

(19)



**Евразийское  
патентное  
ведомство**

(11) **041340**

(13) **B1**

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

(45) Дата публикации и выдачи патента  
**2022.10.12**

(21) Номер заявки  
**201990367**

(22) Дата подачи заявки  
**2017.07.24**

(51) Int. Cl. **F02C 3/00** (2006.01)  
**F02C 6/18** (2006.01)  
**C10G 11/00** (2006.01)  
**C10G 9/36** (2006.01)

---

(54) **СПОСОБ КРЕКИНГА ПОТОКА УГЛЕВОДОРОДОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ  
ДЫМОВОГО ГАЗА ИЗ ГАЗОВОЙ ТУРБИНЫ**

---

(31) **16180943.9**

(32) **2016.07.25**

(33) **EP**

(43) **2019.07.31**

(86) **PCT/IB2017/054476**

(87) **WO 2018/020399 2018.02.01**

(71)(73) Заявитель и патентовладелец:  
**САБИК ГЛОУБЛ ТЕКНОЛОДЖИЗ  
Б.В. (NL)**

(56) US-A1-2006080970  
SEYED MOOSAVI MOUSAZADEN  
ABOTORAB ET AL.: "Integrating Gas Turbines  
with Cracking Heaters in Ethylene Plants",  
INTERNATIONAL JOURNAL OF ENGINEERING  
RESEARCH & TECHNOLOGY (IJERT), vol. 3,  
no. 6, 30 June 2014 (2014-06-30), pages 820-825,  
XP055333014, cited in the application, figure 2  
WO-A1-2015128035  
US-A1-2005268594

(72) Изобретатель:  
**Ван Виллигенбург Йорис (NL)**

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

---

(57) Способ крекинга потока углеводородов, включающий (а) сжигание топлива в газовой турбине в присутствии сжатого воздуха с получением дымового газа, при этом указанный дымовой газ приводит в действие турбину для выработки электричества в присоединенном генераторе или совершения работы для обеспечения энергией присоединенного вращающегося оборудования; (b) подачу первой части дымового газа в теплообменник; (с) подачу воздуха окружающей среды в теплообменник для его нагревания упомянутой первой частью дымового газа с получением нагретого воздуха; (d) подачу в печь топлива и смеси из второй части дымового газа и нагретого воздуха, полученного на стадии (с), и крекинг потока углеводородов в указанной печи.

**В1**

**041340**

**041340  
В1**

По данной заявке испрашивается приоритет заявки на европейский патент №16180943.9 (дата подачи - 25.07.2016), содержание которой полностью включено в настоящее описание посредством ссылки.

### **Область техники, к которой относится изобретение**

Настоящее изобретение относится к способу крекинга потока углеводородов с использованием дымового газа из газовой турбины. В наиболее предпочтительных воплощениях крекинг осуществляется путем парового крекинга.

### **Уровень техники**

Паровой крекинг, называемый также пиролизом, длительное время используется для крекинга различного углеводородного сырья в олефины, предпочтительно в легкие олефины, такие как этилен, пропилен и бутены. В традиционном паровом крекинге используют печь пиролиза, которая содержит две основные секции: конвекционную секцию и радиантную секцию. Обычно углеводородное сырье поступает в конвекционную секцию печи в виде жидкости (за исключением легкого сырья, которое поступает в виде пара), где это сырье нагревается и испаряется за счет косвенного контакта с горячим дымовым газом из радиантной секции и за счет непосредственного контакта с водяным паром. Смесь испаренного исходного сырья и водяного пара затем вводится в радиантную секцию, в которой происходит крекинг. Полученные продукты, включающие олефины, отводятся из печи пиролиза для дальнейшей обработки, осуществляемой ниже по ходу потока, включающей гашение.

Использование газовых турбин (ГТ) для производства энергии при одновременном использовании горячего богатого кислородом отработавшего газа в качестве воздуха горения в печах для крекинга является весьма привлекательным средством снижения потребления энергии на единицу производимого этилена. Такой процесс известен и поясняется, например, в журнале: Integrating Gas Turbines with Cracking Heaters in Ethylene Plants, International Journal of Engineering Research & Technology (IJERT), Vol. 3 Issue 6, June - 2014, p.820-825. (Объединение газовых турбин с нагревателями для крекинга на заводах по производству этилена, Международный журнал инженерных исследований и технологии). Использование отработавшего газа турбины (ОГТ) является эффективным путем, обеспечивающим высокий уровень предварительного нагревания воздуха, что снижает потребность топлива для нагревателей. Однако в отличие от систем с предварительным нагреванием воздуха, из-за пониженного содержания кислорода в ОГТ, общий массовый расход дымового газа, проходящего через печи, увеличивается. Это приводит к увеличению производства водяного пара в конвекционной секции (секции рекуперации тепла) модуля пиролиза.

В международной заявке WO 2015128035 описан способ повышения энергетической эффективности технологических печей за счет интегрирования газовой турбины посредством использования отработавшего газа газовой турбины. В системе, описанной в WO 2015128035, существует проблема, которая заключается в том, что использование предварительно нагретого воздуха приводит к более высоким температурам горения и образованию в дымовом газе после сжигания более высоких количеств нежелательных NOx.

В патентном документе US 2006/0080970, в соответствии с его рефератом, раскрыт способ нагрева текучей среды в нагревателе, объединенном с газовой турбиной и используемом вместе с установкой парового риформинга метана, требующей использования катализатора.

Существует потребность в способе, который является энергетически эффективным и обеспечивает снижение количества NOx. Существует также потребность в способе повышения эффективности использования энергии, который позволяет экономить сжигаемое в печи топливо, а не увеличивать производство водяного пара в печи.

### **Задачи изобретения**

Задача настоящего изобретения заключается в обеспечении способа крекинга потока углеводородов с использованием дымового газа из газовой турбины, который является энергетически эффективным и позволяет уменьшить количество образующихся NOx. Задача настоящего изобретения заключается также в обеспечении способа повышения эффективности использования энергии, который позволяет экономить топливо, сжигаемое в печи установки парового крекинга, а не увеличивать производство водяного пара в печи.

### **Раскрытие изобретения**

В соответствии с изложенным настоящее изобретение обеспечивает способ крекинга потока углеводородов, который включает стадии, на которых осуществляют сжигание топлива в газовой турбине в присутствии сжатого воздуха с получением дымового газа, при этом указанный дымовой газ приводит в действие турбину для выработки электричества в присоединенном генераторе или совершения работы для обеспечения энергией присоединенного вращающегося оборудования; осуществляют подачу первой части дымового газа в теплообменник; осуществляют подачу воздуха окружающей среды в указанный теплообменник для его нагревания упомянутой первой частью дымового газа с получением нагретого воздуха; осуществляют подачу в печь топлива и смеси из второй части дымового газа и нагретого воздуха, полученного на стадии (с), и осуществляют крекинг потока углеводородов в указанной печи установки парового крекинга.

Настоящее изобретение обеспечивает также систему для осуществления крекинга потока углеводоро-

родов, при этом указанная система содержит газовую турбину для сжигания топлива в присутствии сжатого воздуха с получением дымового газа, при этом указанный дымовой газ приводит в действие турбину для выработки электричества в присоединенном генераторе или совершения работы для обеспечения энергией присоединенного вращающегося оборудования; теплообменник для подачи в него первой части дымового газа и воздуха окружающей среды, при этом воздух окружающей среды нагревается упомянутой первой частью дымового газа с получением нагретого воздуха; и печь установки парового крекинга для проведения крекинга потока углеводородов, при этом в указанную печь поступает топливо и смесь из второй части дымового газа и указанного нагретого воздуха. Указанная печь предпочтительно является частью установки парового крекинга.

В соответствии со способом и системой согласно изобретению дымовой газ, произведенный газовой турбиной (отработавший газ газовой турбины), делится на первую часть, которая используется для нагревания окружающего воздуха, направляемого в печь установки парового крекинга, и вторую часть, направляемую в печь. Таким образом, воздух горения, подаваемый в печь установки парового крекинга, представляет собой смесь второй части дымового газа и воздуха, нагретого с помощью первой части дымового газа.

Дымовой газ имеет более низкое содержание кислорода по сравнению с воздухом окружающей среды. Поэтому, если воздух горения, поступающий в печь, состоит из дымового газа, температура горения в печи может быть низкой. Если воздух горения, поступающий в печь, представляет собой воздух, температура горения в печи может быть высокой. Кроме того, более высокая температура воздуха горения, подаваемого в печь, приводит к более высокой температуре горения в печи.

Ниже приведены определения различных терминов и фраз, используемых в этом описании.

Термины "приблизительно" или "около" определяют как нахождение настолько близко, насколько это понимает специалист в данной области техники. В одном не ограничивающем воплощении эти термины определяют нахождение в пределах 10%, предпочтительно в пределах 5%, более предпочтительно в пределах 1% и наиболее предпочтительно в пределах 0,5%.

Термины "мас.%" , "об.%" или "мол.%" относятся к массовому, объемному или молярному проценту содержания компонента соответственно, исходя из общей массы, общего объема или общих молей материала, который содержит этот компонент. В не ограничивающем примере 10 моль компонента в 100 моль материала составляет 10 мол.% этого компонента.

Термин "эффективный", используемый в описании и/или пунктах формулы, означает достаточный (подходящий) для достижения желаемого, ожидаемого или предполагаемого результата.

Использование слова "единственного" в сочетании с термином "содержащий" в пунктах формулы или в описании может означать "один", но также согласуется с значением "один или более", "по меньшей мере один" и "один или более, чем один".

Термины "содержащий" (и любая его форма, например, "содержать" и "содержит"), "имеющий" (и любая его форма, например, "иметь", "имеет"), "включающий" (и любая его форма, например, "включает" и "включать") или "охватывающий" (и любая его форма, например, "охватывает" и "охватывать") являются включительными или открытыми, и не исключают дополнительные, не перечисленные элементы или стадии способа.

Способ согласно настоящему изобретению может "включать", "состоять по существу из" или "состоять из" определенных ингредиентов, компонентов, составов, стадий и т.д., раскрытых во всем описании. Следует также понимать, что описание продукта/композиции/способа/системы, содержащих определенные компоненты, раскрывает также продукт/композицию/систему, состоящие из этих компонентов. Продукт/состав/способ/система, состоящая из этих компонентов, может быть предпочтительной, например, тем, что обеспечивает более простой, более экономичный способ приготовления этого продукта/состава. Подобным образом, следует понимать, что, например, описание способа, включающего определенные стадии, раскрывает также способ, состоящий из этих стадий. Указанный способ, состоящий из этих стадий, может быть предпочтительным тем, что обеспечивает более простой, более экономичный способ.

Если указаны величины для нижнего предела и верхнего предела параметра, то понятно, что интервалы из комбинации этих величин нижнего предела параметра и величин верхнего предела также раскрыты.

Применительно к настоящему изобретению описано 13 воплощений. Воплощением 1 является способ парового крекинга потока углеводородов. Способ включает стадии, на которых (а) осуществляют сжигание топлива в газовой турбине в присутствии сжатого воздуха с получением дымового газа, при этом указанный дымовой газ приводит в действие турбину для выработки электричества в присоединенном генераторе или совершения работы для обеспечения энергией присоединенного вращающегося оборудования; (b) осуществляют подачу первой части дымового газа в теплообменник, (с) осуществляют подачу воздуха окружающей среды в указанный теплообменник для его нагревания первой частью дымового газа с получением нагретого воздуха, (d) осуществляют подачу топлива и смеси второй части дымового газа и нагретого воздуха, полученного на стадии (с), в радиантную секцию печи установки парового крекинга, и (е) осуществляют подачу в конвекционную секцию указанной печи установки па-

рового крекинга сырьевого потока углеводородов через конвекционные змеевики, размещенные в конвекционной секции печи установки парового крекинга. Воплощением 2 является способ в соответствии с Воплощением 1, в котором углеводородное сырье, подлежащее паровому крекингу, предварительно нагрето в конвекционной секции печи, радиантной секции печи или в обеих этих секциях. Воплощением 3 является способ согласно воплощениям 1 или 2, в котором массовое соотношение первой части ко второй части составляет от 1:99 до 99:1, например, от 10:90 до 90:10, от 20:80 до 80:20, от 30:70 до 70:30 или от 40:60 до 60:40. Воплощением 4 является способ в соответствии с любым из воплощений 1-3, в котором дымовой газ, полученный на стадии (а), содержит от приблизительно 5% до приблизительно 18%, от приблизительно 10% до приблизительно 16%, или от приблизительно 13% до приблизительно 15% кислорода по объему. Воплощение 5 представляет собой способ по любому из Воплощений 1-4, в котором дымовой газ, полученный на стадии (а), имеет температуру от приблизительно 300°C до приблизительно 800°C, от приблизительно 350°C до приблизительно 700°C, или от приблизительно 400°C до приблизительно 650°C. Воплощение 6 представляет собой способ по любому из воплощений 1-5, в котором упомянутая смесь имеет температуру от приблизительно 300°C до приблизительно 800°C, от приблизительно 350°C до приблизительно 700°C или от приблизительно 400°C до приблизительно 650°C.

Воплощением 7 является система для парового крекинга потока углеводородов. Указанная система содержит (а) газовую турбину для сжигания топлива в присутствии сжатого воздуха с получением дымового газа, при этом указанный дымовой газ приводит в действие турбину для выработки электричества в присоединенном генераторе или совершения работы для обеспечения энергией присоединенного вращающегося оборудования; (б) теплообменник для подачи в него первой части дымового газа и окружающего воздуха, при этом окружающий воздух нагревается первой частью дымового газа с получением нагретого воздуха; и (с) установку парового крекинга, содержащую печь для проведения крекинга потока углеводородов, в которую подают топливо и смесь второй части дымового газа и указанного нагретого воздуха, причем указанная печь содержит радиантную секцию и конвекционную секцию. Воплощение 8 является системой в соответствии с воплощением 7, в которой давление воздуха, подлежащего подаче в теплообменник, повышается перед подачей в теплообменник. Воплощение 9 представляет собой систему в соответствии с любым из воплощений 7 или 8, которая дополнительно содержит средства увеличения содержания кислорода в дымовом газе или во второй части дымового газа. Воплощение 10 представляет собой систему по любому из воплощений 7-9, в которой теплообменник осуществляет дополнительную функцию, которая представляет собой по меньшей мере одно из предварительного нагрева исходного сырья, предварительного нагрева питающей воды котла и перегрева водяного пара. Воплощение 11 является системой в соответствии с любым из воплощений 7-10, которая дополнительно содержит байпасную выхлопную трубу для отвода части дымового газа из газовой турбины перед делением дымового газа на первую часть и вторую часть. Воплощение 12 представляет собой систему в соответствии с любым из воплощений 7-11, содержащую множество печей, при этом каждая из печей снабжается топливом и смесью из части дымового газа из газовой турбины и части нагретого воздуха из теплообменника. Воплощение 13 является системой в соответствии с любым из воплощений 7-12, которая содержит множество печей и соответствующее количество теплообменников, при этом каждая из печей снабжается топливом и смесью, образованной из части дымового газа из газовой турбины и нагретого воздуха из соответствующего теплообменника.

Другие задачи, признаки и преимущества настоящего изобретения будут понятны из приведенного ниже подробного описания, приложенных чертежей и примеров. Следует отметить, что изобретение относится ко всем возможным комбинациям раскрытых здесь признаков; предпочтительными, в частности, являются комбинации признаков, которые изложены в пунктах формулы. Таким образом, следует принимать во внимание, что в описании раскрыты все комбинации признаков, характеризующих состав, способ, систему в соответствии с изобретением; все комбинации признаков, характеризующих способ в соответствии с изобретением и все комбинации признаков, относящихся к системе в соответствии с изобретением, и признаки, относящиеся к способу в соответствии с изобретением. Следует понимать, что чертежи, подробное описание и примеры, хотя они и раскрывают определенные воплощения изобретения, приведены лишь в целях иллюстрации и не предназначены для ограничения изобретения. Кроме того, следует иметь в виду, что из этого подробного описания для специалистов в данной области техники будут очевидны изменения и модификации без выхода за пределы объема и сущности изобретения. В дополнительных воплощениях признаки конкретных воплощений могут быть скомбинированы с признаками других воплощений. Например, признаки одного воплощения могут быть скомбинированы с признаками любого другого воплощения. В дополнительных воплощениях описанные здесь конкретные воплощения могут быть дополнены дополнительными признаками.

#### **Краткое описание чертежей**

Преимущества настоящего изобретения станут очевидными для специалистов в данной области техники из последующего подробного описания изобретения, рассмотренного вместе с сопровождающими чертежами.

Фиг. 1 - графические зависимости, отражающие выделения теплоты из дымового газа в печи.

Фиг. 2 - схематическое изображение примера системы, содержащей печь, в которую подают топливо вместе с не нагретым воздухом горения.

Фиг. 3 - схематическое изображение примера системы, содержащей печь, в которую подают топливо вместе с предварительно нагретым воздухом горения.

Фиг. 4 - схематическое изображение примера системы, содержащей печь, в которую подают топливо вместе с предварительно нагретым воздухом горения.

Фиг. 5 - схематическое изображение примера системы, содержащей печь, в которую подают топливо вместе с предварительно нагретым воздухом горения в соответствии с изобретением.

Фиг. 6-9 - графическая зависимость, отражающая выделение теплоты, на которой отложена температура нагрева всех элементов конвекционной секции и дымового газа в зависимости от передаваемой теплоты.

Фиг. 10 - теплота, поглощаемая подогревателем сырья в конвекционной секции в соответствии с фиг. 6-9.

Фиг. 11 - схематическое изображение примера системы в соответствии с настоящим изобретением, в состав которой входит установка парового крекинга, содержащая печь, в которую подают топливо вместе с предварительно нагретым воздухом горения.

### **Осуществление изобретения**

В соответствии с изобретением формирование воздуха горения из смеси дымового газа и воздуха, нагретого дымовым газом, позволяет регулировать температуру и содержание кислорода воздуха горения, подаваемого в печь, что, в свою очередь, обеспечивает регулирование температуры горения в печи. Это с успехом позволяет оптимизировать потребление топлива, одновременно ограничивая образование NOx до приемлемого уровня.

Другое важное преимущество заключается в том, что изобретение обеспечивает регулирование потока дымового газа в конвекционную секцию независимо от условий проведения крекинга или количества теплоты, добавленной к воздуху горения перед сжиганием в печи. Изобретение позволяет изменять параметры проведения крекинга и/или предварительного нагрева воздуха горения без изменения передачи теплоты в конвекционной секции и наоборот, изменять передачу теплоты в конвекционной секции при отсутствии влияния этого изменения на условия проведения крекинга. Одно конкретное преимущество заключается в том, что предварительный нагрев воздуха горения с помощью горячего газа, выходящего из турбины, может быть использован без изменения производства водяного пара в печи. Это является преимуществом, когда большое количество водяного пара не требуется.

Массовое соотношение первой части и второй части может находиться в любом интервале, например, от 1:99 до 99:1, например, от 10:90 до 90:10, от 20:80 до 80:20, от 30:70 до 70:30 или от 40:60 до 60:40.

Топливом может быть подходящее топливо для реакции горения в присутствии воздуха, например, топливом может быть смесь углеводородов, такая как нефть, бензин, дизельное топливо, природный газ или топливный газ, который может быть получен в качестве побочного продукта на заводе по производству этилена. Например, топливный газ может содержать водород и метан. В определенных случаях топливным газом может быть синтез-газ, содержащий монооксид углерода и водород. Синтез-газ может быть получен при газификации угля или нефтепродуктов.

Дымовой газ, полученный в газовой турбине, может содержать кислород, диоксид углерода, водяной пар и несгоревшее топливо. Например, дымовой газ может содержать от приблизительно 5% до приблизительно 18%, от приблизительно 10% до приблизительно 16%, или от приблизительно 13% до приблизительно 15% кислорода по объему.

Дымовой газ, полученный в газовой турбине, может иметь температуру от приблизительно 300°C до приблизительно 800°C, от приблизительно 350°C до приблизительно 700°C, или от приблизительно 400°C до приблизительно 650°C. В определенных воплощениях температура дымового газа может быть увеличена, например, используя горелку, установленную в газоходе. Например, температура дымового газа может быть увеличена приблизительно до 850°C.

В теплообменнике теплота передается от первой части дымового газа воздуху.

Нагретый воздух, полученный в теплообменнике, может иметь температуру от 100°C до 800°C. Конечная температура зависит от температуры отработавшего газа газовой турбины и конструкции теплообменника.

В качестве печи предпочтительно используется для парового крекинга. Эта печь содержит радиантную секцию и конвекционную секцию. Топливо и воздух горения поступают в радиантную секцию, и топливо сгорает с достижением высокой температуры для парового крекинга. В радиантной секции печи может быть достигнута адиабатическая температура горения от 1600 до 2200°C, например, от 1800 до 2000°C.

В конвекционной секции обычно осуществляются предварительный нагрев исходного сырья, предварительный нагрев питающей воды для котла и перегрев водяного пара. Уменьшение второй части дымового газа (иногда называемое течением по обводному каналу) приводит к более высокой адиабатиче-

ской температуре горения, увеличению количества теплоты в радиантной секции и уменьшению располагаемого количества теплоты для ее утилизации в конвекционной секции. Соответственно, в некоторых воплощениях теплообменник, помимо функции нагрева воздуха, выполняет по меньшей мере одну дополнительную функцию, выбранную из предварительного нагрева исходного сырья, предварительного нагрева питающей воды для котла и перегрева водяного пара. Это, в частности, является полезным в ситуациях, в которых соотношение второй части потока к первой части потока дымового газа является малой величиной.

Предпочтительно система содержит средства регулирования количества первой части дымового газа, подлежащей подаче в теплообменник.

Предпочтительно система содержит средства регулирования количества второй части дымового газа, подлежащей смешению с нагретым воздухом.

Предпочтительно повышение давления окружающего воздуха, подлежащего подаче в теплообменник, перед подачей в теплообменник. Это позволяет преодолеть созданный теплообменником перепад давления. При этом становится возможным создание более компактной конструкции теплообменника с большей величиной перепада давления на стороне потока свежего воздуха. Для уменьшения перепада давления необходимо снижение скорости воздуха, что обуславливает необходимость увеличения диаметра трубопроводов, при этом их стоимость увеличивается. Если допускается некоторая величина перепада давления, скорости газа могут быть выше, и в этом случае для изготовления трубопроводов требуется меньше стали.

Система может дополнительно содержать средства увеличения содержания кислорода в дымовом газе или во второй части дымового газа.

В некоторых воплощениях система в соответствии с изобретением содержит байпасную выхлопную трубу для отвода части дымового газа из газовой турбины перед делением дымового газа на первую часть и вторую часть. Такое решение позволяет использовать газовую турбину для выработки электричества или совершения механической работы при желаемой нагрузке в периоды времени, когда установка парового крекинга не работает или работает с уменьшенной нагрузкой. Упомянутая байпасная выхлопная труба оборудована задвижкой и регулятором подачи воздуха для регулирования расхода воздуха, поступающего в байпасную выхлопную трубу.

В некоторых воплощениях система в соответствии с изобретением содержит множество печей, причем в каждую из печей подается топливо и смесь из части дымового газа из газовой турбины и части нагретого воздуха из теплообменника. В таких воплощениях дымовой газ из газовой турбины делят так, что часть дымового газа вводится в каждую из печей, а часть дымового газа поступает в теплообменник. Нагретый воздух из теплообменника делят так, что в каждую из печей подают часть нагретого воздуха.

В некоторых воплощениях система в соответствии с изобретением содержит множество печей и соответствующее количество теплообменников, при этом каждая из печей питается топливом и смесью части дымового газа из газовой турбины и нагретого воздуха из соответствующего теплообменника. В таких воплощениях дымовой газ газовой турбины делят так, что в каждую из печей подают часть дымового газа, и часть дымового газа вводится в каждый теплообменник. Нагретый воздух из соответствующего теплообменника направляется в соответствующую печь.

В соответствии с одним аспектом изобретения обеспечивается способ крекинга потока углеводородов в печи, осуществляемый с использованием системы, соответствующей изобретению.

Сырьевой поток углеводородов может содержать парафины, олефины, нафтены и/или ароматические соединения. Указанный сырьевой поток углеводородов может быть легким или тяжелым, т.е. может иметь температуру кипения от приблизительно 30°C до приблизительно 500°C. Сырьевым потоком углеводородов может быть также газ, содержащий этан, пропан и/или бутан. Помимо этого, сырьевым потоком углеводородов может быть гидропарафин из установки гидроочистки или установки гидрокрекинга, именуемый также непереработанной нефтью или кубовым остатком установки гидрокрекинга. В определенных воплощениях сырьевым потоком может быть поток углеводородов, богатый олефинами, парафинами, изопарафинами и/или нафтенами. Сырьевой поток может дополнительно содержать ароматические соединения в количестве приблизительно до 30 мас.%. В определенных воплощениях исходное сырье может содержать олефины в количестве от приблизительно 0 мас.% до приблизительно 30 мас.% и/или n-парафины от приблизительно 0 мас.% до приблизительно 100 мас.% и/или изопарафины от приблизительно 0 мас.% до приблизительно 100 мас.% и/или ароматические соединения в количестве от приблизительно 0 мас.% до приблизительно 30 мас.%. Исходное углеводородное сырье может быть получено из различных источников, например, из конденсатов природного газа, нефтяных дистиллятов, дистиллятов каменноугольной смолы, торфа и/или возобновляемого источника. Например, исходное углеводородное сырье может содержать легкую нефть, тяжелую нефть, нефть прямогонную, неочищенную нефть, гидроочищенную нефть, нефть, получаемую на установке замедленного коксования, нефть из установки гидрокрекинга, газоконденсаты, мазут, полученный при коксовании, и/или газойли коксования, например, легкий газойль коксования и тяжелый газойль коксования. Кроме того, исходное углеводородное сырье, например, может содержать углеводородный продукт, полученный в результате синтеза синтетического газа, например, при осуществлении синтеза Фишера-Тропша и/или газификации углеводородно-

го материала.

Поток исходного углеводородного сырья подвергают (паровому) крекингу с получением потока продукта. Например, указанный поток углеводородного сырья может быть подвергнут паровому крекингу в радиантной секции печи парового крекинга. Поток сырья может быть подвергнут паровому крекингу, когда он выходит из выпуска реакционной трубы при температуре от приблизительно 600°C до приблизительно 1000°C, от приблизительно 700°C до приблизительно 900°C или от приблизительно 750°C до приблизительно 850°C.

Поток продукта может содержать продукты (парового) крекинга. Например, поток продукта может содержать различные алкены, например, легкие олефины, такие как этилен. Поток продукта может дополнительно содержать другие олефины, например, пропилен и бутен, парафины, например, метан, этан, пропан и бутан, диены, например, бутадиен и/или алкины, например, ацетилен, метилацетилен и винилацетилен. В определенных воплощениях поток продукта может дополнительно содержать другие компоненты, например, водород, монооксид углерода, диоксид углерода, сульфид водорода, бензол, толуол, ксилолы, этилбензол, стирол, пиролизный бензин и/или пиролизное масло.

Изобретение ниже поясняется более подробно со ссылками на чертежи.

На фиг. 1 представлены графические зависимости, отражающие выделение теплоты дымовым газом в печи в соответствии с воплощениями системы, иллюстрируемыми на фиг. 2, 3 и 4. Во всех случаях печь имеет одинаковые требуемые количества тепла (154 МВт) в радиантной секции.

На фиг. 2 схематически представлен пример системы, содержащей печь, в которую подают топливо вместе с не нагретым воздухом горения. В печь поступает топливо (104) и окружающий воздух (105). Топливо (104) представляет собой чистый метан. Окружающий воздух имеет температуру 32°C и концентрацию кислорода 21 об.%. Топливо (104) сжигается вместе с воздухом (105) окружающей среды. Если теплота сгорания топлива не может быть отведена сразу же за счет излучения, адиабатическая температура горения может быть достигнута в радиантной секции в позиции 101, где будет выделяться тепловая энергия (154 МВт). Дымовые газы выходят из радиантной секции с температурой 1200°C (102), и дополнительно теплота отводится путем рекуперации в конвекционной секции (103). Дымовые газы выходят из этой секции с температурой 120°C (106). Содержание кислорода в этом дымовом газе составляет 2 мол.%.  
 Соответствующий тепловой и материальный баланс приведен в табл. 1 и использован для построения графической зависимости на фиг. 1. Рассмотренному примеру системы на фиг. 1 соответствует линия с промежуточным уровнем наклона (значки в виде треугольника). Температура в начале радиантной секции составляет 1850°C, выделение теплоты в конвекционной секции соответствует 379 МВт.

Таблица 1

Номер потока		101	102	104	105	106
Давление	бар <sub>a</sub>	1	1	1	1	1
Температура	°C	1850	1200	32	32	120
Массовый расход	кг/ч	581	581	553	28	581
Объемный расход	м <sup>3</sup> /ч	3685	2557	485	22	682
Массовая энтальпия	кДж/кг	-534	-1488	-324	-4632	-2881
Мольное содержание компонента						
CO <sub>2</sub>	-/-	0,084	0,084	0,000	0,000	0,084
H <sub>2</sub> O	-/-	0,203	0,203	0,039	0,000	0,203
O <sub>2</sub>	-/-	0,020	0,020	0,205	0,000	0,020
N <sub>2</sub>	-/-	0,685	0,685	0,747	0,000	0,685
AR	-/-	0,008	0,008	0,009	0,000	0,008
CH <sub>4</sub>	-/-	0,000	0,000	0,000	1,000	0,000
H <sub>2</sub>	-/-	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000

Следует отметить, что температура, приведенная для потока 101, в действительности, не достигается. Эта температура - так называемая адиабатическая температура горения.

На фиг. 3 схематически представлен пример системы, содержащей печь, в которую подают топливо вместе с предварительно нагретым воздухом горения. В этом примере воздухом горения (404) служит воздух окружающей среды, который нагрет дымовым газом (414) из газовой турбины (428). Воздух горения (404), подаваемый в печь, имеет более высокую температуру, чем воздух горения, в примере, иллюстрируемом на фиг. 2, а содержание кислорода в нем такое же.

В этом примере воздух (407) окружающей среды сжимают в компрессоре (408) с получением сжатого воздуха (409) и затем нагревают в камере (410) сгорания, где сжигается топливо (411), в результате чего получают горячий сжатый дымовой газ (412), который расширяют с получением механической работы в турбодетандере (413). Работа, полученная в турбодетандере (413), используется для привода компрессора (408) и генератора (423), которые механически присоединены на одном и том же валу (427). Вышеуказанное взаимное расположение компонентов обычно реализуется в одном блочном агрегате, который именуется газотурбинным генератором (блочно-модульный агрегат) (428), который производит

горячие отработавшие газы (414) турбины и вырабатывает электричество (424). Горячие отработавшие газы (414) из турбодетандера (413) охлаждаются в теплообменнике (419) и выходят из этого устройства в виде потока 421. Теплота отработавших газов используется для предварительного нагрева воздуха (420), который используется как предварительно нагретый воздух (404) горения, направляемый в печь крекинга. Воздух (404) смешивается с топливом (405) и сжигается в горелке для обеспечения теплоты, используемой в радиантной секции печи парового крекинга. Поскольку теплообменник (419) обуславливает создание некоторого перепада давления от потока (420) до потока (404), используется воздушный компрессор (426) для преодоления этого перепада давления за счет повышения в достаточной степени давления воздуха (425) окружающей среды.

Соответствующий тепловой и материальный баланс приведен в табл. 2 и используется для построения на фиг. 1 графической зависимости. На фиг. 1 рассмотренному примеру системы соответствует линия с самым крутым наклоном (значки "X").

Таблица 2

Номер потока	401	402	404	405	406	407	409	411	412	414	420	421	422
Давление, бара	1	1	1	30	1	1	20	30	20	1	1	1	1
Температура, °С	2158	1200	495	32	120	32	458	32	1180	558	32	120	495
Массовый расход, кг/час	391	391	372	19	391	365	365	7	372	372	372	372	372
Объемный расход, м <sup>3</sup> /час	2837	1719	821	1	458	320	39	0	80	761	326	360	821
Массовая энтальпия кДж/кг	-68	-1488	169	-4662	-2881	-324	128	-4662	39	-741	-324	-1233	169
Мольное содержание компонента													
CO <sub>2</sub>	0,084	0,084	0,000	0,000	0,084	0,000	0,000	0,000	0,032	0,032	0,000	0,032	0,000
H <sub>2</sub> O	0,203	0,203	0,039	0,000	0,203	0,039	0,039	0,000	0,103	0,103	0,039	0,103	0,039
O <sub>2</sub>	0,020	0,020	0,205	0,000	0,020	0,205	0,205	0,000	0,133	0,133	0,205	0,133	0,205
N <sub>2</sub>	0,685	0,685	0,747	0,000	0,685	0,747	0,747	0,000	0,723	0,723	0,747	0,723	0,747
AR	0,008	0,008	0,009	0,000	0,008	0,009	0,009	0,000	0,009	0,009	0,009	0,009	0,0090
CH <sub>4</sub>	0,000	0,000	0,000	0,000	1,000	0,000	0,000	0,000	1,000	0,000	0,000	0,000	0,000
H <sub>2</sub>	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000

Следует отметить, что указанная для номера потока 401 температура в действительности не достигается. Эта температура - так называемая адиабатическая температура горения.

Благодаря высокой температуре воздуха горения, подаваемого в печь, предложенное решение позволяет обеспечить значительную экономию топлива, но при этом более высокие температуры горения. Более высокие температуры горения обуславливают образование большего количества NOx. Хотя в действительности такая температура не достигается, адиабатическая температура горения представляет собой относительно легко вычисляемый показатель. В данном случае - это температура 2158°С потока 401, в то же время в базовом случае она составляла 1850°С (поток (101)). Выделение теплоты в конвекционной секции меньше, чем в примере на фиг. 2, и составляет 305 МВт. В том случае, если в качестве возможного варианта принимается во внимание этот способ предварительного нагрева воздуха горения, располагаемая теплота может быть намного меньшей, в результате чего возможны слишком низкие температуры водяного пара, слишком ограниченное испарение исходного сырья или слишком низкая температура предварительного нагрева перед подачей смешанного сырья в трубу реактора.

На фиг. 4 схематически показан пример системы, содержащей печь, в которую подают топливо вместе с предварительно нагретым воздухом горения. В этом примере в качестве воздуха горения используется дымовая газ из газовой турбины. Воздух горения, подлежащий подаче в печь, имеет более высокую температуру, чем воздух горения в примере, иллюстрируемом на фиг. 2 и фиг. 3, однако содержание кислорода в нем более низкое (13,3 об.%). Некоторое количество свежего окружающего воздуха может быть смешано с этим (не показано) воздухом горения для увеличения содержания кислорода в потоке 304.

Соответствующий тепловой и материальный баланс приведен в табл. 3 и использован для построения на фиг. 1 графической зависимости. На фиг. 1 этому примеру соответствует линия с наименее крутым наклоном (значки в виде квадратов).

Таблица 3. Тепловой и материальный баланс для системы на фиг. 4

Номер потока	301	302	304	305	306	307	309	311	312	314
Давление, бар <sub>a</sub>	1	1	1	30	1	1	20	30	20	1
Температура, °C	1629	1200	558	32	120	32	458	32	1180	558
Массовый расход, кг/час	888	888	861	28	88	845	845	16	861	861
Объемный расход, м <sup>3</sup> /час	5046	3907	2088	1	1042	741	90	1	186	1762
Массовая энтальпия кДж/кг	-862	-1486	-740	-4662	-2879	-324	128	-4662	39	-741
Мольное содержание компонента										
CO <sub>2</sub>	0,084	0,084	0,032	0,000	0,084	0,000	0,000	0,000	0,032	0,032
H <sub>2</sub> O	0,203	0,203	0,103	0,000	0,203	0,039	0,039	0,000	0,103	0,103
O <sub>2</sub>	0,020	0,020	0,133	0,000	0,020	0,205	0,205	0,000	0,133	0,133
N <sub>2</sub>	0,685	0,685	0,723	0,000	0,685	0,747	0,747	0,000	0,723	0,723
AR	0,008	0,008	0,009	0,000	0,008	0,009	0,009	0,000	0,009	0,009
CH <sub>4</sub>	0,000	0,000	0,000	1,000	0,000	0,000	0,000	1,000	0,000	0,000
H <sub>2</sub>	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000

Следует отметить, что указанная для номера потока 301 температура фактически не достигается. Эта температура - так называемая адиабатическая температура горения.

Основной недостаток рассмотренной системы заключается в том, что она позволяет экономить в горелках небольшое количество топлива. Вследствие более низкого содержания кислорода в воздухе горения, подводимого к горелкам, адиабатическая температура горения в радиантной секции будет более низкой (1629°C). Выделение теплоты в радиантной секции на единицу расходуемого воздуха в этом случае уменьшается. Чтобы выделение теплоты в радиантной секции не уменьшалось, необходим более высокий расход дымового газа. Повышение расхода дымового газа приводит к большему выделению теплоты в конвекционной секции печи (498 МВт).

Изменение теплового баланса в конвекционной секции делает описанные способы интегрирования газовой турбины в установку парового крекинга затруднительными для модернизации существующих печей в соответствии с этими решениями.

На фиг. 5 схематически показана система в соответствии с изобретением. В состав системы включен газотурбинный генератор для сжигания воздуха и топлива для выработки электрической энергии. Газотурбинный генератор содержит компрессор (208), камеру (210) сгорания и турбину (турбодетандер) (213). Компрессор и турбина работают установленными на одном валу (227).

Окружающий воздух (207) сжимается в компрессоре (208) с получением сжатого воздуха (209) и затем нагревается в камере (210) сгорания, в которой сжигается топливо (211), в результате чего образуется горячий сжатый дымовой газ (212), который расширяется для получения работы в турбодетандере (213). Работа, полученная в турбодетандере (213), используется для привода в действие компрессора (208) и генератора (223), которые механически присоединены на одном и том же валу (227). Описанное выше взаимное расположение компонентов обычно реализуется в одном блочном агрегате, который именуется газотурбинным генератором (блочно-модульным агрегатом) (228), который производит горячие отработавшие газы (214) (= дымовой газ (212)) турбины и вырабатывает электричество (224). Дымовой газ (214) представляет собой смесь продуктов сгорания и избыточного воздуха, оставшегося от реакции горения, протекающей в газовой турбине (228). Горячий дымовой газ (214) из турбодетандера (213) делит на поток 215 и поток 216. В рассматриваемом воплощении система содержит байпасную выхлопную трубу для отвода части (229) дымового газа (214) перед делением дымового газа (214) на первую часть (215) и вторую часть (216). Поток 216 направляется в теплообменник (219), в котором теплота от горячего дымового газа (216) передается свежему воздуху (220), выходящему из этого теплообменника с повышенной температурой (222). Поток (215) представляет собой часть отработавших газов газовой турбины, направленная по обводному трубопроводу и затем смешанная с потоком 222 с образованием смеси (204) с предварительно нагретым воздухом горения. Поскольку теплообменник (219) создает некоторую величину перепада давления между потоком 220 и 204, используется воздушный компрессор (226) для преодоления этого перепада давления за счет повышения в достаточной степени давления окружающего воздуха (225).

Если соотношение потоков 215 и 216 для определенного режима работы газовой турбины и определенных параметров окружающего воздуха, конструкции теплообменника (219) и т.п. регулируются, при желаемом сочетании температуры потока 204 и содержания в нем кислорода, нагревателем крекинга можно управлять точно также, как и в том случае, если интегрирование газовой турбины не осуществляется (см., например, фиг. 2), но с более низким потреблением топлива горелками.

Горячие дымовые газы, полученные в результате сжигания смеси потоков 204 и 205, обеспечивают тепло, необходимое для реакции парового крекинга, протекающей в реакционных трубах в печи крекинга. При этом горячие газы охлаждаются и выходят из радиантной секции на участке 202, где может быть

измерена температура так называемой перевальной стенки печи, и поток дымовых газов поступает в конвекционную секцию, в которой происходит утилизация тепла этих газов. Обычно за счет передачи тепла происходит предварительный нагрев углеводородного сырья и водяного пара, подаваемых в реактор, а также подогрев питающей воды для котла и перегрев водяного пара сверхвысокого давления. Однако возможны также и другие пути утилизации тепла. Соответствующие данные в отношении теплового и материального баланса приведены в табл. 4

Таблица 4

Номер потока	201	202	204	205	206	207	209	211	212	215	216	221	222
Давление, бара	1	1	1	30	1	1	20	30	20	1	1	1	1
Температура, °С	1849	1200	533	32	120	32	458	32	1180	558	558	120	495
Массовый расход, кг/час	582	582	560	22	582	550	550	10	560	331	229	229	229
Объемный расход, м <sup>3</sup> /час	3688	2560	1309	1	682	482	59	1	121	678	468	221	505
Массовая энтальпия кДж/кг	-534	-1488	-369	-4662	-2879	-324	128	-4662	39	-741	-741	-1233	169
Мольное содержание компонента													
CO <sub>2</sub>	0,084	0,084	0,019	0,000	0,084	0,000	0,000	0,000	0,032	0,032	0,032	0,032	0,000
H <sub>2</sub> O	0,203	0,203	0,077	0,000	0,203	0,039	0,039	0,000	0,103	0,103	0,103	0,103	0,039
O <sub>2</sub>	0,020	0,020	0,162	0,000	0,020	0,205	0,205	0,000	0,133	0,133	0,133	0,133	0,205
N <sub>2</sub>	0,685	0,685	0,733	0,000	0,685	0,747	0,747	0,000	0,723	0,723	0,723	0,723	0,747
AR	0,008	0,008	0,009	0,000	0,008	0,009	0,009	0,000	0,009	0,009	0,009	0,009	0,009
CH <sub>4</sub>	0,000	0,000	0,000	1,000	0,000	0,000	0,000	1,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
H <sub>2</sub>	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000

Из табл. 4 можно видеть, что за счет байпасирования части ( $331/560 = 59\%$ ) потока из газовой турбины в обход теплообменника 219 в точке 201 достигается такая же адиабатическая температура горения 1849°С, как и в точке 101 на фиг. 2 (разность составляет лишь 1°С).

Исходя из этого, можно понять, что способ в соответствии с изобретением обеспечивает регулирование температуры и содержания кислорода в воздухе горения, подаваемом в печь, что в свою очередь, позволяет регулировать температуру горения в печи. Это обеспечивает оптимизацию потребления топлива при одновременном ограничении образования NOx до допустимого уровня.

Из табл. 5, кроме того, видно, что желаемая адиабатическая температура горения может быть получена за счет варьирования температуры отработавших газов турбины и соотношения первого потока и второго потока. Можно понять, что увеличение потока (215) в обводном канале повышает адиабатическую температуру горения.

Таблица 5

Ситуация	0	1	2	3
Температура отработавшего газа (214) турбины, °С	558	770	350	255
Мольная фракция компонента в отходящем газе (214) турбины				
CO <sub>2</sub>	0,032	0,049	0,049	0,010
H <sub>2</sub> O	0,103	0,134	0,134	0,059
O <sub>2</sub>	0,133	0,098	0,098	0,182
N <sub>2</sub>	0,723	0,711	0,711	0,740
AR	0,009	0,009	0,009	0,009
CH <sub>4</sub>	0,000	0,000	0,000	0,000
H <sub>2</sub>	0,000	0,000	0,000	0,000
Соотношение потоков относительно потока 215	0,59	0,59	0,20	0,69
Соотношение потоков относительно потока 216	0,41	0,41	0,80	0,31
Температура 222	495	733	279	170
Температура 204	533	756	294	229
Адиабатическая температура пламени (201), °С	1849	1852	1849	1851

### Примеры

Осуществлено точное моделирование процесса парового крекинга в печи с расходом углеводородного сырья 45 т/час при соотношении водяной пар/нефтепродукт равном 0,4. В печи установлены подовые горелки и горелки на боковой стенке печи, где 80% подводимого тепла обеспечивают подовые горелки и 20% - горелки на стенках печи. Температура окружающего воздуха составляет 32°С, относительная влажность 100%. Моделирование осуществляется с использованием программного обеспечения Ruptec EFPS (версия 6).

Смоделировано четыре ситуации.

Ситуация 0 - базовый вариант (соответствует фиг. 2). Печь работает при отсутствии какого-либо

вида предварительно нагретого воздуха в проектной конфигурации и в расчетных условиях.

Ситуация 1. Печь работает с предварительным нагревом воздуха только для подовых горелок, используя систему, иллюстрируемую на фиг. 3. Отработавшие газы газовой турбины используются для предварительного нагрева окружающего воздуха до температуры 495°C.

Ситуация 2. Печь работает с предварительным нагревом воздуха только для подовых горелок, используя систему, иллюстрируемую на фиг. 5 (в соответствии с изобретением). Газ имеет состав, соответствующий потоку 204 табл. 4, и температуру 533°C.

Ситуация 3. Печь работает с предварительным нагревом воздуха для подовых горелок и горелок, установленных на боковой стенке печи, при этом используется система, иллюстрируемая на фиг. 5 (в соответствии с изобретением). Газ имеет состав, соответствующий составу потока 204 в табл. 4, и температуру 533°C.

Конвекционная секция печи содержит перечисленные ниже элементы (в направлении сверху вниз).

FPH - подогреватель сырья, осуществляет нагрев и частичное испарение углеводородного исходного сырья.

ECO - экономайзер, подогревает питающую воду котла перед ее подачей в паровой барабан.

UMP - верхний подогреватель смеси, нагревает смесь, состоящую из углеводородного исходного сырья, поступающего из FPH, и водяного пара разбавления.

SSH1 - осуществляет перегрев водяного пара из парового барабана.

SSH2 - дополнительно перегревает водяной пар, выходящий из SSH1, и гасит до желаемых параметров.

LMP - нижний подогреватель смеси, дополнительно подогревает указанную смесь, выходящую из UMP перед ее направлением в реакционные трубы.

Данные по теплопередаче в конвекционной секции для всех ситуаций представлены в виде графических зависимостей, отражающих выделение теплоты (QT-диаграммы), на которых отложена температура всех элементов конвекционной секции и температура дымового газа в зависимости от переданной теплоты. Эти графические зависимости представлены на фиг. 6 (ситуация 0), фиг. 7 (ситуация 1), фиг. 8 (ситуация 2) и фиг. 9 (ситуация 3).

Из графических зависимостей для выделения теплоты/QT-диаграмм, представленных на фиг. 6-9, видно, что в ситуациях 0, 2 и 3 выделение теплоты в целом весьма сходное: полная тепловая нагрузка составляет 39-40 МВт, и температура на выходе из LMP немного превышает 600°C. Однако для ситуации 1 полная тепловая нагрузка значительно меньше (36 МВт), а температура на выходе из LMP значительно ниже 600°C.

Данные по тепловой нагрузке перечисленных выше элементов конвекционной секции обобщены в табл. 6. Из табл. 6 видно, что элементы, расположенные выше в конвекционной секции (FPH, ECO и UMP), в ситуации 1 в значительной степени подвержены негативному влиянию условий работы печи. Это применимо, в частности, к подогревателю FPH, в котором к исходному сырью подводится на 37% меньше количество теплоты  $[(6,8-4,3)/6,8 \times 100\% = 37\%]$  по сравнению с ситуациями 2 и 3, соответствующими изобретению.

Таблица 6. Расчетные тепловые нагрузки (МВт) для элементов, размещенных в конвекционной секции

Элемент секции	FPH	ECO	UMP	SSH1	SSH2	LMP	Общая нагрузка
Ситуация 0	6,8	2,5	8,3	5,8	3,2	13,8	40,4
Ситуация 1	4,3	1,6	7,7	4,5	2,4	13,4	33,8
Ситуация 2	6,2	2,3	8,1	5,5	3,0	13,6	38,7
Ситуация 3	6,2	2,3	8,2	5,6	3,1	13,8	39,2

Дополнительные данные для радиантной секции печи приведены в табл. 7.

Таблица 7. Данные по рабочим параметрам радиантной секции печи

		Ситуация 0	Ситуация 1	Ситуация 2	Ситуация 3
Теплота сгоревшего топлива (низкая теплота сгорания (LHV))	МВт	77,4	63,6	63,0	60,5
Выделившаяся теплота (LHV+физическая теплота)	МВт	77,6	73,4	76,5	76,6
Поглощенная теплота в радиантной секции	МВт	31,2	35,5	32,2	31,9
Поглощенная теплота в конвекционной секции	МВт	40,4	33,8	38,7	39,2
Максимальная температура излучающего газа	°С	1348	1425	1367	1358
Максимальная температура металла труб	°С	980	1007	987	983
Содержание кислорода в дымовом газе	объем. %	2,1	2,1	1,8	1,7

Из табл. 7 видно, что ситуация 3 соответствует наибольшему уменьшению теплоты сгоревшего топлива (следовательно, существует наибольший потенциал экономии энергии), в то же время в ситуациях 2 и 3 имеет место весьма сходное функционирование радиантной секции с ситуацией 0 (базовая ситуация).

Ситуация 1 свидетельствует о более высокой максимальной температуре излучающего газа, что приводит к образованию большего количества NOx и более высокой температуре металла труб (ТМТ) реактора в начале рабочего цикла. Во время работы величина ТМТ будет увеличиваться в результате образования кокса в реакционных трубах. В случае достижения высоких температур ТМТ необходимо уменьшить тепловую мощность печи и удалить кокс. В ситуации 1 это будет происходить раньше, чем в ситуациях 2 и 3. Упомянутые ситуации 2 и 3 являются сходными по достижению одинаковой продолжительности цикла по сравнению с базовой ситуацией 0.

Другое преимущество способа в соответствии с изобретением заключается в том, что на тепловой баланс для конвекционной секции может оказывать влияние изменение степени байпасирования теплообменника 219. Теплота, поглощенная подогревателем FPH, представлена в виде графической зависимости на фиг. 10. Из этой фигуры видно, что наблюдаемая тепловая нагрузка FPH в ситуациях 1 и 2 различна. Однако путем регулирования потока, направляемого в обход теплообменника 219, может быть достигнут любой рабочий режим между ситуациями 3 и 1. Это является практически выгодным тем, что для различных видов исходного сырья, тем не менее, могут быть достигнуты желаемые температуры и интенсивности испарения.

На фиг. 11 схематически представлен пример воплощения системы, содержащей установку (600) парового крекинга, в которую подводится топливо (605) вместе с предварительно нагретым воздухом (604) горения. "Паровой крекинг" и установка парового крекинга представляют нефтехимический процесс, в котором насыщенные углеводороды расщепляются с образованием углеводородов с молекулами меньшей длины, в частности, алкенов, таких как этилен и пропилен. В процессе парового крекинга углеводородов исходное углеводородное сырье 690, например, газойль, нефтя, сжиженный нефтяной газ (СПГ) или этан разбавляются водяным паром (680) и быстро нагреваются в печи 640 установки (600) парового крекинга при отсутствии кислорода. Обычно температура реакции крекинга находится в интервале от 750 до 950°С, более предпочтительно от 800 до 900°С. Время пребывания в печи может составлять одну секунду или менее, или даже миллисекунды. После достижения температуры крекинга газ обычно быстро гасят, чтобы остановить реакцию в теплообменнике на линии транспортирования продукта или внутри коллектора гашения, используя гасящее масло. Продукты, полученные в ходе реакции, зависят от состава сырья, соотношения углеводород-водяной пар, от температуры крекинга и времени пребывания сырья в печи. Из легкого углеводородного сырья, такого как этан, сжиженные нефтяные газы или легкая нефтя, получают потоки продукта, богатые легкими олефинами полимерного сорта, включая этилен, пропилен и бутadiен. Из более тяжелых углеводородов (неочищенная и тяжелая нефтя и фракции газойля) также получают продукты, богатые ароматическими углеводородами. В рассматриваемом примере воздух (604) горения представляет собой окружающий воздух, который нагревается дымовым газом (614) из газовой турбины (628). Воздух (604) горения, подаваемый в печь, имеет более высокую температуру, чем воздух горения в примере, иллюстрируемом на фиг. 2, а содержание кислорода в нем такое же.

В этом воплощении окружающий воздух (607) сжимается в компрессоре (608) с получением сжатого воздуха (609) и затем нагревается в камере (610) сгорания, где сжигается топливо (611). В результате образуется горячий сжатый дымовой газ (612), который расширяется для совершения работы в турбодетандере (613). Механическая работа, полученная в турбодетандере, используется для привода в действие компрессора (608) и генератора (623), которые механически присоединены на одном и том же валу (627).

Описанное выше взаимное расположение компонентов обычно реализуется в одном блочном агрегате, который именуется газотурбинным генератором (блочно-модульный агрегат) (628), который производит горячие отработавшие газы (614) турбины и вырабатывает электричество (624). Горячие отработавшие газы (614) из турбодетандера (613) охлаждаются в теплообменнике (619) и выходят из этого устройства в виде потока (621). Теплота, отведенная в теплообменнике от горячих газов, используется для предварительного нагрева воздуха (604) горения, поступающего затем в печь парового крекинга, которая содержит радиантную секцию (601) и конвекционную секцию (602). Предварительно нагретый воздух (604) горения смешивается с топливом (605) и сжигается в горелке (650) в радиантной секции (601) печи (640) установки (600) парового крекинга для обеспечения тепла для радиантной секции (601) печи 640 парового крекинга. Печь (640) содержит также конвекционную секцию (603). Исходное сырье (690), подлежащее крекингу, поступающее в конвекционную секцию (603) печи парового крекинга, смешивается с водяным паром (680). Эта смесь может быть предварительно нагрета с использованием водяного пара (675) высокого давления перед подачей в радиантную секцию. Радиантная секция содержит несколько горелок, которые повышают температуру сырья приблизительно до 750-850°C, обеспечивая достаточно высокую температуру для проведения крекинга. После выхода из печи парового крекинга крекированные газы, при необходимости охлаждаются, чтобы предотвратить протекание других дополнительных реакций. Как отмечено выше, печь (640) образует конвекционную секцию (603) и радиантную зону (601) и соответственно в пределах каждой такой зоны размещены конвекционные трубчатые змеевики (698) и радиантные трубчатые змеевики (699).

Исходное углеводородное сырье или смесь водяного пара и углеводородного сырья транспортируется на вход (697) конвекционных труб (698) через трубопровод (692), который сообщается по текучей среде с конвекционными трубами (698). Сырье (690) проходит через трубы (698) печи (640) крекинга, в которой нагревается до температуры крекинга, чтобы инициировать крекинг этого сырья. Поток продукта крекинга из печи (692) крекинга проходит ниже по ходу потока через трубопровод (694) в сепаратор (696), в котором происходит разделение потока продукта крекинга на поток, содержащий алкены, и другие потоки.

Типичные величины избыточного давления в зоне крекинга обычно находятся в интервале приблизительно от 0 до приблизительно 100 фунт/кв.дюйм изб., и предпочтительно от 1 до 60 фунт/кв.дюйм изб.

Поскольку теплообменник (619) создает некоторый перепад давления между потоком (620) и потоком (604), для преодоления этого перепада давления используется воздушный компрессор (626), который в достаточной степени повышает давление окружающего воздуха (625).

#### ФОРМУЛА ИЗОБРЕТЕНИЯ

1. Способ парового крекинга потока углеводородов, включающий следующие стадии, на которых  
(а) осуществляют сжигание топлива в газовой турбине в присутствии сжатого воздуха с получением дымового газа, при этом указанный дымовой газ приводит в действие турбину для выработки электричества в присоединенном генераторе, или совершения работы для обеспечения энергией присоединенного вращающегося оборудования;

(b) осуществляют подачу первой части дымового газа в теплообменник;

(с) осуществляют подачу воздуха окружающей среды в указанный теплообменник для его нагревания указанной первой частью дымового газа с получением нагретого воздуха;

(d) осуществляют подачу в радиантную секцию печи установки парового крекинга топлива и смеси из второй части дымового газа и нагретого воздуха, полученного на стадии (с); и

(е) осуществляют подачу в конвекционную секцию печи установки парового крекинга сырьевого потока углеводородов через конвекционные змеевики в конвекционной секции печи в установке парового крекинга;

причем указанная печь установки парового крекинга содержит указанную радиантную секцию и указанную конвекционную секцию;

массовое соотношение между первой частью дымового газа и второй частью дымового газа составляет от 40:60 до 60:40;

дымовой газ, полученный на стадии (а), содержит от 13 до 15 об.% кислорода;

указанная смесь имеет температуру от 300 до 800°C; и

указанный сырьевой поток углеводородов предварительно нагревается в конвекционной секции печи и в радиантной секции печи.

2. Способ по п.1, дополнительно включающий в себя увеличение содержания кислорода в дымовом газе или во второй части дымового газа.

3. Способ по п.1 или 2, в котором дымовой газ, полученный на стадии (а), имеет температуру от 300 до 800°C.

4. Система для парового крекинга потока углеводородов с получением алкенов, предназначенная для осуществления способа по любому из пп.1-3, содержащая

(а) газовую турбину для сжигания топлива в присутствии сжатого воздуха с получением дымового

газа, при этом указанный дымовой газ приводит в действие турбину для выработки электричества в присоединенном генераторе или совершения работы для снабжения энергией присоединенного вращающегося оборудования;

(b) теплообменник для подачи в него первой части указанного дымового газа и окружающего воздуха, при этом окружающий воздух нагревается первой частью дымового газа с получением нагретого воздуха;

(c) установку парового крекинга, содержащую по меньшей мере одну печь для проведения крекинга потока углеводородов, причем указанная печь содержит радиантную секцию и конвекционную секцию, причем в указанную радиантную секцию подают топливо и смесь второй части указанного дымового газа и указанного нагретого воздуха, а в указанную конвекционную секцию подают поток углеводородов через конвекционные змеевики в конвекционной секции печи в установке парового крекинга; и

(d) средства для увеличения содержания кислорода в дымовом газе или во второй части дымового газа.

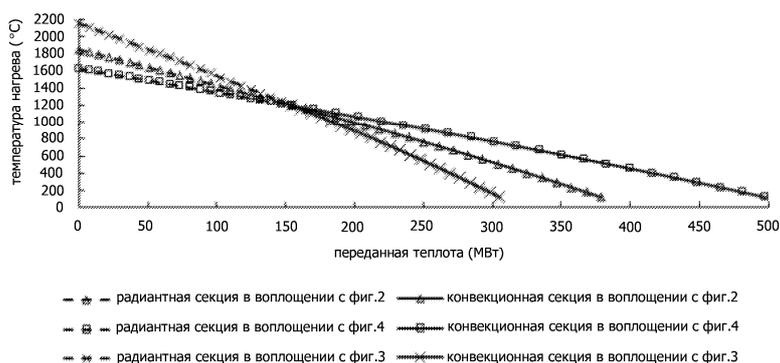
5. Система по п.4, в которой давление воздуха, подаваемого в теплообменник, повышено перед его подачей в упомянутый теплообменник.

6. Система по п.4 или 5, в которой теплообменник выполняет по меньшей мере одну дополнительную функцию, выбранную из предварительного нагрева сырья, предварительного нагрева питающей воды котла и перегрева водяного пара.

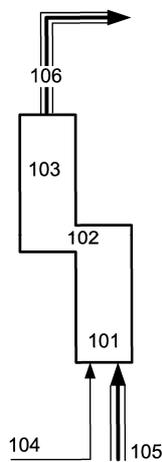
7. Система по п.4 или 5, которая дополнительно содержит байпасную выхлопную трубу для отвода части дымового газа из газовой турбины перед делением дымового газа на первую часть и вторую часть.

8. Система по п.4 или 5, которая содержит множество печей, при этом каждая из печей снабжается топливом и смесью из части дымового газа из газовой турбины и части нагретого воздуха из теплообменника.

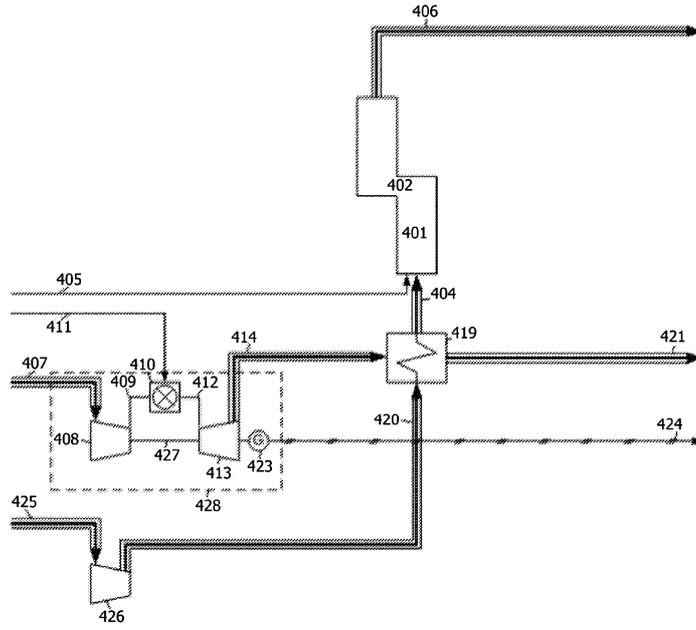
9. Система по п.4 или 5, которая содержит множество печей и соответствующее количество теплообменников, при этом каждая печь снабжается топливом и смесью из части дымового газа из газовой турбины и нагретого воздуха из соответствующего теплообменника.



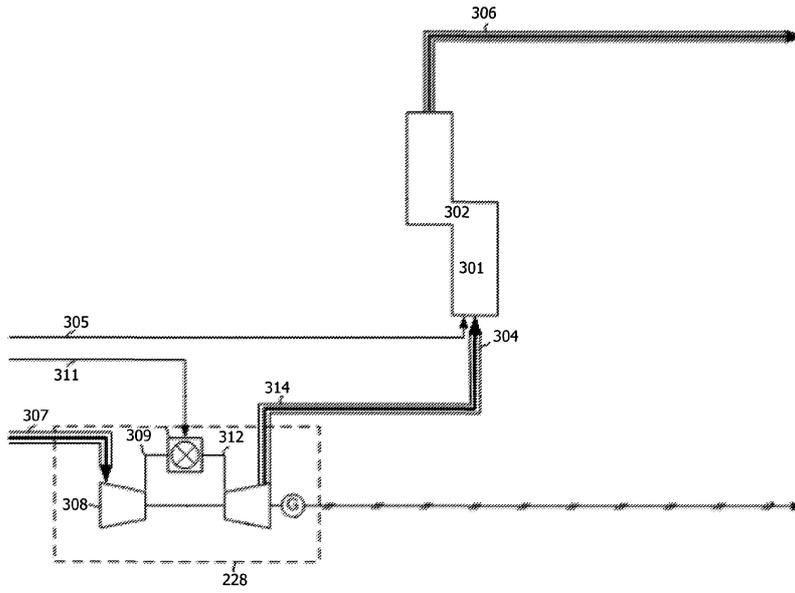
Фиг. 1



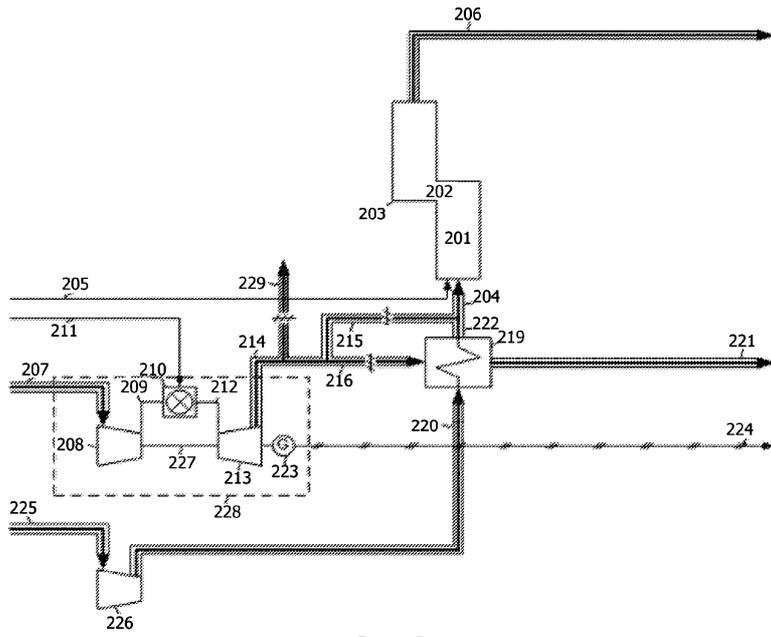
Фиг. 2



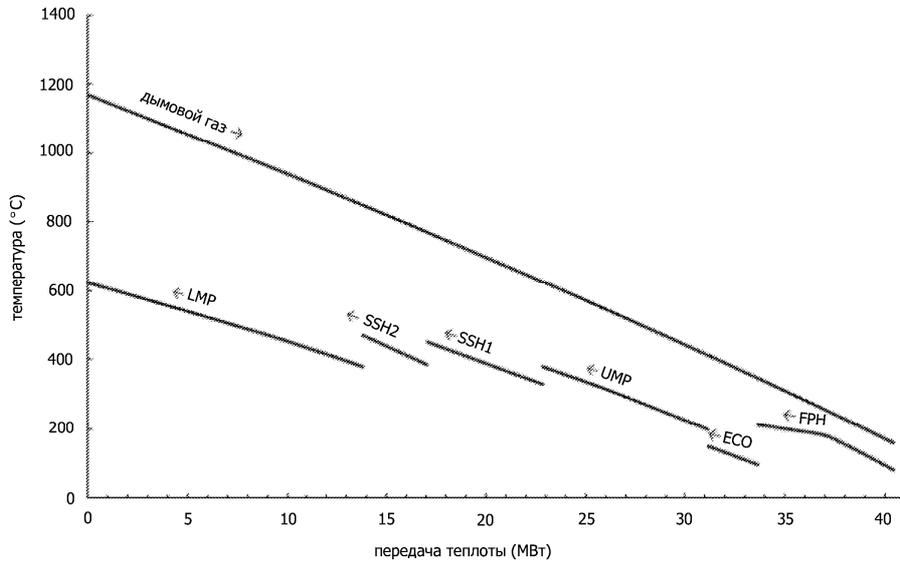
Фиг. 3



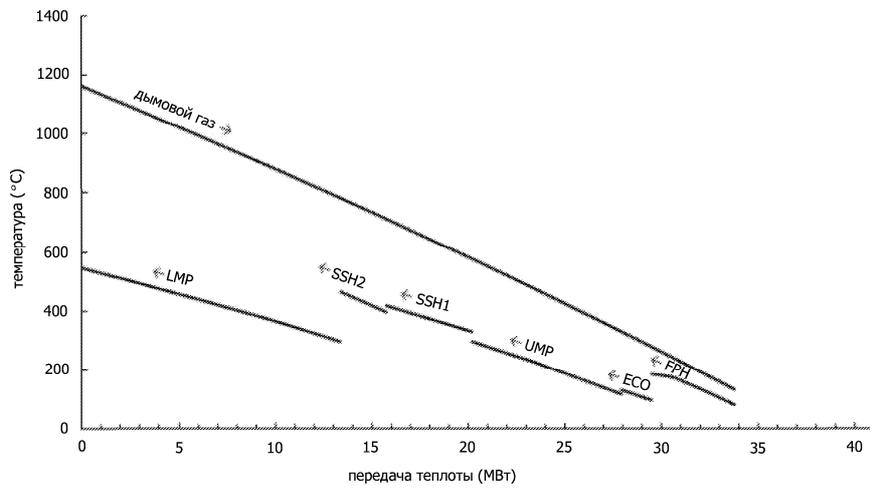
Фиг. 4



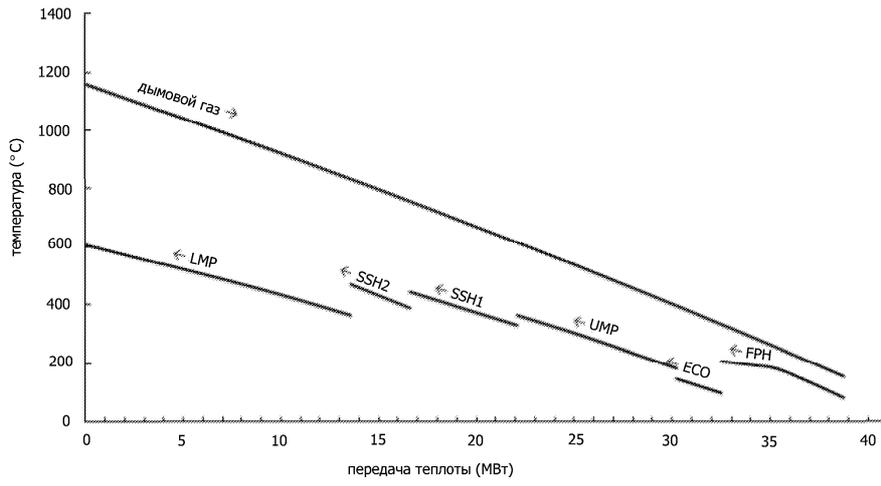
Фиг. 5



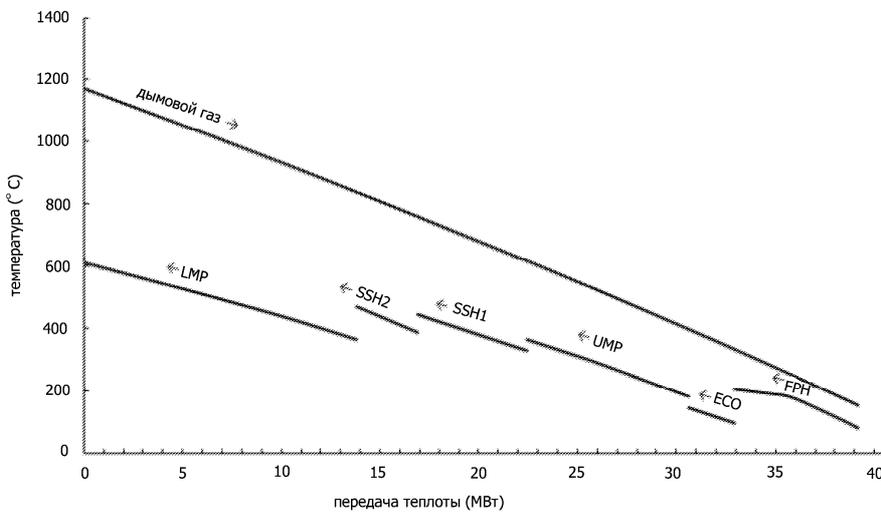
Фиг. 6



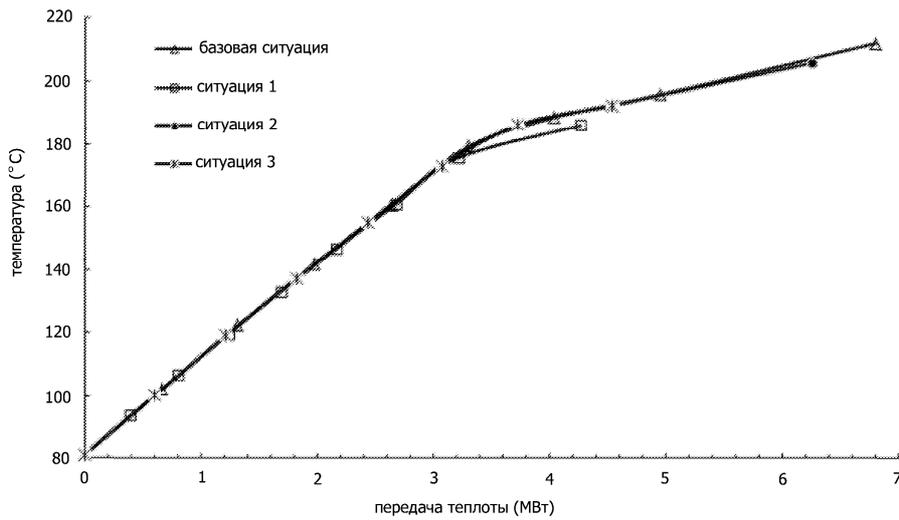
Фиг. 7



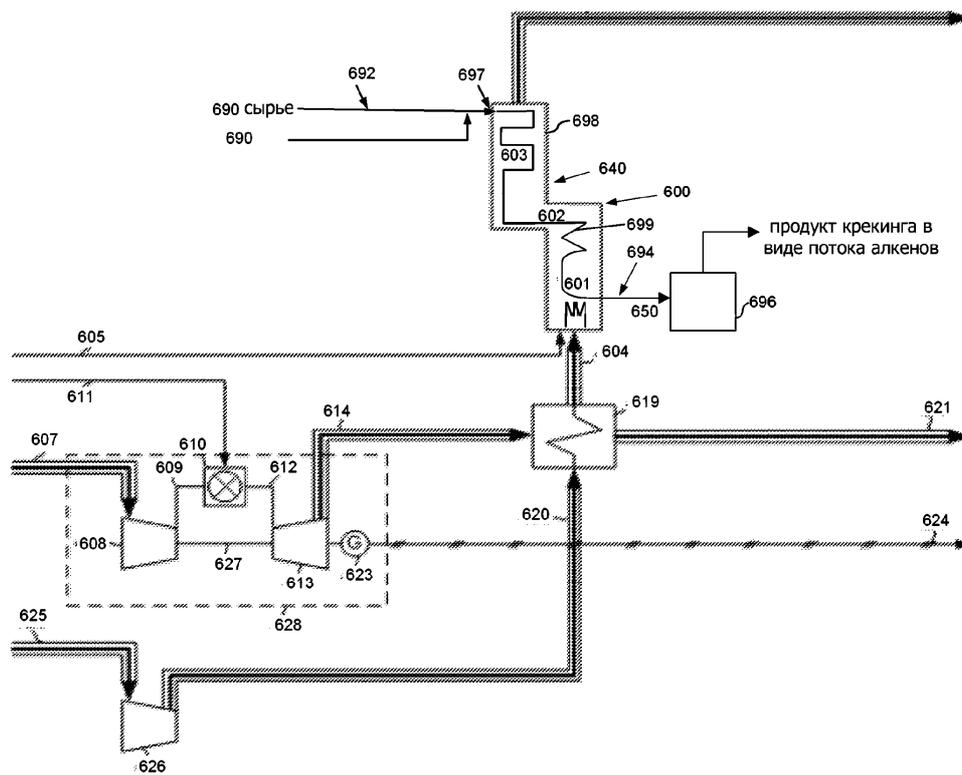
Фиг. 8



Фиг. 9



Фиг. 10



Фиг. 11

