

(19)



**Евразийское  
патентное  
ведомство**

(11) **034497**

(13) **B1**

**(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ЕВРАЗИЙСКОМУ ПАТЕНТУ**

**(45)** Дата публикации и выдачи патента  
**2020.02.13**

**(21)** Номер заявки  
**201790194**

**(22)** Дата подачи заявки  
**2015.04.21**

**(51)** Int. Cl. **C07C 273/04** (2006.01)  
**C01B 3/38** (2006.01)  
**C01B 3/48** (2006.01)

---

**(54) СПОСОБ МОДЕРНИЗАЦИИ КОМПЛЕКСА ПО ПРОИЗВОДСТВУ КАРБАМИДА**

---

**(31)** 14177054.5

**(32)** 2014.07.15

**(33)** EP

**(43)** 2017.05.31

**(86)** PCT/NL2015/050262

**(87)** WO 2016/010416 2016.01.21

**(71)(73)** Заявитель и патентовладелец:  
**СТАМИКАРБОН Б.В. ЭКТИН**  
**АНДЕР ТЕ НЕЙМ ОФ МТ**  
**ИННОВЕЙШН СЕНТР (NL)**

**(72)** Изобретатель:  
**Якуаньелло Газтано (IT), Добре Юй**  
**(NL)**

**(74)** Представитель:  
**Чекалкин А.Ю., Фелицына С.Б. (RU)**

**(56)** US-B1-6448441  
WO-A1-2012177137

---

**(57)** В соответствии с настоящим изобретением предложен способ повышения производительности комплекса по производству карбамида, который включает стадию добавления к существующему комплексу по производству карбамида установки по производству CO<sub>2</sub>, в которой осуществляют способ производства CO<sub>2</sub>, включающий стадии, на которых: i) углеводородное сырье подвергают частичному каталитическому окислению в течение короткого времени контактирования (SCT-CPO) для получения первой газовой смеси, содержащей H<sub>2</sub>, CO и CO<sub>2</sub>; ii) указанную первую газовую смесь подвергают реакции конверсии водяного газа с получением второй газовой смеси; iii) выделяют CO<sub>2</sub> из указанной второй газовой смеси с получением потока очищенного CO<sub>2</sub> и водородсодержащего потока; и затем iv) осуществляют реакцию указанного потока очищенного CO<sub>2</sub> с аммиаком из установки по производству аммиака для производства карбамида. Кроме того, настоящее изобретение также обеспечивает комплекс по производству карбамида, реализованный с использованием данного способа, и способ производства карбамида.

---

**034497**  
**B1**

**034497**  
**B1**

### Область техники, к которой относится изобретение

Настоящее изобретение относится к области производства карбамида и, в частности, раскрывает способ повышения производительности комплекса по производству карбамида за счет дополнительного производства диоксида углерода ( $\text{CO}_2$ ). Кроме того, в настоящем изобретении описан комплекс по производству карбамида, реализованный с использованием данного способа, и способ производства карбамида.

### Уровень техники

Типовой комплекс по производству карбамида включает установку по производству синтетического газа/водорода, установку по производству аммиака и установку по производству карбамида. В типовом комплексе эти установки возводят как отдельные производственные единицы. Технологии, применяемые в этих установках, часто предоставляют различные поставщики технологий, а конструкция каждого из их объектов, как правило, основана на спецификации в границах проектирования предыдущей установки.

Работа установки по производству синтетического газа/водорода часто основана на процессе обычного парового риформинга (SR), при котором природный газ взаимодействует с водяным паром с образованием синтетического газа ( $\text{H}_2 + \text{CO}/\text{CO}_2$ ). Процесс парового риформинга является эндотермическим и, следовательно, в горелках установки для риформинга сжигают дополнительный природный газ. Водород с азотом преобразуют в аммиак в установке по производству аммиака, а  $\text{CO}_2$  используют для вступления в реакцию с аммиаком в установке по производству карбамида.

Характерной особенностью этой компоновки является то, что общий способ имеет результатом стехиометрический избыток аммиака и, следовательно, нехватку  $\text{CO}_2$ . Этот избыток аммиака, как правило, реализуют, что может быть связано с возникновением проблем нормативно-правового регулирования и проблем безопасности при транспортировке аммиака. Владельцам установки, которым необходимо израсходовать избыток аммиака на месте расположения установки или которые хотят расширить возможности существующей установки по производству карбамида, следует производить дополнительный  $\text{CO}_2$ , чтобы компенсировать его нехватку. В способе, известном из уровня техники, дополнительный  $\text{CO}_2$  извлекают из дымового газа путем абсорбции в растворе, например аминовом растворе. Может быть использован дымовой газ из горелок для парового риформинга или дымовой газ из вспомогательного котла, который производит водяной пар, требуемый для способа получения карбамида.

Недостатки этого известного способа состоят в том, что объем дымового газа, подлежащего переработке, является высоким, а его давление обычно соответствует атмосферному давлению с низким парциальным давлением  $\text{CO}_2$ , что приводит к необходимости использования крупногабаритного оборудования и, следовательно, к высоким капитальным затратам и необходимости в выделении большой площади вблизи оборудования для парового риформинга. Присутствие кислорода в дымовом газе приводит к ухудшению качественных характеристик используемого раствора, из-за чего увеличивается стоимость сырья и стоимость утилизации отработанного аминового раствора. Перед введением в абсорбционную колонну дымовой газ должен быть охлажден, что требует использования дополнительного оборудования и дополнительной охлаждающей воды. Кроме того, из-за падения давления, создаваемого устанавливаемой абсорбционной системой, необходимо увеличивать внутренний диаметр вытяжного вентилятора, вследствие чего может потребоваться замена вентилятора, что повышает первоначальные и эксплуатационные затраты.

Поэтому существует необходимость в предложении способа модернизации установок по производству карбамида путем создания дополнительного производства  $\text{CO}_2$ , причем этот способ не должен иметь вышеуказанных недостатков. В частности, желательно, чтобы этот способ был экономичным и не требовал использования большого дополнительного оборудования или высоких капитальных затрат.

### Раскрытие изобретения

Чтобы наилучшим образом удовлетворить одно или более из указанных выше требований, один из аспектов изобретения включает способ повышения производительности комплекса по производству карбамида, который включает стадии, на которых:

(a) обеспечивают наличие существующего комплекса по производству карбамида, причем указанный комплекс по производству карбамида содержит установку по производству синтетического газа, установку по производству аммиака и установку по производству карбамида, которые производят синтетический газ, аммиак и карбамид, соответственно;

(b) к указанному существующему комплексу по производству карбамида добавляют установку по производству  $\text{CO}_2$ , осуществляющую способ производства  $\text{CO}_2$ , включающий стадии, на которых:

i) углеводородное сырье подвергают частичному каталитическому окислению в течение короткого времени контактирования (SCT-CPO) для получения первой газовой смеси, содержащей  $\text{H}_2$ ,  $\text{CO}$  и  $\text{CO}_2$ ;

ii) указанную первую газовую смесь подвергают реакции конверсии водяного газа с получением второй газовой смеси;

iii) выделяют  $\text{CO}_2$  из указанной второй газовой смеси с получением потока очищенного  $\text{CO}_2$  и водородосодержащего потока; и

iv) осуществляют реакцию указанного потока очищенного  $\text{CO}_2$  с аммиаком из установки по произ-

водству аммиака для производства карбамида в установке по производству карбамида.

В другом аспекте настоящее изобретение обеспечивает комплекс по производству карбамида, содержащий установку по производству синтетического газа, в которой получают синтетический газ, установку по производству аммиака, в которой получают аммиак, и установку по производству карбамида, в которой получают карбамид, причем указанный комплекс дополнительно содержит установку по производству  $\text{CO}_2$ , содержащую:

SCT-CPO-реактор, оборудованный входом для углеводородного сырья, входом для кислородсодержащего потока и выходом для первой газовой смеси;

реактор конверсии водяного газа, оборудованный входом для первой газовой смеси и выходом для второй газовой смеси;

установку для извлечения  $\text{CO}_2$ , оборудованную входом для второй газовой смеси, выходом для потока  $\text{CO}_2$  и выходом для водородсодержащего потока, в которой  $\text{CO}_2$  выделяют из второй газовой смеси,

причем установка для извлечения  $\text{CO}_2$  соединена с установкой по производству карбамида таким образом, что поток  $\text{CO}_2$ , получаемый в установке для извлечения  $\text{CO}_2$ , используют в качестве сырьевого  $\text{CO}_2$  для производства карбамида.

В дополнительном аспекте настоящее изобретение обеспечивает способ производства карбамида из аммиачного сырья и сырья диоксида углерода, в котором по меньшей мере часть сырья диоксида углерода получают с использованием способа производства  $\text{CO}_2$ , включающего стадии, на которых:

i) углеводородное сырье подвергают частичному каталитическому окислению в течение короткого времени контактирования (SCT-CPO) для получения первой газовой смеси, содержащей  $\text{H}_2$ ,  $\text{CO}$  и  $\text{CO}_2$ ;

ii) указанную первую газовую смесь подвергают реакции конверсии водяного газа с получением второй газовой смеси;

iii) выделяют  $\text{CO}_2$  из указанной второй газовой смеси с получением потока очищенного  $\text{CO}_2$  и водородсодержащего потока.

#### Осуществление изобретения

В настоящем изобретении предложен способ повышения производительности существующего комплекса по производству карбамида, в котором организовано дополнительное производство  $\text{CO}_2$  по месту расположения установки для компенсации дисбаланса в производстве между аммиаком и  $\text{CO}_2$ . Способ в соответствии с настоящим изобретением включает несколько стадий.

На первой стадии, стадии (a), обеспечивают наличие существующего комплекса по производству карбамида, причем указанный комплекс по производству карбамида содержит установку по производству синтетического газа, установку по производству аммиака и установку по производству карбамида. Как правило, в установке по производству синтетического газа углеводородное сырье, например природный газ, подвергают паровому риформингу для получения синтез-газовой смеси, главным образом содержащей  $\text{CO}$  и  $\text{H}_2$ . В предпочтительном варианте осуществления паровой риформинг используют для получения синтетического газа, поскольку использование комбинации производства синтетического газа путем парового риформинга и дополнительного производства  $\text{CO}_2$  с использованием SCT-CPO особенно целесообразно для оптимизации производства  $\text{CO}_2$ . В альтернативном варианте осуществления или дополнительно к паровому риформингу для производства синтетического газа можно использовать автотермический риформинг. В некоторых вариантах осуществления для производства синтетического газа предпочтительно используют паровой риформинг совместно с автотермическим риформингом. В установке для производства аммиака водород реагирует с азотом для получения аммиака, который в свою очередь подают на установку для производства карбамида, в которой получают карбамид. Вышеуказанные способы и оборудование известны специалистам в данной области техники. Установка по производству карбамида предпочтительно функционирует в соответствии со способом отгонки карбамида (стриппинг-процесс), но может быть использован любой способ производства карбамида.

На второй стадии, стадии (b), к существующему комплексу по производству карбамида добавляют установку по производству  $\text{CO}_2$ , которая вырабатывает дополнительный  $\text{CO}_2$ . Способ получения  $\text{CO}_2$ , используемый в установке по производству  $\text{CO}_2$ , включает стадии, на которых:

i) углеводородное сырье, например природный газ, подвергают частичному каталитическому окислению в течение короткого времени контактирования (SCT-CPO) для получения первой газовой смеси, содержащей  $\text{H}_2$ ,  $\text{CO}$  и  $\text{CO}_2$ ;

ii) указанную первую газовую смесь подвергают реакции конверсии водяного газа (WGS) с получением второй газовой смеси;

iii) выделяют  $\text{CO}_2$  из указанной второй газовой смеси с получением потока очищенного  $\text{CO}_2$  и водородсодержащего потока; и затем

iv) осуществляют реакцию указанного потока очищенного  $\text{CO}_2$  с аммиаком из установки по производству аммиака для производства карбамида в установке по производству карбамида.

На стадии (i) углеводородное сырье подают вместе с воздухом (или другим источником кислорода) в CPO-реактор, в котором получают синтетический газ. Может быть использовано любое углеводородсодержащее сырье, подходящее для частичного каталитического окисления. Под углеводородным сырьем понимают любое сырье, содержащее по меньшей мере один углеводород. Предпочтительно, чтобы

углеводороды, используемые для SCT-CPO, при атмосферных условиях находились в газообразном или жидком состоянии. В предпочтительном варианте осуществления сырье включает легкие углеводороды, например C<sub>1-4</sub> алканы, например метан, этан и т.д. В более предпочтительном варианте осуществления сырье включает метан или газ, содержащий значительное количество метана, например природный газ или синтетический продукт (из угля). Предпочтительно использование десульфурованного сырья. Таким образом, в случае необходимости углеводородное сырье перед началом SCT-CPO может быть подвергнуто десульфуризации.

В качестве источника кислорода при осуществлении SCT-CPO предпочтительно используют воздух или обогащенный кислородом воздух. Воздух, обогащенный кислородом, может быть использован в случае невысокой стоимости кислорода. Это позволяет уменьшить размеры установки. Однако одно из преимуществ описанного способа заключается в том, что может быть использован воздух, что позволяет исключить необходимость в добавлении (дорогостоящей) установки разделения воздуха (ASU) для получения кислорода. Обычно так не делают, поскольку в большинстве CPO-установок предпочтительно используют обогащенный воздух или кислород. Это связано с тем, что это устраняет необходимость в дорогостоящем выделении N<sub>2</sub> из синтетического газа. Однако в соответствии с настоящим изобретением N<sub>2</sub> может присутствовать в смеси с синтетическим газом, и это не влияет на дальнейшее выполнение способа, что является важным преимуществом настоящего способа. Использование воздуха позволяет избежать затрат, связанных с применением ASU для получения кислорода. Таким образом, в предпочтительном варианте осуществления SCT-CPO осуществляют в присутствии воздуха в качестве источника кислорода.

Термин "частичное каталитическое окисление в течение короткого времени контактирования" (SCT-CPO) известен специалистам в данной области техники. Реакция CPO происходит в реакторе под действием катализатора в течение времени пребывания от 10<sup>-2</sup> до 10<sup>-4</sup> и при типовом времени контактирования с поверхностью катализатора около 10<sup>-6</sup> с<sup>-1</sup>. Эти значения времени контактирования соответствуют типовым объемным скоростям от 100000 до 250000 ч<sup>-1</sup>, предпочтительно от 100000 до 200000 ч<sup>-1</sup>. Катализаторы, используемые для SCT-CPO, содержат Ni (никель), Pd (палладий), Pt (платину), Rh (родий) или Ru (рутений). Реакция протекает при температурах поверхности катализатора выше 950°C, предпочтительно выше 1000°C. Указанные малые значения времени контактирования и высокие температуры поверхности катализатора чрезвычайно способствуют образованию CO, а образование углерода или CO<sub>2</sub> подавляется. Это приводит к образованию весьма благоприятной композиции синтетического газа. Справочная ссылка, касающаяся CPO: (a) L. Basini, *Catalysis Today* 117 (2006) 384-393. Другие справочные ссылки включают: (b) L. Basini, K. Aasberg-Petersen, A. Guarinoni, M. Oestberg, *Catalysis Today* (2001) 64, 9-20 "Catalytic Partial Oxidation of Natural Gas at Elevated Pressure and Low Residence Time"; (c) H. Hickman, L.D. Schmidt, *J. Catal.* 138 (1992) 267; (d) D. Hichman, L.D. Schmidt *Science*, 259 (1993) 343; (e) L. Basini, G. Donati WO 97/37929; (f) Sanfilippo, Domenico; Basini, Luca; Marchionna, Mario; EP-640559; (g) D. Schaddenhorst, R.J. Schoonebeek; WO 00/00426; (h) K.L. Hohn, L.D. Schmidt, S. Reyes, J.S. Freeley, WO 01/32556; (i) A.M. Gaffhey, R. Songer, R. Ostwald, D. Corbin, WO 01/36323.

В предпочтительном варианте осуществления производительность способа SCT-CPO при производстве CO<sub>2</sub> составляет менее 20% и предпочтительно менее 15% от производства CO<sub>2</sub> способом парового риформинга. Другими словами, количество CO<sub>2</sub>, производимого установкой CPO, ниже, чем количество CO<sub>2</sub>, производимого способом парового риформинга. Это указывает на относительно небольшие размеры оборудования CPO, которое, следовательно, можно легче разместить вблизи секции синтеза карбамида. Таким образом, отсутствует необходимость в ее установке вблизи установки парового риформинга. Оборудование CPO и другое оборудование могут быть добавлены в виде полностью отдельного устройства, например в виде установки блочного типа на раме.

Перед стадией (ii) полученную первую газовую смесь могут охлаждать. В одном варианте осуществления первую газовую смесь охлаждают гашением водой. Гасящую воду предпочтительно получают из потока конденсированного водяного пара или потока технологического конденсата из установки по производству карбамида. В другом варианте осуществления первую газовую смесь охлаждают за счет косвенного теплообмена в теплообменнике, например в котле-утилизаторе, в котором охлаждающая среда, подаваемая в теплообменник, представляет собой подпиточную воду для котла (BFW) из установки по производству карбамида. В предпочтительном варианте осуществления давление BFW повышают для получения водяного пара с высоким давлением (например, от 1,2 до 2,2 МПа (12 до 22 бар)), а затем используют его при синтезе карбамида, например, в отгонном устройстве высокого давления установки по производству карбамида.

На стадии (ii) первую газовую смесь, полученную на стадии SCT-CPO, подвергают реакции конверсии водяного газа (WGS). Она может соответственно происходить в WGS-реакторе. Во время реакции WGS доступный CO превращается в CO<sub>2</sub> в присутствии водяного пара, благодаря чему снижается соотношение CO/CO<sub>2</sub> в первой газовой смеси. В результате реакции WGS получают вторую газовую смесь, которая главным образом содержит диоксид углерода и водород.

На стадии (iii) CO<sub>2</sub> выделяют из второй газовой смеси, получая поток очищенного CO<sub>2</sub> и водородсодержащий поток. Под термином "выделение" следует понимать выделение конкретного компонента

смеси в по существу чистом виде. Способ выделения  $\text{CO}_2$ , при котором  $\text{CO}_2$  представляет собой компонент в смеси, представляет собой способ, который оказывает действие на  $\text{CO}_2$  для его выделения из смеси. Если воздух используют в SCT-CPO в качестве источника кислорода, результирующая газовая смесь представляет собой главным образом трехкомпонентную смесь, содержащую  $\text{H}_2$ ,  $\text{CO}_2$  и  $\text{N}_2$ , возможно со следами  $\text{CO}$ . На стадии выделения эта смесь разделяется на поток очищенного  $\text{CO}_2$ , который по существу содержит  $\text{CO}_2$ , и водородсодержащий поток, который может содержать другие компоненты и примеси. "По существу" в данном случае означает чистоту, составляющую по меньшей мере 95 об.%, предпочтительно по меньшей мере 98 об.%, например, по меньшей мере 99 об.%  $\text{CO}_2$ .

Поток очищенного  $\text{CO}_2$  может быть получен из второй газовой смеси с использованием различных способов. В предпочтительном варианте осуществления его получают с помощью процесса абсорбции. В более предпочтительном варианте осуществления процесс абсорбции выбирают из процесса абсорбции амином или процесса с использованием охлажденного аммиака. В процессе абсорбции амином содержащую диоксид углерода газовую смесь вводят в контакт с аминовым раствором в абсорбционной колонне, причем  $\text{CO}_2$  связывается с амином, и таким образом его извлекают из газовой смеси. Захват  $\text{CO}_2$  из синтетического газа предпочтительно выполняют под высоким давлением. На второй стадии амин регенерируют путем нагревания раствора для вытеснения  $\text{CO}_2$ . Преимущество этих способов состоит в получении потока  $\text{CO}_2$  высокой чистоты, подходящего для производства карбамида, который может быть непосредственно использован в установке по производству карбамида. Вариант осуществления, в котором установка по производству  $\text{CO}_2$  является полностью отдельной от существующей установки по производству аммиака, имеет дополнительное преимущество, которое заключается в отсутствии необходимости в увеличении мощности вытяжного вентилятора.

Выделение  $\text{CO}_2$  из второй газовой смеси не имеет недостатков выделения  $\text{CO}_2$  из дымового газа, поступающего из горелок установки парового риформинга или из вспомогательных горелок установки по производству аммиака или карбамида. Использование дымового газа в качестве источника дополнительного  $\text{CO}_2$ , как правило, является очень дорогостоящим. Прежде всего, парциальное давление  $\text{CO}_2$  в дымовом газе является низким. При давлении, приближенном к атмосферному давлению, дымовой газ, как правило, имеет концентрацию  $\text{CO}_2$  в диапазоне 8-13 об.%. Требуемое падение давления в системе также поддерживают низким, чтобы избежать слишком высоких затрат на сжатие дымовых газов. Кроме того, существует необходимость в охлаждении дымового газа до температуры, приближенной к температуре окружающей среды, в связи с чем для выполнения этой задачи потребуется установить специальную колонну и отдавать все отводимое тепло в охлаждающую воду. Кроме того, нагрузка регенерации для выбранного растворителя из-за выполнения операции под низким давлением является относительно высокой. Важно отметить, что присутствие кислорода в дымовых газах вместе с  $\text{NO}_x$  и  $\text{SO}_x$  приводит к ухудшению качественных характеристик растворителя и образованию побочных коррозионных продуктов. К тому же серосодержащие компоненты являются вредными для катализатора-преобразователя водорода и их наличие приводит к коррозии при синтезе карбамида. Это не только повышает стоимость растворителя на тонну захваченного  $\text{CO}_2$ , но и обуславливает необходимость надлежащей утилизации побочных продуктов, образующихся при ухудшении качественных характеристик растворителя. Следовательно, способ, основанный на выделении дополнительного  $\text{CO}_2$  из дымовых газов, является неэкономичным.

В отличие от предшествующих решений, имеющих вышеуказанные недостатки, в настоящем изобретении предложен экономичный способ повышения производительности комплекса по производству карбамида, причем дополнительный  $\text{CO}_2$  производят с использованием процессов SCT-CPO и WGS. В частности, выделение  $\text{CO}_2$  из газовой смеси, полученной в результате выполнения WGS, намного эффективнее, чем его выделение из дымовых газов, в связи с более высоким парциальным давлением  $\text{CO}_2$  в смеси, более высоким общим давлением смеси, более низкой температурой смеси и, следовательно, с тем, что смесь нужно меньше охлаждать перед стадией выделения.

Оставшийся водородсодержащий поток может быть использован в других местах комплекса по производству карбамида. В предпочтительном варианте осуществления его используют в качестве топлива во вспомогательном котле, который производит водяной пар, необходимый для способа получения аммиака или карбамида или в горелках установки парового риформинга. Этот поток газа главным образом содержит водород, азот (если на стадии SCT-CPO используют воздух),  $\text{CH}_4$  и  $\text{CO}$ .

На стадии (iv) поток очищенного потока  $\text{CO}_2$  взаимодействует с аммиаком из установки по производству аммиака для производства карбамида в установке по производству карбамида.

В одном из вариантов осуществления поток очищенного  $\text{CO}_2$  подают в установку по производству карбамида в имеющийся компрессор  $\text{CO}_2$ , который сжимает  $\text{CO}_2$  для использования при синтезе карбамида под высоким давлением. Типовые значения давления: от 10 до 20 МПа (100-200 бар). В соответствии с этим вариантом осуществления необходимо, чтобы имеющаяся установка по производству аммиака имела достаточную мощность выделения  $\text{CO}_2$ .

В еще одном варианте осуществления, как правило, если мощность компрессора  $\text{CO}_2$  в секции высокого давления является недостаточной, вторая газовая смесь может быть направлена в новую установленную (малую) установку для выделения  $\text{CO}_2$ , которая выдает поток очищенного  $\text{CO}_2$ . Этот поток затем

сжимают до среднего давления (1-7 МПа) в дополнительном (малом) компрессоре  $\text{CO}_2$  и подают в секцию синтеза под средним давлением установки по производству карбамида. В одном таком варианте осуществления секция синтеза под средним давлением содержит отгонное устройство среднего давления, а  $\text{CO}_2$  используют в качестве отгонного газа в отгонном устройстве среднего давления.

В еще одном аспекте настоящего изобретения предложен комплекс по производству карбамида с повышенной производительностью, который реализован с использованием способа в соответствии с настоящим изобретением.

Такой комплекс по производству карбамида содержит установку по производству синтетического газа, в которой получают синтетический газ, установку по производству аммиака, в которой получают аммиак, и установку по производству карбамида, в которой получают карбамид, причем этот комплекс дополнительно содержит установку по производству  $\text{CO}_2$ , которая содержит

SCT-CPO-реактор, оборудованный входом для углеводородного сырья, входом для кислородсодержащего потока и выходом для первой газовой смеси;

реактор конверсии водяного газа, оборудованный входом для первой газовой смеси и выходом для второй газовой смеси;

установку для извлечения  $\text{CO}_2$ , оборудованную входом для второй газовой смеси, выходом для потока  $\text{CO}_2$  и выходом для водородсодержащего потока, где  $\text{CO}_2$  выделяют из второй газовой смеси,

причем установка для извлечения  $\text{CO}_2$  соединена с установкой по производству карбамида таким образом, что поток  $\text{CO}_2$ , получаемый в установке для извлечения  $\text{CO}_2$ , используют в качестве сырьевого  $\text{CO}_2$  для производства карбамида.

В предпочтительном варианте осуществления установка для извлечения  $\text{CO}_2$  соединена с установкой по производству карбамида. В предпочтительном варианте осуществления выход для водородсодержащего потока установки для извлечения  $\text{CO}_2$  соединен с горелкой установки парового риформинга и/или горелкой, расположенной в другом месте комплекса по производству карбамида, например с горелкой установки парового риформинга в установке по производству синтетического газа или со вспомогательными горелками, используемыми для получения водяного пара в установке по производству аммиака или карбамида.

В одном из вариантов осуществления поток очищенного  $\text{CO}_2$  из установки для извлечения  $\text{CO}_2$  направляют в компрессор  $\text{CO}_2$ , который сжимает  $\text{CO}_2$  для использования при синтезе карбамида под высоким давлением в установке по производству карбамида. Типовые значения давления: от 10 до 20 МПа (100-200 бар). В соответствии с этим вариантом осуществления необходимо, чтобы имеющаяся установка по производству аммиака имела достаточную мощность выделения  $\text{CO}_2$ .

В еще одном варианте осуществления, как правило, если мощность компрессора  $\text{CO}_2$  в секции высокого давления является недостаточной, вторая газовая смесь может быть направлена в новую установленную (малую) установку для выделения  $\text{CO}_2$ , которая выдает поток очищенного  $\text{CO}_2$ . Этот поток затем сжимают до среднего давления (1-7 МПа) в дополнительном (малом) компрессоре  $\text{CO}_2$  и подают в секцию синтеза под средним давлением установки по производству карбамида.

В еще одном аспекте настоящее изобретение обеспечивает способ производства карбамида, который может быть реализован в комплексе по производству карбамида в соответствии с настоящим изобретением. Этот способ позволяет получать карбамид из аммиачного сырья и сырья диоксида углерода, причем по меньшей мере часть сырья диоксида углерода получают с использованием способа производства  $\text{CO}_2$ , включающего стадии, на которых:

i) углеводородное сырье подвергают частичному каталитическому окислению в течение короткого времени контактирования (SCT-CPO) для получения первой газовой смеси, содержащей  $\text{H}_2$ ,  $\text{CO}$  и  $\text{CO}_2$ ;

ii) указанную первую газовую смесь подвергают реакции конверсии водяного газа с получением второй газовой смеси;

iii) выделяют  $\text{CO}_2$  из указанной второй газовой смеси с получением потока очищенного  $\text{CO}_2$  и водородсодержащего потока. В предпочтительном варианте осуществления только часть сырья диоксида углерода получают в соответствии с описанным способом производства  $\text{CO}_2$ .

Как правило, аммиачное сырье производят (по меньшей мере частично) в установке по производству аммиака из водорода и азота. Водород, используемый для синтеза аммиака, предпочтительно производят из синтетического газа, полученного в установке по производству синтетического газа. В предпочтительном варианте осуществления установка по производству синтетического газа выполняет паровой риформинг углеводородного сырья. Углеводородное сырье, используемое при производстве синтетического газа, может быть аналогичным сырьем, используемому при производстве  $\text{CO}_2$  в установке по производству  $\text{CO}_2$ , или отличным от него. При паровом риформинге также получают  $\text{CO}_2$ , который предпочтительно используют в качестве части сырья  $\text{CO}_2$  для производства карбамида вместе с  $\text{CO}_2$ , дополнительно произведенным в установке по производству  $\text{CO}_2$ .

Один из вариантов осуществления в соответствии с настоящим изобретением показан чертеже. На нем схематически изображен способ производства карбамида, усовершенствованный за счет добавления установки по производству  $\text{CO}_2$ .

Природный газ подают в установку по производству синтетического газа, в которой он взаимодей-

ствуется с технологическим воздухом (при паровом риформинге и/или автотермическом риформинге) для получения синтез-газовой смеси. Затем синтетический газ подвергают реакции конверсии водяного газа и осуществляют регенерацию тепла, при этом образуется водяной пар, который могут использовать на других стадиях способа. Из смеси, полученной в реакции WGS, извлекают  $\text{CO}_2$  и выделенный  $\text{CO}_2$  направляют в установку по производству карбамида. Оставшуюся смесь, содержащую водород, охлаждают и сжимают, а затем используют в контуре синтеза для производства аммиака в установке по производству аммиака. Полученный аммиак затем направляют в установку по производству карбамида для синтеза карбамида.

Дополнительный  $\text{CO}_2$  получают в добавленном способе, изображенном в нижней части фигуры. Природный газ подвергают SCT-CPO для получения первой газовой смеси, содержащей водород,  $\text{CO}$  и  $\text{CO}_2$ , и эту смесь подвергают реакции WGS с получением второй газовой смеси. Из второй газовой смеси извлекают  $\text{CO}_2$  для получения потока очищенного  $\text{CO}_2$ , который направляют в установку по производству карбамида, и водородсодержащего дымового газа. Водородсодержащий дымовой газ направляют в качестве части топлива во вспомогательный котел, производящий водяной пар, который могут использовать, например, в процессе получения аммиака или карбамида (не показано).

#### ФОРМУЛА ИЗОБРЕТЕНИЯ

1. Способ повышения производительности комплекса по производству карбамида, который включает стадии, на которых:

(а) обеспечивают наличие комплекса по производству карбамида, причем указанный комплекс по производству карбамида содержит

установку по производству синтез-газа, выполненную с возможностью производства синтез-газа, которая содержит установку парового риформинга и/или установку автотермического риформинга углеводородного сырья,

установку конверсии водяного газа и регенерации тепла, имеющую вход, соединенный с выходом указанной установки по производству синтез-газа, и имеющую выход,

установку для извлечения  $\text{CO}_2$ , имеющую вход, соединенный с указанным выходом указанной установки конверсии водяного газа и регенерации тепла, и имеющую первый выход для  $\text{CO}_2$  и второй выход,

установку охлаждения и сжатия, имеющую вход, соединенный с указанным вторым выходом указанной установки для извлечения  $\text{CO}_2$ ,

установку по производству аммиака, выполненную с возможностью производства аммиака, имеющую вход, соединенный с выходом указанной установки охлаждения и сжатия, и имеющую выход для аммиака, и

установку по производству карбамида, выполненную с возможностью производства карбамида, имеющую вход, соединенный с указанным выходом для аммиака указанной установки по производству аммиака, и имеющую вход, соединенный с указанным первым выходом для  $\text{CO}_2$  указанной установки для извлечения  $\text{CO}_2$ ,

(б) к указанному комплексу по производству карбамида добавляют установку по производству  $\text{CO}_2$ , которая содержит:

i) реактор частичного каталитического окисления в течение короткого времени контактирования (SCT-CPO-реактор), оборудованный входом для углеводородного сырья, входом для кислородсодержащего потока и выходом для первой газовой смеси, содержащей  $\text{H}_2$ ,  $\text{CO}$  и  $\text{CO}_2$ ,

ii) второй реактор конверсии водяного газа, оборудованный входом для первой газовой смеси и выходом для второй газовой смеси, и

iii) вторую установку для извлечения  $\text{CO}_2$ , оборудованную входом для второй газовой смеси, выходом для потока  $\text{CO}_2$  и выходом для водородсодержащего потока, где  $\text{CO}_2$  выделяют из второй газовой смеси,

причем вторая установка для извлечения  $\text{CO}_2$  соединена с установкой по производству карбамида таким образом, что поток  $\text{CO}_2$ , получаемый во второй установке для извлечения  $\text{CO}_2$ , используется в качестве сырьевого  $\text{CO}_2$  для производства карбамида.

2. Способ по п.1, в котором указанная установка по производству синтез-газа указанного комплекса по производству карбамида содержит установку парового риформинга, причем указанная установка парового риформинга имеет подачу природного газа в указанную установку парового риформинга.

3. Способ по п.2, в котором выход для водородсодержащего потока второй установки для извлечения  $\text{CO}_2$  соединен с горелкой установки парового риформинга в установке по производству синтез-газа.

4. Способ по любому из пп.1-3, в котором указанная установка по производству  $\text{CO}_2$  содержит теплообменник, в котором первую газовую смесь охлаждают за счет косвенного теплообмена, причем указанный теплообменник имеет вход для охлаждающей среды, которая представляет собой подпиточную воду для котла (BFW) из установки по производству карбамида.

5. Способ по п.2, в котором производительность SCT-CPO по производству  $\text{CO}_2$  составляет менее

20% от производительности по производству  $\text{CO}_2$  установки парового риформинга.

6. Способ по п.1, в котором указанная установка по производству  $\text{CO}_2$  выполнена с возможностью осуществления SCT-CPO в присутствии воздуха в качестве источника кислорода.

7. Способ по любому из пп.1-6, в котором указанная установка по производству карбамида содержит компрессор  $\text{CO}_2$ , выполненный с возможностью приема потока  $\text{CO}_2$  из второй установки для извлечения  $\text{CO}_2$  и сжатия указанного  $\text{CO}_2$  для использования в секции синтеза под высоким давлением установки по производству карбамида.

8. Способ по любому из пп.1-6, в котором установка производства карбамида содержит секцию синтеза под средним давлением и указанная установка по производству  $\text{CO}_2$  выполнена с возможностью сжатия потока  $\text{CO}_2$  из второй установки для извлечения  $\text{CO}_2$  до среднего давления, и в котором указанная установка производства карбамида содержит соединение для подачи указанного сжатого потока  $\text{CO}_2$  в секцию синтеза под средним давлением установки по производству карбамида.

9. Комплекс по производству карбамида, содержащий установку по производству синтез-газа, в которой получают синтез-газ, причем указанная установка по производству синтез-газа содержит установку парового риформинга и/или установку автотермического риформинга углеводородного сырья,

установку конверсии водяного газа и регенерации тепла, имеющую вход, соединенный с выходом указанной установки по производству синтез-газа,

установку для извлечения  $\text{CO}_2$ , имеющую вход, соединенный с выходом указанной установки конверсии водяного газа и регенерации тепла, и имеющую первый выход для  $\text{CO}_2$  и второй выход,

установку охлаждения и сжатия, имеющую вход, соединенный с указанным вторым выходом указанной установки для извлечения  $\text{CO}_2$ ,

установку по производству аммиака, выполненную с возможностью производства аммиака, имеющую вход, соединенный с выходом указанной установки охлаждения и сжатия, и имеющую выход для аммиака, и

установку по производству карбамида, выполненную с возможностью производства карбамида, имеющую вход, соединенный с указанным выходом для аммиака указанной установки по производству аммиака, и имеющую вход, соединенный с указанным первым выходом для  $\text{CO}_2$  указанной установки для извлечения  $\text{CO}_2$ ,

причем комплекс дополнительно содержит установку по производству  $\text{CO}_2$ , содержащую

SCT-CPO-реактор, оборудованный входом для углеводородного сырья, входом для кислородсодержащего потока и выходом для первой газовой смеси,

второй реактор конверсии водяного газа, оборудованный входом для первой газовой смеси и выходом для второй газовой смеси,

вторую установку для извлечения  $\text{CO}_2$ , оборудованную входом для второй газовой смеси, выходом для потока  $\text{CO}_2$  и выходом для водородсодержащего потока, где  $\text{CO}_2$  выделяют из второй газовой смеси,

причем вторая установка для извлечения  $\text{CO}_2$  соединена с установкой по производству карбамида таким образом, что поток  $\text{CO}_2$ , получаемый во второй установке для извлечения  $\text{CO}_2$ , используется в качестве сырьевого  $\text{CO}_2$  для производства карбамида.

10. Комплекс по производству карбамида по п.9, в котором указанная установка по производству синтез-газа содержит установку парового риформинга, причем выход для водородсодержащего потока установки для извлечения  $\text{CO}_2$  соединен с горелкой установки парового риформинга в установке по производству синтез-газа, причем SCT-CPO-реактор выполнен с возможностью осуществления SCT-CPO реакции в присутствии воздуха в качестве источника кислорода.

11. Комплекс по производству карбамида по п.9 или 10, в котором установка по производству карбамида содержит компрессор  $\text{CO}_2$ , который выполнен с возможностью сжатия  $\text{CO}_2$  для использования в секции синтеза под высоким давлением установки по производству карбамида, и вторая установка для извлечения  $\text{CO}_2$  соединена с компрессором  $\text{CO}_2$  установки по производству карбамида.

12. Комплекс по производству карбамида по любому из пп.9-10, в котором комплекс по производству карбамида содержит компрессор для сжатия потока  $\text{CO}_2$  из второй установки для извлечения  $\text{CO}_2$  до среднего давления, и в котором комплекс по производству карбамида содержит соединение от выхода для потока  $\text{CO}_2$  второй установки для извлечения  $\text{CO}_2$  к входу указанного компрессора и соединение для подачи сжатого  $\text{CO}_2$  в секцию синтеза под средним давлением установки по производству карбамида.

13. Способ производства карбамида, включающий стадии, на которых производят аммиачное сырье в установке по производству аммиака, по меньшей мере, частично из азота и водорода, и производят указанный водород, который используют в указанной установке по производству аммиака, в установке по производству синтез-газа путем парового риформинга и/или автотермического риформинга углеводородного сырья для получения синтез-газа, в указанном способе также подвергают указанный синтез-газ реакции конверсии синтез-газа и регенерации тепла, а затем извлечению  $\text{CO}_2$  в первой установке для извлечения  $\text{CO}_2$  для получения извлеченного  $\text{CO}_2$  и водородсодержащего газового потока, причем указанный водородсодержащий газовый поток из установки для извлечения  $\text{CO}_2$  подают в указанную установку по производству аммиака, причем указанный способ дополнительно включает стадии, на которых

1) углеводородное сырье подвергают частичному каталитическому окислению в течение короткого



времени контактирования (SCT-СРО) для получения первой газовой смеси, содержащей  $H_2$ ,  $CO$  и  $CO_2$ ,  
 ii) указанную первую газовую смесь подвергают второй реакции конверсии водяного газа с получением второй газовой смеси,

iii) выделяют  $CO_2$  во второй установке для извлечения  $CO_2$  из указанной второй газовой смеси с получением потока очищенного  $CO_2$  и водородсодержащего потока, и

iv) осуществляют производство карбамида путем реакции  $CO_2$  сырья с аммиачным сырьем для производства карбамида, причем часть указанного  $CO_2$  сырья получают на стадии iii), а вторую часть указанного  $CO_2$  сырья получают из указанной первой установки для извлечения  $CO_2$ .

14. Способ по п.13, в котором указанная установка по производству синтез-газа содержит установку парового риформинга, причем указанное SCT-СРО осуществляют в присутствии воздуха в качестве источника кислорода, и указанный водородсодержащий поток из указанной второй установки для извлечения  $CO_2$  со стадии iii) используют в качестве топлива для нагревания в установке парового риформинга.

15. Способ по п.13 или 14, в котором первую газовую смесь охлаждают гашением водой перед реакцией конверсии водяного газа.

16. Способ по п.15, в котором гасящую воду получают из потока конденсированного водяного пара или потока технологического конденсата из установки по производству карбамида.

17. Способ по любому из пп.13-16, в котором первую газовую смесь охлаждают путем косвенного теплообмена, причем охлаждающая среда, подаваемая в теплообменник, представляет собой подпиточную воду для котла (BFW) из установки по производству карбамида, причем в ходе косвенного теплообмена давление подпиточной воды для котла повышают для получения водяного пара с давлением 1,2-2,2 МПа (12-22 бар), который затем используют при синтезе карбамида.

