшей мере 20 трубок. Например, в примере осуществления с трубками, установленными в форме шестиугольника и с расстоянием между центрами трубок, составляющим, например, приблизительно 40 мм, любая круглая область площадью по

меньшей мере $0,25 \text{ м}^2$ будет охватывать, как правило, по меньшей мере 100 трубок.

Принимая во внимание, что поперечное сечение (11) не является пластиной и что пространство кожуха является пустым в указанном поперечном сечении, площадь области дренажа является одинаковой для обеих круглых областей. Соответственно разница в площади области дренажа между указанными двумя круглыми областями составляет 0%. Вся область (13) представляет собой пустое пространство, что позволяет отводить конденсат, и тем самым обеспечивают область (19А) дренажа поперечного сечения (11).

Для сравнения для поперечного сечения на высоте сегментной перегородки (8) в пределах границ ОТЛ будет по меньшей мере две круглые области (площадью по меньшей мере $0,25 \text{ м}^2$) с разницей в площади поверхности более 5% относительно средней площади области дренажа указанных двух круглых областей. Например, круглая область (15А) с площадью $0,25 \text{ м}^2$ находится в перегородке (8) и ее площадь области дренажа составляет 0 м^2 , тогда как вторая круглая область (15В) также с площадью $0,25 \text{ м}^2$ частично находится в вырезе перегородки, и в результате ее площадь области дренажа составляет, например, $0,125 \text{ м}^2$, что приводит к разнице в площади поверхности дренажа, равной $0,125 \text{ м}^2$, которая составляет 200% от средней площади поверхности дренажа ($0,0625 \text{ м}^2$) и, следовательно, превышает 5%. Таким образом, любая вертикальная зона пространства кожуха, включающая показанную сегментную перегородку (8), не является непрерывной вертикальной зоной, в которой для каждого горизонтального поперечного сечения указанного пространства кожуха в указанной вертикальной зоне разница в площади области дренажа между любыми двумя круглыми областями площадью по меньшей мере $0,25 \text{ м}^2$, находящимися в границах указанного предельного наружного трубного диаметра, составляет менее 5% относительно средней площади области дренажа двух указанных круглых областей. Как показано, в пластине перегородки (8) будут присутствовать круглые области, которые по большей части находятся в открытом пространстве (19) выреза, и круглые области, полностью находящиеся на пластине перегородки, причем площадь круглых областей составляет по меньшей мере $0,25 \text{ м}^2$, в частности, если диаметр ОТЛ превышает 2 м. Например, если ширина выреза равна 60 см и ОТЛ составляет 2 м или более, по меньшей мере одна круглая область будет полностью находиться в пределах открытого пространства выреза.

Кроме того, следует сравнить все круглые области соответствующего размера, которые находятся в пределах ОТЛ. Непрерывная вертикальная зона (10) определяется лишь выбором двух пределов по высоте и не является ограничением в горизонтальной плоскости.

Кроме того, в процессе эксплуатации водяной пар конденсируется (как правило, на трубках, где происходит отвод тепла), а конденсат (18) накапливается на пластине (8) перегородки, в частности в горизонтальной зоне, удаленной на значительное расстояние (например, более 20 см) от выреза (9). Как уже отмечалось, установка пластины перегородки (8) не является предпочтительной и предпочтительно она полностью отсутствует.

Если на фиг. 1 вертикальное расстояние между пластиной перегородки (8) и верхней трубной решеткой (6) превышает 1,6 м, стриппер (1) включает в себя вертикальную зону в соответствии с приведенным выше определением.

В предпочтительном варианте осуществления стриппер содержит одну или более несущих конструкций, чтобы обеспечить опору для трубок трубного пучка, причем несущая конструкция расположена в пространстве кожуха. Несущая конструкция помогает избежать вибраций, особенно во время пуска и отключения. Несущая конструкция также помогает предотвратить изгиб за счет уменьшения лишней опоры длины трубок. Несущая конструкция предпочтительно содержит полосы, расположенные в горизонтальной плоскости между трубками. Ширина полос (минимальный размер в горизонтальной плоскости), например, составляет менее 10 мм, например менее 6 мм. Таким образом, удается избежать накопления конденсата водяного пара на полосах. Длина полос (в горизонтальной плоскости) составляет, например, более 1,0 м. Высота полос (по вертикали) составляет, например, по меньшей мере 5 мм или по меньшей мере 10 мм, например в диапазоне 5-40 мм, например 10-30 мм. Полосы могут размещаться, например, в виде решетки. Несущая конструкция предпочтительно содержит опорное кольцо; опорное кольцо предпочтительно имеет круглую форму. В некоторых вариантах осуществления опорное кольцо снабжено одним вертикальным слоем полос. В других вариантах осуществления опорное кольцо снабжено по меньшей мере 2 слоями полос, причем полосы в каждом слое (по существу) параллельны друг другу (например, под углом $175-180^\circ$), при этом полосы проходят в различных направлениях в смежных слоях и имеют точки пересечения. Полосы смежных слоев предпочтительно расположены друг над другом, по меньшей мере, в точках пересечения. Полосы в одном слое предпочтительно не пересекаются друг с другом. Угол между полосами в смежных слоях, как правило, соответствует шагу установки трубок (например, шагу треугольной установки) в трубном пучке для удерживания трубок в месте установки. Полосы в смежных слоях опорного кольца предпочтительно соединены друг с другом в некоторых, но, как правило, не во всех точках пересечения. Полосы могут также переплетаться друг с другом. Соединение или переплетение полос из различных слоев полос, закрепленных на одном и том же опорном кольце, позволяет образовать жесткую решетку, которая снижает риск каких-либо вибраций трубок. Несущая конструкция расположена между верхней и нижней трубными решетками в вертикальном направлении. Несущая конструкция расположена горизонтально.

Полосы не обязательно должны быть прямыми (в горизонтальной плоскости); например, они также могут быть изогнуты для обведения вокруг трубок. Полосы в одном и том же слое отделены друг от друга в горизонтальном направлении трубками стриппера и, следовательно, находятся на расстоянии, равном (приблизительно) внешнему диаметру трубки. Стриппер может включать в себя множество несущих конструкций, разнесенных по вертикали.

Площадь поверхности, занятой несущими конструкциями, предпочтительно составляет менее 70%, или менее 50%, или менее 30% площади поверхности пространства кожуха в ОТЛ в горизонтальном поперечном сечении (причем площадь поверхности пространства кожуха не включает площадь поверхности, занятой трубками).

На фиг. 2 схематически представлен пример составляющего объект изобретения стриппера с примером такой решетки. Стриппер (1) в целом является таким, как показан на фиг. 1, за исключением отсутствующей пластины сегментной перегородки (8). В пространстве (5) кожуха обеспечена несущая конструкция (24), которая содержит множество параллельных полос (20А, 20В) в первом слое и множество параллельных полос (21А, 21В) во втором слое, который находится по вертикали ниже первого слоя полос. Обе полосы (20А, 20В) первого слоя и полосы второго слоя (21А, 21В) представляют собой вертикальные полосы, проходящие между трубками; при этом трубки, как правило, расположены рядами в трубном пучке. Полосы первого и второго слоев проходят под углом друг к другу и имеют точки пересечения. Точка (22) пересечения полос (21А и 20В) выделена окружностью; в этой точке пересечения полосы могут быть, например, соединены или связаны друг с другом. Стриппер дополнительно содержит круговое опорное кольцо (23), показанное частично, к которому прикреплены, например, с которым соединены, полосы (21А, 21В) второго слоя. Несущая конструкция (24) включает достаточно открытого пространства, чтобы не нарушать непрерывность вертикальной зоны (10) (пунктирная линия). Непрерывная вертикальная зона (10) в этом примере проходит по всей эффективной длине трубки, т.е. от нижней части верхней трубной решетки (6) до верхней части нижней трубной решетки (7). В процессе эксплуатации некоторое количество конденсата может накапливаться в пространстве (5) кожуха на нижней трубной решетке (7). Это не влияет на теплопередачу за счет текучей среды теплоносителя или на коррозию в трубках.

На фиг. 3 схематически представлен вид в вертикальном направлении сегмента трубного пучка. Трубный пучок содержит трубки (31) стриппера с шагом треугольной установки, т.е. с шагом 60°. Две полосы (32, 33) расположены между трубками в качестве примера несущей конструкции. Две полосы расположены под углом друг к другу и находятся в разных слоях в вертикальном направлении. Каждая показанная полоса представляет собой множество полос, параллельных в горизонтальной плоскости.

Изобретение также относится к описанному стрипперу и к установке по производству карбамида, содержащей такой стриппер.

На фиг. 4 схематично представлен пример установки по производству карбамида в соответствии с изобретением. Установка (40) по производству карбамида в соответствии с изобретением содержит секцию высокого давления (НР), содержащую стриппер (41) в соответствии с изобретением с трубами и пространством кожуха, конденсатор (42) карбамата высокого давления, секцию (43) реакции, предпочтительно вертикальный карбамидный реактор, выпуск для подачи CO₂ и выпуск для подачи NH₃. Секция реакции, стриппер и конденсатор карбамата высокого давления связаны таким образом, что образуют по существу изобарический контур. Секция (43) реакции имеет выпуск для раствора (U1) синтеза карбамида, также содержащего карбамат, соединенный со впуском стриппера (41), который представляет собой, например, стриппер CO₂ со впуском для по меньшей мере части подаваемого CO₂, который используют в качестве отпарного газа, причем выпуск для отпарного газа CO₂ соединен с компрессором CO₂ высокого давления и соединен с нижними отверстиями трубок. Стриппер имеет выпуск для смешанного газа (SG) и выпуск для подвергнутого стриппингу карбамидного раствора (U2). Газ (SG) поступает в конденсатор (42) карбамата высокого давления, который представляет собой кожухотрубный теплообменник, в котором газ конденсируется (либо в пространстве кожуха, либо в трубках) до карбаматного раствора (C1), который поступает в реактор (43). Конденсатор (42) карбамата может, например, иметь выпуск для подачи NH₃. В некоторых вариантах осуществления реактор и конденсатор карбамата высокого давления совмещены в едином сосуде, включающем секцию реакции и секцию конденсации, например, в случае бассейнового реактора.

Стриппер соответствует приведенному выше описанию, и в нем используют конденсируемую текучую среду теплоносителя (S1) (например, водяной пар) в пространстве кожуха. Текучая среда теплоносителя (S1) поступает сверху и конденсируется в пространстве кожуха с образованием конденсата (SC1), отводимого снизу. Например, в конденсаторе карбамата высокого давления происходит подъем температуры водяного пара (S2), например, в трубках. Установка по производству карбамида необязательно содержит секцию (44) регенерации среднего давления, в которую поступает подвергнутый стриппингу карбамидный раствор (U2) и которая содержит, например, устройство для осуществления разложения или испарительный сосуд для получения карбамидного раствора (U3) и газа и конденсатор для указанного газа для получения карбаматного раствора (C2), который напрямую или опосредованно рециркулируется в секцию НР. Установка дополнительно часто содержит секцию (45) регенерации низкого давления,

имеющую выпуск для подвергнутого стриппингу карбамидного раствора (U2), необязательно после указанной обработки при среднем давлении, и с устройством для осуществления разложения при нагревании (например, водяным паром (S3)) с образованием очищенного карбамидного раствора (U4) и газа, и конденсатора для указанного газа, чтобы получить карбаматный раствор (C3), который напрямую или опосредованно рециркулируется в секцию НР. Установка необязательно дополнительно содержит секцию (46) испарения, содержащую, например, вакуумный испаритель, выполненную с возможностью приема очищенного карбамидного раствора (U4) и испарения воды с получением плава карбамида (UM) и пара (V1). Установка необязательно содержит доводочную секцию карбамида для отверждения плава карбамида с образованием твердого карбамидного продукта, например гранулятор или башню приллирования.

Настоящее изобретение также относится к кожухотрубному теплообменнику, предпочтительно вертикальному кожухотрубному теплообменнику, содержащему трубный пучок, содержащий трубки, верхнюю и нижнюю трубные решетки и кожух, а также пространство кожуха, обеспеченное в кожухе между верхней и нижней трубными решетками, причем теплообменник выполнен с возможностью эксплуатации с падающей пленкой жидкости в трубках, при этом трубки изготовлены, например, из класса материала, коррозионно-стойкого к воздействию карбамида, например, содержат дуплексную нержавеющую сталь или представляют собой, например, биметаллические трубки, и при этом трубные решетки, например, содержат пластину из углеродистой стали, предпочтительно с футеровкой и/или наплавкой из предпочтительно дуплексной нержавеющей стали на стороне, которая в процессе эксплуатации подвергается воздействию жидкости, поступающей в трубки, и при этом теплообменник содержит выпуск для подачи текучей среды теплоносителя в пространство кожуха и выпуск для отвода текучей среды теплоносителя из пространства кожуха, причем выпуск для текучей среды теплоносителя расположен выше выпуска для отвода конденсата из пространства кожуха, при этом на верхнем конце трубок предпочтительно установлены делители жидкости, причем делители жидкости представляют собой гильзы или муфты, например, с радиальными или тангенциальными отверстиями для ввода жидкости в трубки; кроме того, предпочтительно обладающий такими же предпочтительными и характерными признаками, как и стриппер, как описано выше. Трубки трубного пучка предпочтительно опираются на полосы шириной менее 10 мм. Теплообменник предпочтительно представляет собой стриппер в соответствии с изобретением или стриппер, используемый в способе стриппинга в соответствии с изобретением.

Настоящее изобретение относится также к стрипперу для установки по производству карбамида, предпочтительно обладающему теми же признаками, что и указанный кожухотрубный теплообменник, и предпочтительно обладающему такими же предпочтительными признаками, что и стриппер, используемый в способе стриппинга в соответствии с изобретением.

Кожухотрубный теплообменник и стриппер могут дополнительно обладать предпочтительными признаками, как описано ниже в настоящем документе.

Вертикальный кожухотрубный теплообменник, предпочтительно стриппер, выполнен с возможностью эксплуатации с падающей пленкой жидкости в трубках, такой как раствор синтеза карбамида, подлежащий стриппингу в трубках, и с текучей средой теплоносителя, такой как водяной пар, в пространстве кожуха. Теплообменник, предпочтительно стриппер, содержит трубный пучок, содержащий трубки, верхнюю и нижнюю трубные решетки и кожух, а также пространство кожуха, причем пространство кожуха предпочтительно соответствует приведенному выше описанию в настоящем документе. Трубки содержат, например, ферритно-аустенитную дуплексную нержавеющую сталь, например стальной сплав, как описано в WO 95/00674, WO 2017/013180 и WO 2017/014632. Кроме того, возможны и другие виды классов стали, устойчивых к воздействию карбамида. Трубки могут, например, также содержать Ti или Zr. Трубки представляют собой, например, биметаллические трубки, например, с внутренним слоем Zr, например, если теплообменник относится к типу стрипперов для автостриппинга. Толщина стенки трубки составляет, например, от 1,0 до 5 мм, предпочтительно от 1,8 до 3,0 мм (расчетная толщина). Трубки выполнены с вогнутой поверхностью внутренней стенки. Вся вогнутая поверхность внутренней стенки трубок предпочтительно изготовлена из дуплексной нержавеющей стали или Zr. Трубки предпочтительно представляют собой трубки стриппера. Трубные решетки обычно содержат пластину из углеродистой стали, предпочтительно с футеровкой и/или наплавкой стали класса, устойчивого к карбамиду, такой как дуплексная нержавеющая сталь, на той стороне трубной решетки, на которую при эксплуатации воздействует жидкость, поступающая в трубки, например на сторонах, подвергаемых воздействию карбамидного раствора.

Теплообменник содержит выпуск и выпуск для текучей среды теплоносителя, такой как водяной пар, для подачи в пространство кожуха и отвода из него, причем выпуск, как правило, расположен выше выпуска для конденсата из пространства кожуха. Теплообменник, предпочтительно стриппер для установки по производству карбамида, например, выполнен с возможностью эксплуатации в режиме прямоточного нисходящего течения жидкости в трубках и текучей среды теплоносителя в пространстве кожуха. Теплообменник, предпочтительно стриппер, имеет выпуск для жидкости (такой как раствор синтеза карбамида или раствор карбамата аммония) в верхней части, выпуск для нагретой жидкости (такой как подвергнутый стриппингу карбамидный раствор) в нижней части и выпуск для смешанного газа в верхней части.

Теплообменник (предпочтительно стриппер) необязательно содержит выпуск для отпарного газа, такого как CO_2 , с соединением в нижней части, предпочтительно для введения по меньшей мере части подаваемого CO_2 в трубки в качестве отпарного газа. Трубки проходят, например, через верхнюю трубную решетку и, например, приварены к верхней стороне верхней трубной решетки.

Как правило, но не исключительно делители жидкости установлены на верхнем конце трубок. Делители жидкости представляют собой, например, гильзы или муфты с отверстиями для ввода жидкости в трубки. Отверстия представляют собой, например, тангенциальные или радиальные отверстия в стенках делителей жидкости, например, в гильзах или муфтах. Делители жидкости выполнены с возможностью формирования падающей пленки жидкости (предпочтительно раствора карбамида, подлежащего стриппину) на внутренних стенках трубок в процессе эксплуатации.

Один делитель жидкости установлен на одной трубке или внутри нее на верхнем конце. Поскольку трубки, как правило, выступают над верхней трубной решеткой, верхний конец трубки находится над верхней поверхностью верхних трубных решеток. Делители жидкости расположены на выступающих концах трубок, и их часто снабжают газовой трубкой сверху. Ссылки предшествующего уровня техники на делители жидкости и стрипперы установок по производству карбамида, в том числе с такими делителями жидкости, включают, например, US 2012/0282149 и US 2012/0097378, в частности, фиг. 2. Газовая трубка, например, образует единое целое с делителем жидкости.

Например, каждый делитель жидкости имеет 3-5 отверстий, таких как радиальные или тангенциальные отверстия, предпочтительно радиальные, диаметром 2-5 мм в стенках трубки. Точный диаметр отверстий имеет важное значение, для того чтобы обеспечить эффективное образование пленки жидкости в трубках. Для целей технического обслуживания и проверки, в том числе, в случае заглушения труб желательно, чтобы делители жидкости могли быть демонтированы. Поэтому межтрубные соединения решеток не проходят через делители жидкости или гильзы. Делители жидкости и газовые трубки закрепляют в месте установки, например, с помощью блокирующей пластины или решетки, расположенной поверх газовых трубок. Газовые трубки и делители жидкости, как правило, не приварены к верхней трубной решетке. Делитель жидкости, как правило, не приварен к трубкам.

Теплообменник, предпочтительно стриппер, предпочтительно содержит верхнюю камеру. Нижней частью верхней камеры является верхняя сторона верхней трубной решетки, боковые стенки определяются сосудом теплообменника, и она включает в себя впускное отверстие для жидкости (раствор синтеза карбамида) и выпуск для газа. Верхняя камера предпочтительно содержит подающую трубку.

Теплообменник, предпочтительно стриппер, как правило, но не исключительно в пространстве кожуха содержит непрерывную вертикальную зону с длиной по вертикали по меньшей мере 1,6 м или по меньшей мере 3,0 м, причем указанная зона предпочтительно не содержит перегородок и/или при этом для каждого горизонтального поперечного сечения указанного пространства кожуха в указанной вертикальной зоне разница в площади области дренажа между любыми двумя круглыми областями площадью по меньшей мере $0,25 \text{ м}^2$, находящимися в указанном горизонтальном поперечном сечении в границах указанного предельного наружного трубного диаметра, предпочтительно составляет менее 5% относительно средней площади области дренажа указанных двух круглых областей; с дополнительными предпочтениями в отношении непрерывной вертикальной зоны, как описано в связи со способом.

Теплообменник, предпочтительно стриппер, предпочтительно содержит несущую конструкцию, как описано выше в настоящем документе. Следует отметить, что сегментные перегородки, используемые в предшествующем уровне техники, в принципе имеют множество отверстий, но они почти полностью заняты трубками так, что пластина сегментной перегородки образует достаточно большую горизонтальную пластину в пространстве кожуха, на которой может накапливаться конденсат. Например, для трубки в центре трубного пучка с диаметром OTL 1,5 м расстояние до выреза может составлять более 0,30 м, что будет минимальным горизонтальным расстоянием для конденсата, накопленного в центре трубного пучка, до точки дренажа. При использовании вместо этого предпочтительных полос шириной, например, 5 мм значительно сокращается горизонтальное расстояние для дренажа.

Соответственно пространство кожуха более предпочтительно содержит только конструкции с максимальным горизонтальным расстоянием дренажа менее 10 мм или менее 5 мм для любой точки на горизонтальной поверхности, удаленной менее чем на 5 см в горизонтальном направлении от наружной поверхности трубки трубного пучка стриппера, причем горизонтальное расстояние дренажа соответствует расстоянию по горизонтальной поверхности между этой точкой и точкой дренажа, которая обеспечивает дренаж конденсата. Точка дренажа представляет собой, например, отверстие в конструкции, которое не занято трубкой, или зазор между конструкцией и кожухом.

Изобретение также относится к способу модификации существующей установки по производству карбамида (так называемый способ переоборудования). Существующая установка по производству карбамида представляет собой установку по производству карбамида, содержащую существующий стриппер высокого давления. Существующий стриппер выполнен в виде вертикального кожухотрубного теплообменника с падающей пленкой и содержит трубный пучок, содержащий с трубки, кожух и верхнюю и нижнюю трубные решетки, а также пространство кожуха между верхней и нижней трубными решетками. Существующий стриппер выполнен с возможностью поддержания падающей пленки раствора карба-

мида, подлежащего стриппингу, в трубках и содержит выпуск для водяного пара, подаваемого в пространство кожуха, и выпуск для водяного пара и конденсата из пространства кожуха. Существующий стриппер в пространстве кожуха содержит перегородки, такие как сегментные перегородки или дисковые и кольцевые перегородки. Способ модификации установки включает стадию удаления по меньшей мере некоторых, предпочтительно всех, перегородок в пространстве кожуха стриппера, в частности удаления некоторых, предпочтительно всех, сегментных перегородок и/или дисковых и кольцевых перегородок, обеспеченных в существующем стриппере, и предпочтительно стадию установки в пространстве кожуха стриппера одной или более несущих конструкций, как описано выше, причем несущая конструкция предпочтительно содержит полосы и/или решетчатую конструкцию, как описано выше. Предпочтительно устанавливают от 2 до 6 несущих конструкций указанного типа. В рамках способа модификации в стриппере предпочтительно формируется непрерывная вертикальная зона, как описано в настоящем документе, например непрерывная вертикальная зона длиной по вертикали по меньшей мере 1,6 м, или по меньшей мере 1,9 м, или по меньшей мере 3,0 м, причем для каждого поперечного сечения указанного пространства кожуха указанной вертикальной зоны разница в площади области дренажа между любыми двумя круглыми областями площадью по меньшей мере 0,25 м² одинакового размера, находящимися в указанном горизонтальном поперечном сечении в границах указанного предельного наружного трубного диаметра, составляет менее 5% относительно средней площади области дренажа указанных двух круглых областей.

Способ стриппинга осуществляют в составляющем объект изобретения стриппере, как описано выше, и предпочтительно в установке по производству карбамида, как описано выше. Способ производства карбамида в качестве одной из стадий включает способ стриппинга в стриппере, составляющем объект изобретения. Способ производства карбамида предпочтительно осуществляют в установке по производству карбамида в соответствии с изобретением. Предпочтения для конструкции стриппера, описанные в связи со способом стриппинга, в равной степени применимы к составляющему объект изобретения стрипперу и стрипперу составляющей объект изобретения установке по производству карбамида и наоборот. В составляющем объект изобретения способе модификации предпочтительно обеспечивают установку по производству карбамида в соответствии с изобретением и/или установку по производству карбамида, содержащую стриппер в соответствии с изобретением. Предпочтения для конструкции стриппера, которые обсуждаются в связи со способом стриппинга, составляющим объект изобретения стриппером и стриппером установки по производству карбамида, составляющей объект изобретения, в равной степени применимы к модифицированной установке по производству карбамида в способе модификации. Предпочтения для конструкции стриппера, описанные в связи со способом стриппинга или составляющие объект изобретения стриппером, в равной степени применимы к кожухотрубному теплообменнику. Предпочтения, упомянутые для кожухотрубного теплообменника, в равной степени применимы к стрипперу, используемому в составляющем объект изобретения способе стриппинга и составляющем объект изобретения стриппере.

Используемый в настоящем документе термин "как правило" указывает на признаки, которые являются выгодными, но не обязательными для описанного изобретения.

Настоящая заявка также относится к стрипперу высокого давления для установки по производству карбамида, выполненного в виде вертикального кожухотрубного теплообменника с падающей пленкой и содержащего трубный пучок, содержащий трубки, кожух, верхнюю и нижнюю трубные решетки, а также пространство кожуха, обеспеченное в кожухе между верхней и нижней трубными решетками, причем стриппер выполнен с возможностью поддержания падающей пленки раствора синтеза карбамида, подлежащего стриппингу, в трубках, и содержит выпуск для водяного пара, подаваемого в пространство кожуха, и выпуск для водяного пара и конденсата из пространства кожуха, которое содержит перегородки, такие как сегментные перегородки, дисковые перегородки или кольцевые перегородки, причем указанные перегородки наклонены по вертикали так, что имеют более высокую точку и более низкую точку, при этом более низкая точка обеспечивает дренаж конденсата.

Наклон помогает предотвратить накопление конденсата и тем самым уменьшает коррозию трубок стриппера. Угол наклона составляет, например, от 5 до 45° от горизонтали. По сравнению со стриппером, описанным выше, недостатком наклонных перегородок является осложнение установки трубного пучка, проходящего через наклонную перегородку. В наклонных перегородках также сложно проделать сквозные отверстия. Заявка также относится к установке по производству карбамида, содержащей такой стриппер с наклонными пластинами перегородки, способу производства карбамида, осуществляемому в такой установке по производству карбамида, и способу стриппинга, осуществляемому в таком стриппере, с предпочтительными признаками, описанными выше в настоящем документе, за исключением непрерывной вертикальной зоны.

Настоящая заявка также относится к стрипперу высокого давления для установки по производству карбамида, выполненному в виде вертикального кожухотрубного теплообменника с падающей пленкой и содержащему трубный пучок, содержащий трубки, кожух, верхнюю и нижнюю трубные решетки, а также пространство кожуха, обеспеченное в кожухе между верхней и нижней трубными решетками, причем стриппер выполнен с возможностью поддержания падающей пленки раствора карбамида, подлежащего

стриппингу, в трубках и содержит выпуск для водяного пара, подаваемого в пространство кожуха, и выпуск для водяного пара и конденсата из пространства кожуха, причем стриппер содержит перегородки, содержащие пластины перегородок, такие как сегментные перегородки, дисковые перегородки или кольцевые перегородки. По меньшей мере одна из указанных перегородок содержит пластину перегородки с по меньшей мере 2, предпочтительно с по меньшей мере 10 отверстиями, через которые не проходят трубки стриппера.

За счет этого отверстие в пластине перегородки обеспечивает дренажные отверстия для конденсата в пространстве кожуха. Перегородки, разнесенные по вертикали друг от друга в стриппере, имеют такие дренажные отверстия в соответствующих положениях в горизонтальном поперечном сечении. В таких горизонтальных положениях трубные решетки закрыты (т.е. не имеют отверстий) и имеют футеровку или наплавку в этих положениях со стороны, обращенной к карбамидному раствору. Таким образом, углеродистая сталь в трубных решетках не подвергается воздействию коррозионной среды. Преимуществом дренажных отверстий конденсата является предотвращение накопления конденсата в пространстве кожуха и снижение коррозии. По сравнению со стриппером с непрерывной вертикальной зоной недостаток стриппера с перегородками с отверстиями связан с тем, что при заданном количестве трубок размер стриппера увеличивается, поскольку для этих дренажных отверстий используют часть объема внутри ОТЛ. Дренажные отверстия в пластине перегородки предпочтительно разнесены друг от друга в горизонтальном направлении, например, по меньшей мере 5 или по меньшей мере 10 трубками между двумя дренажными отверстиями, расположенными на одной и той же линии по шагу трубок.

Заявка также относится к установке по производству карбамида, содержащей такой стриппер с пластинами перегородок, содержащими отверстия для дренажа конденсата, способу производства карбамида, осуществляемому в такой установке по производству карбамида, и способу стриппинга, осуществляемому в таком стриппере, с предпочтительными признаками, описанными выше в настоящем документе, за исключением непрерывной вертикальной зоны.

Используемая в настоящем документе эффективность стриппера (альфа) определяется как количество аммиака, преобразованного в карбамид (и биурет), деленное на общее количество аммиака, которое обычно измеряют на выпуске для жидкости стриппера. Таким образом,

$$\text{альфа} = (2 \times \text{мас. \% карбамида} / 60) / ((2 \times \text{мас. \% карбамида} / 60) + (\text{мас. \% NH}_3 / 17)),$$

измеренное на выпуске для жидкости стриппера, причем мас. % NH₃ включает в себя все формы аммиака, включая карбамат аммония.

Пример.

Ниже приводится пример варианта осуществления изобретения, который будет дополнительно проиллюстрирован следующим примером, не ограничивающим изобретение и не ограничивающим пункты формулы изобретения.

Существующая установка по производству карбамида со стриппером CO₂ высокого давления, имеющим от 3000 до 5000 трубок стриппера, 5 кольцевых перегородок и 4 дисковых перегородки (в чередующемся порядке) в пространстве кожуха и содержащим трубный пучок с эффективной длиной трубки 6,0 м и диаметром ОТЛ 2,5-3,0 м, была модифицирована путем удаления всех кольцевых перегородок и всех дисковых перегородок и установки вместо этого нескольких несущих конструкций (например, от 4 до 6 несущих конструкций). Несущие конструкции обеспечивали достаточное открытое пространство без нарушения непрерывной вертикальной зоны, как это описано выше. В частности, каждая из несущих конструкций содержит опорное кольцо и полосы. Размеры полос составляют, например, 3 мм по ширине и 20 мм по высоте. За счет такой модификации в стриппере образуется непрерывная вертикальная зона, как описано выше, и улучшается теплопередача в стриппере, а также исключается образование холодных участков в трубках. При заданной эффективности стриппинга (альфа) за счет модификации были снижены температура и давление водяного пара и, соответственно, уменьшалось число трубок со слишком высокой скоростью коррозии. В результате модификации удается уменьшить или даже полностью предотвратить любую коррозию, которая может преимущественно происходить в некоторых трубках, например в трубках, расположенных в наружной окружности трубного пучка, и в меньшей степени в трубках в центре трубного пучка.

ФОРМУЛА ИЗОБРЕТЕНИЯ

1. Способ стриппинга раствора синтеза карбамида, поступающего из процесса образования карбамида, в котором аммиак и CO₂ вступают в реакцию в условиях образования карбамида, причем указанный раствор синтеза карбамида содержит карбамид, воду и карбамат аммония, при этом способ включает в себя стадии, на которых

подвергают указанный раствор синтеза карбамида стриппингу и косвенному теплообмену с газообразной текучей средой теплоносителя в стриппере (1), причем указанный стриппер представляет собой вертикальный кожухотрубный теплообменник, содержащий трубный пучок (3), содержащий трубки (4), кожух (2) и пространство (5) кожуха, при этом раствор синтеза карбамида обеспечивают в виде падающей пленки в трубках (4), и при этом текучая среда теплоносителя поступает в пространство кожуха и по

меньшей мере частично конденсируется в пространстве кожуха,

причем трубный пучок имеет эффективную длину трубки, составляющую от 4 до 9 м, при этом эффективная длина трубки представляет собой длину части трубки, которая находится в контакте с текучей средой теплоносителя,

при этом трубный пучок имеет предельный наружный трубный диаметр (12) и отношение эффективной длины трубки к предельному наружному трубному диаметру составляет 2,5 или менее, причем предельный наружный трубный диаметр представляет собой диаметр окружности, обведенной вокруг наиболее удаленных от центра трубок (4) в трубном пучке (3),

при этом пространство (5) кожуха на каждом уровне по вертикали, где трубки контактируют с текучей средой теплоносителя, имеет область (19А) дренажа для конденсата текучей среды теплоносителя, причем область дренажа представляет собой свободную область пространства кожуха, пригодную для дренажа конденсата, присутствующего на стороне кожуха трубок,

при этом указанное пространство кожуха содержит непрерывную вертикальную зону (10) с вертикальной длиной по меньшей мере 1,6 м,

причем в указанной непрерывной вертикальной зоне для каждого горизонтального поперечного сечения (11) вдоль перпендикулярной трубкам плоскости указанного пространства кожуха разница в площади области (19А) дренажа между любыми двумя круглыми областями (14А, 14В) площадью по меньшей мере $0,25 \text{ м}^2$, которые имеют одинаковый размер и которые находятся в области (13) в указанном горизонтальном поперечном сечении и в границах указанного предельного наружного трубного диаметра, составляет менее 5% относительно средней площади области дренажа указанных двух круглых областей.

2. Способ по п.1, в котором указанная непрерывная вертикальная зона не включает в себя перегородки.

3. Способ по п.1, в котором трубки опираются на полосы, имеющие ширину менее 10 мм.

4. Способ по п.1 или 2, в котором непрерывная вертикальная зона имеет вертикальную длину, которая составляет по меньшей мере 90% эффективной длины трубки.

5. Способ по любому из предшествующих пунктов, в котором стриппинг представляет собой стриппинг CO_2 , стриппинг аммиаком или автостриппинг.

6. Способ по любому из пп.1 и 3-5, в котором указанные две круглые области обе имеют диаметр, составляющий 0,60 м.

7. Установка (40) по производству карбамида, содержащая секцию синтеза высокого давления, содержащую секцию (43) реакции получения карбамида, конденсатор (42) карбамата высокого давления и стриппер (41), причем указанный стриппер выполнен в виде вертикального кожухотрубного теплообменника с падающей пленкой и содержит трубный пучок (3), содержащий трубки (4), кожух (2), верхнюю трубную решетку (6) и нижнюю трубную решетку (7), а также пространство (5) кожуха, обеспеченное в кожухе между верхней и нижней трубными решетками, при этом стриппер выполнен с возможностью поддержания падающей пленки раствора синтеза карбамида, подлежащего стриппингу, в трубках и содержит выпуск (16) для газообразной текучей среды теплоносителя, подаваемой в пространство (5) кожуха, и выпуск (17) для газообразной текучей среды теплоносителя и конденсата текучей среды теплоносителя из пространства кожуха,

причем трубный пучок (3) имеет эффективную длину трубки, составляющую от 4 до 9 м, при этом эффективная длина трубки представляет собой длину части трубки, которая при эксплуатации находится в контакте с текучей средой теплоносителя,

причем трубный пучок имеет предельный наружный трубный диаметр (12) и отношение эффективной длины трубки к предельному наружному трубному диаметру составляет 2,5 или менее, при этом предельный наружный трубный диаметр представляет собой диаметр окружности, обведенной вокруг наиболее удаленных от центра трубок в трубном пучке,

причем пространство кожуха на каждом уровне по вертикали, где трубки контактируют с текучей средой теплоносителя, имеет область (19А) дренажа для конденсата текучей среды теплоносителя, при этом область дренажа представляет собой свободную область пространства кожуха, пригодную для дренажа конденсата, присутствующего на стороне кожуха трубок,

причем указанное пространство кожуха содержит непрерывную вертикальную зону (10) с вертикальной длиной по меньшей мере 1,6 м, при этом в указанной непрерывной вертикальной зоне (10) для каждого горизонтального поперечного сечения (11) вдоль перпендикулярной трубкам плоскости указанного пространства кожуха в указанной вертикальной зоне разница в площади области (19А) дренажа между любыми двумя круглыми областями (14А, 14В) площадью по меньшей мере $0,25 \text{ м}^2$, которые имеют одинаковый размер и которые находятся в указанном горизонтальном поперечном сечении и в пределах указанного предельного наружного трубного диаметра, составляет менее 5% относительно средней площади области дренажа указанных двух круглых областей.

8. Установка по производству карбамида по п.7, в которой указанная непрерывная вертикальная зона не включает в себя перегородки.

9. Установка по производству карбамида по п.7 или 8, дополнительно содержащая компрессор CO_2 ,

при этом стриппер дополнительно содержит выпуск для подачи CO_2 из компрессора CO_2 к нижним концам трубок стриппера.

10. Установка по производству карбамида по любому из пп.7-9, в которой делители жидкости установлены на верхних концах трубок, причем указанные верхние концы проходят через верхние трубные решетки, при этом делители жидкости представляют собой гильзы или муфты с отверстиями для входа жидкости, выполненными с возможностью формирования падающей пленки раствора синтеза карбамида на внутренних стенках труб в процессе эксплуатации.

11. Установка по производству карбамида по любому из пп.7-10, в которой трубки опираются на полосы (20), имеющие ширину менее 10 мм.

12. Установка по производству карбамида по любому из пп.7-11, в которой стриппер содержит несущую конструкцию (24), расположенную в пространстве кожуха, чтобы обеспечить опору для трубок, причем указанная несущая конструкция содержит круглое опорное кольцо (23) с по меньшей мере одним слоем полос (20), при этом полосы соединены с опорным кольцом.

13. Установка по производству карбамида по п.12, в которой опорное кольцо содержит по меньшей мере два слоя (20, 21) полос, расположенных друг на друге, причем полосы в каждом слое расположены параллельно друг другу, при этом полосы в смежных слоях пересекаются друг с другом так, чтобы образовывать точки (22) пересечения.

14. Способ стриппинга раствора синтеза карбамида, поступающего из процесса образования карбамида, в котором аммиак и CO_2 вступают в реакцию в условиях образования карбамида, причем указанный раствор синтеза карбамида содержит карбамид, воду и карбамат аммония, при этом способ включает в себя стадии, на которых

подвергают указанный раствор синтеза карбамида стриппингу и косвенному теплообмену с газообразной текучей средой теплоносителя в стриппере (1), причем указанный стриппер представляет собой вертикальный кожухотрубный теплообменник, содержащий трубный пучок (3), содержащий трубки (4), кожух (2) и пространство (5) кожуха, при этом раствор синтеза карбамида обеспечивают в виде падающей пленки в трубках (4), при этом текучая среда теплоносителя поступает в пространство кожуха и по меньшей мере частично конденсируется в пространстве кожуха,

причем трубный пучок имеет эффективную длину трубки, составляющую от 4 до 9 м, при этом эффективная длина трубки представляет собой длину части трубки, которая находится в контакте с текучей средой теплоносителя, причем трубки опираются на полосы, имеющие ширину менее 10 мм.

15. Стриппер высокого давления для установки по производству карбамида, содержащий вертикальный кожухотрубный теплообменник, содержащий трубный пучок (3), содержащий трубки (4), кожух (2), верхнюю трубную решетку (6) и нижнюю трубную решетку (7), а также пространство (5) кожуха, обеспеченное в кожухе между верхней и нижней трубными решетками, причем стриппер выполнен с возможностью поддержания падающей пленки раствора синтеза карбамида, подлежащего стриппингу, в трубках и содержит выпуск (16) для газообразной текучей среды теплоносителя, подаваемой в пространство (5) кожуха, и выпуск (17) для газообразной текучей среды теплоносителя и конденсата текучей среды теплоносителя из пространства кожуха, при этом выпуск для текучей среды теплоносителя расположен выше выпуска для конденсата из пространства кожуха, причем трубки трубного пучка опираются на полосы (20), имеющие ширину менее 10 мм.

16. Стриппер (41) высокого давления для установки по производству карбамида, содержащий вертикальный кожухотрубный теплообменник с падающей пленкой, который содержит трубный пучок (3), содержащий трубки (4), кожух (2), верхнюю трубную решетку (6) и нижнюю трубную решетку (7), а также пространство (5) кожуха, обеспеченное в кожухе между верхней и нижней трубными решетками, причем стриппер выполнен с возможностью поддержания падающей пленки раствора синтеза карбамида, подлежащего стриппингу, в трубках и содержит выпуск (16) для газообразной текучей среды теплоносителя, подаваемой в пространство (5) кожуха, и выпуск (17) для газообразной текучей среды теплоносителя и конденсата текучей среды теплоносителя из пространства кожуха,

причем трубный пучок (3) имеет эффективную длину трубки, составляющую от 4 до 9 м, при этом эффективная длина трубки представляет собой длину части трубки, которая при эксплуатации находится в контакте с текучей средой теплоносителя,

причем трубный пучок имеет предельный наружный диаметр (12) и отношение эффективной длины трубки к предельному наружному трубному диаметру составляет 2,5 или менее, при этом предельный наружный трубный диаметр представляет собой диаметр окружности, обведенной вокруг наиболее удаленных от центра трубок в трубном пучке,

причем пространство кожуха на каждом уровне по вертикали, где трубки контактируют с текучей средой теплоносителя, имеет область (19А) дренажа для конденсата текучей среды теплоносителя, при этом область дренажа представляет собой свободную область пространства кожуха, пригодную для дренажа конденсата, присутствующего на стороне кожуха трубок,

причем указанное пространство кожуха содержит непрерывную вертикальную зону (10) с вертикальной длиной по меньшей мере 1,6 м, при этом в указанной непрерывной вертикальной зоне (10) для каждого горизонтального поперечного сечения (11) вдоль перпендикулярной трубкам плоскости указан-

ного пространства кожуха в указанной вертикальной зоне разница в площади области (19А) дренажа между любыми двумя круглыми областями (14А, 14В) площадью по меньшей мере $0,25 \text{ м}^2$, которые имеют одинаковый размер и которые находятся в указанном горизонтальном поперечном сечении и в границах указанного предельного наружного трубного диаметра, составляет менее 5% относительно средней площади области дренажа указанных двух круглых областей.

17. Стриппер по п.16, в котором указанная непрерывная вертикальная зона не включает в себя перегородки.

18. Стриппер по любому из пп.15-17, включающий в себя делители жидкости, которые установлены на верхнем конце трубок, причем делители жидкости представляют собой гильзы или муфты, которые содержат радиальные или тангенциальные отверстия для ввода жидкости в трубки.

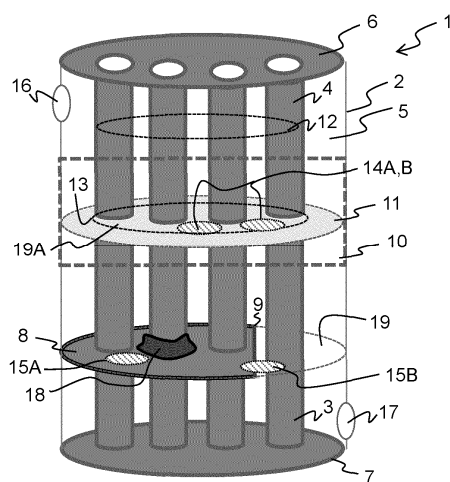
19. Стриппер по любому из пп.15-18, в котором трубные решетки содержат футеровку или наплавку из дуплексной нержавеющей стали на стороне трубной решетки, на которую в процессе эксплуатации воздействует жидкость, поступающая в трубки.

20. Установка (40) по производству карбамида, содержащая секцию синтеза высокого давления, содержащую секцию (43) реакции получения карбамида, конденсатор (42) карбамата высокого давления и стриппер (41), причем указанный стриппер выполнен в виде вертикального кожухотрубного теплообменника с падающей пленкой и содержит трубный пучок (3), содержащий трубки (4), кожух (2), верхнюю трубную решетку (6) и нижнюю трубную решетку (7), а также пространство (5) кожуха, обеспеченное в кожухе между верхней и нижней трубными решетками, причем стриппер выполнен с возможностью поддержания падающей пленки раствора синтеза карбамида, подлежащего стриппингу, в трубках и содержит впуск (16) для газообразной текучей среды теплоносителя, подаваемой в пространство (5) кожуха, и выпуск (17) для газообразной текучей среды теплоносителя и конденсата текучей среды теплоносителя из пространства кожуха,

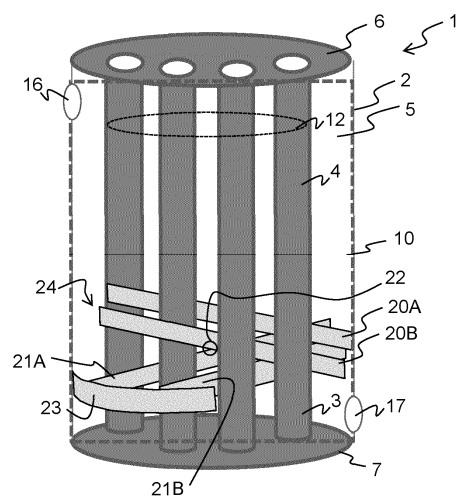
причем трубный пучок (3) имеет эффективную длину трубки, составляющую от 4 до 9 м, при этом эффективная длина трубки представляет собой длину части трубки, которая при эксплуатации находится в контакте с текучей средой теплоносителя,

причем трубный пучок имеет предельный наружный трубный диаметр (12) и отношение эффективной длины трубки к предельному наружному трубному диаметру составляет 2,5 или менее, при этом предельный наружный трубный диаметр представляет собой диаметр окружности, обведенной вокруг наиболее удаленных от центра трубок в трубном пучке,

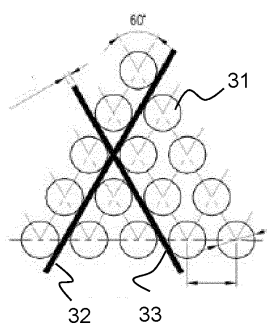
причем трубки опираются на полосы (20), имеющие ширину менее 10 мм.



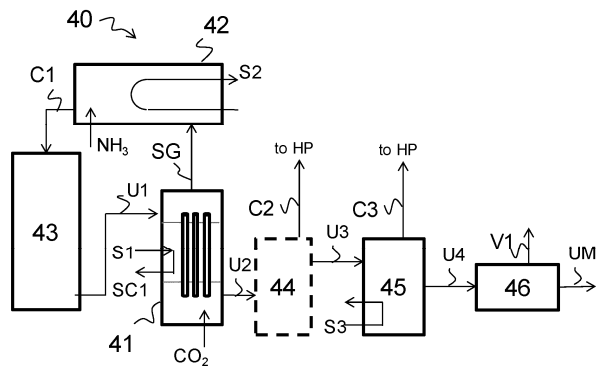
Фиг. 1



Фиг. 2



Фиг. 3



Фиг. 4

