

(19)



Евразийское
патентное
ведомство

(21) 201790123 (13) A1

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ЕВРАЗИЙСКОЙ ЗАЯВКЕ

(43) Дата публикации заявки
2017.06.30

(22) Дата подачи заявки
2014.07.03

(51) Int. Cl. *B01J 19/18* (2006.01)
C10G 3/00 (2006.01)
C10G 9/00 (2006.01)
B01J 3/08 (2006.01)
B06B 1/16 (2006.01)

(54) СПОСОБ ПИРОЛИЗА И РЕАКТОР ДЛЯ ЕГО ОСУЩЕСТВЛЕНИЯ

(86) PCT/FI2014/050552

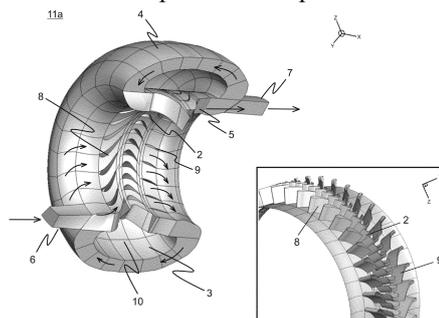
(87) WO 2016/001476 2016.01.07

(71) Заявитель:
КУЛБРУК ОЙ (FI)

(72) Изобретатель:
Сеппяля Юкка, Хильтунен Йюрки,
Пуrola Вели-Матти (FI)

(74) Представитель:
Хмара М.В., Рыбаков В.М., Липатова
И.И., Новоселова С.В., Дощечкина
В.В., Пантелеев А.С., Ильмер Е.Г.,
Осипов К.В. (RU)

(57) В изобретении представлен реактор (11a, 11b, 102) ударной волны для термического крекинга исходного углеводородного сырья, содержащий корпус (4), в котором сформирован проход (10), имеющий вход (6, 6a) и выход (7), а также ротор (1, 1a), на периферии которого находится осевая лопаточная решетка (2). Корпус, по существу, охватывает периферию ротора (1a) и статорные лопаточные решетки (8, 9), находящиеся внутри прохода, а указанные решетки (2, 8, 9) сконфигурированы с возможностью направлять поток, несущий исходное сырье, таким образом, чтобы он неоднократно проходил через указанные решетки, двигаясь по спиральной траектории в проходе между входом и выходом, и генерировать стационарные ударные волны, чтобы нагревать исходное сырье. Осевая роторная решетка (2) сконфигурирована с возможностью передавать потоку, несущему исходное сырье, кинетическую энергию и повышать его скорость, а по меньшей мере одна статорная лопаточная решетка (9) сконфигурирована с возможностью понижать скорость потока и преобразовывать кинетическую энергию в тепло. Реактор может быть сконфигурирован для осуществления процессов термического крекинга углеводородов. Вместе с тем, он может использоваться и для иных видов переработки исходного сырья на основе углеводородов и глицеридов, включая переработку газообразной биомассы. Предлагаются также и другие взаимосвязанные способы переработки исходных сырьевых материалов.



A1

201790123

201790123

A1

СПОСОБ ПИРОЛИЗА И РЕАКТОР ДЛЯ ЕГО ОСУЩЕСТВЛЕНИЯ

Область техники, к которой относится изобретение

5 Изобретение относится к области очистки нефти и нефтепродуктов, более конкретно, к реакторам для термического крекинга углеводородных соединений.

Предшествующий уровень техники

10 Крекинг-процессы традиционно использовались на нефтеперерабатывающих и нефтехимических заводах для преобразования потоков тяжелых углеводородов в более легкие углеводородные фракции. Хотя область очистки нефти и нефтепродуктов считается относящейся к хорошо развитым технологическим направлениям, имеющим глубокие корни, один из новых трендов в нефтехимической промышленности требует, чтобы любая развивающаяся технология отвечала двум главным условиям. Эти
15 условия могут быть кратко сформулированы, как энергосбережение и снижение расхода исходных материалов, извлекаемых из невозобновляющихся источников сырья. Эти же требования должны учитываться и при разработке одного из главных нефтехимических процессов – крупномасштабного производства олефинов с низким молекулярным весом (низкомолекулярных олефинов).

20 Низкомолекулярные олефины, такие как этилен, пропилен и бутилены, – это базовые продукты нефтехимической промышленности, которые являются сырьевыми продуктами при промышленном производстве пластиков, каучуков, полимеров, эластомеров и других синтетических материалов, а также волокон и покрытий. Существующая технология производства низкомолекулярных олефинов, включающая
25 пиролиз среднемолекулярных углеводородов, таких как нефть или газойли, и легких углеводородов, таких как пентаны, бутаны, пропан и этан, вплоть до легких, по существу, ненасыщенных полимеризуемых компонентов, в трубчатой печи, была разработана более полувека назад и едва ли отвечает современным требованиям экономически эффективного использования исходного сырья. У трубчатых печей
30 имеются ограничения при их использовании в процесс пиролиза: реакционная температура не может быть увеличена из-за ухудшения долговечности материала трубы, а также из-за физических пределов теплопереноса от стенок трубы к перерабатываемому газу. Это приводит к продолжительности пребывания исходного сырья в печи, неоптимальной для процесса. Недостаточная скорость нагрева
35 исходного сырья в трубчатых крекинг-печах приводит к увеличению длительности процесса пиролиза. Это обстоятельство приводит к ситуации, когда олефины,

образовавшиеся на начальных стадиях, остаются в печи реактора в течение времени, достаточно длительного для их вступления во вторичные реакции, очевидным последствием которых является потеря целевого продукта. При этом в состав вторичных продуктов входит также кокс, что создает проблемы теплопереноса в трубах и приводит к загрязнению оборудования, находящегося на последующих стадиях процесса. Традиционная технология не предлагает приемлемого решения для устранения вышеупомянутых проблем, поскольку скорости теплопереноса в излучающих секциях обычных пиролизных печей уже достигли своих технических пределов. Следует подчеркнуть, что в обычных трубчатых реакторах тепло переносится в реакционную зону через стенки реактора.

Кроме трубчатых печей, известны и другие варианты пиролизного оборудования. Они включают вращающиеся реакторы, имеющие роторные лопатки сложной конструкции. Затраты на изготовление и обслуживание такого оборудования выше, чем прибыли, которые когда-либо могли быть получены при его использовании.

Таким образом, традиционный процесс получения углеводородов с низким молекулярным весом посредством термического разложения сталкивается со следующими проблемами: 1. неудовлетворительные характеристики реакторов в виде трубчатой печи; 2. потери ценного исходного сырья; 3. длительные времена реакции; 4. высокие скорости вторичных реакций; 5. высокое энергопотребление; 6. неоптимальные (ниже возможных) выход продукта и селективность.

Сущность изобретения

Задача, решаемая изобретением, состоит в том, чтобы по меньшей мере ослабить перечисленные проблемы путем реализации нового способа термической, термохимической или каталитической термохимической переработки исходного сырья, в частности термического крекинга углеводородных соединений.

Данная задача решена созданием реактора типа лопаточной машины, пригодного для пиролиза исходного углеводородного сырья.

В одном варианте реактор со спиральным проходом содержит ротор, у которого имеются вал и диск с лопатками, образующими осевую роторную лопаточную решетку, неподвижный направляющий кольцевой обод, на котором могут быть закреплены по меньшей мере две статорные лопаточные решетки, примыкающие к осевой роторной решетке, и корпус. Наружная поверхность направляющего обода, находящегося внутри корпуса, совместно с внутренней поверхностью корпуса задает расположенный между ними проход. Альтернативно, по меньшей мере некоторые из статорных лопаточных

решеток могут находиться, например, на образующей стенку прохода внутренней поверхности корпуса. В меридиональном сечении проход имеет кольцевой профиль.

В проходе могут иметься несколько разделительных перегородок, расположенных таким образом, чтобы сформировать несколько рабочих камер, предпочтительно имеющих одинаковые размеры. Однако, если это целесообразно, возможны и другие варианты выполнения этих камер.

Реактор содержит по меньшей мере одну входную горловину (входной порт) для ввода потока исходного сырья и по меньшей мере одну выходную горловину (выходной порт) для вывода потока продукта. Желательно расположить входную горловину в направлении вращения ротора за каждой разделительной перегородкой, а выходную горловину – перед такой перегородкой. Входная и выходная горловины могут быть интегрированы в проход.

У реактора могут иметься первая и вторая статорные лопаточные решетки, расположенные по направлению потока соответственно перед осевой лопаточной решеткой и за ней. Статорные лопаточные решетки могут быть связаны с направляющим ободом. Эти решетки расположены так, что между точкой выхода из первой лопаточной решетки и точкой входа во вторую лопаточную решетку сформировано безлопаточное пространство.

В одном варианте реактор сконфигурирован таким образом, что все лопаточные решетки, т. е. обе статорные решетки и роторная решетка, расположены внутри прохода, по существу, смежно.

В некоторых вариантах трехмерная конфигурация всех решеток реактора обеспечивает возможность направлять поток, несущий исходное сырье, так, чтобы он неоднократно проходил через указанные решетки и безлопаточное пространство, двигаясь по спиральной траектории в проходе между входной и выходной горловинами, и последовательно генерировать стационарные ударные волны, чтобы нагревать поток исходного сырья в реакторе, вызывая термическое разложение (т. е. пиролиз) сырья. Таким образом, осевая роторная решетка сконфигурирована так, чтобы передавать потоку, несущему исходное сырье, кинетическую энергию и, тем самым, повышать его скорость, а статорная решетка, расположенная далее по направлению потока, сконфигурирована с возможностью понижать скорость рабочего потока и преобразовывать кинетическую энергию в тепло.

Все решетки и лопатки сконфигурированы так, чтобы обеспечить рабочему потоку возможность достижения сверхзвуковой скорости (т. е. скорости, превышающей скорость звука) на всех решетках, тогда как его скорость в безлопаточном пространстве внутри прохода остается дозвуковой.

В одном варианте рабочие лопатки осевой роторной решетки имеют профиль лопатки активной турбины и установлены так, что обращены своей вогнутой стороной в направлении вращения ротора.

5 В некоторых вариантах первая статорная лопаточная решетка содержит множество лопаток, имеющих изогнутый профиль и предпочтительно обращенных своей выпуклой стороной в направлении вращения ротора, тогда как вторая статорная лопаточная решетка содержит множество лопаток, имеющих изогнутый профиль лопаток сверхзвукового компрессора и предпочтительно также обращенных своей выпуклой стороной в направлении вращения ротора.

10 Согласно некоторым другим вариантам реактор сконфигурирован, как осевая компрессорная машина. Осевой реактор согласно этому варианту содержит удлиненный ротор, а множество роторных лопаток расположено по его длине в виде последовательных рядов с формированием осевой роторной решетки (осевых роторных решеток). Ротор заключен в корпус, на внутренней поверхности которого
15 находятся статорные лопаточные решетки, расположенные так, что лопатки роторной и статорных лопаточных решеток чередуются по длине ротора.

Различные варианты реактора приспособлены для переработки исходного сырья в форме текучей среды, предпочтительно газообразного исходного сырья.

В некоторых вариантах реактор приспособлен для переработки
20 кислородосодержащего исходного сырья, такого как исходное сырье на базе углеводов и глицеридов (например триглицеридов).

Еще в одном варианте реактор приспособлен для переработки исходного сырья на основе биомассы, предпочтительно полученного из целлюлозы, в частности из лигноцеллюлозы, подаваемого в реактор в газообразной форме.

25 Согласно другому аспекту изобретения предлагается реакторная установка, содержащая реактор по изобретению, связанный с приводным двигателем, устройством для рекуперации тепла или устройством гашения реакции.

Согласно следующему аспекту изобретения предлагается реакторный комплекс в форме пиролизной установки, который содержит по меньшей мере два реактора
30 согласно изобретению, соединенных последовательно или параллельно.

Согласно еще одному аспекту изобретения предлагается способ термического крекинга исходного углеводородного сырья с использованием варианта реактора, описанного выше.

Согласно дальнейшему аспекту изобретения предлагается способ
35 импортирования энергии для быстрой эндотермической реакции посредством ударных

волн, формируемых за счет механической энергии вращающихся лопаточных решеток описанного реактора.

Полезность изобретения обусловлена различными причинами, зависящими от особенностей каждого его конкретного варианта. Во-первых, реактор типа лопаточной машины, реализованный в соответствии с некоторыми вариантами, обеспечивает проведение нового крекинг-процесса при условиях, близких к режиму функционирования реактора идеального вытеснения. Таким образом, реактор типа лопаточной машины осуществляет новый способ пиролиза углеводородных соединений, особенно эффективный для получения углеводородных соединений с низким молекулярным весом. Основу конструкции реактора составляет высокоскоростной ротор, который преобразует механическую энергию внутри реактора в значительное количество тепловой энергии, так что реализуемый при этом процесс пиролиза отличается от обычной технологии термического крекинга способом передачи тепла в реакционную смесь. Тогда как в обычной трубчатой пиролизной печи тепло для осуществления пиролиза передается через трубчатую спиральную стенку, предлагаемый реактор сконфигурирован с возможностью генерировать тепло непосредственно внутри реакционной смеси.

Реакции разложения протекают в реакторе в результате нагрева, происходящего прямо в потоке, несущем исходное сырье, когда он проходит через серию стационарных ударных волн высокой интенсивности. Такой способ передачи тепла позволяет значительно понизить температуру стенок, ограничивающих реакционную зону. В результате появляется возможность преодолеть ограничения на скорость теплопередачи, типичные для обычной трубчатой печи. Время, в течение которого исходное газообразное сырье пребывает в реакционной зоне, соответствующей пространству, ограниченному статорными и роторной решетками, и безлопаточному пространству, является очень коротким (примерно 0,01 с или менее). Это примерно в 10 раз меньше, чем в обычной пиролизной печи. Как следствие, процесс становится лучше управляемым, чем обычный термический крекинг, хотя химические реакции остаются, по существу, теми же самыми. Выход желательных продуктов пиролиза увеличивается благодаря возможности понизить давление и сократить время пребывания газообразного исходного сырья в реакционной зоне, а также благодаря более однородному распределению температуры по сечению рабочего потока. Поскольку предлагаемый процесс характеризуется крайне высоким выходом основных продуктов, например таких как олефины, предложенную технологию можно, в первую очередь, рассматривать как следующий шаг в совершенствовании крекинг-процессов с целью получения дополнительной

прибавочной стоимости от меньшего количества исходного сырья, такого как нефть и газ. Промышленное применение описанных реакторов позволит обеспечить экономически более эффективную переработку сырьевых материалов, что положительно повлияет на эффективность и прибыльность нефтеперерабатывающих заводов.

Далее, разработка реактора типа лопаточной машины делает возможным решение проблемы коксообразования. Причиной уменьшения скорости коксообразования по сравнению с традиционной технологией является уменьшение длительности пребывания газообразного исходного сырья в реакционной зоне в сочетании со снижением температуры стационарных частей реактора (его стенок). Кроме того, сокращение длительности пребывания способствует повышению селективности реакций в сторону желательных продуктов.

Реактор по изобретению позволяет также перерабатывать различные варианты кислородосодержащего исходного сырья, например получаемого из материалов биологического происхождения. Поэтому другие возможные области применения предлагаемого реактора включают обработку биомассы или материала, полученного из биомассы, с целью получения возобновляемых топлив в таких процессах, как, например, прямая каталитическая гидрогенизация растительных масел (например соснового масла) или животных жиров в соответствующие алканы. Далее, с помощью предлагаемого реактора можно обеспечить валоризацию пиролизного газа, получаемого из биосырья, или синтезированного газа. Термин "валоризация" в данном контексте означает улучшение качества или очистку газообразного материала.

Альтернативно или дополнительно, реактор по изобретению может быть снабжен одной или более каталитическими поверхностями, чтобы сделать возможными каталитические реакции.

Применительно к различным вариантам предлагаемого реактора, построенного по типу осевого компрессора или осевой турбины, может быть реализована так называемая модель идеального вытеснения. В то же время нежелательные побочные реакции, имеющие место в камере ротора как результат смешивания продукта и исходного сырья и приводящие к коксообразованию, в предлагаемой конструкции могут быть устранены. Используемые в данном реакторе статорные лопаточные решетки могут быть того же или по меньшей мере схожего типа, что и в предложенных ранее других конструкциях реактора с вращением, в которых лопатки двух различных статорных решеток имеют различную конструкцию и ориентацию.

Термины “пиролиз” и “крекинг” используются в данном документе практически как синонимы, относящиеся к процессу термического разложения более тяжелых углеводородных соединений на более легкие.

Термин “количество”, ассоциированное с какими-либо объектами, 5 подразумевает любое целое положительное число, начиная с единицы, например один, два, три и т. д.

Термин “множество” подразумевает любое целое положительное число, начиная с двух, например два, три, четыре и т. д.

Термины “первый” и “второй” не указывают на какой-либо приоритет или 10 порядок (если прямо не оговорено обратное), а используются только, чтобы отличить один объект, например физический элемент, от другого объекта.

Термин “текучая среда” относится, в основном, к газообразным веществам, например к газовой фазе рабочего потока в присутствии или в отсутствие пара-разбавителя.

15 Термин “хорда” относится к отрезку прямой, соединяющей концы дуги, в данном случае дуги на изогнутой лопатке/лопасти.

Термин “газифицированное” означает в данном описании вещество, преобразованное в газообразную форму любыми возможными средствами.

Термин “гидродинамика” относится здесь к динамике текучих сред, которые в 20 данном описании, в основном, представлены газами. Поэтому указанный термин применяется в качестве синонима к термину “аэродинамика”.

Перечень фигур, чертежей

Различные варианты изобретения станут понятны при рассмотрении 25 приводимого далее подробного описания изобретения и прилагаемых чертежей

Фиг. 1 иллюстрирует вариант реактора согласно изобретению для пиролиза исходного сырья, содержащего углеводороды.

Фиг. 2А иллюстрирует конструкцию внутренней части реактора по фиг. 1.

Фиг. 2В более детально иллюстрирует расположение лопаток и траекторию 30 потока в реакторе по фиг. 2А.

Фиг. 2С иллюстрирует геометрические параметры и операционные условия для реактора по фиг. 1, 2А, 2В.

На фиг. 3А представлен график временной зависимости температуры потока газа в реакторе по фиг. 1-2.

35 Фиг. 3В иллюстрирует расположение лопаток в реакторе по фиг. 1-2.

На фиг. 4А представлен другой вариант реактора, сконфигурированного, как осевая турбомашина.

На фиг. 4В иллюстрируется последовательное соединение двух осевых реакторов по фиг. 4А.

5 На фиг. 5 представлен, в виде блок-схемы, реакторный комплекс для применения в крекинг-процессе, построенный на основе реактора по изобретению.

Сведения, подтверждающие возможность осуществления изобретения

10 Далее, со ссылками на прилагаемые чертежи, будут описаны конкретные варианты изобретения. Одни и те же или одинаковые компоненты имеют на чертежах одинаковые обозначения. Ниже приводится перечень использованных цифровых обозначений.

- 1 – ротор;
- 1а – диск ротора;
- 15 2 – осевая роторная лопаточная решетка;
- 3 – направляющий обод;
- 4 – корпус;
- 5 – разделительная перегородка;
- 6 – входная горловина для подачи сырья;
- 20 6а – вторая входная горловина или вход для инъекции пара;
- 7 – выходная горловина для вывода продукта;
- 8 – первая статорная решетка с сопловыми лопатками;
- 9 – вторая статорная решетка с диффузорными лопатками;
- 10 – проход с безлопаточным пространством;
- 25 11а – реактор типа лопаточной машины согласно первому варианту;
- 11б – реактор типа лопаточной машины согласно второму варианту;
- 11с – функциональный комплекс, содержащий по меньшей мере два взаимосвязанных реактора согласно одному варианту;
- 12 – каталитический элемент;
- 30 13 – вход для инъекции охлаждающих сред;
- 14 – вход для охлаждающих или нагревательных сред;
- 101 – приводной двигатель;
- 102 – реактор типа лопаточной машины;
- 103 – устройство для регенерации тепла;
- 35 104 – устройство гашения реакции;
- 105 – воздушный фильтр.

На фиг. 1 показан, в разрезе, на виде спереди и (в области, ограниченной штриховыми линиями) на виде сбоку, в частичном сечении, реактор 11а со спиральным проходом (со спиральной траекторией потока), предназначенный для пиролиза исходного сырья, содержащего углеводороды, согласно одному варианту изобретения. Реактор содержит ротор 1, имеющий вал, на котором закреплен диск 1а ротора. Диск ротора снабжен множеством лопаток, образующих осевую роторную лопаточную решетку 2. Профиль этих лопаток предпочтительно соответствует профилю лопатки активной сверхзвуковой импульсной турбины; при этом они ориентированы радиально и установлены своей вогнутой стороной в направлении вращения ротора. Окружная скорость роторных лопаток составляет по меньшей мере 250 м/с. У реактора 11а имеются также внутренний статорный кольцевой обод 3, который примыкает к осевым роторным лопаткам, и внутренняя поверхность корпуса 4. Корпус 4 окружает по периферии ротор 1 и обод 3, задавая кольцевой проход 10 между наружной поверхностью обода 3 и внутренней поверхностью корпуса 4. Соответственно, меридиональное сечение прохода 10 имеет кольцевой профиль. Реактор 11а, кроме того, содержит по меньшей мере одну входную горловину 6 для подачи потока исходного сырья и по меньшей мере одну выходную горловину 7 для вывода потока продукта. Если это целесообразно, реактор 11а может быть сконфигурирован с двумя входными и двумя выходными горловинами.

Реактор 11а согласно этому варианту реализован, по существу, в форме тора. На фиг. 2А представлен полоидальный разрез торического реактора, чтобы показать пространственное расположение входной и выходной горловин в, по существу, кольцевой конструкции

Внутренний проход 10 может быть не разделенным на части. В альтернативном варианте в проходе 10 может иметься несколько разделительных перегородок 5, расположенных таким образом, чтобы образовать по меньшей мере две рабочие камеры (фиг. 2А). Эти камеры предпочтительно имеют одинаковые размеры; однако, если это целесообразно, не исключены и другие технические решения. Входная горловина 6 предпочтительно расположена в направлении вращения ротора за каждой из разделительных перегородок 5, а выходная горловина 7 предпочтительно расположена перед каждой из этих перегородок. Входные и выходные горловины могут быть выполнены заодно с проходом.

Фиг. 2А-2С построены на основе имитационных моделей реактора 11а, разработанных с использованием вычислительной гидродинамики (Computational Fluid Dynamics, CFD). Фиг. 2В построена с использованием одной области вычислений, соответствующей CFD.

Торический реактор 11а дополнительно снабжен по меньшей мере двумя неподвижными (статорными) лопаточными решетками 8, 9. Первая статорная лопаточная решетка 8, расположенная по направлению рабочего потока перед осевой роторной лопаточной решеткой 2, содержит множество лопаток, предпочтительно имеющих изогнутый профиль и установленных своей выпуклой стороной в направлении вращения ротора. Лопатки первой статорной решетки 8 предпочтительно сконфигурированы, как сопловые лопатки. Поэтому далее, для облегчения понимания, первая решетка 8 будет именоваться “сопловой решеткой”.

Вторая статорная лопаточная решетка 9, расположенная по направлению потока за осевой роторной лопаточной решеткой 2, содержит множество лопаток, предпочтительно имеющих изогнутый профиль лопатки сверхзвукового компрессора и также установленных своей выпуклой стороной в направлении вращения ротора. Лопатки второй статорной решетки 9 предпочтительно сконфигурированы, как диффузорные лопатки. Поэтому далее, для облегчения понимания, вторая решетка 9 будет именоваться “диффузорной решеткой”.

Лопаткам обеих статорных лопаточных решеток 8, 9 может быть придан один и тот же изогнутый профиль.

Как это показано на чертежах (см., например, часть фиг. 2А, заключенную в рамку), статорные лопаточные решетки 8, 9 могут быть связаны с направляющим ободом 3 (фиг. 1, 2А) или закреплены на стенке внутренней поверхности корпуса 4, формирующей проход. Статорные лопаточные решетки 8 и 9 предпочтительно установлены так, что между выходом из диффузорной решетки 9 и входом в сопловую решетку 8 имеется безлопаточное пространство.

В соответствии с некоторыми вариантами реактор 11а сконфигурирован так, что решетки 2, 8 и 9 расположены в проходе 10, по существу, смежно.

На фиг. 2С приведены геометрические параметры реактора 11а, а также набор операционных условий.

Принцип функционирования реактор основан на преобразовании кинетической энергии рабочего потока в тепло. Реактора 11а построен таким образом, что тепло для воздействия на молекулы исходного сырья не переносится через стенки реактора; вместо этого, смесь исходного сырья в форме паров и пара-разбавителя, входящая в реактор, нагревается теплом, генерируемым непосредственно внутри реакционной смеси в результате аэродинамического сопротивления лопаток, входящих в лопаточные решетки.

По существу, реактор 11а функционирует следующим образом. Вращение ротора 1 заставляет газ в каждой рабочей камере проходить от входной горловины 6 к

выходной горловине 7. Рабочий поток исходного сырья, в составе которого имеются, например, находящиеся в регулируемом соотношении продукты на основе углеводов и пар-разбавитель (поступающие под давлением от неизображенных периферийных источников), подается во входную горловину 6 реактора. Отношение 5 содержаний исходного сырья и разбавителя существенно зависит от давления, созданного в проходе реактора: при снижении давления в реактор с рабочим потоком поступает уменьшенное количество пара-разбавителя. В реакторе обеспечивается неоднократное прохождение рабочего потока, содержащего исходные продукты, по спиральной траектории через сопловую решетку 8, осевую решетку 2, диффузорную 10 решетку 9 и безлопаточное пространство в процессе его циркуляции в проходе 10 между входной и выходной горловинами. Расположение и выполнение лопаточных решеток 2, 8 и 9 выбраны такими, чтобы обеспечить на всех решетках сверхзвуковую скорость рабочего потока, тогда как его скорость в безлопаточном пространстве прохода 10 остается дозвуковой. Поскольку поток, несущий исходное сырье, должен 15 неоднократно проходить через статорную, роторную и статорную решетки, двигаясь по спиральной траектории, данный реактор может именоваться реактором со спиральной траекторией.

Осевая роторная решетка 2 сконфигурирована для передачи кинетической энергии рабочему потоку, несущему исходное сырье, с соответствующим повышением 20 его скорости, тогда как диффузорная решетка 9 сконфигурирована для уменьшения скорости проходящего через нее рабочего потока. Во время пребывания в реакционной зоне поток, несущий исходное сырье, неоднократно последовательно проходит через решетки 8, 2, и 9 соответственно, причем каждый раз, проходя через осевую роторную решетку 2, рабочий поток ускоряется, получая кинетическую 25 энергию, преобразуемую затем в тепло при уменьшении скорости потока в диффузорной решетке 9. Таким образом, заданные движения генерируют стационарные ударные волны, которые нагревают газообразное исходное сырье в реакторе. Другими словами, рабочий поток нагревают последовательными импульсами, когда на этот поток воздействуют стационарные ударные волны, 30 имеющие высокую интенсивность. На фиг. 3А иллюстрируется временная зависимость температуры рабочего потока во время его пребывания в модели реактора 11а. Штриховыми линиями отмечены моменты, в которые рабочий поток последовательно проходит через статорную, роторную и статорную решетки 8, 2, 9, а кружками отмечены начала стадий (I-V) процесса. Температурная зависимость на фиг. 3А имеет 35 соответственно зубчатую конфигурацию при суммарном повышении температуры от примерно 500 °С до почти 1000 °С. Исходное сырье поступает в реактор с

температурой примерно 600 °С и затем нагревается в результате прохождения через лопаточные решетки и безлопаточное пространство. Такая конфигурация фактически приводит к тому, что все частицы в рабочем потоке имеют, по существу, одинаковые истории изменения температуры. Это свойство приближает реактор со спиральным проходом, в терминах его технических характеристик, к реактору идеального вытеснения. График изменения температуры, представленный на фиг. 3А, был получен путем имитационного моделирования торического реактора. При этом принималось, что при прохождении потока газообразного исходного сырья через решетки сумма кинетических энергий упорядоченного движения (потока частиц) и хаотического движения отдельных молекул остается постоянной (что соответствует моделированию стабильного потока).

В рассмотренной модели реактора 11а (см. фиг. 3А) проходят пять стадий (I-V), прежде чем температура повысится до температуры 900 °С, при которой основная часть тепла потребляется эндотермической реакцией, т. е. поступающая в дальнейшем энергия используется только для крекинга, а не для дальнейшего повышения температуры. Таким образом, термический крекинг может осуществляться в реакторе согласно этому варианту во время многократных прохождений со сверхзвуковой скоростью рабочего потока, несущего исходное сырье, через стационарные ударные волны высокой интенсивности. Заметный скачок температуры имеет место при появлении стационарных ударных волн на входе в межлопаточные каналы диффузорной решетки 9.

На фиг. 3В иллюстрируется расположение лопаток в варианте реактора 11а. Вследствие возрастания температуры в ходе дополнительного процесса регенеративного сжатия/поступления добавочной энергии плотность рабочего газа в реакторе 11а изменяется на отрезке от входной горловины 6 до выходной горловины 7. Поэтому распределение статорных лопаток и расстояние между смежными лопатками (шаг лопаток) являются непостоянными. Соответственно, фиг. 3В иллюстрирует рассмотренный выше вариант с пятью последовательными стадиями (I-V). Для ротора отношение шаг/хорда не может изменяться, т. е. оно является фиксированным для всех 80 лопаток (см. также фиг. 2С), составляющим 0,75, при том что параметр, соответствующий осевой хорде, равен для каждой лопатки 16 мм (0,016 м), а средний радиус равен 0,151 м. Значения отношения шаг/хорда для статорных решеток приведены в Таблице 1.

Таблица 1. Геометрические параметры для статорных лопаточных решеток

Сопловая решетка 8 (Осевая хорда = 0,02 м)			Диффузорная решетка 9 (Осевая хорда = 0,024 м)	
Стадия	Номера лопаток	Отношение шаг/осевая хорда	Номера лопаток	Отношение шаг/осевая хорда
I	66	0,7200	45	0,8783
II	60	0,7905	44	0,8983
III	53	0,8950	42	0,9413
IV	44	1,0780	40	0,9883
V	36	1,3175	36	1,0980

Хотя обычные реакции пиролиза протекают в предлагаемом реакторе при 500-1000 °С, требуемая минимальная “стартовая” температура может быть понижена до 200 °С. Для некоторых биотехнических применений минимальная температура может быть отрегулирована до предельно низких значений, таких, например, как комнатная температура. Подобные биотехнические применения включают, например, переработку таких углеводородов, как сахара.

Давление в проходе 10 реактора в процессе его функционирования может регулироваться путем подбора входного и выходного давлений. При использовании в качестве газообразного исходного сырья тяжелых углеводородов давление в проходе 10 может составлять 0,2 МПа; в других случаях предпочтительными могут быть более низкие давления.

Параметры реактора могут быть отрегулированы таким образом, чтобы время пребывания газообразного исходного сырья в реакционной зоне варьировало от нескольких секунд до нескольких миллисекунд, предпочтительно до примерно 10 мс. Абсолютное значение времени пребывания (как это можно видеть из фиг. 3А) может зависеть от количества стадий процесса и объема безлопаточного пространства.

На фиг. 4А представлен альтернативный вариант, соответствующий реактору с вращением. В соответствии с этим вариантом реактор 11b сконфигурирован подобно осевому компрессору или осевой турбине. В данном варианте реактор 11b содержит удлиненный ротор 1, по длине которого расположено множество роторных лопаток в виде последовательных рядов с формированием осевых роторных решеток 2.

Ротор 1 заключен в корпус 4, на внутренней поверхности которого находятся первая и вторая неподвижные (статорные) лопаточные решетки 8 и 9 соответственно, расположенные так, что лопатки роторной и статорных лопаточных решеток 2, 8 и 9 чередуются в продольном направлении (по длине ротора). Статорные лопаточные

решетки 8, 9 предпочтительно расположены на противоположных сторонах внутренней поверхности корпуса 4, образующей стенку прохода. Таким образом, лопатки роторной решетки 2, находящиеся в определенном положении по длине ротора 1, можно рассматривать как образующие, совместно с парами смежных статорных лопаток (в

5 составе решеток 8 и 9), так называемую "ступень" (одна из которых обведена на фиг. 4А штриховыми линиями). Между смежными ступенями имеются безлопаточные пространства. Как будет описано далее, в этих пространствах могут находиться другие элементы. Если это целесообразно, можно использовать и другие конфигурации ступеней.

10 Объем, образованный между ротором 1 и внутренней поверхностью корпуса 4, формирует проход 10, который охватывает роторную и статорные решетки 2 и 8, 9. Реактор 11b содержит также по меньшей мере одну входную горловину 6 для потока исходного сырья и по меньшей мере одну выходную горловину 7 для потока продукта. Реактор 11b может содержать, кроме того, по меньшей мере одну дополнительную

15 горловину 13 для инжектирования, например, охлаждающей среды. Далее, реактор 11b может содержать каталитические элементы или промежуточные каталитические пространства 12, которые будут рассмотрены далее. Кроме того, определенные лопатки могут содержать каталитический материал, например, в виде каталитического покрытия.

20 Неоднородное распределение статорных лопаток, описанное применительно к предыдущему варианту, может быть реализовано и в осевом реакторе 11b.

Описанная конфигурация позволяет реализовать химические процессы, адаптированные к требованиям потребителей, т. е. процессы, в которых длительность реакции, температура и/или время пребывания газообразного исходного сырья в

25 реакционной зоне могут подбираться так, чтобы достичь наилучшего соотношения селективность/степень преобразования. Чтобы обеспечить управление температурой и/или степенью разбавления, реактор в этом варианте может содержать дополнительную горловину для инъекции пара с целью подачи компонента реакции и/или разбавителя. Конструкция реактора согласно этому варианту такова, что при

30 поступлении газового потока с исходным сырьем в реакционную камеру он испытывает воздействие тепла, генерируемого ударными волнами, возникающими в результате механической работы, выполняемой совместно статорными лопаточными решетками 8, 9 и роторной лопаточной решеткой 2. Конфигурация лопаток в роторной и статорных решетках может быть такой же, как и в предыдущем варианте. Однако построение по

35 типу осевой турбины обеспечивает дополнительную гибкость при настройке реакционных параметров варьированием конструктивных параметров лопаток

роторной и статорных решеток даже от ряда к ряду, т. е. конструкции конкретных решеток в последовательных рядах могут быть различными.

На фиг. 4В показан вариант функционального реакторного комплекса 11с, содержащего по меньшей мере два реактора 11b описанного типа осевой турбины, соединенных последовательно. В варианте по фиг. 4В используются два связанных между собой реактора 11b, между которыми расположен приводной двигатель 101. Последовательная конфигурация может быть снабжена дополнительной входной горловиной 6а, которая может быть использована, например, для инъекции дополнительного сырьевого материала или пара. На трубе, соединяющей два реактора 11b, может иметься дополнительный вход 14 для подачи охлаждающих или нагревающих сред. Должно быть, однако, понятно, что конкретное выполнение функционального модуля 11с в большой степени зависит от размеров и назначения соответствующей производственной линии, а также от количества использованных в нем отдельных реакторов.

Как уже было упомянуто, в соответствии с различными вариантами изобретения реакторы 11а, 11b могут быть снабжены одной или более каталитическими поверхностями или другими каталитическими элементами для осуществления каталитических реакций. Каталитические поверхности предпочтительно сформированы нанесением каталитического покрытия по меньшей мере на некоторые индивидуальные лопатки или на лопатки по меньшей мере одной лопаточной решетки в реакционной зоне. Если это представляется целесообразным, каталитическое покрытие могут иметь лопатки, входящие в состав лопаточных ступеней и расположенные в реакционной зоне. Альтернативно или дополнительно, каталитическое покрытие может быть нанесено, например, на внутреннюю поверхность корпуса в реакционной зоне, образующую стенку прохода. Альтернативно или дополнительно, в реакционной зоне могут находиться один или более каталитических элементов или одна или более каталитических полостей, образованных по меньшей мере с использованием одной керамической или металлической подложки или вспомогательного элемента, снабженной (снабженного) активным покрытием. Альтернативно, могут использоваться монолитные ячеистые катализаторные структуры. На фиг. 4А и 4В каталитические элементы обозначены, как 12.

Реакторы в соответствии с различными реализуемыми вариантами, например аналогичными описанным выше, в типичном случае приспособляют к переработке определенного газообразного исходного сырья. Более конкретно, реактор с вращением может быть сконфигурирован, например, для переработки кислородосодержащего

сырья. Таким образом, выбор исходных материалов может быть существенно расширен за пределы исходного сырья на основе углеводородов. В одном варианте реактор может быть адаптирован для переработки биомассы, например, с целью получения возобновляемых топлив с применением таких процессов, как прямая каталитическая гидрогенизация растительного масла с получением соответствующих алканов или каталитическая дегидрогенизация газообразных углеводородов в качестве одной из стадий процесса Фишера-Тропша. Реактор, предназначенный для переработки биомассы, может быть, например, приспособлен для использования газообразного исходного сырья на базе предварительно переработанной биомассы. С использованием такого реактора, настроенного для переработки газифицированной биомассы, особенно снабженного описанными выше поверхностями с каталитическим покрытием, может быть разработан новый экономически эффективный способ производства возобновляемых топлив. Другим примером приложения, связанного с переработкой биомассы, является каталитическая высокотемпературная (проводимая при 900 °C) димеризация метана, которая изучается в широких масштабах как потенциально эффективный процесс сжижения природного газа.

Может быть разработана также реакторная установка, содержащая вариант реактора или функциональный комплекс согласно изобретению, присоединенный к приводному двигателю, устройство для рекуперации тепла и устройство гашения реакции. Пример такой установки иллюстрируется на фиг. 5 в виде блок-схемы. Установка, построенная на основе по меньшей мере одного реактора согласно любому варианту изобретения, содержит приводной двигатель 101, по меньшей мере один реактор 102 типа лопаточной машины, устройство 103 для рекуперации тепла, такое как паровой котел, устройство 104 гашения реакции и воздушный фильтр-глушитель 105 шума. Хотя данная установка способна работать с единственным вращающимся реактором 102, фиг. 5 иллюстрирует два возможных варианта, в которых реакторы 102 могут быть соединены параллельно (этот вариант выделен штриховыми линиями) или последовательно (этот вариант выделен сплошными линиями). Функциональные связи между реакторами 102 проиллюстрированы волнистыми линиями. Количество реакторов 102 и их соединение согласно фиг. 5 следует рассматривать только как пример; реальное выполнение будет зависеть, в основном, от размеров/производительности установки и объемов производства. Представленный реактор предпочтительно предназначен для крекинга; однако, не исключены и его применения для других целей.

Установка может использовать различные приводные двигатели, такие как электрические и газопоршневые двигатели, а также газовые и паровые турбины.

Установлено, однако, что в настоящее время наиболее практичными приводными двигателями для реактора с вращением являются газотурбинный и газопоршневой двигатели. Предлагаемая реакторная установка может использовать, по существу, такие же нагревательные и/или охлаждающие средства, что и обычные пиролизные печи. Таким образом, реактор с вращением может быть сконфигурирован в качестве удобной замены спиралей нагревательной секции в обычном оборудовании для крекинга, не влияющей в остальном на порядок функционирования установки в целом. Кроме того, по сравнению с известными установками размеры последующего технологического оборудования могут быть уменьшены как следствие сокращения выхода побочных продуктов.

Далее будет рассмотрен пример испытаний, проведенных на функциональной модели реактора со спиральным проходом (т. е. со спиральной траекторией потока).

Пример. Сравнительные испытания образца реактора со спиральным проходом и обычных трубчатых пиролизных печей от различных изготовителей

Была разработана и изготовлена небольшая модель реактора со спиральным проходом с целью оценить, путем сравнительных испытаний, техническую эффективность нового процесса пиролиза. Для проведения экспериментов был сконструирован испытательный стенд. Основная цель серии испытаний состояла в получении данных о выходе и составе продуктов пиролиза. Для приведения ротора во вращение модельный реактор был снабжен электродвигателем мощностью 90 кВт с повышающей передачей. Этот реактор имел следующие технические характеристики: объем реакционной зоны: $2 \times 10^{-3} \text{ м}^3$; скорость вращения ротора: 18000-20000 об./мин.

Параметры процесса при проведении испытаний модельного реактора были сходными с параметрами, обычно используемыми в реакторах промышленных масштабов: температура реакции пиролиза составляла около 900 °С; длительность пребывания исходного сырья в реакционной зоне – 0,025-0,030 с; давление на выходе – около 120 кПа. В качестве исходного сырья использовалась нефтя с конечной точкой кипения около 170 °С. Расход потока, несущего исходное сырье, составлял около 40 кг/ч, а степень разбавления нефти паром составляла 50 %. Процедура забора образцов, анализ исходного сырья и продуктов пиролиза, а также расчет выхода продукта контролировались экспертами в данной области. Анализ крекинг-газа производился двумя группами независимых экспертов на различном оборудовании (Varian CP-3800 и LHM-8MD).

В процессе данных испытаний процесс термического крекинга (пиролиз) материала, содержащего углеводороды, был сначала осуществлен в реакторе со спиральным проходом. Результаты испытаний подтвердили, что по сравнению с

результатами, полученными в наиболее технологичных известных трубчатых крекинг-печах, реактор со спиральным проходом систематически обеспечивал более высокий выход основного продукта. Данные о выходе основного продукта за один прогон при пиролизе нефти приведены в Таблице 2. Более конкретно, в Таблице 2 приведены сравнительные данные, полученные в процессе испытаний модельного реактора со спиральным проходом и при проведении параллельных реакций в известных трубчатых крекинг-печах, разработанных ведущими производителями, а именно ABB Lummus, Technip и Kellogg, Brown and Root (KBR). Приведенные результаты показывают, что осуществление пиролиза в реакторе со спиральным проходом обеспечивает повышение выхода более чем на 20 %.

Таблица 2. Выход основных продуктов за один прогон при проведении пиролизных реакций в модельном реакторе со спиральным проходом и в обычных трубчатых крекинг-печах.

Продукт	Разработчик, тип реактора, температура (°C) крекинг-газа на выходе						
	ABB Lummus	Technip		KBR	Реактор со спиральным проходом		
	SRT-VI	GK-4	GK-5	Millisecond			
	862	848	835	900	882	891	902
Этилен	30,30	29,03	30,50	34,40	42,06	42,64	43,32
Пропилен	13,90	11,59	15,50	16,60	13,53	13,10	12,34
Сумма	44,20	40,62	46,00	51,00	55,59	55,74	55,66

Приведенные данные подтверждают, что пиролиз одного и того же исходного сырья в установке, оборудованной реакторами со спиральным проходом, увеличивает выход этилена в 1,5 раза, тогда как суммарный выход этилена и пропилена может быть увеличен в 1,25-1,3 раза по сравнению с установками, оборудованными трубчатыми печами, работающими по традиционным технологиям.

Хотя этилен и пропилен – это главные продукты описанного крекинг-процесса нефти, из нее могут быть получены и другие ценные и полезные продукты. Например, метан и несепарированный водород, которые применяются как топливный газ в печах, работающих по известной технологии, могут быть использованы в приводных двигателях реактора со спиральным проходом. В термическом крекинг-процессе образуются, кроме того, такие ценные более тяжелые побочные продукты, как газолин и смесь углеводородов C4. В случае обычной технологии данные продукты составляют примерно 20-30 % от общего количества крекинг-газа на выходе из пиролизной установки. В реакторе со спиральным проходом это отношение < 20 %. На практике

это означает, что, хотя общее количество материала, получаемое в процессе, будет существенно сокращено, уменьшение выхода побочных продуктов позволит уменьшить размеры оборудования на следующих стадиях и сократить эксплуатационные затраты на сепарационные устройства.

5 Согласно различным аспектам и вариантам изобретения путем регулирования внутреннего давления реактора, например путем повышения или понижения скорости вращения ротора, можно управлять самой реакцией и связанными с ней параметрами. При этом, давление во входном потоке может быть повышено, например, посредством компрессора.

10 Предлагаемый реактор сконфигурирован как устройство для проведения высокотемпературных процессов. Большинство протекающих в нем реакций являются эндотермическими как следствие малой длительности пребывания исходного сырья в реакционной камере. Однако не исключены и экзотермические реакции (т. е. реакции, протекающие с выделением тепла).

15 Реактор согласно различным аспектам и вариантам изобретения сконфигурирован как устройство, предназначенное преимущественно для осуществления крекинг-процессов. При этом он может быть адаптирован как для парового, так и для каталитического крекинга различных вариантов исходного сырья, включая прошедшие предварительную переработку сырьевые материалы на основе
20 углеводов или глицеридов. Как пример сырьевого материала, содержащего жирные кислоты, может быть указано сосновое масло.

Таким образом, реактор может быть адаптирован для новых приложений, таких как крекинг свободных жирных кислот, осуществляемый, например, разложением триглицеридов, содержащихся в растительных маслах и/или животных жирах. Прямое
25 и/или поэтапное разложение таких продуктов, содержащих триглицериды, может быть реализовано посредством любого подходящего процесса.

Описанный реактор может быть адаптирован также, например, для подавления эмиссии или для нейтрализации иным образом любых токсичных/ядовитых газообразных веществ. Температура реакции в этом случае выбирается близкой к
30 температуре, используемой для реакции пиролиза.

Специалистам в данной области будет понятно, что приводимые технические параметры реактора, такие как скорость ротора, температура и время пребывания в реакционной камере и т. д., являются регулируемыми в определенных пределах, определяемых природой исходного сырья, внутренними параметрами реакции и/или
35 конкретной технической реализацией устройства (используемым двигателем, диаметром кольца, размерами тороида и т. д.).

Согласно другому аспекту изобретения предлагается реакторный комплекс в форме пиролизной установки, который содержит по меньшей мере два реактора с вращением, соединенных последовательно или параллельно. Использование дополнительного реактора с вращением способствует модульности конструкции. В качестве примера, установка по производству этилена с производительностью 1000 кт/год может быть оборудована 40 реакторами со спиральным проходом, из которых 32 реактора функционируют, а 8 являются резервными. Указанные реакторы могут быть соединены параллельно. Промышленный реактор со спиральным проходом желательно снабдить приводным двигателем с регулируемой скоростью и с мощностью на валу около 10 МВт для питания энергией одного реактора. Скорость вращения может составлять, например, 3600 об./мин. Энергия для приводного двигателя предпочтительно может обеспечиваться топливным газом, образующимся при крекинг-процессе, более конкретно, от установки по сепарированию метана и водорода. В соответствии с технологией, соответствующей использованию реактора со спиральным проходом, топливный газ целесообразно использовать для приведения в действие двигателей реактора, тогда как в соответствии с обычной технологией тепло от сжигания топливного газа используется для нагревания исходного сырья/пара-разбавителя и воды, подаваемой в котел для получения перегретого пара высокого давления в секции конвекции.

Согласно следующему аспекту изобретения предлагается способ термического крекинга исходного углеводородного сырья, включающий по меньшей мере некоторые из следующих операций:

а. использование одного из описанных вариантов реактора ударной волны типа лопаточной машины, т. е. реактора 11а (со спиральной траекторией) или 11b (осевого типа), содержащего корпус 4, ротор 1, на периферии которого находится осевая лопаточная решетка 2, и (в частности согласно варианту по фиг. 1 и 2А, 2В) направляющий обод 3 по меньшей мере с двумя статорными лопаточными решетками 8, 9, примыкающими к осевой роторной решетке (при этом корпус 4, по существу, охватывающий периферию ротора 1 и направляющий обод 3, снабжен входной горловиной 6 и выходной горловиной 7, а между внутренней поверхностью корпуса с входной и выходной горловинами и ротором с направляющим ободом образован проход 10, имеющий в меридиональном сечении, по существу, кольцевой профиль);

б. повышение скорости вращения ротора до достижения заданной рабочей скорости или скорости в заданном интервале;

в. подачу потока, несущего исходное сырье, во входную горловину 6, в результате чего статорные решетки 8, 9 и роторная решетка 2 начинают направлять

указанный поток таким образом, чтобы он неоднократно проходил через указанные решетки, двигаясь по спиральной траектории в проходе между входными и выходными горловинами, и последовательно генерировать стационарные ударные волны, чтобы нагревать поток исходного сырья в реакторе, вызывая термическое разложение или

5 пиролиз сырья, и

d. подачу прошедшего пиролиз потока продукта через выходную горловину в заданное устройство, такое как устройство гашения реакции.

Согласно еще одному аспекту изобретения предлагается способ импортирования энергии для быстрой эндотермической или быстрой экзотермической

10 реакции (например реакции каталитической гидрогенизации) посредством ударных волн, создаваемых преобразованием механической энергии вращающихся лопаточных решеток. Способ включает:

a. активирование описанного варианта реактора 11a, 11b ударной волны и

b. ввод предварительно нагретого газа, содержащего исходное

15 углеводородное сырье или исходное сырье на основе биомассы, в реактор 11a, 11b, содержащий вращающиеся лопатки, генерирующие механическую энергию, чтобы создать ударные волны, обеспечивающие тепло для эндотермических реакций в газообразной фазе.

Должно быть понятно, что вышеупомянутые количественные значения, а также

20 описанные технические решения приведены только как примеры, которые не ограничивают изобретение, а предназначены для того, чтобы облегчить специалистам в данной области осуществление изобретения в пределах его объема, определяемого независимыми пунктами формулы изобретения.

ФОРМУЛА ИЗОБРЕТЕНИЯ

1. Реактор (11a, 11b, 102) ударной волны для термического крекинга
5 исходного углеводородного сырья, содержащий:
корпус (4), в котором сформирован проход (10), имеющий вход (6, 6a) и выход
(7), и
ротор (1, 1a), на периферии которого находится осевая лопаточная решетка (2);
при этом:
10 корпус, по существу, охватывает периферию ротора (1a) и статорные
лопаточные решетки (8, 9), находящиеся внутри прохода, а
указанные решетки (2, 8, 9) сконфигурированы с возможностью направлять
поток, несущий исходное сырье, таким образом, чтобы он неоднократно проходил
через указанные решетки, двигаясь по спиральной траектории в проходе между
15 входом и выходом, и генерировать стационарные ударные волны, чтобы нагревать
исходное сырье.
2. Реактор по п. 1, в котором проход (10) в меридиональном сечении имеет, по
существу, кольцевую форму.
3. Реактор по п. 1 или 2, который содержит по меньшей мере две статорные
20 лопаточные решетки (8, 9), причем первая и вторая статорные лопаточные решетки
расположены по направлению потока соответственно перед осевой лопаточной
решеткой (2) и за ней.
4. Реактор по п. 3, в котором статорные лопаточные решетки расположены
так, что между точкой входа в первую лопаточную решетку и точкой выхода из второй
25 лопаточной решетки сформировано безлопаточное пространство.
5. Реактор по любому из предыдущих пунктов, содержащий находящийся
внутри корпуса неподвижный направляющий обод (3), наружная поверхность которого
сконфигурирована с оставлением прохода (10) между ней и внутренней поверхностью
корпуса.
- 30 6. Реактор по п. 5, в котором по меньшей мере некоторые из статорных
лопаточных решеток находятся на наружной поверхности обода.
7. Реактор по любому из предыдущих пунктов, в котором указанные
лопаточные решетки (2, 8, 9) расположены внутри прохода, по существу, смежно.
8. Реактор по любому из предыдущих пунктов, содержащий две входные
35 горловины и две выходные горловины.

9. Реактор (11b) по п. 1, в котором проход сконфигурирован задающим камеру, по существу, в форме конуса, усеченного конуса или цилиндра.

10. Реактор по п. 9, в котором лопасти осевой роторной решетки (осевых роторных решеток) распределены по длине ротора и чередуются с лопатками соответствующих статорных лопаточных решеток с образованием последовательных решеточных ступеней, каждая из которых содержит роторную лопасть, расположенную между статорными лопатками.

11. Реактор по п. 9 или 10, в котором первая статорная лопаточная решетка содержит множество сопловых лопаток, а вторая статорная лопаточная решетка содержит множество диффузорных лопаток, причем сопловые и диффузорные лопатки расположены с взаимным чередованием по длине ротора.

12. Реактор по любому из предыдущих пунктов, в котором осевая лопаточная решетка (2) сконфигурирована с возможностью передавать потоку, несущему исходное сырье, кинетическую энергию и повышать его скорость, а по меньшей мере одна статорная лопаточная решетка (9) сконфигурирована с возможностью понижать скорость потока и преобразовывать кинетическую энергию в тепло.

13. Реактор по любому из предыдущих пунктов, в котором скорость рабочего потока, несущего исходное сырье, является сверхзвуковой на решетках и дозвуковой в безлопаточном пространстве внутри указанного прохода.

14. Реактор по любому из предыдущих пунктов, в котором по меньшей мере некоторые статорные лопаточные решетки находятся на внутренней поверхности корпуса, образующей стенку прохода.

15. Реактор по любому из предыдущих пунктов, в котором входная и выходная (входные и выходные) горловины интегрированы в проход.

16. Реактор по любому из предыдущих пунктов, в котором по меньшей мере две разделительные перегородки расположены в проходе симметрично относительно оси ротора с формированием по меньшей мере двух, по существу, идентичных рабочих камер, каждая из которых связана с входом и выходом для рабочего потока.

17. Реактор по любому из предыдущих пунктов, в котором первая статорная лопаточная решетка (8) содержит множество сопловых лопаток, имеющих изогнутый профиль и предпочтительно обращенных своей выпуклой стороной в направлении вращения ротора, а вторая статорная лопаточная решетка (9) содержит множество диффузорных лопаток, имеющих изогнутый профиль лопаток сверхзвукового компрессора и предпочтительно обращенных своей выпуклой стороной в направлении вращения ротора.

18. Реактор по любому из предыдущих пунктов, в котором осевая лопаточная решетка (2) содержит множество лопаток, имеющих профиль лопатки активной турбины и предпочтительно обращенных своей вогнутой стороной в направлении вращения ротора.

5 19. Реактор по любому из предыдущих пунктов, сконфигурированный для переработки исходного сырья, содержащего углеводороды, переведенные в газообразную форму.

10 20. Реактор по любому из предыдущих пунктов, сконфигурированный для переработки исходного сырья, содержащего глицериды, переведенные в газообразную форму.

21. Реактор по любому из предыдущих пунктов, сконфигурированный для переработки исходного сырья, содержащего целлюлозную биомассу, предварительно переработанную с переводом в газообразную форму.

15 22. Реактор по любому из предыдущих пунктов, имеющий каталитические поверхности.

23. Реактор по п. 22, в котором каталитические поверхности сформированы путем нанесения каталитического покрытия по меньшей мере на несколько индивидуальных лопаток в пределах реакционной зоны и/или на внутреннюю поверхность корпуса, образующую стенку прохода.

20 24. Реактор по п. 22 или 23, содержащий каталитические модули, образованные по меньшей мере с использованием одной керамической или металлической подложки или вспомогательного элемента, снабженной (снабженного) активным покрытием, предпочтительно выполненным в форме монолитных ячеистых структур.

25 25. Реактор по любому из предыдущих пунктов, дополнительно содержащий промежуточный охлаждающий или нагревательный элемент.

26. Реактор по любому из предыдущих пунктов, сконфигурированный с возможностью промежуточного инжектирования разбавителя или реакционного материала.

30 27. Реактор по любому из предыдущих пунктов, сконфигурированный с обеспечением длительности пребывания газообразного исходного сырья в реакционной зоне, составляющей не менее 10 мс.

35 28. Применение реактора согласно любому из предыдущих пунктов для осуществления по меньшей мере одного процесса, выбранного из группы, состоящей из переработки исходного углеводородного сырья, предпочтительно содержащего средние и легкие углеводородные фракции; переработки газообразного

кислородосодержащего исходного сырья на основе жирных кислот; переработки газообразного исходного сырья на основе жирных кислот, представляющего собой предварительно переработанное сосновое масло; переработки газообразного исходного сырья, произведенного из целлюлозы, в частности из лигноцеллюлозы, и быстрого пиролиза, включающего преобразование исходного сырья, произведенного из биомассы, в нефть.

29. Реакторная установка, содержащая по меньшей мере один реактор (102) согласно любому из п.п. 1-27 и по меньшей мере один дополнительный компонент, выбранный из группы, состоящей из приводного двигателя (101), устройства (103) для рекуперации тепла, устройства (104) гашения реакции, печи пиролиза, печи пиролиза с внешним нагревом, установки предварительного нагрева и воздушного фильтра (105).

30. Реакторный комплекс (11с), такой как пиролизная установка, содержащий по меньшей мере два реактора согласно любому из п.п. 1-27, функционально соединенных последовательно или параллельно.

31. Способ термической, термохимической или каталитической термохимической переработки исходного сырья, например термического крекинга исходного углеводородного сырья, включающий:

а. использование реактора (11а, 11b, 102) ударной волны, содержащего корпус со сформированным в нем проходом, который может иметь в меридиональном сечении, по существу, кольцевую форму и у которого имеются вход и выход, а также ротор, на периферии которого находится осевая лопаточная решетка, причем корпус, по существу, охватывает периферию ротора и статорные лопаточные решетки, находящиеся внутри прохода;

б. повышение скорости вращения ротора до достижения заданной рабочей скорости или скорости в заданном интервале;

в. подачу потока, несущего исходное сырье, во входную горловину, в результате чего статорные решетки и роторная решетка начинают направлять указанный поток таким образом, чтобы он неоднократно проходил через указанные решетки, двигаясь по спиральной траектории в проходе между входной и выходной горловинами, и последовательно генерировать стационарные ударные волны, чтобы нагревать поток исходного сырья в реакторе, вызывая термическое разложение (пиролиз) сырья, и

д. подачу прошедшего пиролиз потока продукта через выходную горловину, например, в устройство для заданной постобработки, такое как устройство гашения реакции.

32. Способ по п. 31, в котором исходное сырье содержит средние и легкие углеводородные фракции.

33. Способ по п. 31 или 32, в котором исходное сырье представляет собой предварительно переработанную биомассу, произведенную из целлюлозы, в частности из лигноцеллюлозы, которую подают в реактор, по существу, в газообразной форме.

34. Способ импортирования энергии для быстрой эндотермической или быстрой экзотермической реакции, причем указанную энергию получают преобразованием механической энергии вращающихся лопаточных решеток, включающий:

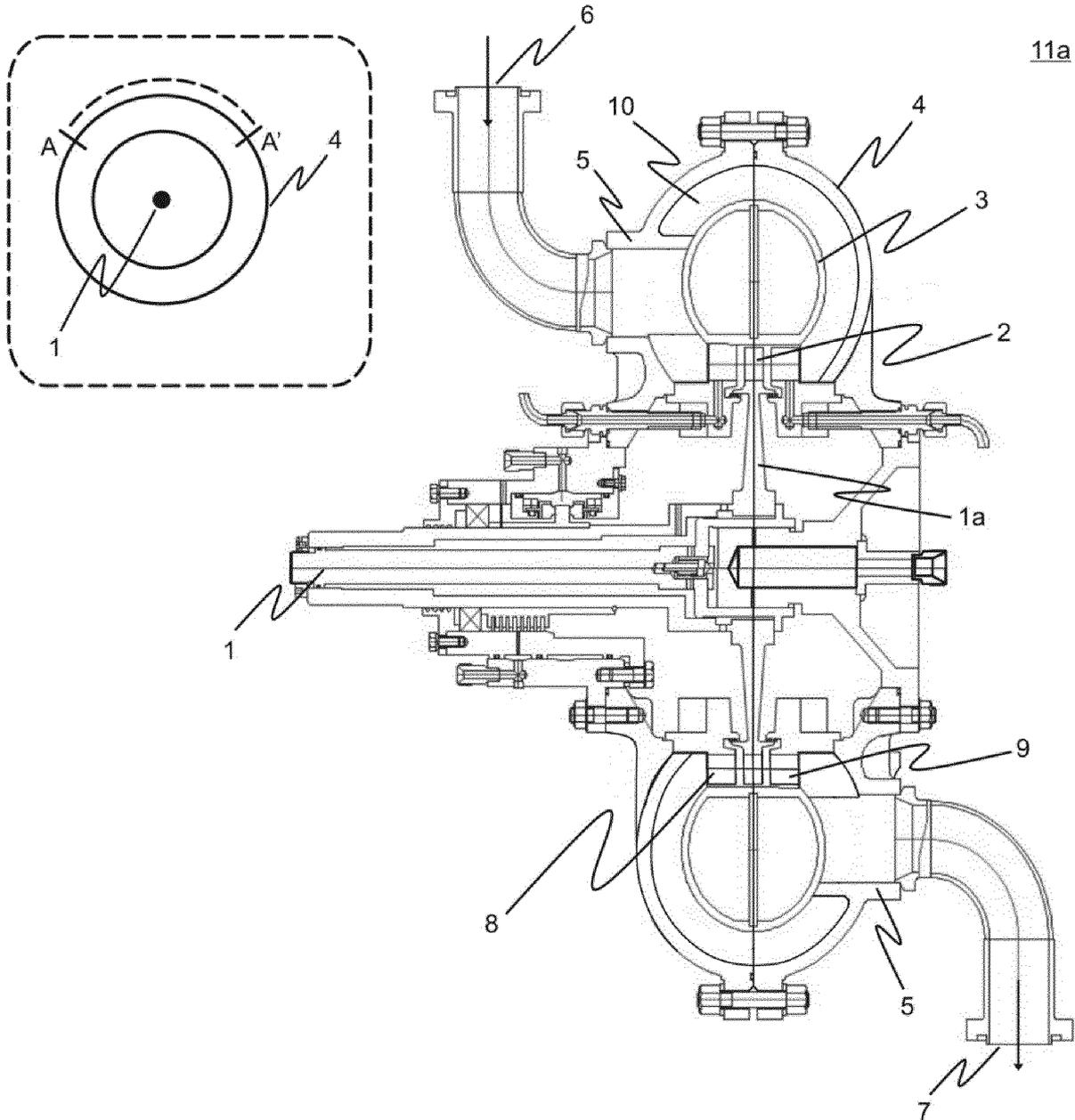
- 10 а. активирование реактора (11a, 11b, 102) ударной волны и
- б. ввод в реактор предварительно нагретого газа, содержащего исходное сырье, для осуществления эндотермической реакции в газовой фазе, при этом тепло поступает от импульсов, генерируемых ударными волнами, формируемыми за счет механической энергии, создаваемой вращением роторных
- 15 лопаток внутри реактора.

35. Способ по п. 34, в котором исходное сырье содержит средние или легкие углеводородные фракции.

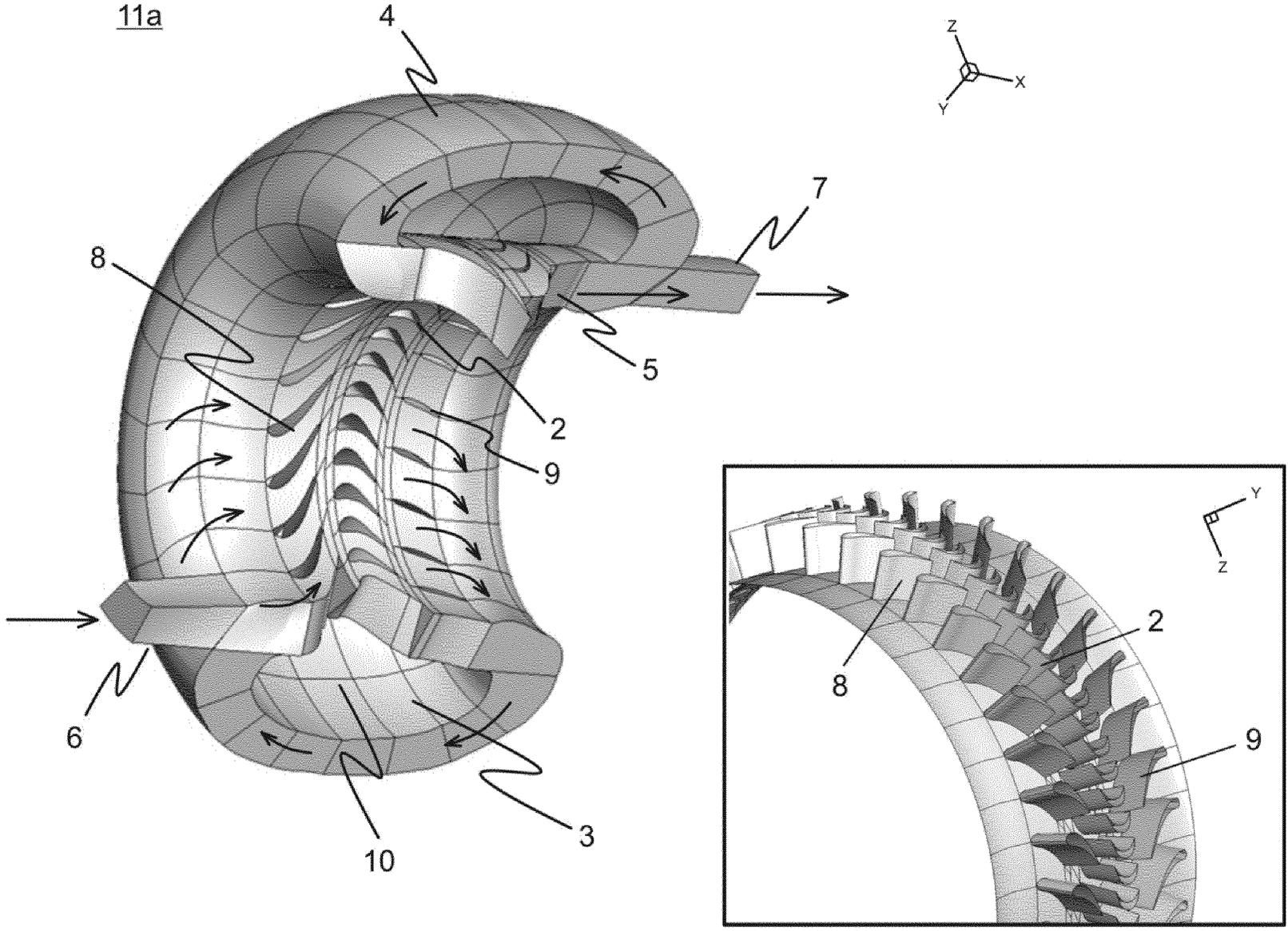
36. Способ по п. 34 или 35, в котором исходное сырье представляет собой предварительно переработанную биомассу, произведенную из целлюлозы, в частности из лигноцеллюлозы, которую подают в реактор, по существу, в газообразной форме.

20

1

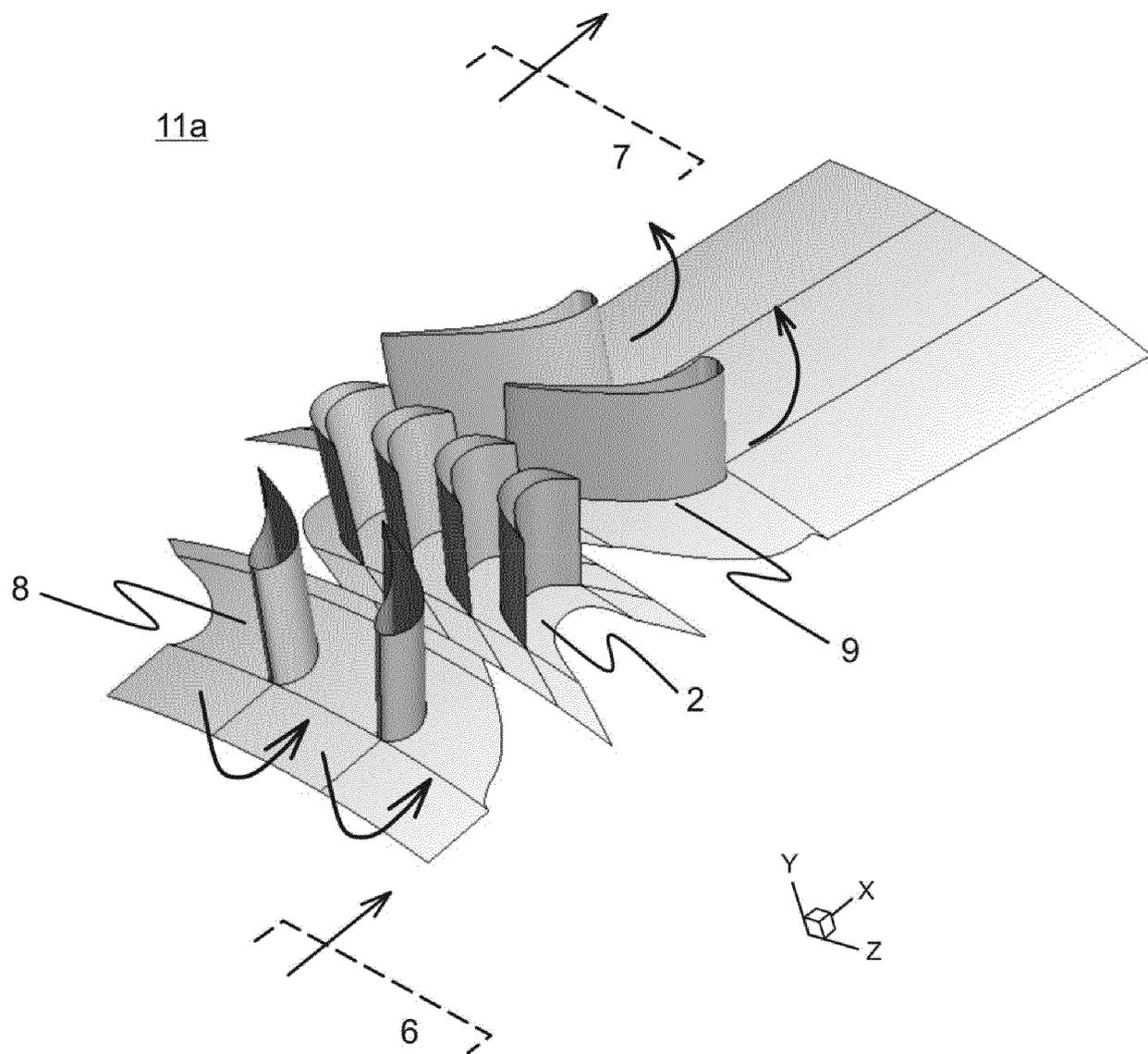


ФИГ. 1

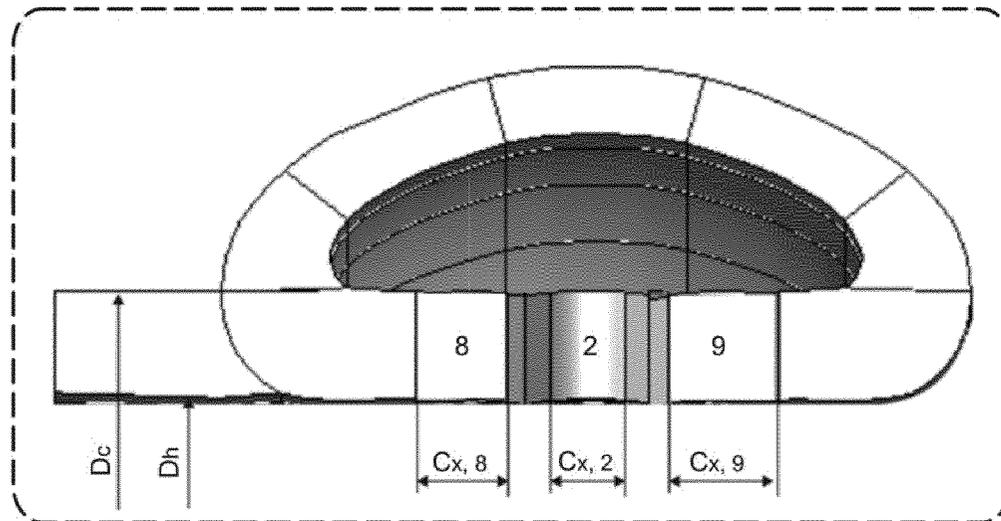
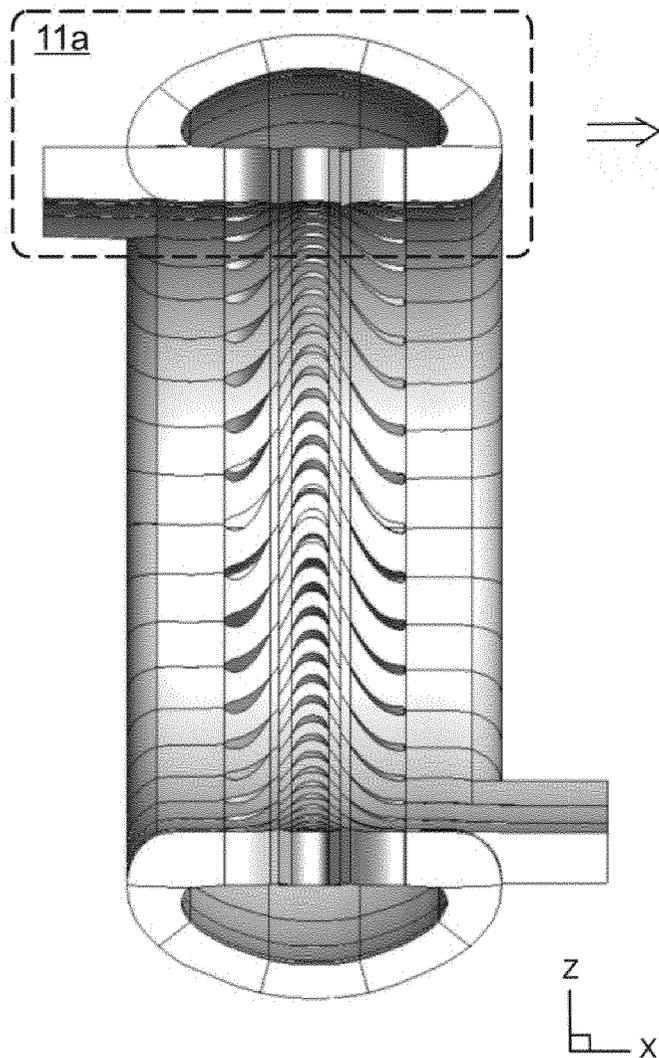


ФИГ. 2А

3

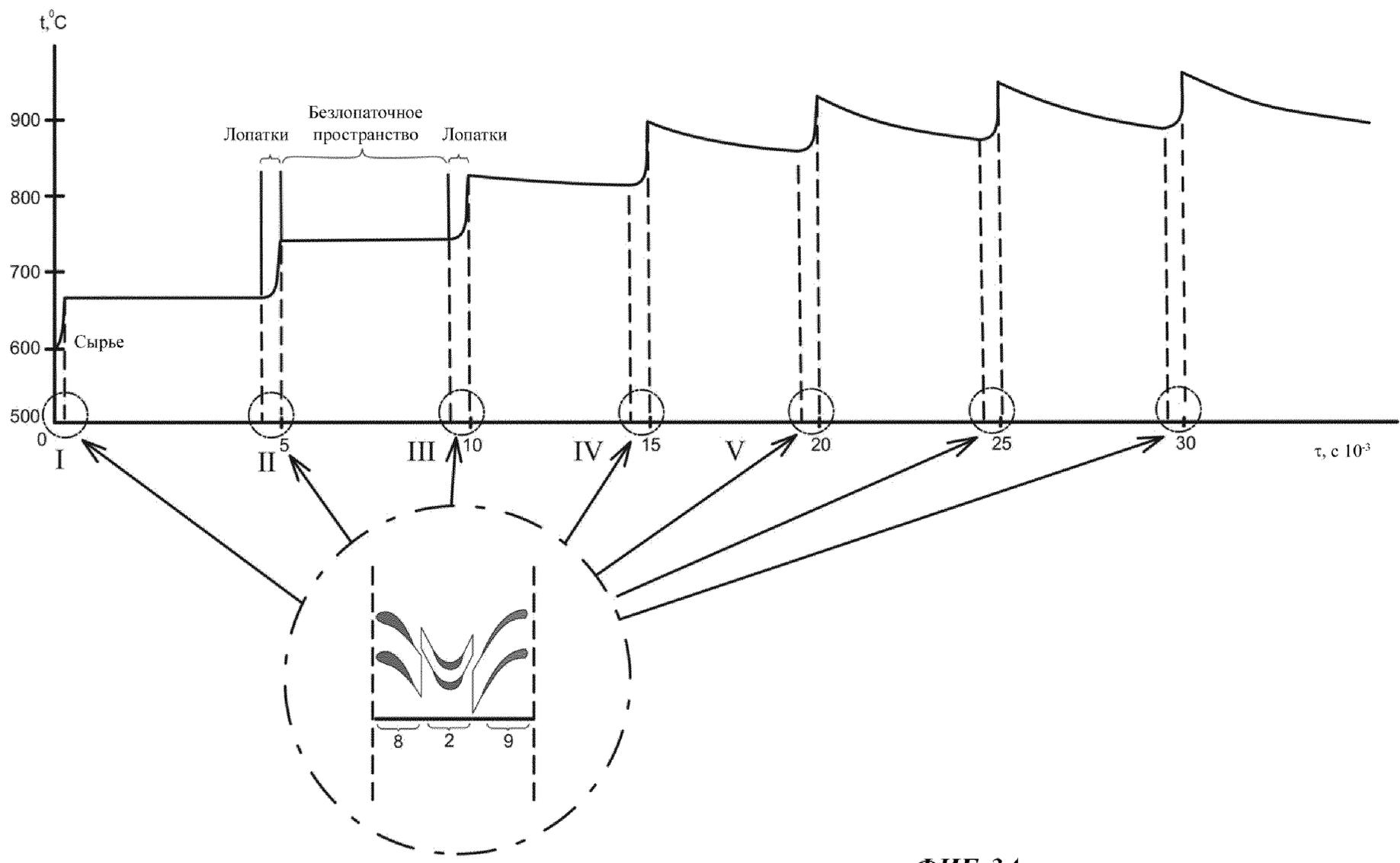


ФИГ. 2В



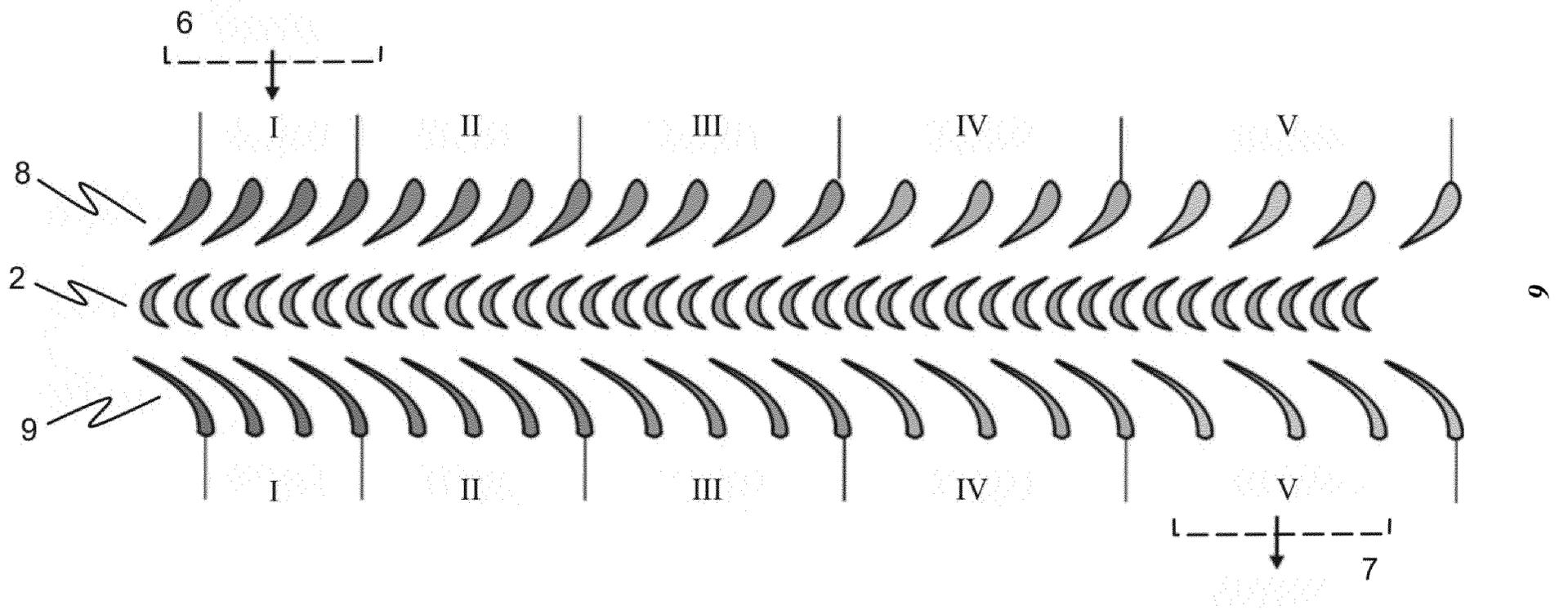
Параметры лопаток	Решетка 8	Решетка 2	Решетка 9
Количество лопаток	40	80	40
Осевая хорда, C_x [м]	0.02	0.0163	0.024
Диаметр ротора, D_h [м]		0.140	
Диаметр корпуса, D_c [м]		0.164	
Скорость вращения, об./мин		16000	

ФИГ. 2С

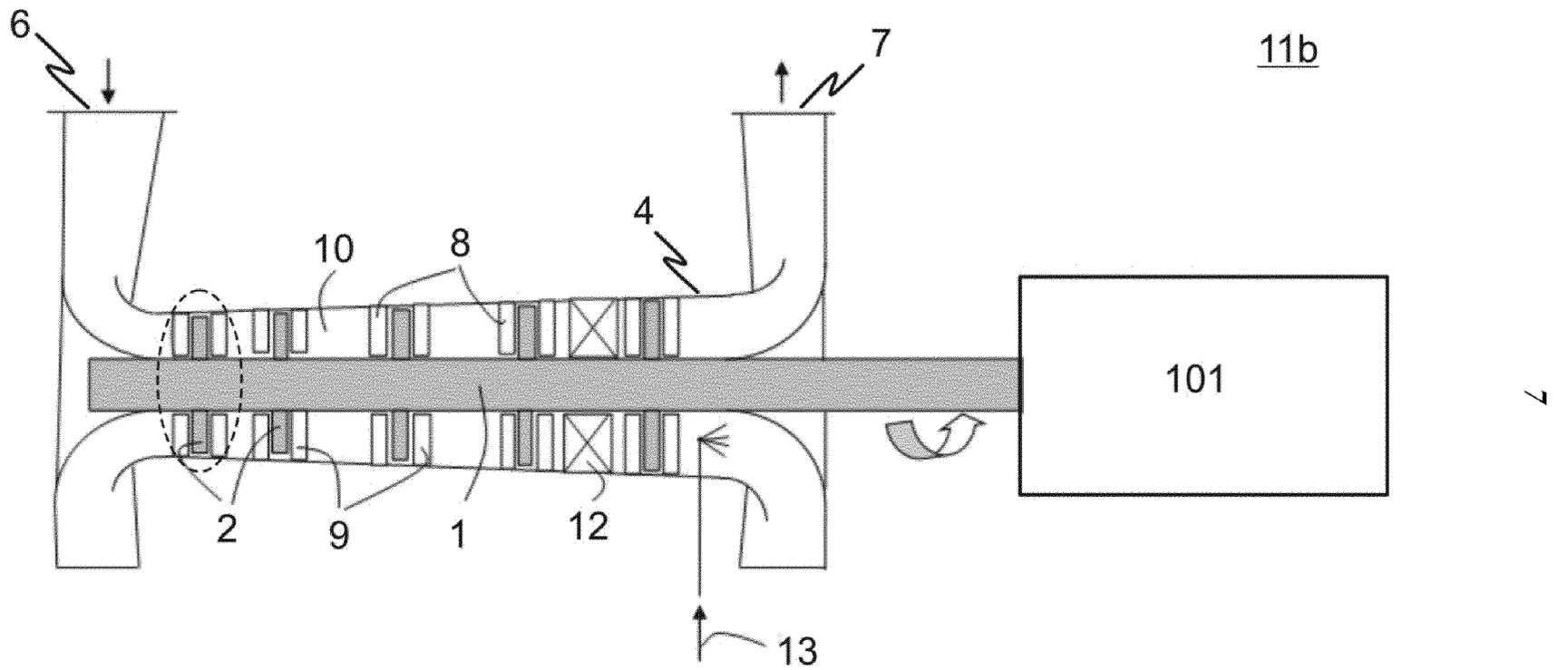


5

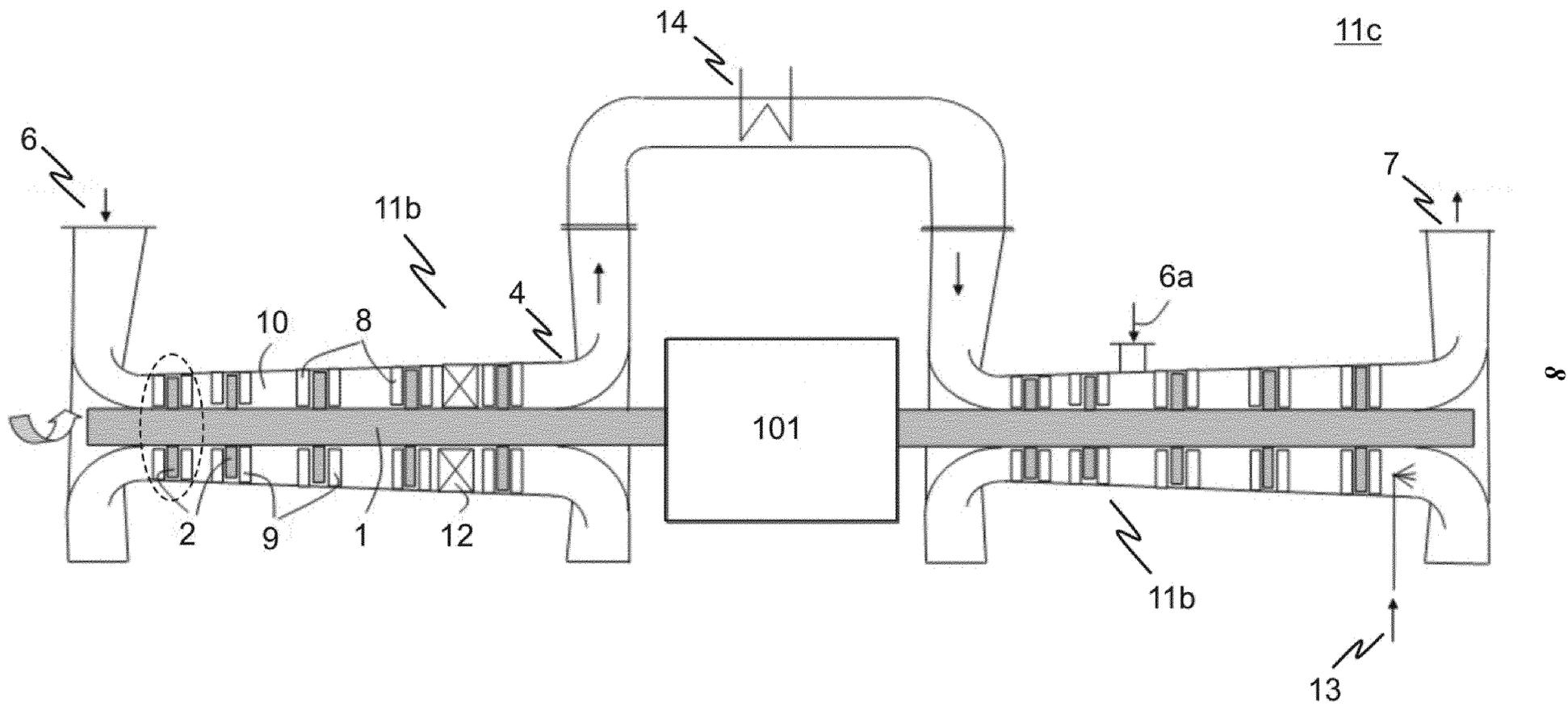
ФИГ. 3А



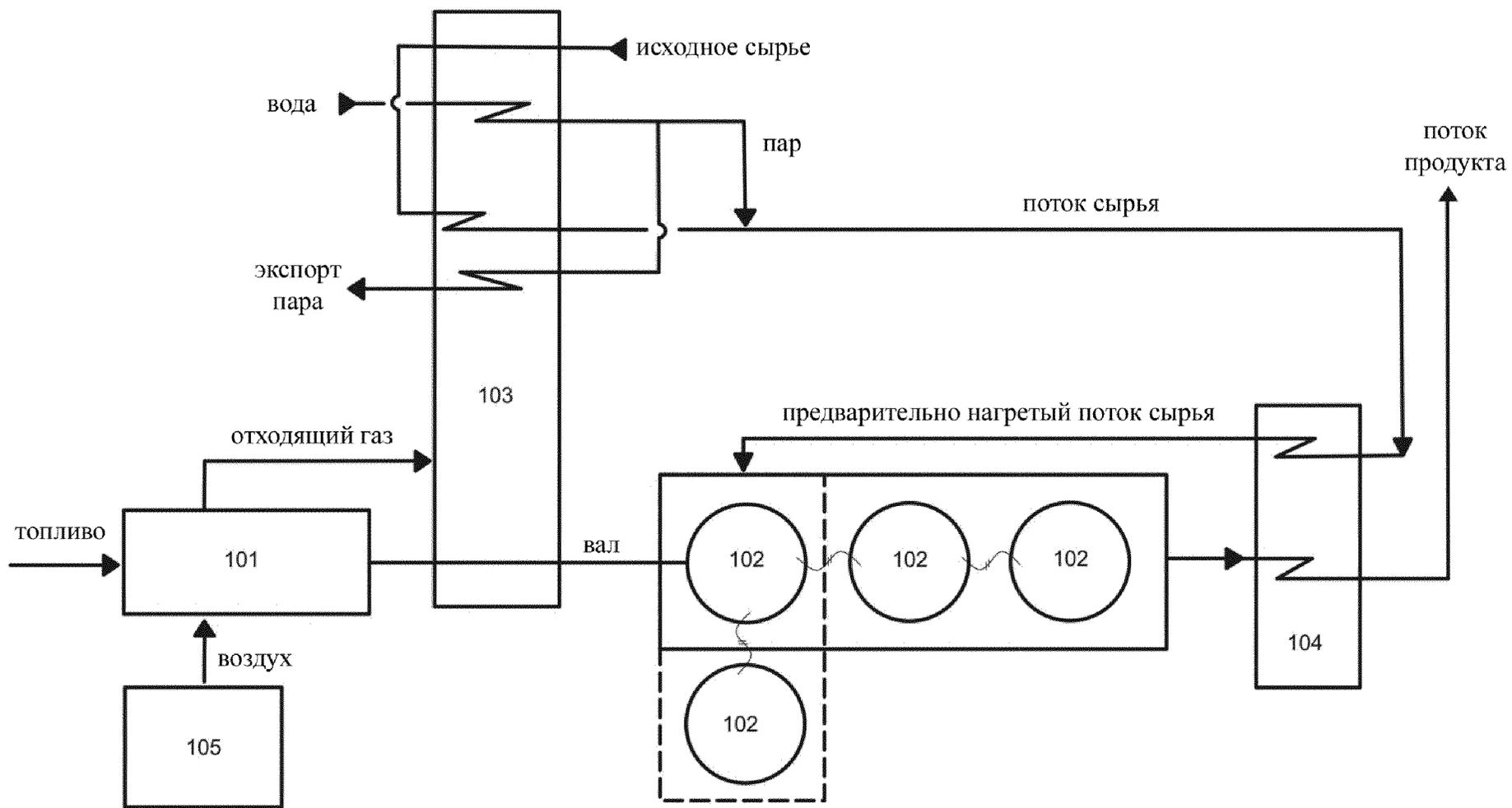
ФИГ. 3В



ФИГ. 4А



ФИГ. 4В



ФИГ. 5