

(19)



**Евразийское
патентное
ведомство**

(21) **202291759** (13) **A1**

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ЕВРАЗИЙСКОЙ ЗАЯВКЕ

(43) Дата публикации заявки
2022.09.08

(51) Int. Cl. **C10G 9/00** (2006.01)
C10G 9/24 (2006.01)
C10G 9/36 (2006.01)

(22) Дата подачи заявки
2020.12.09

(54) ТЕПЛОВАЯ ИНТЕГРАЦИЯ В УСТАНОВКЕ ДЛЯ ПЕРЕРАБОТКИ УГЛЕВОДОРОДОВ

(31) **62/945,469**

(32) **2019.12.09**

(33) **US**

(86) **PCT/FI2020/050825**

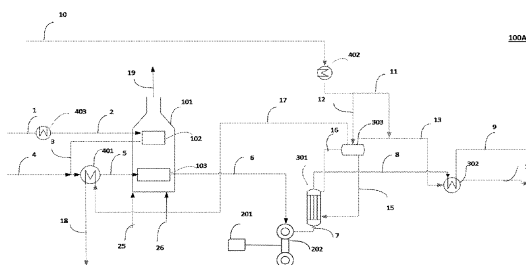
(87) **WO 2021/116530 2021.06.17**

(71) Заявитель:
КУЛБРУК ОЙ (FI)

(72) Изобретатель:
Пурола Вели Матти (FI)

(74) Представитель:
Хмара М.В. (RU)

(57) Обеспечен способ повышения энергоэффективности и сокращения выбросов парниковых газов в установке (500) для переработки и/или производства углеводородов за счет реорганизации распределения тепловой энергии в пределах указанной установки, указанная установка содержит блок (100A) крекинга по меньшей мере с одним аппаратом (202) для крекинга углеводородсодержащего сырья (1) в присутствии разбавляющей среды, при этом поток газообразных продуктов крекинга, выходящий из аппарата, мгновенно охлаждают в закалочном-испарительном аппарате (ЗИА) (301) с генерированием пара высокого давления, причем в указанном способе любое из: нагрева и/или испарения углеводородсодержащего сырья и/или разбавляющей среды, нагрева и/или испарения котловой подпиточной воды и перегрева пара высокого давления, генерируемого в блоке ЗИА, осуществляют в блоке (302) рекуперации тепла (БРТ), расположенном ниже по потоку от ЗИА, при этом способ включает в себя подачу электрической мощности в установку для переработки и/или производства углеводородов.



A1

202291759

202291759

A1

ТЕПЛОВАЯ ИНТЕГРАЦИЯ В УСТАНОВКЕ ДЛЯ ПЕРЕРАБОТКИ УГЛЕВОДОРОДОВ

Область техники, к которой относится изобретение

Настоящее изобретение относится к системам и способам тепловой интеграции при переработке углеводородов. В частности, изобретение относится к инструментам и процессам оптимизации энергоэффективности и сокращения выбросов парниковых газов в установке для производства углеводородов путем реорганизации путей распределения тепла в пределах указанной установки и/или за счет использования возобновляемых источников энергии.

Предшествующий уровень техники

Тепловая интеграция имеет решающее значение для повышения энергоэффективности и снижения эксплуатационных расходов во многих областях применения, связанных с энергетикой. Энергоэффективность может быть определена как соотношение между энергопотреблением или связанными с ним выбросами на входе и полученными посредством этой энергии результатами на выходе. Повышение энергоэффективности в энергоемкой нефтепереработке позволяет сократить использование невозобновляемых ресурсов, таких как ископаемое топливо, и связанное с этим воздействие на окружающую среду.

Низкомолекулярные олефины, такие как этилен, пропилен, бутены и бутадиен являются первичными компонентами для нефтехимической промышленности и служат основными компонентами в коммерческом производстве пластмасс, полимеров, эластомеров, каучуков, пенопластов, растворителей и химических промежуточных продуктов, а также волокон, в том числе углеродных волокон, и покрытий. Производство низших олефинов в значительной степени основано на термическом крекинге различных углеводородных сырьевых материалов с помощью пара. Этот процесс обычно называют паровым крекингом. Типичное сырье включает в себя углеводороды среднего молекулярного веса, такие как нефти и газойли, и легкое сырье, такое как сжиженный нефтяной газ (СНГ), включая пропан и бутаны, и широкая фракция легких углеводородов (ШФЛУ), включая этан, пропан и бутаны.

На установках по производству этилена большую часть энергии потребляют крекинг-печи; поэтому их тепловая эффективность является основным фактором в экономике эксплуатации. Общая топливная эффективность 92-95% от низшей теплотворной способности (НТС) может быть получена в зависимости от сырья, содержания серы в топливе, управления горением и типа конвекционной секции

(Энциклопедия промышленной химии Ульмана (Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry), июнь 2012, Этилен, стр. 465-529).

Обычная печь для парового крекинга состоит из двух основных секций: конвекционной секции и радиационной секции. Тепло, переносимое дымовыми газами, выходящими из радиационной секции топки, рекуперируется в конвекционной секции печи. Таким образом, указанный дымовой газ поступает в конвекционную секцию при температуре в диапазоне 1000-1250°C и выходит при температуре, обычно находящейся в пределах 120-140°C. Чем ниже температура дымовых газов в дымовой трубе (на выходе), тем лучше эффективность печи.

Как правило, конвекционная секция состоит из некоторого количества трубных пакетов (трубных пучков), которые служат для ряда целей, таких как: подогрев сырьевых углеводородов (подогрев УВ); подогрев котловой подпиточной воды (КПВ); подогрев углеводородного пара и разбавляющего пара; перегрев пара высокого давления; перегрев разбавляющего пара; и перегрев углеводородсодержащей сырьевой смеси (углеводородсодержащее сырье и разбавляющий пар) перед тем, как указанная смесь попадает в радиационную секцию. Количество и расположение пакетов в конвекционной секции, как правило, таковы, что оптимизируют рекуперацию тепла отходящих дымовых газов и обеспечивают адекватную температуру сырьевой смеси в радиационной секции. Пакеты обычно располагаются друг над другом что обуславливает относительно большой размер крекинг-печи.

Таким образом, углеводородсодержащее сырье, поставляемое в газообразной фазе или в виде жидкости, поступает в конвекционную секцию, где оно обычно (предварительно) нагревается и испаряется за счет теплообмена с дымовыми газами или за счет контакта с разбавляющим паром, перегретым в отдельном пакете. Печь обычно выполнена таким образом, что смешивание (предварительно нагретого) углеводородсодержащего сырья с перегретым разбавляющим паром полностью испаряет сырье, после чего технологический поток, содержащий углеводородное сырье в газообразной фазе и разбавляющий пар, поступает в первый пакет предварительного нагрева углеводородного и разбавляющего пара. Во втором пакете предварительного нагрева углеводородного и разбавляющего пара технологический поток нагревается до температуры, чуть ниже начальной температуры крекинга исходного сырья.

Нагревание углеводородсодержащего сырья от температуры, при которой оно поступает в конвекционную секцию (приблизительно 50-110°C для жидкого сырья), до температуры, требуемой на входе в радиационные змеевики (в пределах

500-700°C в зависимости от сырья), является энергоемким. Затраты энергии, необходимые для достижения этой температуры для газообразного сырья, представляют собой количество энергии, необходимое для нагрева газовой фазы, тогда как то же самое для жидкого сырья равняется энергии нагрева и теплоте испарения.

Затем поток поступает в радиационную секцию, наиболее типично - в радиационные змеевики, указанная радиационная секция выполнена как пиролизный реактор, в котором реакции крекинга происходят в контролируемых условиях. Параметры потока на входе в радиационную секцию должны удовлетворять заданным условиям, таким как температура, давление и расход. Обычные условия крекинга, при которых происходят высокоэнтальпийные реакции, включают время пребывания приблизительно 0,1-0,5 с; температуру в пределах приблизительно 750-900 °C); и контролируемое парциальное давление. Температура в топке с радиационной секцией (конструкция, которая окружает радиационные змеевики и содержит горелки) обычно составляет от 1000 до 1250°C.

Крекингвый выходящий поток, который включает в себя целевые продукты, такие как целевые олефины, покидает пиролизную печь для дальнейшей закалки (резкого охлаждения) и последующего фракционирования.

Продукты, выходящие из радиационных змеевиков, требуют быстрого охлаждения, чтобы предотвратить нежелательные вторичные реакции. В большинстве промышленных установок/печей парового крекинга закалка выполняется в закалочно-испарительных аппаратах (ЗИА), которые охлаждают подвергшийся крекингу выходящий поток котловой подпиточной водой и рекуперируют тепло в виде ценного пара высокого давления. Промышленные решения состоят из одного или двух аппаратов (ЗИА), соединенных последовательно. ЗИА предназначен для мгновенного охлаждения выходящих потоков крекинга приблизительно до 550-650 °C для предотвращения деградации высокореакционноспособных продуктов. Для улучшения рекуперации тепла выходящий поток охлаждается дополнительно; поэтому он покидает ЗИА при температуре около 300-450°C. При крекинге этана и пропана крекинг-газ может быть дополнительно охлажден в отдельном теплообменнике приблизительно до 200°C для рекуперации тепла при более низкой температуре. Например, для жидкого сырья, такого как нефтя, типовая минимальная температура выхода для ЗИА составляет приблизительно 360°C, чтобы избежать конденсации более тяжелых продуктов и загрязнения труб теплообменника. Оба аппарата ЗИА обычно соединены с одним и тем же паровым барабаном.

Котловая подпиточная вода предварительно нагревается в пакете экономайзера КПВ перед поступлением в паровой барабан, откуда КПВ направляется в ЗИА. В обычных печах парового крекинга вертикальный блок (блоки) ЗИА установлены наверху радиационной секции печи. ЗИА такого рода позволяют рекуперировать около 29% тепла при генерировании пара высокого давления.

Пар высокого давления, генерируемый в блоке (блоках) ЗИА, дополнительно перегревается в пакете (пакетах) перегрева пара высокого давления в конвекционной секции для производства перегретого пара высокого давления, который используется в паровой турбине (паровых турбинах) с конденсацией и/или с противодавлением, например, в компрессорном или насосном приводе (приводах) или в целях нагрева на установке по производству олефинов. Избыточный пар высокого давления также может быть экспортирован.

Уровни давления пара могут быть дополнительно оптимизированы, чтобы обеспечить утилизацию пара в целях нагрева. В то время как пар высокого давления обычно используется для приведения в действие компрессоров и насосов, пар среднего и низкого давления (выше и ниже приблизительно 2 МПа) может использоваться для генерирования разбавляющего пара и для технологического нагрева, соответственно.

Однако обычные решения с обычной печью, адаптированные специально для парового крекинга, имеют ряд недостатков.

Во-первых, производство олефина с помощью процесса парового крекинга в крекинг-печах является освоенной технологией, которая была производственным стандартом в течение последних 50 лет. Печи представляют собой очень большие, сложные установки, требующие значительных инвестиционных затрат. Кроме того, оптимизация указанных традиционных крекинг-печей в основном направлена на установление оптимальных условий для реакций пиролиза в радиационной секции (реакционной секции) печи. Дальнейшая экономичная оптимизация традиционных крекинг-установок приводит к увеличению размеров крекинг-печи. В настоящее время не существует эффективных средств для сокращения выбросов за счет уменьшения размеров печи.

Именно радиационная секция отвечает за определение производительности крекинг-печи (выход и скорость коксования). Оптимизация условий эксплуатации и конструкции змеевиков в пиролизных реакторах была предметом обширных исследований в течение последних нескольких десятилетий.

Кроме того, оптимизация традиционных крекинг-печей была затруднена из-за ряда противоречивых целей оптимизации, включая, в частности, нагрев

радиационной секции, температуру на входе в радиационную секцию, оборудование/системы инженерно-технического обеспечения для перегрева пара высокого давления, энергоэффективность и снижение выбросов.

Подведение тепла в радиационную секцию (например, в виде теплоты сгорания топлива), определяет количество тепла, подлежащего рекуперации в конвекционной секции. Для достижения высокой тепловой (энергетической) эффективности требуется достаточно сложная крекинг-печь, включающая в себя множество нагревательных пакетов. Следовательно, сокращение выбросов углекислого газа сильно затруднено или даже невозможно в обычных печах крекинга. Обеспечение множества трубных пакетов обуславливает относительно большой размер печи крекинга (с точки зрения высоты и площади участка и, как следствие, высоких затрат).

Кроме того, поскольку подача тепла реакции определяется условиями крекинга, тепло, переносимое дымовыми газами, должно быть рекуперировано в конвекционной секции. Однако в традиционных крекинг-печах доступно только ограниченное количество теплопоглощающих устройств для рекуперации тепла, выделяемого в радиационной секции. Для достижения высокой тепловой эффективности в конвекционной секции энергия запасается за счет предварительного нагрева котловой подпиточной воды, перегрева разбавляющего пара, перегрева пара высокого давления и/или предварительного нагрева воздуха для горения. Другие теплопоглощающие устройства выполнены за счет теплоотдачи (теплоотдачи на стенках и теплоотдачи в дымовой трубе).

Из-за загрязнения блока (блоков) ЗИА температура крекинг-газа на выходе имеет тенденцию к повышению, в результате чего из крекинг-газа для производства пара рекуперируется меньше тепла. После блока (блоков) ЗИА указанный крекинг-газ обычно поступает на прямую закалку, такую как система масляной закалки. Закалочное масло обычно используется для жидкого сырья, тогда как для легкого сырья (газов, таких как этан) прямую масляную закалку не используют. Тепло рекуперируется в виде закалочного масла и закалочной воды.

Одной из основных проблем, связанных с традиционными технологиями производства олефинов, является образование значительных количеств диоксида углерода (CO_2) и других парниковых газов, имеющих отношение к загрязнению воздуха, таких как оксиды азота (NO_x) и, в некоторых случаях, монооксид углерода (CO). Так, в паровых крекинг-установках количество CO_2 , образующегося на тонну этилена, зависит от сырья, используемого для крекинга, при этом типичные значения для этана составляют 1,0-1,2 тонны CO_2 на тонну этилена, а для нефти -

1,8-2,0 тонны CO₂ на тонну этилена, соответственно. Из-за сложности существующих крекинг-печей минимизация выбросов обычными методами является сложной задачей.

Вместо этого промышленные технические решения направлены на производство пара высокого давления (ПВД) для использования в разделительной секции и/или для экспорта. В обычной установке для производства этилена потребность в паре высокого давления в качестве теплоносителя ограничена. Поэтому пар высокого давления обычно используется в компрессорах паровых турбин и приводах насосов.

Если нет возможностей для экспорта пара высокого давления, то количество пара балансируется с помощью паровых турбин конденсационного типа. Однако, помимо того, что паровые турбины конденсационного типа являются большими, сложными и дорогими, они имеют низкую эффективность, из-за потерь теплового сброса, возникающих из-за того, что весь поток отработавшего пара конденсируется в конденсаторе, который охлаждается охлаждающей водой, что означает, что много сбрасываемого тепла теряется при конденсации.

Действительно, такое использование ценных перегретого ПВД (ППВД) и ПВД для отопления не является энергоэффективным. Как правило, крекинг-установка для производства этилена не нуждается в высокотемпературных источниках нагрева в разделительной секции.

Традиционная технология связана с использованием определенных количеств котловой воды из-за производства пара. Следовательно, для очистки конденсата, используемого в качестве котловой воды, требуется значительное количество химических веществ. Поскольку традиционная технология уже высоко интегрирована с точки зрения рекуперации тепла, нет никаких средств для значительного сокращения использования охлаждающей воды. В случае градирен значительное количество воды теряется в атмосферу.

В связи с этим по-прежнему требуется модернизация в области переработки углеводородов, в частности, технологии крекинга углеводородов, в свете решения задач, связанных с сокращением выбросов парниковых газов и улучшением тепловой интеграции в пределах соответствующей установки.

Сущность изобретения

Целью настоящего изобретения является решение или по меньшей мере смягчение каждой из проблем, возникающих из ограничений недостатков соответствующего уровня техники. Цель достигается за счет различных вариантов

осуществления способа повышения энергоэффективности и сокращения выбросов парниковых газов в установке для переработки и/или производства углеводородов в соответствии с раскрытым в независимом пункте 1 формулы изобретения.

В одном из вариантов изобретения обеспечен способ повышения
5 энергоэффективности и сокращения выбросов парниковых газов в установке для переработки и/или производства углеводородов путем реорганизации распределения тепловой энергии в пределах указанной установки, причем указанная установка содержит блок крекинга по меньшей мере с одним аппаратом для крекинга углеводородсодержащего сырья в присутствии разбавляющей среды,
10 при этом поток газообразных продуктов крекинга, выходящий из аппарата, охлаждают в закалочном-испарительном аппарате (ЗИА) с генерированием пара высокого давления, причем в данном способе любое из: нагрева и/или испарения углеводородсодержащего сырья и/или разбавляющей среды, нагрева и/или испарения котловой подпиточной воды и перегрева пара высокого давления,
15 генерируемого в блоке ЗИА, осуществляют в блоке рекуперации тепла (БРТ), расположенном ниже по потоку от блока ЗИА, при этом данный способ включает в себя подачу электрической мощности в установку для переработки и/или производства углеводородов.

В одном из вариантов осуществления способ в себя включает подачу
20 электрической мощности на приводной двигатель крекинг-аппарата.

В одном из вариантов изобретения способ включает в себя подачу электрической мощности в крекинг-аппарат (например, для электрического нагрева указанного крекинг-аппарата). В вариантах осуществления электрическую мощность подают в указанный крекинг-аппарат любым из следующего: индуктивные или
25 резистивные способы передачи, плазменные процессы, нагрев электропроводящими нагревательными элементами или комбинация перечисленного.

В одном из вариантов осуществления способ дополнительно включает в себя подачу электрической мощности в устройства или группы устройств, расположенные
30 ниже по потоку от блока крекинга.

В одном из вариантов изобретения электрическая мощность подается в устройство или группу устройств, обеспечивающих любое из следующего: нагрев перекачка, сжатие и фракционирование или комбинация перечисленного.

В одном из вариантов изобретения способ включает в себя подачу
35 электрической мощности от источника или источников, внешнего (внешних) по отношению к установке для переработки и/или производства углеводородов. В

одном из вариантов изобретения указанный внешний источник представляет собой возобновляемый источник энергии или комбинацию различных возобновляемых источников энергии. В вариантах осуществления способ включает в себя подачу электрической мощности от любого из следующего: фотоэлектрическая система генерирования мощности, ветровая система генерирования электрической мощности и гидроэлектростанция, или комбинация перечисленного. В одном из вариантов осуществления электрическую мощность подают от атомной электростанции. В одном из вариантов осуществления электрическую мощность подают от силовой турбины, например, по меньшей мере от одной газовой турбины и/или паровой турбины, двигателя с искровым зажиганием, например, по меньшей мере одного газового двигателя, двигателя с воспламенением от сжатия, например, по меньшей мере одного дизельного двигателя, энергоустановки, обеспечивающей производство электрической мощности из ископаемого сырья, и любой их комбинации. В одном из вариантов изобретения электрическую мощность подают от энергоустановки комбинированного цикла и/или когенерационной установки, производящая пар и электричество.

В одном из вариантов осуществления электрическую мощность вырабатывают в установке для переработки и/или производства углеводородов.

В одном из вариантов осуществления блок рекуперации тепла представляет собой теплообменник, опционально выполненный как вторичный закалочный-испарительный аппарат.

В одном из вариантов осуществления аппарат для крекинга углеводородсодержащего сырья представляет собой реактор, предназначенный для термических и/или термохимических реакций разложения углеводородов, таких как реакции пиролиза, опционально – с участием разбавляющей среды, такой как пар.

В одном из вариантов осуществления установка для переработки и/или производства углеводородов представляет собой установку для производства олефинов. В одном из вариантов осуществления указанная установка для переработки и/или производства углеводородов представляет собой установку для производства этилена и/или установку для производства пропилена.

В одном из вариантов осуществления любое из: нагрева и/или испарения углеводородсодержащего сырья и/или разбавляющей среды, нагрева и/или испарения котловой подпиточной воды и перегрева пара высокого давления, образующегося в блоке ЗИА, или их комбинация, по меньшей мере частично выполняют в печи предварительного нагрева.

В одном из вариантов осуществления тепловая нагрузка печи предварительного нагрева перераспределяется в пределах блока крекинга указанной установки для переработки и/или производства углеводородов путем реорганизации распределения тепла в пределах указанного блока крекинга, поэтому обеспечение указанной печи предварительного нагрева в блоке крекинга не предусмотрено.

В одном из вариантов осуществления, способ включает в себя генерирование тепловой энергии в отдельной камере сгорания путем прямого нагрева, осуществляемого путем сжигания водорода с кислородом в указанной камере сгорания и смешивания парового продукта, полученного в результате сжигания водорода и опционально смешанного с разбавляющей средой, такой как разбавляющий пар, с содержащей углеводородное сырье технологической текучей средой. В одном из вариантов осуществления, температуру горения водорода регулируют путем подачи разбавляющей среды, такой как разбавляющий пар, в указанную камеру сгорания.

В одном из вариантов осуществления, способ организован таким образом, что электрическая мощность, подаваемая от внешнего или внутреннего источника (источников), компенсирует, полностью или частично, производство пара в пределах установки для переработки и/или производства углеводородов.

В одном из вариантов осуществления распределение и передачу тепловой энергии в установке для переработки и/или производства углеводородов осуществляют между некоторым количеством блоков крекинга с одинаковой или различной компоновкой и/или мощностью.

В вариантах осуществления способ включает в себя подведение к крекинг-аппарату мощности, передаваемой валом, по меньшей мере от одной силовой турбины, расположенной в установке для переработки и/или производства углеводородов, то есть по меньшей мере одной силовой турбины, опционально использующей тепловую энергию, генерируемую в блоке крекинга. Указанная по меньшей мере одна силовая турбина может быть выполнена в виде любого из: паровой турбины, газовой турбины и турбодетандера. В одном из вариантов осуществления указанная силовая турбина связана с приводным двигателем крекинг-аппарата посредством муфты приводного вала.

В одном из вариантов осуществления, углеводородсодержащее сырье представляет собой фракцию или фракции производства, дистилляции и/или рафинирования сырой нефти. В одном из вариантов осуществления углеводородсодержащее сырье представляет собой газифицированный

предварительно переработанный материал биомассы. В одном из вариантов осуществления, углеводородсодержащее сырье представляет собой предварительно переработанный глицеридсодержащий материал, такой как растительные масла и/или животные жиры. В одном из вариантов осуществления углеводородсодержащее сырье представляет собой газифицированные предварительно переработанные пластмассовые отходы. В одном из вариантов осуществления углеводородсодержащее сырье содержит побочные продукты целлюлозной промышленности, такие как талловое масло или любые его производные.

В другом аспекте обеспечена установка для переработки и/или производства углеводородов в соответствии с раскрытым в независимом пункте 28 формулы изобретения.

В еще одном аспекте обеспечен блок крекинга, входящий в установку для переработки и/или производства углеводородов, в соответствии с раскрытым в независимом пункте 29 формулы изобретения.

Полезность настоящего изобретения проистекает из множества причин в зависимости от каждого конкретного варианта его осуществления. В целом, изобретение позволяет перестроить пути тепловой интеграции в пределах установки для переработки и/или производства углеводородов, такого как установка для производства олефинов, например, путем разумного перераспределения потока тепловой энергии между некоторым количеством взаимодействующих объектов применения, включая, но не ограничиваясь этим, те, которые связаны с нагревом сырьевых углеводородов, разбавляющего пара и котловой подпиточной воды и соответствующей рекуперацией тепла. Перераспределение тепловой энергии в пределах указанной установки является эффективной по ресурсам (например, топливу для сжигания) и выбросам и позволяет использовать также доступные низкотемпературные источники, такие как пар среднего и низкого давления, закалочное масло, закалочную воду и т.п.

Кроме того, настоящее техническое решение позволяет улучшить оптимизацию разности (разностей) температур в теплообменниках.

В способе, раскрытом в настоящем документе, в блоке крекинга образуется меньше пара высокого давления по сравнению с обычным блоком. Снижение производства пара может быть по меньшей мере частично компенсировано обеспечением высокоэффективного внешнего парового котла или когенерацией пара и электрической мощности в газовых турбинах, газовых двигателях или комбинированной энергетической установке. Соответственно, при получении

перегретого ПВД меньшем, чем в известном блоке крекинга, конденсацию паровых турбин ППВД в разделительной секции может заменить электрическая мощность. Такая компоновка позволяет еще больше повысить энергоэффективность установки для производства олефинов и снизить потребность в охлаждающей воде и котловой подпиточной воде.

Благодаря усовершенствованной тепловой рекуперации и интеграции, предлагаемой настоящим изобретением, количество вредных выбросов парниковых газов, в частности, диоксида углерода и оксида азота (CO_2/NO_x), может быть уменьшено по меньшей мере в три раза по сравнению с обычным блоком парового крекинга. Таким образом, изобретение предусматривает импорт электрической мощности из различных источников, включая возобновляемые источники. Если вся электрическая мощность в способе поступает от возобновляемых источников, то выбросы могут быть почти полностью устранены.

Изобретение дополнительно обеспечивает гибкое использование (возобновляемой) электрической мощности. Производство возобновляемой энергии меняется ежедневно и даже почасово. Изобретение позволяет сбалансировать электрическую сеть, например, путем использования высокоэффективных газовых турбин комбинированного цикла или газовых двигателей.

Гибкость реализации способа позволяет регулировать уровень мощности установки для производства олефинов для удовлетворения различных требований при оптимальных затратах. Изобретение также позволяет снизить инвестиционные затраты на месте.

Термины «пиролиз» и «крекинг» используются в настоящем изобретении в основном как синонимы в отношении способа термического или термохимического разложения более тяжелых углеводородсодержащих соединений-предшественников до более легких углеводородсодержащих соединений путем разрыва углерод-углеродных связей в соединениях-предшественниках.

Выражение «некоторое количество» относится в настоящем документе к любому положительному целому числу, начинающемуся от единицы (1), например, от единицы, двух или трех. Выражение «множество» относится в настоящем документе к любому положительному целому числу, начинающемуся от двух (2), например, от двух, трех или четырех. Термины «первый» и «второй» используются в настоящем документе, чтобы просто отличить элемент от другого элемента без указания какого-либо конкретного порядка или важности, если явно не указано иное.

Термины «текучая среда» и «технологическая текучая среда» относятся в настоящем изобретении в основном к углеводородному сырью, содержащему

газообразное вещество, такому как, например, газообразная фаза технологического потока, либо при наличии, либо при отсутствии разбавителя.

Термин "газифицированный" используется в настоящем документе для обозначения вещества, превращенного в газообразную форму любыми возможными средствами.

Различные варианты осуществления настоящего изобретения станут очевидными при рассмотрении подробного описания и сопроводительных чертежей.

Перечень фигур

На фиг. 1А, 1В, 2-5 схематично представлены варианты осуществления способа согласно настоящему изобретению.

На фиг. 6 схематично представлены интеграция и перераспределение потока тепловой энергии в пределах установки для переработки и/или производства углеводородов согласно одному из вариантов осуществления.

Перечень ссылочных обозначений

Подробные варианты осуществления настоящего изобретения раскрыты в настоящем описании со ссылкой на сопроводительные чертежи. Для элементов используются следующие ссылочные обозначения:

- 1 – углеводородное сырье (УВ);
- 2 – предварительно нагретое углеводородное сырье;
- 3 – испаренное сырье или нагретое газообразное сырье (выходящее из нагревательного пакета 102);
- 4 – разбавляющий пар (РП);
- 5 – нагретая (перегретая) сырьевая смесь (УВ+РП);
- 6 – сырьевая смесь/технологическая текучая среда, поступающая в реактор 202 крекинга (фиг. 1-3);
- 7 – поток газообразных продуктов крекинга;
- 8 – охлажденный поток газообразных продуктов крекинга, выходящий из ЗИА 301;
- 9 – поток газообразных продуктов крекинга, выходящий из блока 302 рекуперации тепла;
- 10, 11, 12 – котловая подпиточная вода (КПВ);
- 13 – насыщенный пар высокого давления (ПВД); из парового барабана 303;
- 14 – перегретый ПВД, образующийся в блоке 302 рекуперации тепла;
- 15 – вода на ЗИА 301;

- 16 – водно-паровая смесь от ЗИА 301;
- 17 – (часть) насыщенного пара, образующегося в паровом барабане 303;
- 18 – конденсат;
- 19 – топочные газы, выходящие из печи 101;
- 5 21 – технологическая текучая среда;
- 22 – РП подается в камеру 501 сгорания;
- 23 – поток кислорода;
- 24 – ПВД подается из 302 в печь 101;
- 25 – воздух для горения;
- 10 26 – топочный газ для нагрева печи 101;
- 27 – насыщенный ПВД;
- 28 – поток водорода;
- 29 – паровой продукт, полученный в результате сжигания водорода, опционально смешанный с разбавляющим паром (фиг. 5);
- 15 30 – перегретый пар к силовой турбине;
- 31 – пар/конденсат от силовой турбины;
- 100, 100А, 100Б, 100С, 100Д, 100Е – блок крекинга;
- 101 – печь;
- 102, 103, 104 105 – нагревательные пакеты;
- 20 201 – приводное устройство для аппарата/реактора (202);
- 202 – аппарат для переработки углеводородсодержащего сырья, такой как реактор крекинга;
- 203 – силовая турбина с приводным устройством турбины;
- 301 – закалочно-испарительный аппарат (ЗИА);
- 25 302 – блок рекуперации тепла (БРК);
- 303 – паровой барабан;
- 401, 402, 403, 404 – (дополнительные) теплообменники;
- 500 – установка для переработки и/или производства углеводородов;
- 501 – камера сгорания.

30

Сведения, подтверждающие возможность осуществления изобретения

На фиг. 1А, 1В, 2-5 схематично представлены различные варианты осуществления способа повышения энергоэффективности и сокращения выбросов парниковых газов в установке для переработки и/или производства углеводородов

35 согласно настоящему изобретению. Следует отметить, что фиг. 1А, 1В, 2-5 и примеры 1-4 служат иллюстративным целям и не предназначены для ограничения

применимости изобретательской идеи компоновками, конкретно представленными в настоящем описании.

Установка 500 для переработки и/или производства углеводородов (см. фиг. 6), далее «установка», представляет собой установку для производства олефинов (олефиновую установку). Установка в первую очередь предназначена для производства низкомолекулярных олефинов, например, любого из этилена, пропилена, бутенов, бутадиенов и т.п., или любой их комбинации.

Установка 500 может быть выполнена как этиленовая установка и/или пропиленовая установка.

Дополнительно или альтернативно, установка 500 может быть выполнена с возможностью производства высших углеводородов, таких как пентены и ароматические вещества (бензол, толуол, ксилол). Установка может быть дополнительно выполнена с возможностью производства диолефинов.

Установка 500 обычно содержит блок 100 крекинга, за которым следует разделительная секция. Термин «разделительная секция» используется в настоящем документе в качестве собирательного названия для множества устройств или групп устройств, предусмотренных ниже по потоку от блока крекинга и направленных на восстановление требуемых продуктов ниже по потоку от указанного блока крекинга. Оборудование, предусмотренное в разделительной секции, снабжено множеством функций, включая, но не ограничиваясь этим: отвод тепла, содержащегося в крекинг-газе, конденсацию воды и тяжелых углеводородов, сжатие, промывку, сушку, сепарацию и гидрогенизацию некоторых ненасыщенных компонентов. Блок 100 крекинга может называться «горячей секцией» установки 500 для переработки и/или производства углеводородов, тогда как разделительная секция соответственно может называться «холодной секцией».

В некоторых конфигурациях установка 500 содержит более одного блока 100 крекинга, например, включая, но не ограничиваясь этим, любое число от двух (2) до пятидесяти (50). В некоторых примерных случаях установка может содержать 10, 20, 30 или 40 блоков крекинга. Тем не менее, установка 500 может быть выполнена таким образом, чтобы включать любое соответствующее количество блоков 100 крекинга, даже превышающее пятьдесят (50).

Блок 100 крекинга содержит множество устройств и/или групп устройств с распределением и передачей тепла между ними, реализованными в соответствии с различными вариантами осуществления настоящего изобретения. За счет интеграции и реорганизации распределения тепловой энергии между указанными устройствами и/или группами устройств в пределах блока крекинга и/или в пределах

всей установки 500 осуществляется улучшенная тепловая интеграция и улучшенная энергоэффективность. Указанная интеграция и реорганизация распределения тепловой энергии в пределах блока 100 крекинга согласно вариантам осуществления проиллюстрирована примерными схемами 100A, 100A', 100B, 100C, 100D, 100E блока 100 крекинга, раскрытыми далее со ссылкой на фиг.1 A, 1B и фиг. 2-5.

Блок 100 крекинга содержит печь 101 (предварительного) нагрева, далее называемую «печью», и по меньшей мере один аппарат 202, выполненный с возможностью термической и/или термохимической обработки, такой как крекинг, углеводородов, содержащих сырье (исходные продукты). Печь 101 и аппарат 202 в целом соответствуют, по меньшей мере - с точки зрения функциональности, конвекционной секции и радиационной секции, соответственно, известной крекинг-установки, такой как известная установка парового крекинга, описанная в разделе «Уровень техники». В некоторых конфигурациях печь 101 может быть не предусмотрена.

Углеводородсодержащее сырье, поступающее в печь 101, подают по существу в виде текучей среды, такой как жидкость или газ.

Аппарат 202, предпочтительно, выполнен в виде реактора, предназначенного для термических и/или термохимических реакций переработки углеводородов, в частности, термических и/или термохимических реакций разложения углеводородов, таких как реакции пиролиза, которые в совокупности приводят к крекингу углеводородсодержащего сырья (исходных материалов) и опционально сопровождаются разбавляющей средой (разбавителем). Таким образом, реактор 202 может быть предназначен для реакций пиролиза с разбавляющей средой или без нее. Тем не менее, присутствие разбавляющей среды является предпочтительным, поскольку оно улучшает выход продуктов.

Разбавляющей средой, используемой в настоящей установке, является (водяной) пар. В процессах парового крекинга пар действует как разбавитель для снижения парциального давления углеводородов с целью подавления или уменьшения образования отложений кокса путем реакции (реакций) газификации. В некоторых случаях разбавителем является инертная газообразная среда, такая как водород (H_2), азот (N_2) или аргон, например, который обладает, по существу, нулевой реакционной способностью по отношению к реагентам и продуктам реакции. Не исключается использование любого другого подходящего разбавителя.

В некоторых конфигурациях аппарат 202 представляет собой реактор парового крекинга.

Процессы пиролиза, включая процессы (парового) крекинга, требуют высокой температуры и являются высокоэнтальпическими, поэтому реакции проводят при высоких температурах (750-1000°C, обычно 820-920°C) причем время пребывания в реакционной зоне находится в пределах долей секунды, например, приблизительно 0,01-1,0 секунды. Следует отметить, что в зависимости от используемого сырья параметры реактора, такие как температура, массовый расход и т. д., обычно регулируют с учетом оптимизации выходных продуктов, в результате чего время пребывания может изменяться соответствующим образом. Поэтому время пребывания и температура зависят от свойств сырья для достижения максимального выхода продуктов.

Реализация реактора 202 обычно вытекает из описаний роторного реактора в соответствии с патентами США № 9,494,038 (Bushuev) и № 9,234,140 (Seppälä et al.), также называемого роторно-динамическим реактором (РДР), и радиального реактора согласно патенту США № 10,744,480 (Rosic, Xu), основанному на предварительной заявке № 62/743 707, содержания которых полностью включены в настоящий документ посредством ссылки.

Роторный реактор 202 содержит вал ротора по меньшей мере с одним роторным блоком, установленным на валу. Роторный блок содержит множество роторных (рабочих) лопаток, расположенных по окружности диска ротора, вместе образующих каскад роторных лопаток. Ротор с каскадом лопаток эффективно расположен между каскадами неподвижных (статорных) лопастей, предусмотренными как, по существу, кольцевые узлы с обеих сторон диска лопаточного ротора.

Дополнительно или альтернативно, реактор 202 может быть выполнен с возможностью эффективного использования других технологий, включая, но не ограничиваясь этим, индуктивную или резистивную энергию и/или способы теплопередачи, плазменные процессы, нагрев электропроводящими нагревательными элементами и/или поверхностями нагрева или их комбинацию с целью крекинга углеводородов.

Дополнительно или альтернативно, реактор 202 может быть реализован как любой известный реактор, предназначенный для пиролиза углеводородсодержащего сырья (исходных материалов), в частности, для парового крекинга. Могут быть использованы промышленные трубчатые технические решения.

Реактор 202 использует приводной двигатель 201. В целом, реактор 202 может использовать различные приводные двигатели, такие как электродвигатели,

или он может непосредственно приводиться в движение газовой или паровой турбиной. В целях настоящего изобретения может быть использован любой соответствующий тип электродвигателя (т.е. устройства, способного передавать энергию от электрического источника к механической нагрузке). Такие приборы, как
5 силовые преобразователи, контроллеры и т. п. здесь не раскрываются. Соответствующая муфта расположена между приводным валом двигателя и валом ротора (не показано).

В выбранных конфигурациях реактор 202 выполнен с возможностью осуществления по меньшей мере одной химической реакции в технологической
10 текучей среде. В некоторых примерных вариантах осуществления реактор выполнен с возможностью термической или термохимической конверсии углеводородсодержащего сырья (исходных материалов), в частности, флюидизированного углеводородсодержащего сырья (исходных материалов). Под «углеводородсодержащим сырьем» мы понимаем флюидизированное органическое
15 сырье, которое в основном состоит из углерода и водорода.

Углеводородсодержащее сырье обычно представляет собой фракцию или фракции производства, дистилляции и/или переработки/очистки сырой нефти. Углеводородное сырье может быть выбрано из группы, состоящей из: углеводородов среднего молекулярного веса (C4-C16; диапазон кипения от
20 приблизительно 35°C до приблизительно 250°C), таких как нефти и газойли, и легких углеводородов (C2-C5, предпочтительно C2-C4), таких как этан, пропан и бутаны. Нефти могут включать в себя легкую нефть с диапазоном кипения 35-90°C, тяжелую нефть с диапазоном кипения 90-180°C и нефть полного состава с диапазоном кипения 35-180°C. Дополнительно или альтернативно, могут быть
25 использованы более тяжелые фракции сырой нефти (C14-C20 и C20-C50; диапазон кипения в пределах от приблизительно 250°C до приблизительно 350°C и от приблизительно 350°C до приблизительно 600°C, соответственно), такие как тяжелые вакуумные газойли и остатки (например, остатки гидрокрекинга).

Дополнительно или альтернативно, реактор 202 может быть выполнен с
30 возможностью обработки кислородсодержащего сырья, такого как кислородсодержащие углеводородные производные. В некоторых конфигурациях реактор 202 может быть выполнен с возможностью переработки сырья на основе целлюлозы. В некоторых дополнительных или альтернативных конфигурациях реактор может быть выполнен с возможностью переработки (отходов) животных
35 жиров и/или (отходов) сырья на основе растительных масел. Предварительная переработка указанного сырья на основе животных жиров и растительных масел

может включать в себя гидродеоксигенацию (удаление кислорода из кислородсодержащих соединений), что приводит к разрушению (три)глицеридных структур и дает в основном линейные алканы. В дальнейших дополнительных или альтернативных конфигурациях реактор 202 может быть выполнен с возможностью переработки побочных продуктов переработки целлюлозной промышленности, таким как талловое масло или любые его производные. Определение «талловое масло» относится к побочному продукту (побочным продуктам) широко известного крафт-процесса, используемого при варке целлюлозы в основном хвойных деревьев в целлюлозной промышленности.

В данном способе углеводородсодержащее сырье предусмотрено как включающее в себя, но не ограничивающееся этим, любое из следующего: углеводороды среднего молекулярного веса, такие как нефти и газойли, и легкие углеводороды, такие как этан, пропан и бутаны. Могут быть дополнительно использованы пропаны и более тяжелые фракции. В целом, углеводородсодержащее сырье, поступающее в установку 500 и, в частности, в блок 100 крекинга, является либо газообразным сырьем, либо, по существу, жидким сырьем.

В некоторых случаях углеводородсодержащее сырье представляет собой газифицированный предварительно переработанный материал биомассы. Сырье на основе биомассы представляет собой полученную из целлюлозы или, в частности, предварительно переработанную биомассу, полученную из лигноцеллюлозы, подаваемую в реактор по существу в газообразной форме.

Углеводородсодержащее сырье может быть дополнительно предусмотрено в виде любого предварительно переработанного материала на основе глицеридов в виде (отходов или остаточных продуктов) растительных масел и/или животных жиров или предварительно переработанные пластиковые отходы или остаточные продукты. Предварительная переработка указанного (три)глицеридного сырья может включать в себя различные процессы, такие как пиролиз или деоксигенация, как раскрыто выше. Ряд пластиковых отходов, включающих в себя поливинилхлоридные (ПВХ), полиэтиленовые (ПЭ), полипропиленовые (ПП), полистирольные (ПС) материалы и их смеси, могут быть использованы в процессах извлечения пиролизного масла или газа, которые могут быть дополнительно использованы в качестве сырья для производства новых пластмасс и/или очищены до горючего масла (горючих масел) (дизельных эквивалентов).

В ряде конфигураций реактор 202 может быть выполнен с возможностью переработки предварительно обработанного газифицированного сырья из биомассы

для производства возобновляемого топлива в таких процессах, как, например, прямая каталитическая гидрогенизация растительного масла в соответствующие алканы или каталитическая дегидрогенизация газообразных углеводородов в качестве одной из стадий процесса Фишера-Тропша.

В случае использования исходного сырья на основе биомассы, глицеридов и/или полимерных веществ, реактор 202 может быть дополнительно адаптирован для каталитических процессов. Это достигается за счет ряда каталитических поверхностей, образованных каталитическим покрытием (покрытиями) реакторных лопаток или внутренних стенок, контактирующих с технологической текучей средой (технологическими текучими средами). В некоторых случаях реактор может содержать некоторое количество каталитических модулей, образованных керамической или металлической подложкой (подложками) или удерживающим носителем (удерживающими носителями) с активным (каталитическим) покрытием, опционально выполненными в виде монолитных сотовых структур.

Блок 100 крекинга может содержать некоторое количество реакторных блоков 202, расположенных, например, параллельно и соединенных с общей печью 101. В некоторых конфигурациях установка может содержать некоторое количество реакторных блоков 202, соединенных с несколькими печами 101. Могут быть предусмотрены различные конфигурации, такие как $n+x$ реакторов, соединенных с n печами, где n равно или больше нуля (0), а x равно или больше одного (1). Таким образом, в некоторых конфигурациях установка 500 и, в частности, блок 100 крекинга могут содержать один, два, три или четыре параллельных реакторных блока, соединенных с общей печью 101; при этом не исключается число реакторов, превышающее четыре (4). При параллельном подключении некоторого количества реакторов 202 роторного типа к общей печи 101 один или более из указанных реакторов 202 могут иметь различный тип приводного двигателя, например, электродвигатель, приводимый в действие электродвигателем реактор (реакторы) можно скомбинировать с реакторами, приводимыми в действие паровой турбиной, газовой турбиной и/или газовым двигателем.

Подведение электрической мощности в приводной двигатель реактора 202 может дополнительно сопровождаться подводом механической мощности вала от силовой турбины, например, опциональным использованием тепловой энергии, генерируемой в другом месте блока 100 крекинга и/или установки 500 (см. фиг. 1В и соответствующее описание). Например, пар, образующийся в охлаждающем устройстве (например, в закально-испарительном аппарате 301 и/или в блоке 302 рекуперации тепла с соответствующей конфигурацией), можно дополнительно

использовать в паровой турбине, которая механически соединена посредством соответствующей муфты с валом роторного реактора 202. Турбина будет возвращать механическую энергию на вал реактора, что приведет к снижению потребления электрической мощности, необходимой для приведения в движение реактора.

Если установка 500 содержит более одного блока 100 крекинга, то каждый из указанных блоков может иметь, по существу, одинаковую с другими конструкцию, или он может быть выполнен независимо (иначе говоря – по существу с одинаковой или различной компоновкой систем энергоснабжения, мощностью оборудования и т.п.). Таким образом, в некоторых конфигурациях распределение и передача тепловой энергии в установке 500 может быть реализована у некоторого количества блоков 100 крекинга с одинаковой или различной компоновкой и/или мощностью.

Установка 500 может быть выполнена включающей в себя некоторое количество различных блоков 100 крекинга, включая, но не ограничиваясь этим, любую комбинацию компоновок 100А-100Е, представленных в настоящем документе (фиг. 1-5) и/или известную крекинг-установку (известные крекинг-установки), например, установку (установки) парового крекинга. Фактически, технические решения по тепловой интеграции, раскрытые ниже, в целом применимы в известных крекинг-установках, опционально расположенных, например, на обычных олефиновых установках в целях оптимизации энергетического баланса при производстве пара высокого давления.

Печь 101 может нагреваться топливом (например, топочным газом) и воздухом. Дополнительно или альтернативно, печь может нагреваться горячими отработавшими газами, поступающими в блок 100 крекинга по меньшей мере от одной турбины, например - от газовой турбины (фиг. 6). Дополнительно или альтернативно, указанные отработавшие газы могут поступать от газовой турбины или газового двигателя, используемых в качестве привода для одного или более реакторных блоков 202 в установке, способом, раскрытым выше. Дополнительно или альтернативно, печь 101 может нагреваться, по существу, биологическими материалами, например, такими как биогаз или твердые материалы на основе древесины.

Установка дополнительно содержит в блоке 100 крекинга по меньшей мере один закалочно-испарительный (ЗИА) 301, в котором поток газообразных продуктов крекинга, выходящий из реактора 202 (при температуре в диапазоне 750-1000°C, как правило 820-920°C), охлаждается с генерированием пара высокого давления (ПВД 6-12,5 МПа, 280-327°C).

Температура потока газообразных продуктов крекинга на выходе ЗИА обеспечивается в диапазоне от приблизительно 450°C до приблизительно 650°C. ЗИА 301 может быть выполнен как любой обычный закалочный-испарительный аппарат, способный осуществлять мгновенное охлаждение продуктов крекинга.

5 Таким образом, охлаждение происходит за очень короткое время, как правило, в течение нескольких миллисекунд, чтобы обеспечить максимальную выработку.

Способ дополнительно включает в себя эксплуатацию по меньшей мере одного блока рекуперации тепла (БРТ) 302, расположенного в блоке 100 крекинга ниже по потоку от ЗИА 301.

10 В способе, раскрытом в настоящем документе, блок 302 рекуперации тепла, предусмотренный ниже по потоку от ЗИА 301, выполнен с возможностью осуществления по меньшей мере одной из следующих операций: нагрев и/или испарение углеводородсодержащего сырья и/или разбавляющей среды, нагрев и/или испарение котловой подпиточной воды и перегрев пара высокого давления, генерируемого в блоке ЗИА.

15 Как отмечалось выше, в известных установках (парового) крекинга поток газообразных продуктов крекинга, выходящий из пиролизного реактора, в некоторых случаях можно охлаждать в блоках ЗИА, соединенных последовательно. В то время как первичный ЗИА (ЗИА1) предназначен для мгновенного охлаждения для прекращения реакций разложения (выходная температура в пределах 450-650°C), вторичный ЗИА (ЗИА2) дополнительно охлаждает технологическую текучую среду приблизительно до 360°C, чтобы избежать конденсации продуктов крекинга. ЗИА1 и ЗИА2 обычно соединены с одним и тем же паровым барабаном.

20 Температуры крекинговых газов 9, выходящих из блока 302 рекуперации тепла, определяются в соответствии с известными крекинг-установками, т.е. температура должна быть достаточно высокой, чтобы избежать конденсации тяжелых фракций и загрязнения теплообменника. Таким образом, для сырья типа нефти температура должна составлять приблизительно 360°C, тогда как для более легкого сырья обычно могут применяться более низкие температуры (например, 300-450°C). При крекинге этана и пропана крекинговый газ может охлаждаться даже до приблизительно 200°C.

25 Температуры крекинговых газов 9, выходящих из блока 302 рекуперации тепла, определяются в соответствии с известными крекинг-установками, т.е. температура должна быть достаточно высокой, чтобы избежать конденсации тяжелых фракций и загрязнения теплообменника. Таким образом, для сырья типа нефти температура должна составлять приблизительно 360°C, тогда как для более легкого сырья обычно могут применяться более низкие температуры (например, 300-450°C). При крекинге этана и пропана крекинговый газ может охлаждаться даже до приблизительно 200°C.

30 В способе, раскрытом в настоящем документе, тепловая интеграция в пределах блока 100 крекинга установки для переработки и/или производства углеводородов модифицирована таким образом, что в закалочных-испарительных аппаратах рекуперирована меньше тепловой энергии (тепла).

35

В отличие от традиционных технических решений, в раскрытом способе по меньшей мере одному блоку 302 рекуперации тепла, расположенный ниже по потоку от ЗИА 301, снабжен рядом функций, отличных от производства пара высокого давления. Тепловую интеграцию модифицируют таким образом, чтобы количество тепла, обычно рекуперированного в закалочном-испарительном аппарате (аппаратах), было ниже по сравнению с тем, которое получают в обычных установках. Тепло, рекуперированное в блоке 302 рекуперации тепла, используется для перегрева ПВД (полученного в ЗИА 301) и/или для общих целей нагрева и предварительного нагрева, таких как нагрев углеводородсодержащего сырья, разбавляющей паровой смеси или любого другого потока в пределах установки для переработки и/или производства углеводородов.

Для достижения температур перегрева пар высокого давления (6-12,5 МПа) обычно нагревают (перегревают) следующим образом: ПВД 6 МПа, 450-470°C; ПВД 10 МПа, 510-540°C, обычно 530°C; и ПВД 12 МПа, 530-550°C.

В некоторых конфигурациях блок 302 рекуперации тепла (БРК) обычно работает при более низком давлении, чем обычный вторичный ЗИА, когда последний используется для выработки пара или нагрева. В некоторых других конфигурациях, в которых пар для перегрева в БРК 302 производится в ЗИА 301, блок 302 рекуперации тепла работает приблизительно под тем же давлением, что и обычный вторичный блок ЗИА.

Блок 302 рекуперации тепла может быть реализован в виде блока теплопередачи, такого как теплообменник. Конструкция блока рекуперации тепла, выполненного в виде теплообменника, зависит от того, какая конкретная функция назначена указанному блоку рекуперации тепла, а именно: предварительный нагрев/нагрев/испарение (потока сырья, потока разбавителя и/или другого потока, такого как поток КПВ) или перегрев пара высокого давления, получаемого в ЗИА 301.

Некоторые варианты осуществления включают в себя обеспечение блока 302 рекуперации тепла, выполненного в виде закалочного-испарительного аппарата (ЗИА2), расположенного ниже по потоку от закалочного-испарительного аппарата 301 (в этом контексте последний действует как первичный ЗИА (ЗИА 1)), причем пар высокого давления, полученный в указанном первичном ЗИА 301, перегревается в указанном вторичном ЗИА 302 (см. также описание фиг. 1А). При такой компоновке уменьшается количество пара высокого давления, передаваемого из блока 100 крекинга в разделительную секцию; и производство пара в блоке 100 крекинга /установке 500 компенсируется, частично или полностью (т.е. дополняется или

заменяется) электрической энергией, подводимой от внешнего или внутреннего источника (источников). Аналогичным образом, потребление пара может быть соответственно уменьшено. Электрическая мощность определяется как скорость передачи энергии в единицу времени (измеряется в ваттах).

5 Тепловая нагрузка всего процесса пиролиза — это энергия, необходимая для нагрева сырья и разбавляющего пара от температуры, при которой они попадают в конвекционную секцию печи, до температуры, при которой они покидают реактор пиролиза, включая тепловую нагрузку, необходимую для химических реакций. Тепловая нагрузка, обычно назначенная конвекционной секции традиционной печи, 10 заключается в нагревании сырья и разбавляющего пара до температуры, при которой они поступают в реактор пиролиза, нагревании котловой подпиточной воды перед ее использованием для производства пара высокого давления в блоке (блоках) ЗИА и перегреве насыщенного пара высокого давления, произведенного в ЗИА.

15 В способе, раскрытом в настоящем документе, блок 302 рекуперации тепла, как правило, не используется для производства пара высокого давления (хотя с точки зрения аппаратной конструкции и функциональности блок 302 может быть полностью способен генерировать ПВД). Таким образом, меньше пара доступно для перегрева в печи 101 предварительного нагрева и для выработки мощности в 20 последующем оборудовании (например, в турбокомпрессорах крекингового газа), соответственно.

Тем не менее, пар высокого давления, который был произведен в данном способе, может быть использован в теплообменнике 401, например (фиг. 1А, 1В, 2-5), для перегрева смеси углеводородного сырья и разбавляющего пара до того, как 25 указанная сырьевая смесь поступит в печь 101. Такая компоновка позволяет эффективно использовать насыщенный перегретый пар и дополнительно снижает потребность в перегреве ПВД, предназначенного для экспорта (другим потребителям, например, нефтехимической / нефтеперерабатывающей установке любого типа).

30 В данном способе, поскольку производство перегретого пара высокого давления (ППВД) ниже, чем в традиционных решениях крекинг-установок, снижение производства пара может быть по меньшей мере частично компенсировано подводом электрической мощности в установку 500 для переработки и/или производства углеводородов. Для удовлетворения потребностей подвода тепла, 35 снижение производства пара может быть дополнительно компенсировано вспомогательной установкой или установками, такими как высокоэффективный

внешний паровой котел, или когенерацией пара и электричества в газовых турбинах, газовых двигателях или в комбинированной установке для выработки тепловой и электрической энергии.

Очевидно, что современные технологии имеют ограниченные возможности для тепловой интеграции в печи крекинга и/или аппарате (аппаратах) ЗИА. Интеграция электроэнергии от возобновляемых источников в традиционные решения затруднена из-за производства перегретого ПВД для использования в паровых турбинах для производства электричества и/или в приводных двигателях. Чтобы обеспечивать паровой баланс, обычно используются конденсационные турбины. Эти конденсационные турбины имеют очень низкий КПД и потребляют много охлаждающей воды. Поэтому интеграция с модулями устойчивого производства энергии, включая, но не ограничиваясь ими, установки по производству энергии из возобновляемых источников и/или высокоэффективные объекты по производству электроэнергии, такие как, например, газотурбинные электростанции комбинированного цикла, затрудняется из-за собственного производства пара высокого давления.

Напротив, способ, раскрытый в настоящем документе, включает в себя подачу электрической мощности в установку 500 для переработки и/или производства углеводородов. В некоторых конфигурациях электрическая мощность подается в устройства или группы устройств, в целом расположенных в блоке 100 крекинга.

В данном способе электрическая мощность может подаваться в приводной двигатель крекинг-аппарата 202. В некоторых конфигурациях аппарат 202 с приводом от электродвигателя может быть реализован, например, в виде роторного реактора в соответствии с описанием изобретения к патенту США № 9,234,140 (Seppälä и др.).

Электрическая мощность может подаваться в крекинг-аппарат 202. Это может быть сделано путем подачи электрического тока на электродвигатель, используемый для приведения в движение роторного вала устройства 202, или альтернативными способами, такими как, например, посредством прямого нагрева. Примерные конфигурации для настоящего способа, в котором электрическая мощность подается в реактор 202 для осуществления прямого нагрева в целях крекинга, включают в себя, не ограничиваясь этим, любое из индуктивных или резистивных способов передачи энергии, плазменных процессов, нагрева электропроводящими нагревательными элементами и/или поверхностями нагрева или их комбинаций.

Дополнительно или альтернативно, электрическая мощность подается в устройства или группы устройств, в общем расположенных ниже по потоку от указанного блока крекинга, то есть в секцию разделения / фракционирования. Таким образом, электрическая мощность может подаваться в устройство или группу устройств, предназначенных для любого из: нагрева, сжатия, перекачки и фракционирования или их комбинации.

В настоящем способе электрическая мощность может, в общем, подаваться в оборудование, предусмотренное в блоке 100 крекинга (включающем печь 101 (предварительного нагрева), блок (блоки) 202 реактора и соответствующие последующие устройства 301, 302 и опциональные соответствующие системы 401-404 инженерно-технического обеспечения) и/или в оборудование, предусмотренное ниже по потоку от указанного блока крекинга, а именно - в разделительную секцию (см. фиг. 6).

Подача электрической мощности в процесс может осуществляться из внешнего (относительно установки 500 для переработки и/или производства углеводородов) источника или источников. Дополнительно или альтернативно, электрическая мощность может быть произведена внутри, в пределах указанной установки 500.

Внешний источник или источники включают в себя различные вспомогательные установки, предусмотренные для устойчивого производства энергии. Таким образом, электрическая мощность может подаваться от электрогенерирующей системы, которая эксплуатирует по меньшей мере один возобновляемый источник энергии или комбинацию электрогенерирующих систем, использующих различные возобновляемые источники энергии. Внешние возобновляемые источники энергии могут быть предусмотрены в виде солнечной, ветровой и/или гидроэнергии. Таким образом, в настоящем способе электрическая мощность может быть получена по меньшей мере от одного из следующих блоков: фотоэлектрической системы генерации электрической мощности, ветровой системы генерации электрической мощности и гидроэнергетической системы. В некоторых примерах в качестве внешнего источника электрической мощности может быть предусмотрена атомная электростанция. Атомные электростанции в общем рассматриваются как не создающие выбросов. Термин «атомная электростанция» относится к использованию традиционной атомной энергии и, дополнительно или альтернативно, термоядерной энергии.

Электричество может подаваться от электростанции, которая использует турбину в качестве источника кинетической энергии для привода генераторов

электрической мощности. В некоторых случаях электрическая мощность может подаваться в установку 500 по меньшей мере от одной газовой турбины (ГТ), например, предусмотренной в качестве отдельной установки или в составе когенерационной установки и/или электростанции комбинированного цикла. Таким образом, электрическая мощность может подаваться по меньшей мере от одного из следующих блоков: энергетической установки комбинированного цикла, такой как парогазовая установка (ПГУ) комбинированного цикла, и/или когенерационной установки, например, выполненной с возможностью производства электроэнергии в сочетании с рекуперацией и утилизацией тепла посредством комбинированного производства тепла и электроэнергии (КТЭ). В некоторых примерах установка КТЭ может быть установкой, работающей на биомассе, для увеличения доли возобновляемой энергии в описанном способе. Дополнительно или альтернативно, подача электрической мощности может быть реализована от двигателя с искровым зажиганием, например газового двигателя, и/или компрессионного двигателя, например дизельного двигателя, опционально предусмотренного как часть газопоршневой электростанции. Кроме того, с установкой 500 может быть интегрирована любая обычная электростанция, обеспечивающая производство электрической энергии из ископаемого сырья, такого как уголь, нефть, природный газ, бензин и тому подобное, обычно связанная с использованием паровых турбин.

Может рассматриваться любая комбинация вышеупомянутых источников электрической мощности, реализованная как внешние и внутренние источники.

В способе может дополнительно использоваться водород в качестве источника возобновляемой энергии, для его преобразования в электричество, например, с использованием топливных элементов, или для сжигания в печи предварительного нагрева.

В настоящем способе электрическая мощность, подаваемая от внешнего или внутреннего источника (источников), раскрытых в настоящем документе, компенсирует, частично или полностью, тепловую энергию, вырабатываемую при производстве пара в пределах установки 500 для переработки и/или производства углеводородов. Таким образом, использование электрической мощности может по меньшей мере частично заменить тепловую энергию пара, производимого в паровых турбинах с конденсацией и/или с противодавлением в разделительной секции.

Так же, в традиционной крекинг-установке некоторые из основных компрессоров приводят в действие конденсационной турбиной (турбинами) или турбинами с противодавлением, также турбиной (турбинами) с противодавлением

приводят в действие некоторое количество насосов (например, 3М (закалочного масла), 3В (закалочной воды), часть насосов КПВ (котловой подпиточной воды)/ОВ (охлаждающей воды)). Для выполнения своих нагревательных функций настоящий способ использует, например, пар низкого давления (пар НД; 0,45 МПа), за исключением генерирования разбавляющего пара, которое обычно требует пара среднего давления (пар СД; 1,6 МПа). Например, в указанной традиционной крекинг-установке, оснащенной приводом от паровой турбины с противодавлением, отбор пара регулируется таким образом, что уровни пара среднего и низкого давления являются сбалансированными (при этом разница между импортируемой и экспортируемой энергией, по существу, равна нулю). Избыточный пар предпочтительно экспортируется на уровне пара высокого давления (6,0-12,5 МПа).

Если нет возможности для экспорта пара высокого давления, то количество пара балансируется с помощью паровых турбин конденсационного типа. Однако, как уже отмечалось выше в настоящем документе, кроме того, что паровые турбины конденсационного типа являются большими, сложными и дорогими, они имеют низкий КПД, поскольку большая часть тепловой энергии теряется при конденсации.

Блок 100 крекинга выполнен с возможностью генерирования пара высокого давления в количестве, меньшем, чем в традиционной крекинг-установке. Поэтому в установке 500, в частности в ее разделительной секции, конденсационные турбины могут быть по меньшей мере частично заменены более эффективными турбинными решениями, например, такими как паровые турбины с противодавлением. Паровые турбины с противодавлением повышают энергоэффективность за счет балансировки потребностей в паре путем отбора энергии (тепла) при требуемых уровнях давления пара. В некоторых случаях обеспечение конденсационной турбины (турбин) в разделительной секции может полностью отсутствовать. Во всех случаях паровые турбины в разделительной секции могут быть по меньшей мере частично заменены, например, электродвигателями. Для замены, по меньшей мере частично, обычных турбин конденсационного типа в установке 500 можно использовать любое другое энергоэффективное решение.

В целом, тепловой КПД обычной конденсационной паровой турбины составляет менее 40%. Для сравнения, тепловой КПД высокоэффективной газовой турбины доходит до 40%, тепловой КПД газовой турбины комбинированного цикла - до 60%, в то время как тепловой КПД когенерационной установки (паровой и электрической) превышает 80%.

Импорт электрической мощности от альтернативного (внешнего) источника с низким уровнем выбросов дополнительно повышает энергоэффективность установки для переработки и/или производства углеводородов.

Изобретение является гибким с точки зрения получения электрической мощности от различных источников. Баланс электрической мощности может быть отрегулирован в каждом конкретном случае путем регулировки количества возобновляемой электроэнергии (количество электрической мощности, подаваемой от возобновляемого источника или источников) и количества электрической мощности, полученной, например, от парогазовой установки комбинированного цикла (ПГУ). В установке 500 может быть создана электрическая сеть (сеть электроснабжения), которая соединит указанную установку с некоторым количеством систем производства электроэнергии.

Указанная электрическая сеть может быть гибко интегрирована в другие энергосети, такие как сеть производства и подачи пара и сеть производства и подачи тепла. Благодаря функциональной интеграции любой из сетей производства электрической, тепловой и/или паровой энергии в установку 500 можно достичь значительных улучшений, связанных с энергоэффективностью.

Реорганизация тепловой интеграции способом, раскрытым в настоящем документе, обеспечивает создание установки для переработки и/или производства углеводородов, например, такой как установка для производства этилена, имеющей печь предварительного нагрева значительно меньшего размера или, альтернативно, без указанной печи предварительного нагрева. Если сравнить с существующими техническими решениями, это означает, что установка парового крекинга может быть реализована без печи для крекинга в ее традиционной реализации.

На фиг. 6 схематично представлены интеграция и перераспределение потока тепловой энергии в пределах установки 500 для переработки и/или производства углеводородов. Границы установки без выработки электрической мощности обозначены обведенной заглавной буквой А; тогда как границы установки с выработкой электрической мощности обозначены обведенной заглавной буквой В (включая А). В случае В установка 500 функционально интегрирована с приведенной в качестве примера парогазовой установкой (ПГУ), которую можно рассматривать как определенную модификацию установки комбинированного производства тепла и электроэнергии (КТЭ). Блок ПГУ является внешней (относительно 500) установкой по выработке электрической мощности. Парогазовая установка работает с тепловым КПД до 60%; таким образом, импорт электрической

мощности, производимой указанной ПГУ с низким уровнем выбросов, в установку 500 для переработки и/или производства углеводородов еще дополнительно повышает энергоэффективность указанной установки. Горячий отработавший газ, выходящий из установки ПГУ может быть направлен в блок 100 крекинга для (предварительного) нагрева текучих сред в печи 101 предварительного нагрева и/или в крекинг-аппарате 202.

Дополнительно или альтернативно, тепловая энергия вырабатываемая ПГУ, электрическая мощность с низким уровнем выбросов может подаваться в установку 500 из возобновляемых источников, указанных на фиг. 6 блоком «Возобновляемая» и/или из когенерационной установки, указанной блоком «Когенерация». Дополнительно или альтернативно, решение позволяет обеспечить дальнейшую интеграцию системы (систем) производства, доставки и/или потребления пара и/или топочного газа с любым типом перерабатывающей и/или производственной установки (например, отличной от установки по производству олефинов) с улучшенной общей энергоэффективностью (не показано).

Усовершенствованные тепловая рекуперация и интеграция позволяют сократить выбросы парниковых газов, в частности, углекислого газа и оксида азота (CO_2/NO_x), по меньшей мере в три раза по сравнению с обычной установкой парового крекинга. Сравнительное моделирование энергетического и материального баланса (см. Примеры 1-4) было выполнено для парового крекинга нефти в обычной установке для парового крекинга нефти и в установке 500 (см. фиг. 6). Эти примеры иллюстрируют гибкость способа, раскрытого в настоящем документе, и демонстрируют значительное снижение чистого потребления энергии, а также сокращение выбросов CO_2 , потребления охлаждающей воды и котловой (подпиточной) воды.

Путем (ре)организации инженерно-технических систем распределения тепла в соответствии с конфигурациями, показанными на фиг. 1A, 1B, 2 и 3, можно достичь значительного уменьшения размера печи 101 по сравнению с известными решениями. Это достигается путем отнесения тепловых нагрузок, обычно осуществлявшихся в пакетах конвекционной секции, к отдельному блоку (блокам) рекуперации тепла и/или соответствующим инженерно-техническим системам, таким как вспомогательные теплообменники.

На фиг. 4 и 5, в свою очередь, показан процесс, реализованный без печи 101.

На фиг. 1A схематично представлен вариант осуществления способа, выполняемого в блоке крекинга, реализованном как 100A, в котором в качестве пароперегревателя ПВД используется блок 302 рекуперации тепла. Поток

газообразных продуктов крекинга, выходящий из крекинг-аппарата 202, подвергается первоначальному охлаждению в ЗИА 301, чтобы остановить реакции пиролиза и произвести пар высокого давления, после чего тепло от первоначально охлажденного потока газообразных продуктов крекинга направляется в теплообменник 302 для перегрева полученного в 301 ПВД, для получения перегретого до заданной температуры (перегрева) пара высокого давления (ППВД 6-12,5 МПа), как раскрыто выше.

В способе по фиг. 1А углеводородсодержащее сырье 1, как правило – жидкое сырье, нагревают в теплообменнике 403 до температуры входа в печь в диапазоне от 50 до 110°C, предпочтительно, от 60 до 90°C (для жидкого сырья). Предварительный нагрев низкотемпературных потоков позволяет снизить температуру отходящих дымовых газов (температуру выхода дымовых газов), что, в свою очередь, служит для повышения тепловой эффективности печи 101. Потоками, используемыми для (предварительного) нагрева, например, являются закалочная вода, закалочное масло или пар низкого давления.

Предварительно нагретое углеводородсодержащее сырье 2, поступает в печь 101, в которой сырье испаряется в нагревающем пакете 102. Испаренное сырье 3 смешивают с разбавляющим паром (РП) 4, который генерируется в специальном блоке генерирования разбавляющего пара (не показан) ниже по потоку от блока 302 рекуперации тепла. Результирующая технологическая текучая среда, полученная в виде смеси углеводородного сырья (УВ) и разбавляющего пара (РП), нагревается в теплообменнике 401 путем использования, в качестве теплоносителя, насыщенного пара 17 высокого давления из парового барабана 303. Полученную (и нагретую) таким образом сырьевую смесь 5 (УВ+РП) далее нагревают до температуры входа в реактор в пакете 103 УВ+РП до температуры, несколько ниже начальной температуры крекинга сырья (500-700°C, предпочтительно, 620-680°C). Технологическая текучая среда 6 направляется в реактор крекинга 202.

Поток 26 представляет собой топочный газ, используемый для нагрева печи 101, тогда как поток 25 представляет собой воздух для горения. Дополнительно или альтернативно, нагрев печи 101 может быть реализован с использованием отработавших газов из газовых турбин, расположенных внутри или за пределами границы установки крекинга (см. варианты А и В на фиг. 6). В таком случае в печи 101 могут быть установлены дополнительные горелки для обеспечения достаточного подвода тепла.

Реакции пиролиза происходят в аппарате 202. В одной из конфигураций реактор 202, например, имеет электродвигатель или может приводиться в движение

непосредственно газовой турбиной. Время пребывания в реакторе сведено к минимуму, чтобы избежать разложения ценных продуктов. Поток 7 газообразных продуктов крекинга направляется по соответствующему соединительному трубопроводу в ЗИА 301. Температура на выходе реактора может изменяться в зависимости от выбранных условий эксплуатации, типа исходного сырья и т.д. Температура на входе ЗИА находится в пределах диапазона приблизительно 750-1000°C, предпочтительно, 820-920°C.

ЗИА 301 быстро охлаждает поток 7 газообразных продуктов крекинга приблизительно до 450-650°C. ЗИА генерирует пар 16 высокого давления (ПВД, 6-12,5 МПа). Охлажденный крекингосовый газ 8, выходящий из ЗИА 301, направляется в блок 302 рекуперации тепла.

Котловую подпиточную воду 10 предварительно нагревают в теплообменнике 402 до заданной температуры, предпочтительно, до значения, достаточно близкого или превышающего температуру кипения ПВД (например, 110-200°C). В качестве теплоносителя используется низкотемпературная среда, например, такая как пар среднего давления или закалочное масло. Часть насыщенного пара 17 используется для нагрева (перегрева) технологической текучей среды / сырьевой смеси в теплообменнике 401.

Насыщенный ПВД 13 перегревается в блоке 302 рекуперации тепла для генерирования перегретого ПВД 14 (ППВД 6-12,5 МПа). Как правило, температуру ППВД 14 или, опционально, потока газообразных продуктов крекинга 9, выходящего из блока 302 рекуперации тепла, можно регулировать за счет смешивания пара и воды путем впрыска котловой подпиточной воды 11 в пароохладителе (не показан; на практике располагается ниже по потоку от 11) указанного блока 302 рекуперации тепла.

Избыточное тепло, рекуперированное от дымовых газов, может быть дополнительно использовано для предварительного нагрева воздуха для горения или котловой подпиточной воды (не показано на фиг. 1А).

При использовании нескольких реакторных блоков в сочетании с общей печью 101, указанные реакторные блоки могут также иметь общий блок ЗИА и/или общий блок 302 рекуперации тепла.

В некоторых конфигурациях печь 101, предусмотренная в компоновке 100А на фиг. 1, может отсутствовать (не показано). В таком случае печь 101 и предусмотренные в ней пакеты 102, 103 предварительного нагрева заменяют, например, электрическими нагревателями. Результаты моделирования для

компоновки 100A с заменой печи 101 на электронагреватели представлены в Примере 1 (Вариант В).

На фиг. 1В представлена примерная модификация способа согласно фиг. 1А. Способ выполняется в блоке крекинга, реализованном как 100A', соответственно.

5 Компоновка содержит силовую турбину с приводом турбины, обозначенным ссылочным номером 203. Турбина предпочтительно расположена в блоке 100A' крекинга (последний обеспечен в соответствующей установке 500); однако она может быть соответственно размещена также вне указанного блока (100A') и установке (500).

10 В представленной конфигурации силовая турбина представляет собой паровую турбину (например, турбину с противодавлением или конденсационную турбину). Дополнительно или альтернативно, силовая турбина может представлять собой газовую турбину или детандер технологического газа с соответствующей конфигурацией. Таким образом, силовая турбина может быть выполнена с
15 возможностью использования энергии, генерируемой паром или сжигаемым топливом. Можно использовать комбинацию нескольких турбин, использующих различные источники мощности (например, паровые и турбины приводимые в действие сжигаемым топливом). Указанная по меньшей мере одна силовая турбина 203 предпочтительно связана с реактором 202 посредством муфты приводного
20 вала. Следовательно, турбина 203, например паровая турбина, имеет привод двигателя, соединенный с тем же валом, что и привод 201 роторного реактора 202.

На фиг. 1В представлена компоновка, в которой перегретый пар 30 из блока 302 рекуперации тепла с соответствующей конфигурацией может быть дополнительно использован в паровой турбине 203, имеющей привод, механически
25 соединенный с валом роторного реактора 202.

Таким образом, перегретый пар 30 от БРТ 302 подается на силовую турбину 203 (в данном примере выполненную как паровая турбина) для обеспечения механической мощности на валу (роторного) реактора 202. Мощность на валу определяется как механическая мощность, передаваемая от одного роторного
30 элемента к другому, и рассчитывается как сумма крутящего момента и скорости вращения вала. Механическая мощность определяется, в свою очередь, как количество работы или энергии в единицу времени (измеряется в ваттах).

Механическая мощность на валу может подводиться к реактору (валу реактора) 202 от машинного оборудования подачи мощности (в настоящем документе от турбины 203). Подача мощности на вал может быть по меньшей мере
35 частично компенсирована (а именно дополнена или заменена) электрической

мощностью, подаваемой на электропривод двигателя 201. Следовательно, любое из электродвигателя 201 и (паровой) турбины 203 можно использовать для привода реактора 202. В целом, мощность на валу от паровой турбины и электродвигателя можно разделить таким образом, чтобы любое из них могло обеспечить полную
5 мощность на валу или ее часть.

Например, подведение механической мощности (мощности на валу) к валу реактора посредством турбины 203 позволяет снизить потребление электрической мощности, необходимой для приведения в движение реактора. Это позволяет оптимизировать использование электрической мощности по отношению к другим
10 источникам энергии.

Помимо БРТ 302, в альтернативных или дополнительных конфигурациях, перегретый пар 30 может быть получен из любого другого устройства, расположенного в блоке 100 крекинга / установке 500, или из источника, внешнего по отношению к указанной установке 500.

В зависимости от типа силовой (паровой) турбины, используемой в блоке 100 крекинга, поток 31 может быть либо паром от паровой турбины с противодавлением, либо конденсатом от конденсационной турбины. Турбины с противодавлением могут быть предпочтительными, поскольку тепло, отбираемое от пара 31, может быть использовано в целях технологического нагрева в блоке 100 крекинга (горячая
15 секция) или в разделительной секции.

В некоторых случаях электродвигатель 201 используется в качестве вспомогательного для первоначального запуска реакторной компоновки 202, при этом силовую турбину 203 (например, выполненной как паровая и/или газовая турбина) задействуют после того, как процесс будет достаточно стабилизирован. Следовательно, реактор 202 и/или его приводной двигатель 201 получает/получают электрическую мощность и, дополнительно или альтернативно, механическую
25 мощность на валу от силовой турбины 203, опционально выполненной с возможностью использования тепловой энергии, отобранной от находящегося под давлением пара 30, полученного в блоке 100 крекинга (например, в закалочном-испарительном аппарате 301, блоке 302 рекуперации тепла, и/или камере сгорания, см. ниже).

На фиг. 2 представлена другая примерная модификация способа согласно фиг. 1А. Способ осуществляется в блоке крекинга, реализованном как 100В, соответственно. Пар 24 высокого давления, выходящий из блока 302 рекуперации
35 тепла, направляется в печь 101 (пакет 105) для перегрева до заданной температуры. Схема способа, как показано на фиг. 2, в частности применима, когда

блок ЗИА 301 не генерирует достаточно тепловой энергии для перегрева, или когда блок 302 рекуперации тепла не используется.

На фиг. 3 схематично представлен вариант осуществления способа, выполняемого в блоке крекинга, реализованном как 100С, в котором блок 302 рекуперации тепла используется в качестве нагревателя технологической текучей среды (УВ+РП) до того, как указанная технологическая текучая среда поступит в печь 101. Тепловая энергия, необходимая для нагрева, рекуперируется в блоке 302 рекуперации тепла из потока газообразных продуктов крекинга, охлажденного в ЗИА 301.

В способе по фиг. 3 углеводородсодержащее сырье 1, как правило - жидкое сырье, предварительно нагревают в теплообменнике 403 до температуры входа в печь в диапазоне от 50 до 110°C, предпочтительно - от 60 до 90°C, таким же образом, как это раскрыто для способа по фиг. 1А. Предварительно нагретое углеводородсодержащее жидкое сырье 2, поступает в печь 101, в которой сырье испаряется в нагревательном пакете 102. Испаренное сырье 3 смешивают с разбавляющим паром (РП) 4, который генерируется в специальном блоке генерирования разбавляющего пара (не показано) ниже по потоку от блока 302 рекуперации тепла. Полученная технологическая текучая среда (УВ+РП) перегревается в теплообменнике 401 с использованием в качестве теплоносителя насыщенного пара 17 высокого давления из парового барабана 303.

Реакции пиролиза происходят в аппарате 202. В одной из конфигураций реактор 202 имеет электродвигатель или он может приводиться в движение непосредственно газовой турбиной, например, поток 7 газообразных продуктов крекинга направляют посредством соответствующего соединительного трубопровода в ЗИА 301. Температура на входе ЗИА находится в диапазоне приблизительно 750-1000°C, предпочтительно - 820-920°C. ЗИА 301 быстро охлаждает поток 7 газообразных продуктов крекинга до приблизительно 450-650°C. ЗИА генерирует ПВД 16 (6-12,5 МПа). Поток 8 продуктов крекинга, выходящий из ЗИА 301, направляются в блок 302 рекуперации тепла.

Котловую подпиточную воду 10 предварительно нагревают до заданной температуры, предпочтительно - до значения, достаточно близкого или превышающего температуру кипения ПВД (например, 110-200°C) в нагревательном пакете 104 (печь 101). Котловая подпиточная вода может нагреваться также закалочной водой, закалочным маслом или паром (не показано на фиг. 3). Часть насыщенного пара 17 используется для нагрева (перегрева) технологической текучей среды/сырьевой смеси в теплообменнике 401.

Насыщенный ПВД 13 экспортируется в другие системы инженерно-технического обеспечения (например, в секцию фракционирования, не показанную на чертежах). Насыщенный ПВД также может перегреваться в печи 101 (не показано на фиг. 3).

5 На фиг. 4 схематично представлен вариант осуществления способа, выполняемого в блоке крекинга, реализованном как 100D, в котором отсутствует печь 101 предварительного нагрева в пределах установки для переработки и/или производства углеводородов.

10 В способе по фиг. 4 углеводородсодержащее сырье 1, как правило – жидкое сырье, предварительно нагревают, например, закалочной водой, закалочным маслом или паром низкого давления в теплообменнике 403 до температуры в диапазоне от 50 до 110°C, предпочтительно от 60 до 90°C. Предварительно нагретое жидкое сырье 2 испаряется в теплообменнике 404 посредством насыщенного пара 27 высокого давления. Испаренное сырье 3 смешивают с

15 разбавляющим паром (РП) 4, который генерируется в специальном блоке генерирования разбавляющего пара (не показан) ниже по потоку от блока 302 рекуперации тепла. Полученная технологическая текучая среда (УВ+РП) предварительно нагревается в теплообменнике 401 с использованием в качестве теплоносителя насыщенного пара 17 высокого давления из парового барабана 303.

20 Полученную таким образом перегретую технологическую текучую среду 5 нагревают в блоке 302 рекуперации тепла, реализованном в настоящей конфигурации в виде теплообменника, а затем направляют в пиролизный реактор 202. Температура на выходе из блока 302 рекуперации тепла зависит от располагаемого теплосодержания и температуры технологической текучей среды,

25 выходящей из ЗИА 301. Таким образом, БРТ 302 использует выходящий из ЗИА газ (газы) в качестве теплоносителя. Температура на входе в реактор 202 находится в диапазоне 400-570°C, более предпочтительно 450-500°C. Альтернативно, рядом со входом в реактор 202 может (могут) располагаться электрический нагреватель или нагреватели (не показано) для предварительного нагрева реакторного сырья до

30 температур, обычных для входа в реактор.

Реакции пиролиза происходят в реакторе 202. В некоторых конфигурациях реактор 202 предпочтительно имеет электродвигатель. Поток 7 газообразных продуктов крекинга направляется по соответствующему соединительному трубопроводу в ЗИА 301. Температура на выходе из реактора может изменяться в

35 зависимости от выбранных условий эксплуатации, типа исходного сырья и т.д.

Температура на входе ЗИА находится в пределах приблизительно 750-1000°C, предпочтительно, 820-920°C.

ЗИА 301 быстро охлаждает поток 7 газообразных продуктов крекинга приблизительно до 550-650°C. ЗИА генерирует пар 16 высокого давления (ПВД, 6-12,5 МПа).

Часть насыщенного пара 17 используется для нагрева (перегрева) технологической текучей среды/сырьевой смеси в теплообменнике 401. Насыщенный ПВД 13 экспортируется в другие системы инженерно-технического обеспечения.

Способ может дополнительно включать в себя генерирование тепловой энергии в отдельной камере 501 сгорания (фиг. 5) путем прямого нагрева, опционально - сжигания, водорода (газообразного водорода). Предпочтительно осуществлять сжигание водорода с кислородом. В некоторых случаях температура горения водорода регулируется путем направления разбавляющего пара в камеру 501 сгорания.

Таким образом, направляя разбавляющий пар в камеру 501 сгорания, можно снизить температуру горения водорода.

Предпочтительно используют кислород 23 высокой чистоты и водород 28. Используя газы высокой чистоты, можно избежать или по меньшей мере свести к минимуму присутствие примесей, таких как оксиды углерода (CO, CO₂) и азот (N₂) ниже по потоку. Предпочтительно, чтобы водород имел чистоту в диапазоне от 90 до 99,9 об.%, более предпочтительно 99,9 об.%. Водород высокой чистоты может быть получен от установки очистки водорода (не показано). Концентрация кислорода обеспечивается в диапазоне от 90 до 99 об.%, предпочтительно, более 95 об.%. Во избежание образования оксидов углерода (CO, CO₂) при горении содержание углеводородных примесей также должно быть сведено к минимуму.

На фиг. 5 схематично представлен вариант осуществления способа, выполняемого в блоке крекинга, реализованного в виде 100Е, в котором нагрев осуществляется путем прямого нагрева, опционально выполняемого путем сжигания водорода с кислородом. В настоящем контексте под прямым нагревом мы понимаем процесс (прямой) подачи тепла из горячего технологического потока в холодный технологический поток, обычно реализуемый путем смешивания указанных технологических потоков. Таким образом, фиг. 5 иллюстрирует идею применимости указанного прямого нагрева к компоновке по фиг. 4. Хотя это и не показано, указанный прямой нагрев может быть также применен к конфигурациям,

показанным на фиг.1А, 1В, 2 и 3, чтобы свести к минимуму (предварительный) нагрев в печи 101.

В способе по фиг. 5 углеводородсодержащее сырье 1, как правило - жидкое сырье, предварительно нагревается, например, закалочной водой, закалочным маслом или паром низкого давления в теплообменнике 403 или последовательности теплообменников для максимальной рекуперации тепла от низкотемпературных источников тепла (иногда называемого сбросным теплом). Предварительно нагретое жидкое сырье 2 испаряется в теплообменнике 404, например, посредством насыщенного пара высокого давления (обозначенного ссылочным номером 27 на фиг. 4) или любого другого доступного высокотемпературного источника тепла от установки 500 или от внешнего источника. Поток 27 не показан на фиг. 5, так как вместо потока 27 можно использовать любой другой подходящий поток пара. Испаренное сырье 3 смешивают с разбавляющим паром (РП). Разбавляющий пар 4 генерируется в специальном блоке генерирования разбавляющего пара (не показано) ниже по потоку от блока 302 рекуперации тепла. Часть разбавляющего потока 22 можно направить в камеру 501 сгорания, чтобы регулировать температуру горения водорода. Полученная технологическая текучая среда (УВ+РП) предварительно нагревается в теплообменнике 401 с использованием в качестве теплоносителя насыщенного пара 17 высокого давления из парового барабана 303.

Таким образом, генерируемую перегретую технологическую текучую среду 5 нагревают в блоке 302 рекуперации тепла, реализованном в данной конфигурации в виде теплообменника, а затем объединяют с горячим паром из камеры 501 сгорания (процесс, в контексте настоящего описания называемый прямым нагревом). Температура на выходе из блока 302 рекуперации тепла зависит от располагаемого теплосодержания и температуры технологической текучей среды, выходящей из ЗИА 301. Температура потока 21 (технологической текучей среды, поступающей в реактор 202) находится в диапазоне 400-570 °С, более типично – в диапазоне 450-500 °С.

Водород 28 сжигают с кислородом 23 в камере 501 сгорания. Таким образом, водород и кислород вступают в экзотермическую реакцию с образованием молекул воды. В условиях высоких температур, установленных в камере сгорания, вода выходит в виде пара (газообразная фаза). Для снижения температуры образующегося таким образом пара 29 (парового продукта, полученного в результате сжигания водорода), в камеру сгорания может быть направлен разбавляющий пар 22 перед его смешиванием с углеводородным сырьем,

содержащим технологическую текучую среду, поступающую в реактор 202. Без охлаждения высокотемпературный паровой продукт 29 может вызвать коксование при смешивании с углеводородным сырьем, содержащим технологическую текучую среду. Впрыск разбавляющего пара в камеру сгорания также снижает температуру в

5 указанной камере, что позволяет использовать менее дорогие материалы. Смешивание предпочтительно осуществляется в непосредственной близости от входа в реактор.

Реакции пиролиза происходят в реакторе 202. В одной из конфигураций реактор 202 предпочтительно имеет электродвигатель. Время пребывания в

10 реакторе и в соединительном трубопроводе сведено к минимуму, чтобы избежать деградации ценных продуктов. Поток 7 газообразных продуктов крекинга направляется через соответствующую соединительный трубопровод в ЗИА 301. Температура на выходе из реактора может изменяться в зависимости от выбранных условий эксплуатации, типа исходного сырья и т.д. Температура на входе в ЗИА

15 находится в пределах диапазона, составляющего приблизительно 750-1000°C, предпочтительно, 820-920°C.

ЗИА 301 быстро охлаждает поток 7 газообразных продуктов крекинга приблизительно до 450-650 °C. ЗИА генерирует пар 16 высокого давления (ПВД, 6-12 МПа).

Котловую подпиточную воду 10 предварительно нагревают до заданной температуры, предпочтительно, до значения, достаточно близкого или

20 превышающего температуру кипения ПВД (например, 110-200°C) в теплообменнике 402. В качестве нагревающей среды могут использоваться закалочная вода, закалочное масло или пар.

Часть насыщенного пара 17 используется для нагрева (перегрева)

25 технологической текучей среды/ сырьевой смеси в теплообменнике 401. Насыщенный ПВД 13 экспортируется другим потребителям.

Технологические конфигурации по фиг. 1А, 1В 2-5 также применимы к газообразному сырью. Если вместо жидкого используется такое газообразное

30 сырье, то подогреватель 403 может быть ненужным. В таком случае тепловая нагрузка, в других случаях предназначенная для испарения сырья в нагревающем пакете 102, будет меньше, поскольку газообразное сырье не требует испарения. Соответственно, в случае использования газообразного сырья температура технологической текучей среды на выходе из блока 302 рекуперации тепла может

35 быть значительно ниже по сравнению с соответствующими значениями температуры, необходимыми при использовании жидкого сырья, из-за более низкого

риска коксования и конденсации в трубах теплообменника. Таким образом, количество перегретого пара высокого давления, образующегося в данном способе, можно оптимизировать в соответствии с уровнями потребления насыщенного пара.

В некоторых вариантах осуществления, реализующих различные конфигурации установки 500, выгодно импортировать пар среднего давления (ПСД) в целях отопления. Импортируемый пар среднего давления может генерироваться, например, в комбинированных энергоблоках и/или импортироваться в качестве избыточной энергии из других вспомогательных блоков или установок для повышения энергоэффективности. Пар среднего давления также может специально генерироваться в паровых котлах, предусмотренных, например, в блоке 100 крекинга / установке 500.

Следующие примеры 1-4 иллюстрируют сравнительные модели энергетического и материального баланса, выполненные для парового крекинга нефти в известной установке парового крекинга нефти и в установке 500 (см. фиг. 6). В указанных примерах установка 500 была выполнена как установка по производству этилена, использующая роторный реактор 202, и поэтому она далее называется установкой с роторным реактором. В моделировании реактор 202 представляет собой роторный реактор (РДР), реализованный в соответствии с руководящими принципами, раскрытыми в патенте на изобретение США № 9,234,140 (Seppälä и др.). Из-за короткого времени пребывания (времени, которое технологическая текучая среда, содержащая углеводородное сырье, проводит в реакционном пространстве) и более высоких температур, роторный реактор имеет более высокий выход продуктов и более низкий расход сырья.

Как традиционные, так и РДР-установки имели производительность по этилену 1000 тыс. тонн в год (килотонн в год) с годовым временем работы 8400 часов). На обеих установках разделительная секция имела одинаковую конфигурацию и одинаковое соотношение пар/нафта (соотношение пар/нафта = 0,5). Сырье было одинаковым (сырьевая нафта), а граничные условия установки были одинаковыми для обеих установок.

В моделях паровой баланс был отрегулирован таким образом, что весь произведенный пар среднего и низкого давления был потреблен, а избыток перегретого пара высокого давления (ППВД 10 МПа / 100 бар (абсолютных); 530°C) экспортировался и принимался в качестве энергетического кредита. ППВД использовался в приводах турбин с противодавлением и конденсационных паровых турбинах. Предполагается, что электрическая мощность, потребляемая в установке с роторным реактором, не имеет выбросов CO₂.

Пример 1. Сравнение типовой установки и установки (500) с роторным реактором, содержащей (роторный) блок 100 крекинга, реализованный в соответствии с идеей по фиг. 1А.

В таблице 1 приведены результаты моделирования энергетического и материального баланса для типовой установки (Типовая), установки 500 с роторным реактором и с печью 101, работающей на газообразном топливе (вариант А. Установка с роторным реактором) и установки 500 с роторным реактором, в которой предварительный нагрев реакторного сырья (печь 101), показанный на фиг. 1, был заменен электрическими нагревателями (вариант В. Установка с роторным реактором).

Таблица 1.

	Типовая	А. Установка (500) с роторным реактором	В. Установка (500) ¹ с роторным реактором
Нетто-энергопотребление, МВт	687,6	542,0	531,0
Экспорт топочного газа, МВт	86,2	372,3	590,5
Экспорт кредитного пара ВД (10 МПа /100 бар), МВт	100,5	4,1	4,1
Материальный баланс			
Продукт	т/ч	т/ч	т/ч
Водород, 99,9%	2,4	2,1	2,1
Топочный газ	60,1	40,6	40,6
Этилен полимерного сорта	119,1	119,1	119,1
Пропилен полимерного сорта	49,4	40,7	40,7
Углеводороды С4-	27,8	20,9	20,9
Пиролизный бензин	66,7	56,1	56,1
Пиролизное масло	14,0	2,8	2,8
Сырьевая нефтя, т/ч	339,4	282,1	282,1
СО ₂ , кг/ч	144844	39778	0
Нагрузка охлаждающей воды, МВт	419	312	312
Котловая вода, т/ч	484	242	242

¹Печь предварительного нагрева 101 заменена электрическими нагревателями.

Таким образом, в случае реализации блока 100 крекинга в соответствии с компоновкой 100А по фиг. 1А с роторным реактором 202, нетто-энергопотребление снизилось на 21% и 22% для конфигураций с роторным реактором в случаях А и В по сравнению с традиционным крекингом. Поясним, что нетто-энергопотребление было определено как общее энергопотребление (не показано), из которого вычли экспорт пара высокого давления (кредитного) (см. строку «Экспорт кредитного пара ВД» в таблице 1).

Компоновка блока крекинга, соответствующая варианту В описана выше при рассмотрении фиг. 1А (примечание: вариант В на чертеже не показан).

Соответственно, образование углекислого газа (рассчитанное по топливу, сжигаемому для предварительного нагрева; в пределах установки) на установке 500 составила приблизительно 27,5% и 0% (варианты А и В) от значения, полученного посредством традиционного парового крекинга (снижение приблизительно на 72,5% и 100%). Таким образом, в конфигурации В можно довести величину электрической мощности от возобновляемых источников до 100%. В этом случае, в зависимости от других используемых параметров процесса, выбросы углекислого газа будут почти полностью устранены (0 кг/ч). Естественно, выбросы NOx уменьшаются с выбросами CO₂.

Приведенный выше пример также свидетельствует о снижении нагрузки охлаждения в установке 500. Таким образом, нагрузка охлаждения снижается приблизительно на 25%. Снижение потребления котловой подпиточной воды является еще более значительным, так как оно уменьшается на 50%.

В отношении конкретного варианта А по сравнению с обычным решением, можно отметить, что за счет замены радиационных змеевиков в обычной печи (парового) крекинга роторным реактором 202 и, дополнительно или альтернативно, за счет обеспечения блока 302 рекуперации тепла, тепловая нагрузка печи 101 может быть снижена приблизительно на 30% по сравнению с конвекционной секцией типовой печи крекинга. В этом случае удельное нетто-энергопотребление (топлива и электричества; ГДж/т) может быть снижен приблизительно на 20,5%, как рассчитано для производства этилена 10 (не показано). Это значение отражает уменьшение размера печи.

Пример 2. Сравнение типовой установки и установки (500) с роторным реактором, содержащей (роторный) блок 100 крекинга, реализованный согласно идее по фиг. 1А, но с совпадающим выходом продуктов.

Сравнительное моделирование энергетического и материального баланса было выполнено для конфигураций, описанных в примере 1. Отличие по сравнению с примером 1 заключается в том, что рабочие условия для роторного реактора 202 были выбраны таким образом, чтобы в нем выход продуктов (здесь – выход этилена), по существу, совпадал с выходом (этилена), полученным в при традиционном крекинге углеводородов (нафты). Данное моделирование демонстрирует ситуацию, когда выгодно поддерживать то же самое распределение продуктов при замене типовой крекинг-установки на блок 100 крекинга с роторным реактором 20 в установке 500. Результаты моделирования приведены в таблице 2.

Таблица 2.

	Типовая	А. Установка (500) с роторным реактором	В. Установка (500) ¹ с роторным реактором
Нетто-энергопотребление, МВт	687,6	574,2	560,3
Экспорт топочного газа, МВт	86,2	586,1	862,2
Кредитный экспорт пара ВД (10 МПа /100 бар), МВт	100,5	21,9	21,9
Материальный баланс			
Продукт	т/ч	т/ч	т/ч
Водород, 99,9%	2,4	2,4	2,4
Топочный газ	60,1	60,1	60,1
Этилен полимерного сорта	119,1	119,1	119,1
Пропилен полимерного сорта	49,4	49,4	49,4
Углеводороды C4-	27,8	27,8	27,8
Пиролизный бензин	66,7	66,7	66,7
Пиролизное масло	14,0	14,0	14,0
Сырьевая нефтя, т/ч	339,4	339,4	339,4
CO ₂ , кг/ч	144844	51483	0
Нагрузка охлаждающей воды, МВт	419	370	370
Котловая вода, т/ч	484	273	273

¹Печь 101 предварительного нагрева заменена электрическими нагревателями.

В этих случаях энергопотребление и выбросы CO₂ также значительно снижаются. Нетто энергопотребление снижается на 16,5% и 18,5% для конфигураций А и В установок с роторным реактором, соответственно. Снижение выбросов CO₂ составляет 64% и 100%, соответственно, для 5 ротационных установок корпусов А и В. Кроме того, баланс демонстрирует значительное снижение охлаждающей нагрузки (11%) и использования котловой подпиточной воды (43%).

Пример 3. Идея по фиг. 4, предназначенная для электрического нагрева.

В данном примере конфигурация роторного блока 100 крекинга была реализована в соответствии с компоновкой 100D по фиг. 4. На практике смесь углеводородсодержащего сырья и разбавителя (например, смесь нефтя-пар) предварительно нагревают в теплообменнике 401 насыщенным паром высокого давления. Перегретая технологическая текучая среда затем нагревается в блоке 302 рекуперации тепла перед тем, как быть направленной в роторный реактор 202. БРТ 302 реализован в этой конфигурации как теплообменник, в котором в качестве теплоносителя используют выходящие из ЗИА (301) газы.

В данном примере расчета для реализации нагрева в установке 500 в процесс импортируется пар среднего давления (1,6 МПа/16 бар). Дополнительно

или альтернативно, можно использовать электрическую мощность для нагрева в дополнение или вместо пара среднего давления. За счет импорта пара среднего давления можно снизить электропотребление. Производство пара среднего давления включено в расчет нетто-энергопотребления и выбросов CO₂.

5 Таблица 3.

	Типовая	Установка (500) с роторным реактором и электрифицированным блоком крекинга
Нетто-энергопотребление, МВт	687,6	492,6
Экспорт топочного газа, МВт	86,2	543,1
Импорт пара СД		44,5
Кредитный экспорт пара ВД (10 МПа/100 бар), МВт	100,5	0,0
Общее электропотребление, МВт	7,2	445,2
Материальный баланс		
Продукт	т/ч	т/ч
Водород, 99,9%	2,4	2,1
Топочный газ	60,1	40,6
Этилен полимерного сорта	119,1	119,1
Пропилен полимерного сорта	49,4	40,7
Углеводороды C4	27,8	20,9
Пиролизный бензин	66,7	56,1
Пиролизное масло	14,0	2,8
Сырьевая нефтя, т/ч	339,4	282,1
CO ₂ , кг/ч	144852	8635
Нагрузка охлаждающей воды, МВт	419	262
Котловая вода, т/ч	484	251

Настоящий пример расчета показывает, как общее электропотребление может быть дополнительно уменьшено за счет использования различных схем тепловой интеграции в секции реактора. В примере 1 нетто-энергопотребление для идеи со 100% электрификацией (конфигурация В с роторным реактором) составляет 531 МВт, в то время как в настоящем примере оно составляет всего 445,2 МВт. Следовательно, снижение электропотребления по сравнению с компоновкой из примера 1 составляет приблизительно 16%.

Пример 4. Идея по фиг. 5. Сжигание водорода.

15 В настоящем примере конфигурация роторного блока 100 крекинга была реализована в соответствии с компоновкой 100Е по фиг. 5.

Согласно данной идее полученный водород сжигают с кислородом в камере 501 сгорания и разбавляют (разбавляющим) паром перед смешиванием с сырьевой смесью нефтя/пар (НС+ДС). В таблице 4 приведены результаты моделирования энергетического и материального баланса для двух конфигураций установки (500) с

20

роторным реактором, включающей в себя блок 100Е крекинга (фиг. 5). В варианте А вся тепловая энергия, обеспечиваемая в процессе, преобразуется из электрической мощности (т.е. нагрев является полностью электрическим нагревом). В варианте В нагрев осуществляется путем импорта в процесс пара среднего давления (1,6 МПа / 16 бар). За счет импорта пара среднего давления можно снизить электропотребление. В частности, компоновка по фиг. 5 повышает общую энергоэффективность в промышленных комплексах, имеющих потребителя энергии, что в противном случае имело бы меньшее значение на других установках. Энергия водородного топлива не входит в расчеты энергопотребления. Пар 20 среднего давления 20 входит в расчет нетто-энергопотребления.

Таблица 4.

	А. Установка (500) с роторным реактором и сжиганием произведенного водорода	А. Установка (500) с роторным реактором, сжиганием произведенного водорода и импортом пара СД
Нетто-энергопотребление, МВт	421,4	423,5
Экспорт топочного газа, МВт	590,5	556,0
Импорт пара СД		32,4
Кредитный экспорт пара ВД (10 МПа/100 бар), МВт	0,0	0,0
Общее электропотребление, МВт	421,4	389,0
Материальный баланс		
Продукт	т/ч	т/ч
Водород, 99,9%	2,1	2,1
Топочный газ	40,6	40,6
Этилен полимерного сорта	119,1	119,1
Пропилен полимерного сорта	40,7	40,7
Углеводороды C4	20,9	20,9
Пиролизный бензин	56,1	56,1
Пиролизное масло	2,8	2,8
Сырьевая нефтя, т/ч	282,1	282,1
CO ₂ , кг/ч	0	6338
Нагрузка охлаждающей воды, МВт	262	262
Котловая вода, т/ч	251	251

Представленный пример расчета показывает, как общее электропотребление может быть дополнительно уменьшено путем прямого нагрева, реализованного путем сжигания водорода с кислородом в камере 501 сгорания, и смешивания горячего парового продукта, полученного в результате сжигания водорода (29, фиг. 5) с потоком технологической текучей среды 5, содержащей углеводородное сырье. Разбавляющая среда, такая как разбавляющий пар, может быть смешана с

паровым продуктом 29 до смешивания последнего с углеводородным сырьем, содержащим технологическую текучую среду. В примере 1 нетто-энергопотребление для идеи со 100% электрификацией (конфигурация В с роторным реактором) составило 531 МВт по сравнению с 421 МВт и 389 МВт согласно идее с сжиганием водорода. В случае импорта пара среднего давления в процесс (вариант В, таблица 4) снижение электропотребления составляет приблизительно 26%.

В дальнейших аспектах независимо обеспечены блок 100 крекинга (100А-100Е) и установка 500 для переработки и/или производства углеводородов, выполненная с возможностью реализации способа в соответствии с вариантами осуществления, раскрытыми выше.

Специалисту в данной области техники ясно, что с развитием технологии основные идеи настоящего изобретения могут быть реализованы и скомбинированы различными способами. Таким образом, изобретение и его варианты осуществления не ограничиваются примерами, раскрытыми выше в настоящем документе, напротив, они могут в целом варьироваться в пределах объема прилагаемой формулы изобретения.

ФОРМУЛА ИЗОБРЕТЕНИЯ

1. Способ повышения энергоэффективности и сокращения выбросов парниковых газов в установке (500) для переработки и/или производства углеводородов за счет реорганизации распределения тепловой энергии в пределах указанной установки,

причем указанная установка содержит блок (100) крекинга по меньшей мере с одним аппаратом (202) для крекинга углеводородсодержащего сырья в присутствии разбавляющей среды, при этом поток газообразных продуктов крекинга, выходящий из аппарата, охлаждают в закалочно-испарительном аппарате (ЗИА) (301) с генерированием пара высокого давления,

причем в указанном способе любое из: нагрева и/или испарения углеводородсодержащего сырья и/или разбавляющей среды, нагрева и/или испарения котловой подпиточной воды и перегрева пара высокого давления, генерируемого в блоке закалочно-испарительного аппарата (301), осуществляют в блоке (302) рекуперации тепла (БРТ), расположенном ниже по потоку от блока закалочно-испарительного аппарата, и

причем способ включает в себя подачу электрической мощности в установку для переработки и/или производства углеводородов.

2. Способ по п. 1, в котором электрическую мощность подают на приводной двигатель (201) крекинг-аппарата (202).

3. Способ по п. 1 или 2, в котором электрическую мощность подают в крекинг-аппарат (202).

4. Способ по п. 3, в котором электрическую мощность подают любым из следующего: индуктивные или резистивные способы передачи, плазменные процессы, нагрев электропроводящими нагревательными элементами или комбинация перечисленного.

5. Способ по любому из предшествующих пунктов, в котором электрическую мощность подают в устройства или группы устройств, расположенных ниже по потоку от блока (100) крекинга.

6. Способ по п. 5, в котором электрическую мощность подают в устройства или группу устройств, обеспечивающих любое из следующего: нагрев, перекачка, сжатие и фракционирование или комбинация перечисленного.

5 7. Способ по любому из предшествующих пунктов, в котором электрическую мощность подают от внешнего, по отношению к установке (500) для переработки и/или производства углеводородов, источника или источников.

10 8. Способ по любому из предшествующих пунктов, в котором внешним источником является возобновляемый источник энергии или комбинация различных возобновляемых источников энергии.

15 9. Способ по любому из предшествующих пунктов, в котором указанным внешним источником электрической мощности является любое из следующего: фотоэлектрическая система генерирования мощности, ветровая система генерирования электрической мощности, гидроэлектростанция или комбинация перечисленного.

20 10. Способ по любому из п.п. 1-8, в которой указанным внешним источником электрической мощности является атомная электростанция.

25 11. Способ по любому из п.п. 1-7, в котором указанным внешним источником электрической мощности является любое из: силовой турбины, такой как по меньшей мере одна газовая турбина и/или паровая турбина, двигателя с искровым зажиганием, такого как по меньшей мере один газовый двигатель, двигателя с воспламенением от сжатия, такой как по меньшей мере один дизельный двигатель, энергоустановка, обеспечивающая производство электрической мощности из ископаемого сырья, и любая их комбинация.

30 12. Способ по любому из п.п. 1-7, в котором указанным внешним источником электрической мощности является энергоустановка комбинированного цикла и/или когенерационная установка, производящая пар и электричество.

35 13. Способ по любому из предшествующих пунктов, в котором электрическую мощность вырабатывают в установке (500) для переработки и/или производства углеводородов.

14. Способ по любому из предшествующих пунктов, в котором блок (302) рекуперации тепла представляет собой теплообменник, опционально выполненный как вторичный закалочный-испарительный аппарат.

5

15. Способ по любому из предшествующих пунктов, в котором аппарат для крекинга углеводородсодержащего сырья представляет собой реактор, предназначенный для термических и/или термохимических реакций разложения углеводородов, таких как реакции пиролиза, опционально с участием разбавляющей среды, такой как разбавляющий пар.

10

16. Способ по любому из предшествующих пунктов, в котором установка (500) для переработки и/или производства углеводородов представляет собой установку для производства олефинов.

15

17. Способ по любому из предшествующих пунктов, в котором установка для переработки и/или производства углеводородов представляет собой установку для производства этилена и/или установку для производства пропилена.

20

18. Способ по любому из предшествующих пунктов, в котором любое из: нагрева и/или испарения углеводородсодержащего сырья и/или разбавляющей среды, нагрева и/или испарения котловой подпиточной воды и перегрева пара высокого давления, образующегося в блоке (301) ЗИА, или их комбинацию, по меньшей мере частично выполняют в печи (101) предварительного нагрева.

25

19. Способ по любому из п.п. 1-17, в котором тепловую нагрузку печи (101) предварительного нагревателя перераспределяют в пределах блока (100) крекинга указанной установки (500) для переработки и/или производства углеводородов путем реорганизации распределения тепла в пределах указанного блока крекинга, поэтому обеспечение указанной печи предварительного нагрева в блоке крекинга не предусмотрено.

30

20. Способ по любому из предшествующих пунктов, включающий в себя генерирование тепловой энергии в отдельной камере (501) сгорания путем прямого нагрева, осуществляемого путем сжигания водорода с кислородом в указанной камере сгорания и смешивания парового продукта (29), полученного в результате

35

сжигания водорода и опционально смешанного с разбавляющей средой, такой как разбавляющий пар, с технологической текучей средой, содержащей углеводородное сырье.

5 21. Способ по п. 20, в котором температуру горения водорода регулируют путем подачи разбавляющей среды, такой как разбавляющий пар, в камеру сгорания.

10 22. Способ по любому из предшествующих пунктов, в котором электрическая мощность, подаваемая от внешнего или внутреннего источника (источников), компенсирует, полностью или частично, производство пара в пределах установки (500) для переработки и/или производства углеводородов.

15 23. Способ по любому из предшествующих пунктов, в котором распределение и передачу тепловой энергии в установке (500) осуществляют между одним или несколькими блоками (100) крекинга с одинаковой или различной компоновкой и/или мощностью.

20 24. Способ по п. 1 или 2, дополнительно включающий в себя подведение к крекинг-аппарату (202) мощности, передаваемой валом, по меньшей мере от одной силовой турбины (203), расположенной в установке (500), причем указанная по меньшей мере одна силовая турбина опционально использует тепловую энергию, генерируемую в блоке (100) крекинга.

25 25. Способ по п. 24, в котором указанная по меньшей мере одна силовая турбина (203) выполнена в виде любого из: паровой турбины, газовой турбины и турбодетандера, при этом указанная силовая турбина связана с приводным двигателем (201) крекинг-аппарата (202) посредством муфты приводного вала.

30 26. Способ по любому из предшествующих пунктов, в котором углеводородсодержащее сырье представляет собой фракцию или фракции производства, дистилляции и/или переработки сырой нефти.

35 27. Способ по любому из п.п. 1-25, в котором углеводородсодержащее сырье выбирают из группы, содержащей: газифицированный предварительно переработанный материал биомассы; предварительно переработанный

глицеридсодержащий материал, такой как растительные масла и/или животные жиры; переработанные пластмассовые отходы; и побочные продукты древесной целлюлозной промышленности, такие как талловое масло или любые его производные.

5

28. Установка (500) для переработки и/или производства углеводородов, выполненная с возможностью реализации способа по любому из п.п. 1-27.

10 29. Блок (100) крекинга, входящий в состав установки (500) для переработки и/или производства углеводородов, выполненный с возможностью реализации способа по любому из п.п. 1-27.

ФОРМУЛА ИЗОБРЕТЕНИЯ

1. Способ повышения энергоэффективности и сокращения выбросов парниковых газов в установке (500) для переработки и/или производства углеводородов за счет реорганизации распределения тепловой энергии в пределах указанной установки,

причем указанная установка содержит блок (100) крекинга по меньшей мере с одним аппаратом (202) для крекинга углеводородсодержащего сырья в присутствии разбавляющей среды, при этом поток газообразных продуктов крекинга, выходящий из аппарата, охлаждают в закалочно-испарительном аппарате (ЗИА) (301) с генерированием пара высокого давления,

причем способ включает в себя подачу электрической мощности в установку для переработки и/или производства углеводородов,

причем в указанном способе ниже по потоку от блока закалочно-испарительного аппарата (301) расположен блок (302) рекуперации тепла (БРТ), снабженный функциями, отличными от производства пара высокого давления, в результате чего в блоке (100) крекинга производят меньше пара высокого давления, а уменьшенное производство пара компенсируют за счет электрической мощности, подаваемой в установку для переработки и/или производства углеводородов,

причем указанные функции, реализуемые в блоке (302) рекуперации тепла, представляют собой любое из: нагрева и/или испарения углеводородсодержащего сырья и/или разбавляющей среды, нагрева и/или испарения котловой подпиточной воды и перегрева пара высокого давления, генерируемого в блоке закалочно-испарительного аппарата (301).

2. Способ по п. 1, в котором электрическую мощность подают на приводной двигатель (201) крекинг-аппарата (202).

3. Способ по п. 1 или 2, в котором электрическую мощность подают в крекинг-аппарат (202).

4. Способ по п. 3, в котором электрическую мощность подают любым из следующего: индуктивные или резистивные способы передачи, плазменные процессы, нагрев электропроводящими нагревательными элементами или комбинация перечисленного.

5. Способ по любому из предшествующих пунктов, в котором электрическую мощность подают в устройства или группы устройств, расположенных ниже по потоку от блока (100) крекинга.

5 6. Способ по п. 5, в котором электрическую мощность подают в устройства или группу устройств, обеспечивающих любое из следующего: нагрев, перекачка, сжатие и фракционирование или комбинация перечисленного.

10 7. Способ по любому из предшествующих пунктов, в котором электрическую мощность подают от внешнего, по отношению к установке (500) для переработки и/или производства углеводородов, источника или источников.

15 8. Способ по любому из предшествующих пунктов, в котором внешним источником является возобновляемый источник энергии или комбинация различных возобновляемых источников энергии.

20 9. Способ по любому из предшествующих пунктов, в котором указанным внешним источником электрической мощности является любое из следующего: фотоэлектрическая система генерирования мощности, ветровая система генерирования электрической мощности, гидроэлектростанция или комбинация перечисленного.

25 10. Способ по любому из п.п. 1-8, в которой указанным внешним источником электрической мощности является атомная электростанция.

30 11. Способ по любому из п.п. 1-7, в котором указанным внешним источником электрической мощности является любое из: силовой турбины, такой как по меньшей мере одна газовая турбина и/или паровая турбина, двигателя с искровым зажиганием, такого как по меньшей мере один газовый двигатель, двигателя с воспламенением от сжатия, такой как по меньшей мере один дизельный двигатель, энергоустановка, обеспечивающая производство электрической мощности из ископаемого сырья, и любая их комбинация.

35 12. Способ по любому из п.п. 1-7, в котором указанным внешним источником электрической мощности является энергоустановка комбинированного цикла и/или когенерационная установка, производящая пар и электричество.

13. Способ по любому из предшествующих пунктов, в котором электрическую мощность вырабатывают в установке (500) для переработки и/или производства углеводородов.

5

14. Способ по любому из предшествующих пунктов, в котором блок (302) рекуперации тепла представляет собой теплообменник, опционально выполненный как вторичный закалочный-испарительный аппарат.

10

15. Способ по любому из предшествующих пунктов, в котором аппарат для крекинга углеводородсодержащего сырья представляет собой реактор, предназначенный для термических и/или термохимических реакций разложения углеводородов, таких как реакции пиролиза, опционально с участием разбавляющей среды, такой как разбавляющий пар.

15

16. Способ по любому из предшествующих пунктов, в котором установка (500) для переработки и/или производства углеводородов представляет собой установку для производства олефинов.

20

17. Способ по любому из предшествующих пунктов, в котором установка для переработки и/или производства углеводородов представляет собой установку для производства этилена и/или установку для производства пропилена.

25

18. Способ по любому из предшествующих пунктов, в котором любое из: нагрева и/или испарения углеводородсодержащего сырья и/или разбавляющей среды, нагрева и/или испарения котловой подпиточной воды и перегрева пара высокого давления, образующегося в блоке (301) ЗИА, или их комбинацию, по меньшей мере частично выполняют в печи (101) предварительного нагрева.

30

19. Способ по любому из п.п. 1-17, в котором тепловую нагрузку печи (101) предварительного нагревателя перераспределяют в пределах блока (100) крекинга указанной установки (500) для переработки и/или производства углеводородов путем реорганизации распределения тепла в пределах указанного блока крекинга, поэтому обеспечение указанной печи предварительного нагрева в блоке крекинга не

35

20. Способ по любому из предшествующих пунктов, включающий в себя генерирование тепловой энергии в отдельной камере (501) сгорания путем прямого нагрева, осуществляемого путем сжигания водорода с кислородом в указанной камере сгорания и смешивания парового продукта (29), полученного в результате сжигания водорода и опционально смешанного с разбавляющей средой, такой как разбавляющий пар, с технологической текучей средой, содержащей углеводородное сырье.

21. Способ по п. 20, в котором температуру горения водорода регулируют путем подачи разбавляющей среды, такой как разбавляющий пар, в камеру сгорания.

22. Способ по любому из предшествующих пунктов, в котором электрическая мощность, подаваемая от внешнего или внутреннего источника (источников), компенсирует производство пара в пределах установки (500) для переработки и/или производства углеводородов полностью или частично.

23. Способ по любому из предшествующих пунктов, в котором распределение и передачу тепловой энергии в установке (500) осуществляют между одним или несколькими блоками (100) крекинга с одинаковой или различной компоновкой и/или мощностью.

24. Способ по п. 1 или 2, дополнительно включающий в себя подведение к крекинг-аппарату (202) мощности, передаваемой валом, по меньшей мере от одной силовой турбины (203), расположенной в установке (500), причем указанная по меньшей мере одна силовая турбина опционально использует тепловую энергию, генерируемую в блоке (100) крекинга.

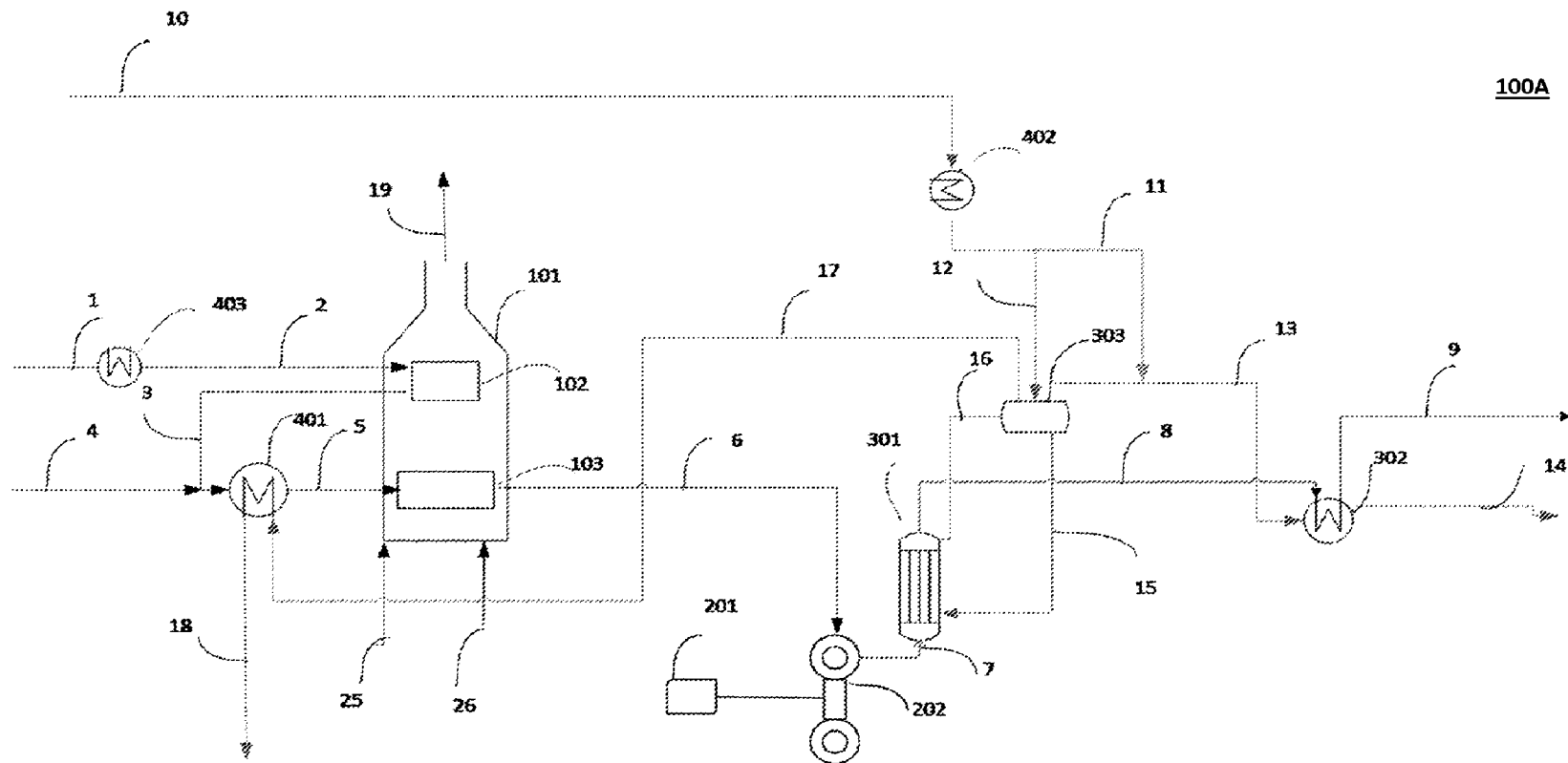
25. Способ по п. 24, в котором указанная по меньшей мере одна силовая турбина (203) выполнена в виде любого из: паровой турбины, газовой турбины и турбодетандера, при этом указанная силовая турбина связана с приводным двигателем (201) крекинг-аппарата (202) посредством муфты приводного вала.

26. Способ по любому из предшествующих пунктов, в котором углеводородсодержащее сырье представляет собой фракцию или фракции производства, дистилляции и/или переработки сырой нефти.

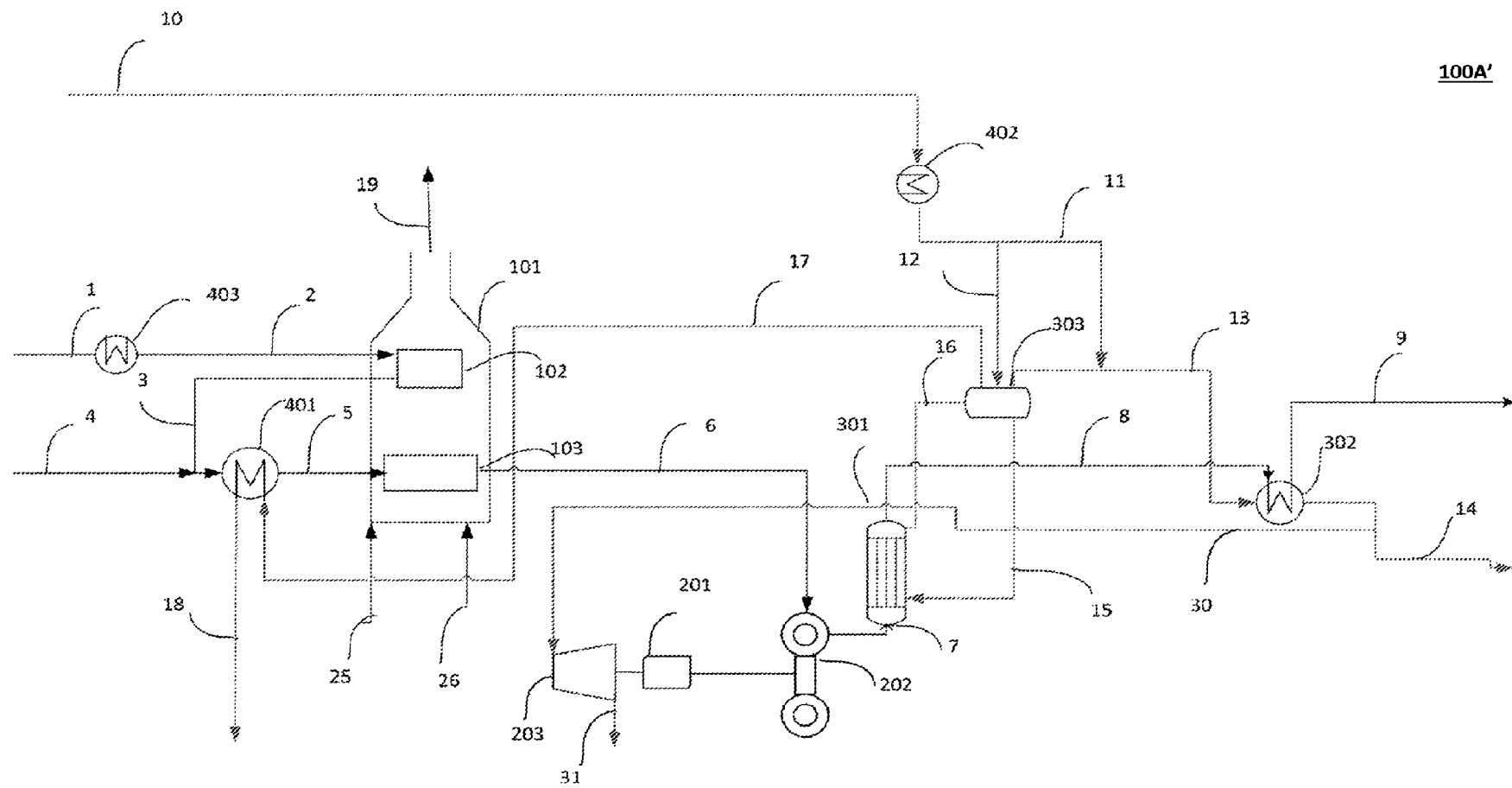
27. Способ по любому из п.п. 1-25, в котором углеводородсодержащее сырье выбирают из группы, содержащей: газифицированный предварительно переработанный материал биомассы; предварительно переработанный глицеридсодержащий материал, такой как растительные масла и/или животные жиры; переработанные пластмассовые отходы; и побочные продукты древесной целлюлозной промышленности, такие как талловое масло или любые его производные.

10 28. Установка (500) для переработки и/или производства углеводородов, выполненная с возможностью реализации способа по любому из п.п. 1-27.

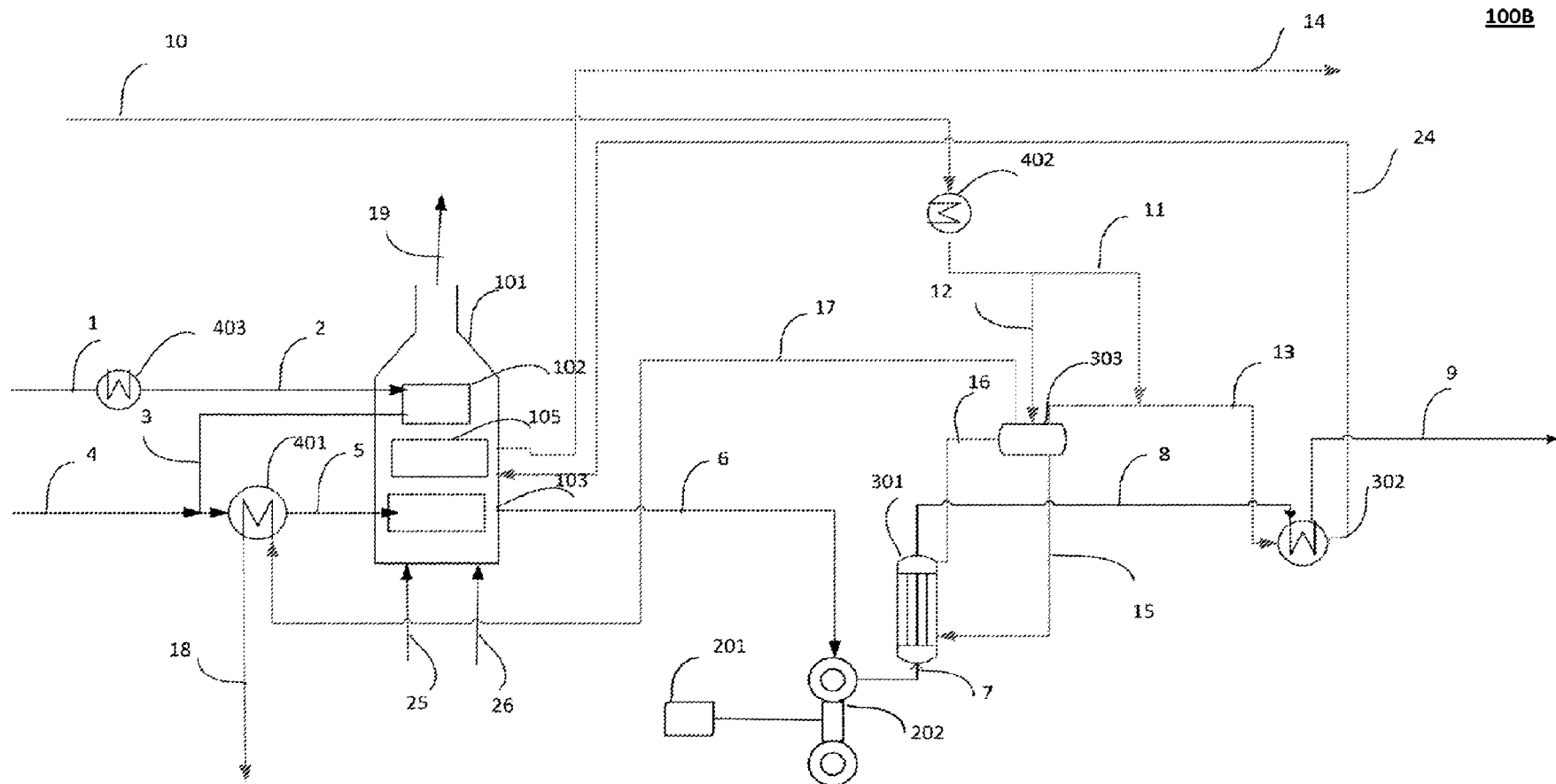
15 29. Блок (100) крекинга, входящий в состав установки (500) для переработки и/или производства углеводородов, выполненный с возможностью реализации способа по любому из п.п. 1-27.



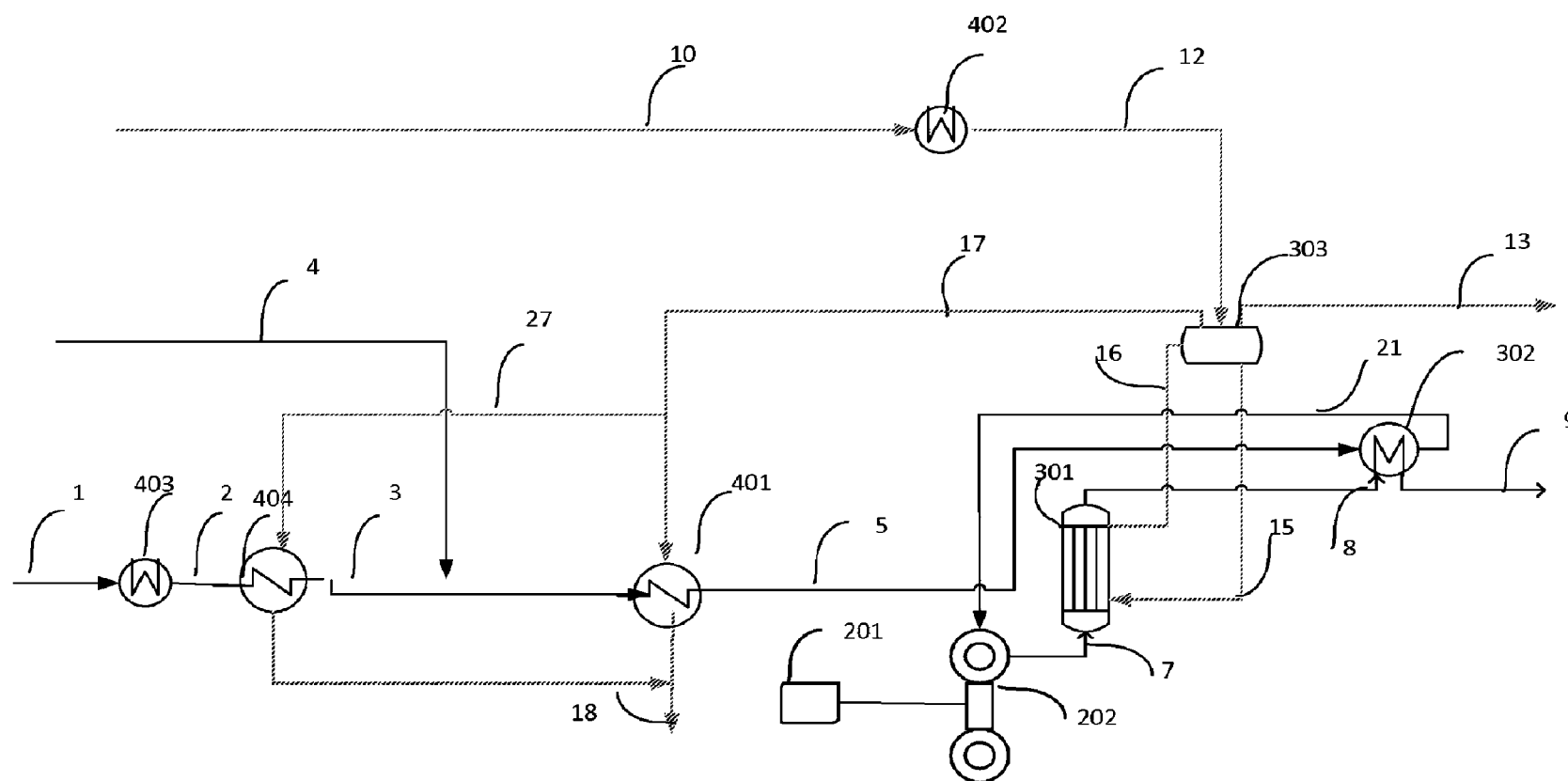
ФИГ. 1А



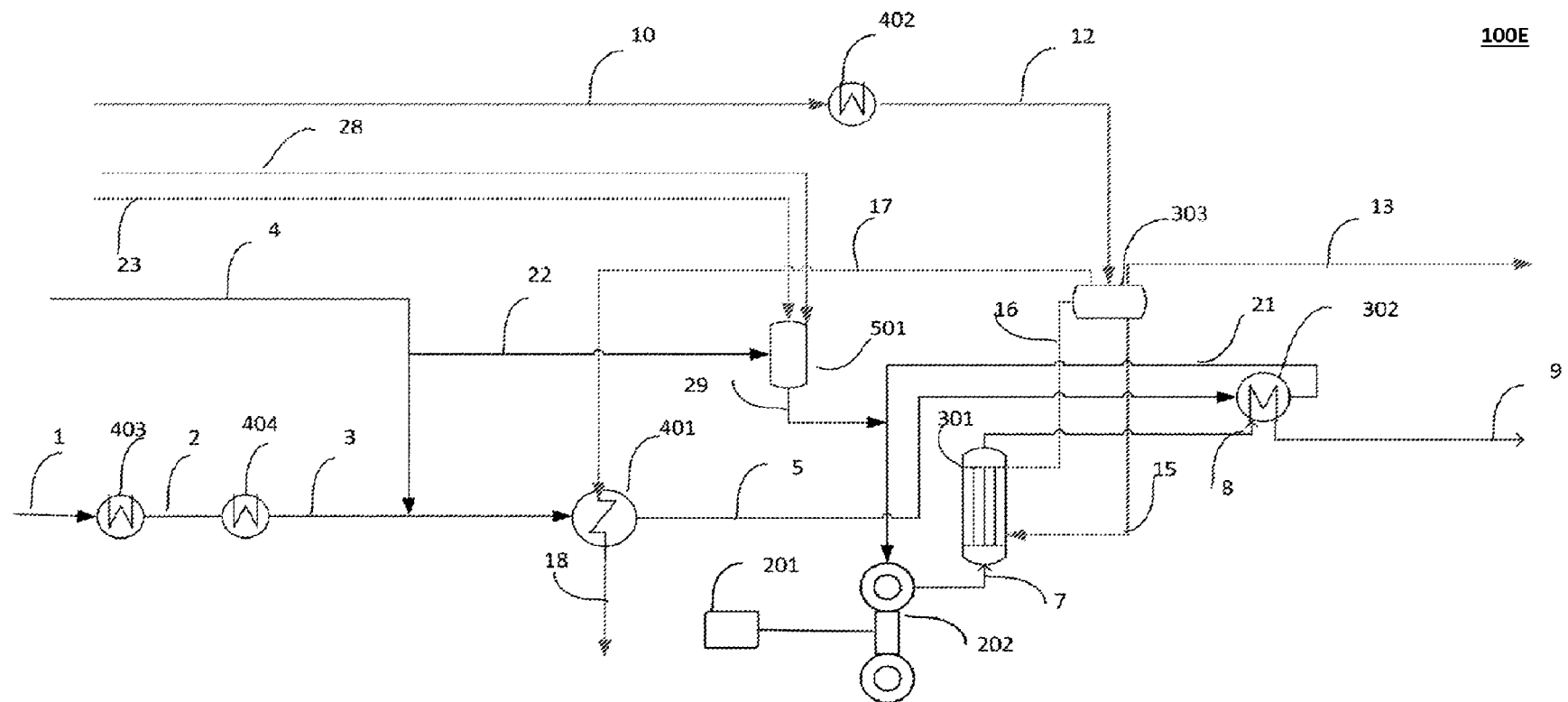
ФИГ. 1В



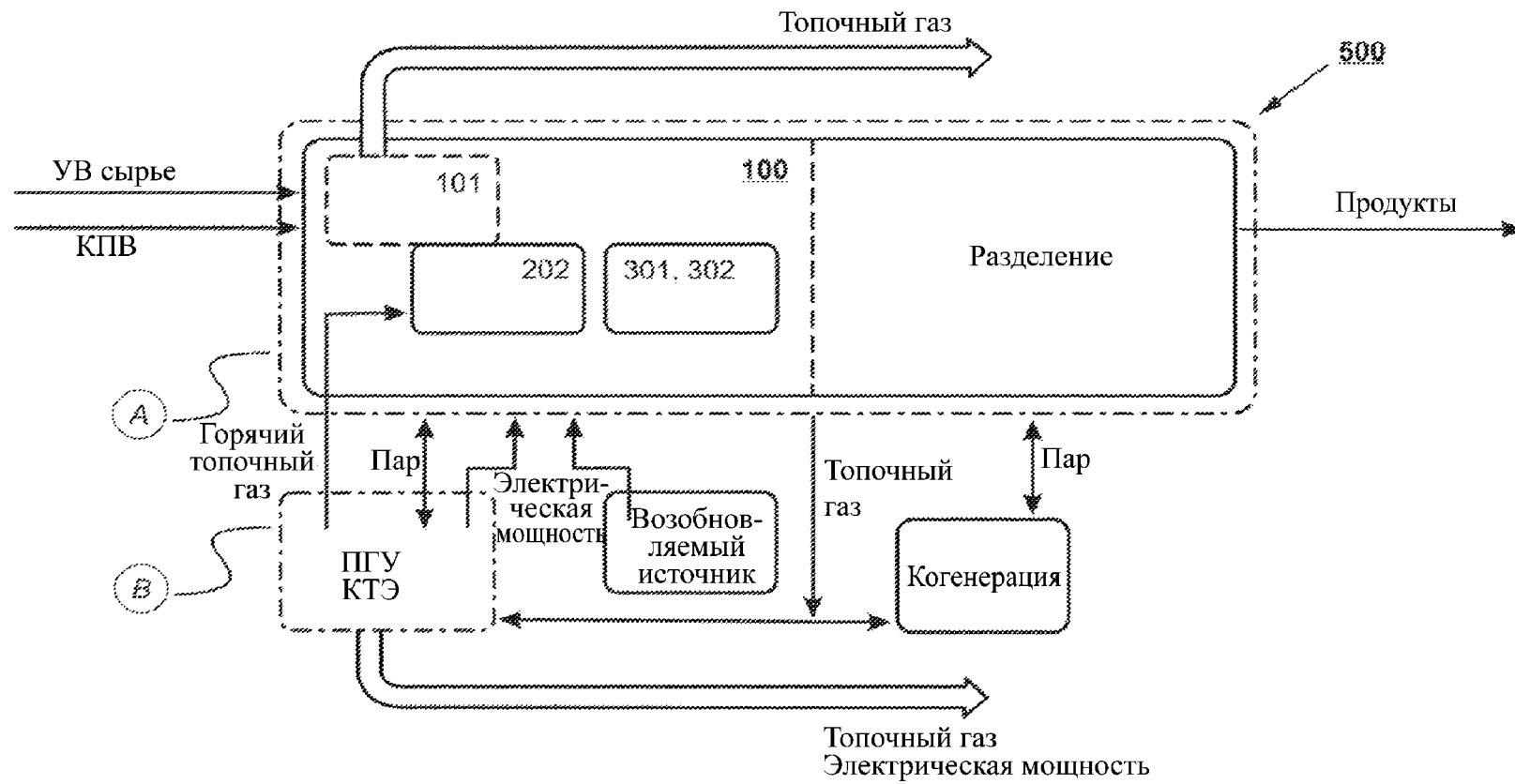
ФИГ. 2



ФИГ. 4



ФИГ. 5



ФИГ. 6