

(19)



Евразийское
патентное
ведомство

(21) 202391508 (13) A1

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ЕВРАЗИЙСКОЙ ЗАЯВКЕ

(43) Дата публикации заявки
2023.08.16

(51) Int. Cl. C10G 3/00 (2006.01)
B01F 25/64 (2022.01)
B01J 19/18 (2006.01)
C10G 9/00 (2006.01)

(22) Дата подачи заявки
2021.11.17

(54) РОТОРНОЕ УСТРОЙСТВО ДЛЯ ПЕРЕРАБОТКИ ИСХОДНОГО СЫРЬЯ С
АКСИАЛЬНО РЕГУЛИРУЕМЫМ РОТОРОМ

(31) 20206172

(72) Изобретатель:

(32) 2020.11.18

Карпов Александр, Семенов Денис
(FI)

(33) FI

(86) PCT/FI2021/050777

(74) Представитель:

(87) WO 2022/106754 2022.05.27

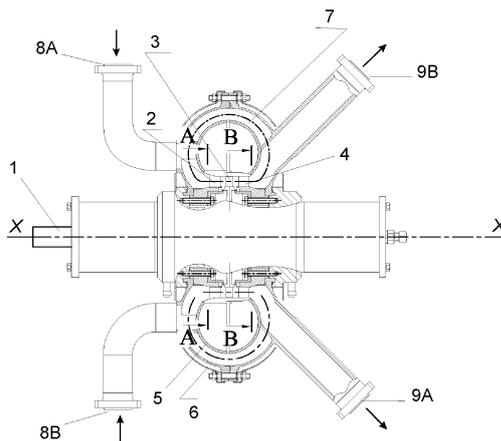
Хмара М.В. (RU)

(71) Заявитель:

КУЛБРУК ОЙ (FI)

(57) Обеспечено роторное лопастное устройство (100) для переработки исходного сырья в технологической текучей среде, содержащее средства для регулировки положения решетки рабочих лопастей ротора (3) относительно компонентов (2, 4) статора в продольном направлении вала (1) ротора. Регулировку осуществляют путем осевого смещения ротора (3) или, альтернативно, путем осевого смещения корпуса (22А, 32А) реактора. Также обеспечен способ повышения эффективности технологического процесса и регулирования потерь потока при переработке исходного сырья в технологической текучей среде, в частности в нерасчетных условиях в лопастном устройстве (100). В вариантах осуществления переработка исходного сырья включает в себя термический или термохимический крекинг углеводородсодержащего исходного сырья.

100



A1

202391508

202391508

A1

РОТОРНОЕ УСТРОЙСТВО ДЛЯ ПЕРЕРАБОТКИ ИСХОДНОГО СЫРЬЯ С АКСИАЛЬНО РЕГУЛИРУЕМЫМ РОТОРОМ

Область техники, к которой относится изобретение

5 Настоящее изобретение, в общем, относится к области роторных турбомашин с аксиально регулируемым ротором. В частности, изобретение относится к роторному лопастному устройству для переработки исходного сырья, такого как углеводороды, соответствующей компоновке, способу и применениям.

10 Уровень техники

В области турбомашиностроения существует ряд решений, позволяющих выполнить узел ротора смещаемым в осевом направлении. Эти решения обычно применимы в осевых турбомашинах, таких как осевые лопаточные компрессоры и турбины, в которых радиальные потери потока можно эффективно регулировать за счет осевого смещения ротора. Радиальные потери потока распространены в 15 кольцевых турбинных решетках, которые используют рабочую текучую среду для вращения ротора, из-за наличия зазоров между вращающимися и неподвижными компонентами, что обычно приводит к образованию трактов утечки (концевым утечкам).

20 Например, в документе DE 101 45 785 A1 (Ehrenberger) раскрывается ветровая турбина, в которой ротор является аксиально смещаемым из рабочего положения в менее скоростные положения (в направлении повышения зазора между лопастями ротора и кожухом) при превышении номинальной частоты вращения ротора. Осевое регулирование решает задачу стабилизации скорости (частоты вращения) ротора в условиях переменной скорости набегающего потока 25 текучей среды.

Ни одно из вышеупомянутых решений не дает каких-либо указаний на пригодность раскрытого турбомашинного оборудования в области химической переработки. Пример реактора осевого типа, предназначенного для 30 гидрогенизации сухого угля с получением углеводородов, имеющего ротор, выполненный с возможностью осевого смещения, представлен в патентной публикации США № 4,288,405 (Koch). Ротор является аксиально смещаемым при превышении давлением в камере гидрогенизации определенного значения. Перемещение ротора приводит к закрытию загрузочного входа в камеру 35 гидрогенизации, предотвращая распространение очень высокого давления на предшествующие устройства.

В патентных публикациях США №№ 9,494,38 (Bushuev) и 9,234,140 (Seppala и др.) раскрываются ротодинамические реакторы (RDR, rotodynamic reactor) для преобразования углеводородного исходного сырья в легкие олефины путем термо(химического) крекинга. В целом, реактор содержит роторный диск с соответствующей решеткой лопастей, расположенной между рядами неподвижных лопаток, расположенных на, по существу, кольцеобразных опорах и заключенных в кожух, выполненный в форме тороида. Технологическая текучая среда поступает в реактор через входное отверстие и, до выхода из реактора, проходит через решетки статора и ротора несколько раз, по существу, по спиральной траектории.

Низкомолекулярные олефины, такие как этилен, пропилен и бутилен, являются основными компонентами нефтехимической промышленности и служат основными компонентами в коммерческом производстве пластмасс, полимеров, эластомеров, каучуков, пенопластов, растворителей и химических промежуточных продуктов, а также волокон, включая углеродные волокна, и покрытий. По сравнению с обычными трубчатыми пиролизными печами, вышеупомянутые ротодинамические машины позволяют осуществлять термо(химические) реакции с сокращенным временем пребывания и улучшенной управляемостью процесса крекинга, последнее обычно связано с повышением выхода целевых продуктов наряду с предотвращением попадания указанных продуктов во вторичные реакции.

Распространенной проблемой указанных известных решений RDR является появление протечек в окружном направлении (также называемым тангенциальным или кольцевым направлением). На практике утечки возникают в направлении от входа к выходу (вместо входа в зону реакции) и/или в направлении от конца зоны реакции к началу соседней зоны реакции (вместо выхода из реактора), указанные утечки вызваны эксплуатацией реактора в условиях, отличных от номинальных (в так называемом нерасчетном режиме).

В целях полноты изложения материала отметим, что проблемы с утечками в вышеуказанных направлениях (вход - выход; конец зоны реакции- начало соседней зоны реакции) не встречаются в традиционных технических решениях с осевым направлением потока.

Таким образом, при работе реактора с переменными расходами потока и/или в условиях, связанных с исходным сырьем, утечки неизбежны. Аналогичным образом, утечки возникают при изменении температуры внутри реактора (все остальные параметры постоянны), что связано с регулировкой скорости вращения ротора.

Такой поток утечки приводит к снижению общего массового расхода и передачи работы и отрицательно влияет на стабильность реактора, что сужает его рабочий диапазон, т.е. способность работать в диапазоне расходов текучей среды и скоростей вращения. Кроме того, расходы утечки вызывают
5 коксообразование и резко снижают выход целевых продуктов. Это негативно сказывается на промышленной применимости реактора, его привлекательности для конечного потребителя и, соответственно, на рыночном потенциале.

На практике единственным способом предотвращения утечек является эксплуатация устройства RDR с единственным сочетанием массового расхода
10 через реактор и скорости вращения ротора, при этом конкретная, заданная скорость вращения назначается для конкретного массового расхода при неизменном составе исходного сырья.

Решение, предложенное Bushuev в US 9,494,038 B2, предполагает регулировку геометрии решеток неподвижных лопаток в окружном направлении
15 для достижения выравнивания давления на входе в решетку лопаток ротора и на выходе из нее по всей решетке лопаток при работе реактора при номинальных расчетных условиях. Кроме того, положение решеток неподвижных лопаток можно регулировать, но только в окружном направлении относительно оси вращения ротора. Указанная схема направлена на смягчение нежелательного
20 крупномасштабного перемешивания между соседними потоками. Тем не менее, в публикации не рассматривается проблема снижения утечек в нерасчетных режимах работы.

В связи с этим по-прежнему требуется доработка в области повышения эффективности роторных реакторных устройств для химической переработки
25 углеводородного исходного сырья, в частности, типа RDR, в свете решения задач, связанных с предотвращением или, по меньшей мере, минимизацией расходов утечки, с целью оптимизации рабочего диапазона и эффективности реактора в изменяющихся технологических условиях.

30 Сущность изобретения

Целью настоящего изобретения является решение или, по меньшей мере, смягчение каждой из проблем, возникающих в связи с ограничениями и недостатками соответствующего уровня техники. Цель достигается благодаря различным вариантам осуществления устройства для переработки исходного
35 сырья в технологической текучей среде, соответствующей компоновке, способам и применению. Таким образом, в одном аспекте изобретения обеспечено

устройство для переработки исходного сырья в технологической текучей среде в соответствии с раскрытым в независимом пункте 1 формулы изобретения.

В варианте осуществления, указанное устройство содержит ротор, содержащий множество лопастей ротора, расположенных по окружности диска, установленного на валу ротора и образующих решетку лопастей ротора; множество неподвижных лопаток, размещенных, по существу, в виде кольцевых решеток лопаток, которые расположены рядом с решеткой лопастей ротора, образуя компоновку «статор-ротор-статор»; и кожух, в котором образован канал с по меньшей мере одним входом и по меньшей мере одним выходом, причем указанный кожух охватывает решетку лопастей ротора и решетки неподвижных лопаток внутри указанного канала, при этом предусмотрена возможность регулирования положения решетки лопастей ротора относительно решеток неподвижных лопаток в компоновке «статор-ротор-статор» в осевом направлении вдоль вала ротора на заданное расстояние (ΔX).

В варианте осуществления, предусмотрена возможность регулирования положения решетки лопастей ротора относительно решеток неподвижных лопаток в указанной компоновке «статор-ротор-статор» путем осевого смещения ротора в продольном направлении вала ротора.

В варианте осуществления, указанное устройство дополнительно содержит по меньшей мере один упорный подшипниковый элемент, расположенный на валу ротора, при этом ротор выполнен с возможностью аксиального смещения за счет осевого смещения указанного по меньшей мере одного упорного подшипникового элемента на валу ротора.

В варианте осуществления, указанный по меньшей мере один упорный подшипниковый элемент выполнен с возможностью аксиального смещения относительно кожуха (реактора).

В варианте осуществления, упорный подшипниковый элемент размещен в отдельном корпусе, который заключен, по меньшей мере частично, внутри подшипникового блока, при этом заключенный в корпус упорный подшипниковый элемент выполнен с возможностью аксиального смещения в продольном направлении вала ротора в соответствующем подшипниковом блоке.

В варианте осуществления, между валом ротора и приводным валом расположена муфта, представляющая собой упругую муфту вала, выполненную с возможностью обеспечения аксиального смещения приводного вала и/или вала ротора. Таким образом, указанная упругая муфта обеспечивает возможность осевого смещения приводного вала и/или вала ротора.

В одном из вариантов осуществления, в указанном устройстве ротор выполнен с возможностью аксиального смещения за счет осевого смещения приводного вала, соединенного с валом ротора посредством муфты.

В одном из вариантов осуществления, в указанном устройстве, предусмотрена возможность регулирования положения решетки лопастей ротора относительно решеток неподвижных лопаток в компоновке «статор-ротор-статор» путем осевого смещения по меньшей мере одного неподвижного компонента, в частности, кожуха (реактора), в продольном направлении вала ротора. Приводной вал, предпочтительно, закреплен с предотвращением его осевого смещения.

В еще одном варианте осуществления, муфта, расположенная между валом ротора и приводным валом, представляет собой жесткую муфту, выполненную с возможностью предотвращения осевого смещения приводного вала и вала ротора.

В варианте осуществления, каждая из решеток неподвижных лопаток закреплена на соответствующих подшипниковых блоках, расположенных с обеих сторон (газового) кожуха реактора.

В варианте осуществления, устройство выполнено так, что регулировка положения решетки лопастей ротора относительно решеток неподвижных лопаток в компоновке «статор-ротор-статор» сопровождается регулировкой, по меньшей мере, скорости вращения ротора и/или расхода технологической текучей среды, содержащей исходное сырье.

В варианте осуществления, заявленное устройство дополнительно содержит формирователь потока, расположенный внутри (газового) кожуха так, что между наружным кожухом и формирователем потока образован канал, причем указанный канал имеет кольцеобразное меридиональное сечение. В варианте осуществления указанный формирователь потока представляет собой кольцевую, по существу, полную конструкцию.

В варианте осуществления, в указанном устройстве между выходом из компоновки «статор-ротор-статор» и входом в нее образовано безлопаточное пространство, причем указанное безлопаточное пространство определено объемом между (газовым) кожухом и формирователем потока.

В варианте осуществления, решетки неподвижных лопаток образованы множеством неподвижных сопловых направляющих лопаток, которые образуют кольцевую решетку сопловых направляющих лопаток выше по потоку от лопастей ротора, и множеством неподвижных диффузорных лопаток, которые образуют решетку диффузорных лопаток ниже по потоку от лопастей ротора.

В варианте осуществления, решетки в компоновке «статор-ротор-статор» выполнены с возможностью направлять технологическую текучую среду на повторное прохождение через указанные решетки и через безлопаточное пространство в соответствии со спиральной траекторией потока при продвижении
5 внутри канала между по меньшей мере одним входом и по меньшей мере одним выходом, и создавать условия для проведения по меньшей мере одной химической реакции в технологической текучей среде.

В варианте осуществления, устройство дополнительно содержит ряд каталитических поверхностей.

10 В некоторых других аспектах, согласно раскрытому в независимых пунктах 19 и 20 формулы изобретения, в соответствии с вариантами осуществления предусмотрено применение указанного устройства для переработки исходного сырья в технологической текучей среде. В варианте осуществления указанное применение предусмотрено в термической переработке
15 углеводородсодержащего сырьевого материала (исходного сырья). Дополнительно или альтернативно, указанное применение предусмотрено для проведения химических реакций. В варианте осуществления указанное применение предусмотрено для термического или термохимического крекинга углеводородсодержащего сырьевого материала (исходного сырья).

20 В варианте осуществления указанное применение предусмотрено для осуществления по меньшей мере одного процесса, выбранного из группы, состоящей из: переработки углеводородного исходного сырья, предпочтительно содержащего средние и легкие углеводородные фракции; переработки газифицированного углеводсодержащего исходного сырья, переработки
25 газифицированного глицеридного и/или жирного кислотосодержащего исходного сырья и переработки газифицированного материала целлюлозной биомассы.

В другом аспекте, согласно раскрытому в независимом пункте 23 формулы изобретения, в соответствии с вариантами осуществления обеспечена компоновка указанного устройства для переработки исходного сырья в
30 технологической текучей среде. В указанной компоновке по меньшей мере два устройства, по меньшей мере, функционально соединены параллельно или последовательно.

В еще одном аспекте обеспечен способ повышения эффективности технологического процесса и регулирования потерь потока при переработке
35 исходного сырья в технологической текучей среде согласно раскрытому в независимом пункте 24 формулы изобретения. В варианте осуществления способ содержит следующее:

- обеспечивают наличие устройства, содержащего: ротор, содержащий множество лопастей ротора, расположенных по окружности диска, установленного на валу ротора и образующих решетку лопастей ротора; множество неподвижных лопаток, выполненных в виде, по существу, кольцевых решеток лопаток, которые расположены смежно с решеткой лопастей ротора образуя компоновку «статор-ротор-статор»; и кожух, в котором образован канал с по меньшей мере одним входом и по меньшей мере одним выходом, причем указанный кожух охватывает решетку лопастей ротора и решетки неподвижных лопаток внутри указанного канала; и

10 - регулируют положение решетки лопастей ротора относительно решеток неподвижных лопаток в компоновке «статор-ротор-статор» в осевом направлении вдоль вала ротора на заданное расстояние (ΔX).

В варианте осуществления, положение решетки лопастей ротора относительно решеток неподвижных лопаток в указанной компоновке «статор-ротор-статор» регулируют путем осевого смещения ротора в продольном направлении вала ротора.

В другом варианте осуществления положение решетки лопастей ротора относительно решеток неподвижных лопаток в компоновке «статор-ротор-статор» регулируют путем осевого смещения по меньшей мере одного неподвижного компонента, в частности, кожуха, в продольном направлении вала ротора.

Полезность настоящего изобретения обусловлена целым рядом причин в зависимости от каждого конкретного варианта его осуществления. За счет обеспечения ротора, смещаемого в осевом направлении (т.е. в продольном направлении вала ротора), можно эффективно предотвратить или, по меньшей мере, свести к минимуму потери потока, связанные с утечкой в радиальном зазоре, характерные для известных реакторов роторного типа и/или турбомашин. В обычных роторных реакторах утечки потока запускают ряд вторичных реакций, приводящих к образованию побочных продуктов, таких как кокс, и снижают выход основных (целевых) продуктов.

30 Изобретение оказалось особенно полезным при попытках эксплуатации роторного реакторного устройства, предназначенного для проведения (термо)химических реакций, таких как (паровой) крекинг углеводородов, в нерасчетном режиме, устанавливаемом при изменении ряда параметров в реакторе (например, температуры процесса, которая часто связана с регулировкой скорости вращения ротора, и/или химического состава исходного сырья). Предлагаемое здесь решение может быть незаменимым для

использования на установке крекинга или на любой другой связанной с ней установке, работающей, например, с различным исходным сырьем.

Используя решение со смещаемым ротором, работу обычного роторного реакторного устройства можно оптимизировать, по меньшей мере с точки зрения эффективности, для множества условий эксплуатации, отличных от тех, которые предусмотрены для расчетной модели. Соответственно можно расширить рабочий диапазон реактора и связанной с ним установки, например, установки крекинга.

Решение со смещением ротора является гибким и может быть эффективно использовано в устройствах, предназначенных для (термо)химической переработки исходного сырья (решения RDR, осевые решения и т. д.), а также в роторных турбомашинах.

Термины «пиролиз» и «крекинг» используются в настоящем раскрытии, в основном, как синонимы, относящиеся к процессу термического разложения более тяжелых углеводородсодержащих соединений до более легких углеводородсодержащих соединений.

Выражение «ряд» относится к любому положительному целому числу, начинающемуся с одного (1), например, к одному, двум или трем. Выражение «множество» относится к любому положительному целому числу, начинающемуся с двух (2), например, к двум, трем или четырем.

Термины «первый» и «второй» используются здесь для того, чтобы просто отличать элемент от другого элемента, без указания какого-либо конкретного порядка или важности, если прямо не указано иное.

Термины «текущая среда» и «технологическая текущая среда» относятся, в основном, к газообразному материалу, такому как, например, поток газообразного исходного сырья, направляемый через внутреннюю область реакторного устройства, предпочтительно, в присутствии разбавителя.

Термин «газифицированный» используется в настоящем документе для обозначения материала, превращенного в газообразную форму любыми возможными способами.

Термин «гидродинамический» используется в настоящем документе для обозначения динамики текучих сред, которые в данном изобретении в основном представлены газами. Таким образом, указанный термин используется в настоящем раскрытии в качестве синонима термина «газодинамический».

Различные варианты осуществления настоящего изобретения станут очевидными при рассмотрении подробного раскрытия и прилагаемых чертежей.

Краткое описание чертежей

На фиг. 1 показана компоновка «статор-ротор-статор» в устройстве 100, работающем в расчетных условиях.

5 На фиг. 2-5 показаны треугольники скоростей и компоновки «статор-ротор-статор» в устройстве 100, работающем, по меньшей мере частично, в условиях, отличающихся от расчетных, и имеющем ротор, смещенный относительно статорного элемента на заданное расстояние ΔX , в соответствии с вариантами осуществления.

10 На фиг. 6А представлен вертикальный разрез устройства 100 в соответствии с одним из вариантов осуществления. На фиг. 6В показаны виды сечений по линиям А-А и В-В, обозначенных на фиг. 6А, а также показана блок-схема проходов линий тока через устройство 100.

15 На фиг. 7 показаны треугольники скоростей и компоновка «статор-ротор-статор» в устройстве 100, работающем в расчетных и нерасчетных условиях и имеющем ротор, смещенный относительно статорного элемента на заданное расстояние ΔX , согласно одному из вариантов осуществления.

На фиг. 8А-8С показаны различные варианты осевого смещения ротора в соответствии с вариантами осуществления.

20 На фиг. 9 представлен вертикальный разрез устройства 100, показывающий примерный механизм осевого смещения ротора.

Осуществление изобретения

25 Подробные варианты осуществления настоящего изобретения раскрыты в настоящем документе со ссылкой на прилагаемые чертежи. Одинаковые ссылочные символы используются на чертежах для обозначения одинаковых элементов.

30 На фиг. 6А под номером 100 показана концепция, лежащая в основе различных вариантов осуществления реакторного устройства для переработки исходного сырья в технологической текучей среде (рабочей текучей среде), далее называемого «реактор». На фиг. 8А-8С и фиг. 9 показан реактор 100 (100А, 100В, 100С) в соответствии с вариантами осуществления.

35 Реализация устройства 100 в целом соответствует руководящим принципам, изложенным в патентных публикациях США №№ 9,494,038 (Bushuev) и 9,234,140 (Seppala и др.), включенных в настоящий документ посредством ссылки и раскрывающих реакторы типа роторной турбомшины, в которых конструкции как ротора, так и статора заключены в, по существу, тороидальный корпус.

Реактор 100 предпочтительно выполнен с возможностью переработки исходного сырья, такого как углеводородсодержащее сырье, путем проведения по меньшей мере одной химической реакции в технологической текучей среде, в результате чего сырье преобразуется в требуемые продукты.

5 В выбранных конфигурациях реактор выполнен с возможностью термического или термохимического преобразования углеводородсодержащего исходного сырья, в частности, флюидизированного углеводородсодержащего исходного сырья. Под «углеводородсодержащим исходным сырьем» мы подразумеваем флюидизированное органическое сырье, которое в основном
10 состоит из углерода и водорода. Однако, в некоторых случаях реактор может быть выполнен с возможностью переработки кислородсодержащего исходного сырья, такого как кислородсодержащие производные углеводородов, сырье на основе целлюлозы и/или сырье на основе растительного масла. Таким образом, применимость предлагаемого реактора выходит за пределы, налагаемые
15 общепринятым определением углеводородного исходного сырья.

Углеводородсодержащее сырье, поступающее в реактор, поставляется, по существу, в виде текучей среды, такой как жидкость или газ. В предпочтительных конфигурациях реактор 100 выполнен с возможностью переработки газифицированного исходного сырья, при этом технологическая текучая среда
20 обеспечена в газообразной форме. В альтернативных конфигурациях не исключается переработка, по существу, жидкого исходного материала.

Таким образом, реакторная установка 100 выполнена с возможностью ее применения в термической переработке углеводородсодержащего исходного сырья. Термическая переработка, предпочтительно, сопровождается
25 превращением указанного исходного сырья в требуемый продукт (продукты), при этом в технологической текучей среде созданы условия для того, чтобы в ней происходила по меньшей мере одна химическая реакция. Альтернативно, технологические условия в устройстве 100 могут быть настроены так, что во время указанной термической переработки условия для химических изменений
30 (реакций) не создаются, вследствие чего устройству придаются функциональные возможности (предварительного) нагревателя.

В вариантах осуществления устройство 100 предназначено для термических и/или термохимических реакций разложения углеводородов, таких как реакции пиролиза, которые в совокупности приводят к крекингу
35 углеводородсодержащего исходного сырья и, опционально, сопровождаются разбавляющей средой (разбавителем). Таким образом, реактор 100 может быть предназначен для реакций пиролиза с разбавляющей средой или без нее. Тем не

менее, присутствие разбавляющей среды является предпочтительным, поскольку она повышает выход продукта.

Реактор 100 может быть выполнен с возможностью приема исходного сырья, разбавленного, по меньшей мере, одним разбавителем, предпочтительно - газообразным разбавителем, таким как (водяной) пар. В процессах парового крекинга пар в качестве разбавителя является предпочтительным, поскольку он снижает парциальное давление углеводородов с целью подавления или уменьшения образования коксовых отложений путем реакции (реакций) газификации. В некоторых случаях разбавитель представляет собой инертную газообразную среду, такую как, например, водород (H_2), азот (N_2) или аргон, которая обладает, по существу, нулевой реакционной способностью по отношению к реагентам и продуктам реакции. Не исключено использование любого другого подходящего разбавителя. В некоторых случаях разбавление используется для снижения парциального давления и повышения эффективности реакции крекинга в пользу требуемого производства олефинов (например, этилена и пропилена). В некоторых других случаях реактор 100 может эксплуатироваться без разбавителя.

В некоторых конфигурациях устройство 100 представляет собой реактор парового крекинга.

Реактор 100 содержит роторную систему, далее - ротор, содержащий вал 1, расположенный вдоль горизонтальной (продольной) оси X - X', и узел ротора, установленный на валу 1. Реактор 100 дополнительно содержит по меньшей мере один узел 1С приводного двигателя (см. фиг. 8А-8С). Реактор 100 может использовать различные приводные двигатели, такие как электродвигатели, или он может приводиться в движение непосредственно газовой или паровой турбиной. Между приводным валом 1В и валом 1 ротора (см. фиг. 8А-8С) расположена подходящая муфта 1А. В зависимости от конфигурации могут использоваться упругие и жесткие (неупругие) муфты 1А вала. Вал ротора 1 поддерживается соответствующими подшипниковыми компонентами, которые рассматриваются ниже.

Узел ротора содержит множество лопастей 3 ротора (также называемых «рабочими лопастями»), расположенных по окружности диска 3а, установленного на валу ротора 1. Вместе, указанное множество лопастей ротора, расположенных на диске, образует узел лопастей ротора, или решетку лопастей ротора (решетку 3 ротора). Лопастей 3 ротора могут быть выполнены с профилями лопастей с осевым направлением потока, причем термин «с осевым направлением потока» обычно указывает, что технологическая текучая среда поступает в решетку

лопастей ротора с направления, по существу, перпендикулярного направлению вращения ротора. Каждая лопасть ротора имеет боковую поверхность с вогнутой кривизной (вогнутая сторона) и боковую поверхность с выпуклой кривизной (выпуклая сторона). В решетке ротора рабочие лопасти установлены на диске ротора с вогнутой стороной каждой лопасти, расположенной в направлении вращения ротора, как показано стрелкой на фиг. 1. В каждой рабочей лопасти (верхний профиль, как видно на фиг. 1) направление от выпуклой стороны к вогнутой стороне является направлением вращения ротора. Например, лопасти ротора могут быть выполнены со сверхзвуковыми профилями турбинных лопастей.

Термин «решетка» (венец лопастей/ лопаток) относится к совокупности (рабочих) лопастей или (неподвижных) лопаток, установленных по периферии диска ротора или на кольцеобразной опоре или корпусе.

Реактор 100 дополнительно содержит неподвижный компонент. Неподвижный компонент представлен множеством неподвижных (статорных) лопаток 2, 4, расположенных, по существу, в кольцевых сборках, или решетках (решетки 2, 4 статора) с обеих сторон лопастного диска ротора. Таким образом, первая решетка 2 статора расположена выше по потоку от решетки 3 лопастей ротора, а вторая решетка 4 статора расположена ниже по потоку от решетки лопастей ротора.

Термины «выше по потоку от» и «ниже по потоку от» в настоящем документе относятся к пространственному и/или функциональному расположению конструктивных частей или компонентов относительно заданной части или компонента, в настоящем документе — диска ротора с соответствующей решеткой лопастей, по существу, в направлении потока текучей среды по всему реактору (вдоль оси X-X, как показано, например, на фиг. 6A, 8A-8C и 9).

Решетки неподвижных лопаток расположены рядом с лопастями ротора, образуя компоновку 2, 3, 4 «статор-ротор-статор» (SRSA, stator-rotor-stator arrangement). Когда реактор работает в расчетных условиях, расстояния между компонентами ротора и статора в SRSA могут быть, по существу, одинаковыми.

Решетка, расположенная выше по потоку от диска ротора, содержит множество сопловых направляющих лопаток (NGV, nozzle guide vanes), также называемых сопловым аппаратом. Указанные лопатки образуют кольцевую решетку 2 направляющих сопловых лопаток. Решетка, расположенная ниже по потоку от диска ротора, содержит множество диффузорных лопаток, также

называемых выходными направляющими лопатками, которые образуют кольцевую диффузорную решетку (диффузор).

Первые и вторые неподвижные лопатки 2, 4 имеют изогнутые профили, предпочтительно, отрегулированные для сверхзвуковых скоростей потока через соответствующие решетки. В реакторе 100 неподвижные лопатки установлены с выпуклой стороной каждой лопатки, расположенной в направлении вращения ротора. Таким образом, в каждой неподвижной лопатке (верхний профиль, как видно на фиг. 1) направление от вогнутой стороны к выпуклой стороне является направлением вращения ротора.

Реактор 100 дополнительно содержит кожух 6, в котором внутренний проход выполнен в виде канала с по меньшей мере одним входом 8 и по меньшей мере одним выходом 9. Применительно к настоящему изобретению, кожух 6 рассматривается как неподвижный компонент. В данном контексте термин «неподвижный» используется в значении «невращающийся»; что не исключает возможности (осевого) смещения, как поясняется ниже.

На фиг. 6А показана конфигурация реактора с двумя входами 8А, 8В и двумя выходами 9А, 9В; при необходимости могут быть предусмотрены другие конфигурации. Например, реактор может включать в себя один вход и один выход; один вход с двумя выходами или два входа с одним выходом. Может быть реализован реактор с большим числом входов и/или выходов. Вход (входы) и выход (выходы) содержат соответствующее отверстие/ порт в кожухе 6, а также трубы, патрубки или коллекторы, связанные с каждым указанным портом.

Кожух 6 выполнен, по существу, полностью охватывающим периметр диска ротора с установленными на нем рабочими лопастями и решетки 2, 4, неподвижных лопаток, соседствующие с лопастями ротора, которые все вместе образуют компоновку 2, 3, 4 «статор-ротор-статор». Кожух 6 имеет, по существу, тороидальную форму (форму «бублика») в трехмерной конфигурации, в результате чего роторная система (1, 3А, 3) с соответствующими подшипниковыми узлами может рассматриваться как заполняющая проем, образующий отверстие в центральной части тороидальной формы. Тороидальная конструкция далее называется «газовым кожухом». В своем меридиональном сечении газовый кожух 6 имеет, по существу, кольцеобразную форму.

Реактор дополнительно содержит формирователь потока (устройство 5 для направления потока), расположенный внутри газового кожуха 6. Формирователь 5 потока может быть выполнен в виде внутренней неподвижной кольцеобразной конструкции, при этом он обеспечивает создание, по существу,

кольцевого канала внутри кожуха 6. Формирователь 5 закреплен в газовом кожухе 6 с помощью соответствующих приспособлений (не показаны). В некоторых конфигурациях формирователь 5 потока представляет собой кольцевую, по существу, полую конструкцию, такую как, например, обруч.

5 Внутренний объем реактора определяется как пространство, образованное между газовым корпусом 6 (внешний «бублик») и внутренним формирователем 5 потока (внутренний «бублик»).

 Таким образом, между внутренней поверхностью газового кожуха 6 и внешней поверхностью формирователя 5 потока образован, по существу, кольцевой проход/ канал. Соответственно, этот канал имеет кольцеобразное меридиональное сечение. Формирователь 5 потока, выполненный в виде внутреннего обруча, соседствует с кончиками лопастей ротора (между ними образован зазор, обеспечивающий беспрепятственное вращение ротора) и периферийными частями лопаток статора. В некоторых конфигурациях решетки 15 2, 4 неподвижных лопаток могут быть обеспечены на подшипниковых блоках, составляющих подшипниковую систему ротора, рассматриваемую ниже.

 В некоторых других случаях решетки статора могут быть собраны на формирователе 5 потока так, чтобы они соседствовали с лопастями 3 ротора. Таким образом, указанные лопатки статора могут быть установлены на 20 формирователе потока и/или присоединены к нему с помощью вспомогательных устройств, таких как кольца, кронштейны и т. п. (не показано). Вышеупомянутые признаки более подробно рассматриваются в публикациях авторов Bushuev (US 9,494,038 B2) и Seppala и др. (US 9,234,140), представляющих ближайший аналог из уровня техники и упомянутых выше в настоящем документе.

25 Решетки 2, 3, 4 соседствуют друг с другом в газовом кожухе 6 так, что между выходом из компоновки «статор-ротор-статор» (т.е. выходом из диффузорной решетки 4) и входом в указанную компоновку (т.е. входом в сопловую направляющую решетку 2) создается безлопаточное пространство. Указанное безлопаточное пространство образовано между внутренней 30 поверхностью газового кожуха 6 и внешней поверхностью формирователя 5 потока. Основная часть химической реакции (реакций), обеспечивающих превращение исходного сырья в целевые продукты, происходит в указанном безлопаточном пространстве.

 За счет выполнения разделительных перегородок (не показаны) в 35 кольцевом проходе/ канале, описанном выше, внутри реактора образован ряд рабочих полостей. Разделительные перегородки расположены симметрично относительно оси вращения ротора. Таким образом, могут быть реализованы

конфигурации реакторов, включающие в себя, например, две или четыре рабочие полости. Предпочтительно, чтобы входной порт (входные порты) располагался (располагались) после каждой указанной разделительной перегородки (в направлении вращения ротора), тогда как выходной порт (выходные порты) располагался (располагались) перед каждой указанной разделительной перегородкой. В некоторых случаях кольцевой канал может быть выполнен неразделенным.

В раскрытых выше конфигурациях поток технологической текучей среды организован для продвижения в канале, образующем внутреннюю область реактора, в соответствии со спиральной траекторией. Решетки 2, 3, 4, образующие компоновку «статор-ротор-статор», направляют технологическую текучую среду на повторное прохождение через указанные решетки и через безлопаточное пространство 7, в результате чего в кольцевом канале, по существу, устанавливается спиральная траектория потока между по меньшей мере одним входом и по меньшей мере одним выходом.

Во время работы (неподвижные) сопловые направляющие лопатки 2 способны направлять поток технологической текучей среды в решетку ротора. Являясь стационарной конструкцией, статор не увеличивает энергию технологической текучей среды. Однако, за счет профилей, размеров и их расположения вокруг вала 1 ротора, сопловые направляющие лопатки выполнены с возможностью направлять поток технологической текучей среды в решетку ротора в заданном направлении, чтобы контролировать и, в некоторых случаях, максимизировать рабочую входную мощность для конкретного ротора.

Поток технологической текучей среды далее поступает во множество лопастей 3 ротора, которые выполнены с возможностью, при вращении ротора, приема потока текучей среды от неподвижных лопаток 2 и увеличения механической энергии технологической текучей среде за счет повышения скорости течения потока текучей среды. Соответственно, повышение скорости течения приводит к повышению кинетической энергии текучей среды. Скорость течения потока, проходящего через компоновку «статор-ротор-статор», по существу, является сверхзвуковой.

Неподвижный лопаточный диффузор 4 уменьшает скорость потока технологической текучей среды, а также кинетическую энергию потока, в результате чего технологическая текучая среда поступает в безлопаточное пространство 7 с дозвуковой скоростью.

Во время нахождения внутри реактора 100 технологическая текучая среда проходит через решетки 2, 3 и 4 несколько раз, и каждый раз при прохождении

через решетку 3 лопастей ротора течение технологического потока ускоряется, получая кинетическую энергию, переходящую во внутреннюю энергию реагирующей (технологической) текучей среды (текучих сред) при продвижении через диффузор 4 и безлопаточное пространство 7, что обеспечивает тепловую

5 энергию, необходимую для разрушения химических связей между длинными углерод-водородными (С-Н) цепочками. Повышение внутренней энергии текучей среды приводит к подъему температуры текучей среды. Таким образом, высокомолекулярные соединения, имеющиеся в технологической текучей среде, эффективно уменьшаются в размерах.

10 Таким образом, технологический этап, обеспечивающий полный цикл преобразования энергии, устанавливается при прохождении потока технологической текучей среды через решетку 2 неподвижных сопловых направляющих лопаток, решетку 3 лопастей ротора, решетку 4 неподвижных диффузорных лопаток 4 и вхождении в безлопаточное пространство 7. В ходе

15 цикла преобразования энергии механическая энергия текучей среды преобразуется в кинетическую энергию и далее - во внутреннюю энергию текучей среды с последующим повышением температуры текучей среды и протеканием химических реакций в указанной текучей среде.

Во время пребывания внутри реактора 100 технологическая текучая среда

20 проходит решетки и безлопаточное пространство по спиральной траектории, таким образом, в течение одного технологического цикла обеспечивается ряд технологических этапов (обычно 5-10). Технологический цикл определяется периодом времени, в течение которого частицы потока переносятся технологическим потоком от входа 8 к выходу 9 из реактора с преобразованием

25 исходных соединений в целевые продукты. Процессы пиролиза, включая процессы (парового) крекинга, требуют высокой температуры и являются высокоэнтальпическими, поэтому реакции проводят при высоких температурах (750-1000°C, обычно 820-950°C) с временем пребывания в зоне реакции в

30 масштабе долей секунды, например 0,5-0,1 секунды вплоть до 0,03 - ,01 секунды (30 - 10 миллисекунд). Для полноты картины отметим, что содержащая исходное сырье технологическая текучая среда, поступающая в реактор, предварительно подогрета приблизительно до 500 - 600°C.

Время пребывания влияет на соотношение основных и вторичных продуктов при постоянной температуре. Таким образом, при коротком времени

35 пребывания доминируют основные реакции, приводящие к получению целевых продуктов, таких как легкие олефины, получаемые при паровом крекинге; тогда

как более длительное время пребывания приводит к увеличению вторичных реакций, что приводит к образованию кокса.

В целом, реактор 100, за счет его геометрии и параметров, связанных со статором и ротором, выполнен с возможностью создания условий для протекания
5 по меньшей мере одной химической реакции в технологической текучей среде.

При прохождении через реактор по спиральной траектории вышеописанным образом сырьевой материал (сырьевые материалы), содержащийся в технологической текучей среде, поступающей в реактор, подвергается превращению в целевые продукты, покидающие реактор с
10 выходящим потоком текучей среды. Во время технологического цикла технологические условия могут потребовать корректировки для стимулирования основных реакций, приводящих к получению указанных целевых продуктов, с предотвращением или, по меньшей мере, минимизацией вторичных реакций, которые обычно приводят к образованию кокса.

Настоящее изобретение основано на наблюдении, что в компоновке «статор-ротор-статор» при корректировке положения решетки 3 лопастей ротора относительно решеток 2, 4 неподвижных лопаток в осевом направлении вала ротора (т.е. в продольном направлении вала 1 ротора вдоль оси X-X'), потери потока, в частности, утечки потока, образующиеся в окружном направлении при
20 вращении ротора, можно регулировать с высокой эффективностью.

Таким образом, изобретательская идея основана на регулировке расстояния между решеткой 3 лопастей ротора и решетками 2, 3 неподвижных лопаток вдоль продольного направления оси (X-X'), определяемой валом ротора. В некоторых конфигурациях положение решетки лопастей ротора относительно
25 решеток неподвижных лопаток можно регулировать, обеспечивая возможность смещения ротора в осевом направлении (см. фиг. 8A, 8B, 9).

В некоторых альтернативных конфигурациях положение решетки лопастей ротора относительно решеток неподвижных лопаток можно регулировать путем осевого смещения неподвижного компонента или компонентов. В некоторых
30 вариантах осуществления смещаемый неподвижный компонент представляет собой кожух 6 реактора (см. фиг. 8C).

В реакторах типа роторной машины, раскрытых авторами Bushuev и Seppala и др. в соответствующих патентных публикациях, в большинстве случаев изменения чего-либо из: состава исходного сырья, расхода исходного сырья,
35 параметров устройства и/или процесса (например, скорости вращения ротора, температуры, давления и т. п.) вызывают колебания потока текучей среды, проходящего через реактор, и образование утечек в окружном направлении. В

частности, утечки образуются в направлениях от входа к выходу или от конца зоны реакции к началу соседней зоны реакции. Например, повышение температуры процесса (при постоянном химическом составе содержащей исходное сырье технологической текучей среды и ее массовом расходе) обычно связано с необходимостью увеличения скорости вращения ротора. Однако это приводит к утечкам потока из конца зоны реакции обратно в начало соседней зоны реакции (см. также фиг. 3В), что, в свою очередь, может вызвать коксуобразование и резко снизить выход целевых продуктов.

Обратимся снова к фиг. 1, где показано расположение лопаток 2, 4 статора относительно лопастей 3 ротора в реакторе 100, работающем в расчетных условиях. Расчетный режим работы подразумевает вращение ротора с расчетной скоростью U вращения (также называемой периферической (окружной), или тангенциальной, скоростью. Направление вращения ротора вокруг оси ротора указано стрелкой. В целях полноты изложения материала, «скорость» определяется как скорость в отношении направления, в иных случаях термины «скорость» и «частота вращения» используются взаимозаменяемо.

На фиг. 1 показаны треугольники скоростей для потока текучей среды, выходящего из сопловой направляющей решетки 2 и входящего в решетку 3 ($V_1, W_1, \alpha_1, \beta_1$) ротора, и то же самое для потока текучей среды, выходящего из решетки ротора и входящего в диффузорную решетку 4 ($V_2, W_2, \alpha_2, \beta_2$), где V – абсолютная скорость потока текучей среды, W – относительная скорость потока текучей среды, α_1 (альфа 1) – угол, под которым абсолютный поток (V_1) текучей среды входит в лопасти ротора, α_2 (альфа 2) – угол, под которым абсолютный поток (V_2) текучей среды входит в неподвижные диффузорные лопатки, β_1 (бета 1) — угол, под которым относительный поток (W_1) текучей среды входит в лопасти ротора, а β_2 (бета 2) — угол, под которым относительный поток (W_2) текучей среды выходит из лопастей ротора и входит в неподвижные диффузорные лопатки.

Вход (входное отверстие) в решетку лопастей/лопаток обычно определяется передними кромками соответствующих лопастей/лопаток, тогда как выход из решетки определяется задними кромками указанных лопастей/лопаток. Вход и выход определяются в направлении потока текучей среды.

На фиг. 2-5 схематично показана компоновка «статор-ротор-статор» в реакторе 100, работающем, по меньшей мере частично, в нерасчетных условиях. Скорости W_1 и V_2 обозначены пунктирными стрелками.

Реактор, работающий в расчетных условиях (так называемая «расчетная модель»), определяется как реактор, геометрия которого разработана и оптимизирована для реализации на практике заданных входных условий, при этом входные данные могут относиться к состоянию технологической текучей среды (ее давлению, температуре, массовому расходу), системе (скорости вращения ротора, внешней регулировке температуры, и т. д.) и/или исходному сырью (заданная скорость загрузки, химический состав и т. д.).

Нерасчетное состояние — это состояние, когда входные данные, используемые на практике, отличаются от входных данных, для работы с которыми система была разработана. Нерасчетный режим работы можно охарактеризовать как работу с температурами, давлением и/или массовыми расходами, отличными от расчетных параметров, при работе системы с меняющимися нагрузками и/или с другим исходным сырьем.

На фиг. 2А показаны треугольники скоростей в рабочих условиях, характеризующихся скоростью (U') вращения ротора, которая ниже его скорости (U) вращения в расчетном режиме; а на фиг. 3А показаны треугольники скоростей при рабочих условиях, характеризующихся скоростью (U') вращения ротора, превышающей его скорость (U) вращения в расчетном режиме.

На фиг. 4А показаны треугольники скоростей в рабочих условиях, характеризующихся скоростью (U) вращения ротора в расчетном режиме, но при увеличенном расходе потока (здесь – массовый расход, характеризующийся бóльшим расходом исходных сырьевых материалов, протекающих через реактор). В этом случае абсолютная скорость (V_1') потока текучей среды, выходящего из сопловой направляющей решетки и входящей в решетку ротора, будет больше, чем эта же скорость (V_1) в расчетном режиме.

Соответственно, на фиг. 5А показаны треугольники скоростей в рабочих условиях, характеризующихся скоростью (U) вращения ротора в расчетном режиме, но при пониженном расходе потока (здесь - массовый расход, характеризующийся меньшим расходом исходных сырьевых материалов, протекающих через реактор). В этом случае абсолютная скорость (W) потока текучей среды, выходящего из сопловой направляющей решетки и входящего в решетку ротора, будет ниже этой же скорости (V_1) в расчетном режиме.

Таким образом, на фиг. 2-5 показаны треугольники скоростей, получаемые для потока текучей среды, выходящего из сопловой направляющей решетки и входящей в решетку ($V_1', W_1', \alpha_1', \beta_1'$) ротора, и треугольники скоростей для потока текучей среды, выходящего из решетки ротора и входящего в диффузорную решетку ($V_2', W_2', \alpha_2', \beta_2'$) в реакторе 100, работающем в нерасчетных условиях,

- причем последние отличаются от расчетных условий, при этом V' - абсолютная скорость потока текучей среды, W' - относительная скорость потока текучей среды, α_1' (альфа 1') - угол, под которым абсолютный поток (V_1') текучей среды входит в лопасти ротора, α_2' (альфа 2') - угол, под которым абсолютный поток (V_2') текучей среды выходит из лопастей ротора и входит в неподвижные диффузорные лопатки, β_1' (бета 1') - угол, под которым относительный поток (W_1') текучей среды входит в лопасти ротора, а β_2' (бета 2') – угол, под которым относительный поток (W_2') текучей среды выходит из лопастей ротора и входит в неподвижные диффузорные лопатки.
- 10 Соответствующие параметры потока текучей среды для работы реактора 100 в расчетном режиме (U, V, W, α, β) и в нерасчетном режиме ($U', V', W', \alpha', \beta'$) представлены в таблице 1.

Таблица 1. Сравнение соответствующих параметров потока текучей среды, в расчетных и нерасчетных условиях (фиг. 2-5).

<i>Параметр</i>	<i>Фиг. 2</i>	<i>Фиг. 3</i>	<i>Фиг. 4</i>	<i>Фиг. 5</i>
U' - окружная скорость вращения ротора	$U' < U$	$U' > U$	$U' = U$	$U' = U$
<i>Параметры, относящиеся к потоку текучей среды, входящему в решетку ротора</i>				
V_1' - абсолютная скорость потока текучей среды, выходящего из сопловой направляющей решетки	$V_1' = V_1$	$V_1' = V_1$	$V_1' > V_1$	$V_1' < V_1$
α_1' - угол, под которым абсолютный поток (V_1') текучей среды входит в решетку ротора	$\alpha_1' = \alpha_1$	$\alpha_1' = \alpha_1$	$\alpha_1' = \alpha_1$	$\alpha_1' = \alpha_1$
W_1' - относительная скорость потока текучей среды	$W_1' < W_1$	$W_1' > W_1$	$W_1' > W_1$	$W_1' < W_1$
β_1' – угол, под которым относительный поток текучей среды входит в решетку ротора	$\beta_1' > \beta_1$	$\beta_1' < \beta_1$	$\beta_1' > \beta_1$	$\beta_1' < \beta_1$
<i>Параметры, относящиеся к потоку текучей среды, выходящему из решетки ротора</i>				
W_2' - относительная скорость потока текучей среды	$W_2' < W_2$	$W_2' > W_2$	$W_2' > W_2$	$W_2' < W_2$
β_2' – угол, под которым относительный поток (W_2') текучей среды выходит из решетки ротора	$\beta_2' = \beta_2$	$\beta_2' = \beta_2$	$\beta_2' = \beta_2$	$\beta_2' = \beta_2$
V_2' - абсолютная скорость потока текучей среды, входящего в диффузорную решетку	$V_2' < V_2$	$V_2' > V_2$	$V_2' > V_2$	$V_2' < V_2$
α_2' - угол, под которым абсолютный поток (V_2') текучей среды входит в диффузорную решетку	$\alpha_2' > \alpha_2$	$\alpha_2' < \alpha_2$	$\alpha_2' > \alpha_2$	$\alpha_2' < \alpha_2$

- 5 На основании треугольников скоростей (фиг. 2-5 А) были созданы траектории прохождения (линии тока) для потока технологической текучей среды через лопасти ротора во входной области реактора (вход 8) и в выходной области реактора (выход 9).

На фиг. 2-5 В, С показано влияние осевого смещения ротора на регулирование утечек потока в реакторе, работающем в нерасчетных условиях. Аналогичные меры принимают в тех случаях, когда расстояние между решеткой ротора и неподвижными решетками в компоновке «статор-ротор-статор»
5 изменяется за счет осевого смещения кожуха.

На фиг.2В показана траектория прохождения потока при расчетной скорости (U ; соответствующая линия тока показана пунктирной линией) вращения и при нерасчетной скорости (U') вращения, при этом нерасчетная скорость вращения ниже расчетной скорости вращения (соответствующая линия тока
10 обозначена: $U' < U$). На фиг. 2В видно, что при пониженной скорости U' вращения, часть протекающего потока проходит от входа 8 в реактор прямо к выходу 9 из реактора.

Как показано на фиг. 2В, уменьшение скорости вращения ротора, вызывает утечки по направлению вход-выход, при этом некоторая часть
15 технологического потока не попадает в зону реакции. В реакциях пиролиза это, естественно, приводит к снижению выхода основных (целевых) продуктов. Скорость вращения ротора обычно снижается при снижении температуры в реакторе. Другие параметры процесса, такие как химический состав технологической текучей среды, содержащей сырье, и массовый расход
20 указанной технологической текучей среды через реактор, сохраняются, по существу, постоянными.

На фиг. 2С показана ситуация, когда решетка 3 ротора, за счет сдвига ротора, сдвинута на заданное расстояние ΔX (дельта X), расстояние смещения, в направлении сопловой направляющей решетки 2. При смещении ротора
25 связанная с ним решетка 3 смещается на расстояние ΔX от своего первоначального положения, которое указанная решетка занимает в расчетном режиме. Смещение ротора происходит в осевом направлении, вдоль оси X-X' (фиг. 6А, 8А-8С, 9). Величину смещения, определяемую величиной ΔX , выбирают таким образом, чтобы при сдвиге ротора на указанную величину, по существу,
30 весь протекающий поток проходил от входа 8 в реактор к началу зоны реакции (при скорости вращения $U' < U$).

Как показано на фиг. 2-5 и 7, зона реакции определяется областью в канале, образованном между газовым корпусом 6 и формирователем 5 потока, где, как раскрыто выше, в ходе технологического цикла происходит основная
35 химическая реакция (реакции), приводящая к образованию целевых продуктов. Для ясности отметим, что большинство химических реакций происходит в области/объеме, занимаемом безлопаточным пространством.

На фиг. 3В показана траектория прохождения потока при расчетной скорости (U ; соответствующая линия тока показана пунктирной линией) вращения и при нерасчетной скорости (U') вращения, при этом нерасчетная скорость вращения выше расчетной скорости вращения (см. линию тока $U' > U$). На фиг. 5 3В видно, что при увеличении скорости U' вращения часть протекающего потока проходит от конца зоны реакции обратно к началу зоны реакции.

Как понятно из фиг. 3В и рассмотренного выше в настоящем документе в отношении ротодинамических устройств, составляющих уровень техники, увеличение скорости вращения ротора вызывает утечки по направлению от конца зоны реакции обратно к началу соседней зоны реакции, при этом уже полученные основные продукты возвращаются в начало зоны реакции вместо того, чтобы выходить из реактора. Это вызывает образование вторичных продуктов реакции, таких как кокс, в результате чего выход целевых продуктов соответственно снижается. Обычно устанавливаются бóльшие значения скорости вращения ротора при повышении температуры в реакторе. Как и в предыдущем примере, другие параметры процесса, такие как химический состав содержащей исходное сырье технологической текучей среды и массовый расход указанной технологической текучей среды через реактор, сохраняются, по существу, постоянными.

На фиг. 3С показана ситуация, когда ротор смещен в осевом направлении на заданное расстояние ΔX в направлении от сопловой направляющей решетки 2. Величина этого смещения выбрана так, что, по существу, весь протекающий поток от конца зоны реакции идет к выходу 9 из реактора 9 (при скорости вращения $U' > U$).

На фиг.4В показана траектория прохождения потока при расчетном массовом расходе (когда поток входит в ротор с абсолютной скоростью V_1 ; соответствующая линия тока показана пунктирной линией) и при нерасчетном массовом расходе V_1' , когда массовый расход через реактор увеличен (см. линию тока $V_1' > V_1$). В обоих случаях скорость (U) вращения ротора обеспечена в расчетном режиме. На фиг. 4В видно, что при увеличенном массовом расходе (V_1') часть протекающего потока идет от входа 8 в реактор непосредственно к выходу 9 из реактора.

На фиг. 4С показана ситуация, когда ротор смещен в осевом направлении на заданное расстояние ΔX в направлении сопловой направляющей решетки 2. Величина этого смещения выбрана так, что, по существу, весь протекающий поток идет от входа 8 в реактор к началу зоны реакции (при массовом расходе $V_1' > V_1$).

На фиг. 5В показана траектория прохождения потока при расчетном массовом расходе (когда поток входит в ротор с абсолютной скоростью V_1 ; соответствующая линия тока показана пунктирной линией) и при нерасчетном массовом расходе, при этом массовый расход через реактор уменьшен (см. 5 линию тока $V_1' < V_1$). В обоих случаях скорость (U) вращения ротора обеспечена в расчетном режиме. На фиг. 5В можно видеть, что при уменьшенном массовом расходе V_1' часть протекающего потока идет от конца зоны реакции обратно к началу зоны реакции.

10 На фиг. 5С показана ситуация, когда ротор аксиально смещен на заданное расстояние ΔX в направлении, противоположном сопловой направляющей решетке 2. Величина этого смещения выбрана так, что, по существу, весь протекающий поток от конца зоны реакции идет к выходу 9 из реактора (при массовом расходе $V_1' < V_1$).

15 Как показано на фиг. 2-5С, ротор выполнен с возможностью смещения в осевом направлении. Смещение осуществляется в отношении всего ротора посредством подшипникового механизма, который раскрывается ниже. Смещение ротора вызывает сдвиг соответствующей решетки 3 ротора на заранее выбранное расстояние ΔX относительно неподвижных компонентов реактора.

20 Расстояние смещения для примерного устройства 100 может составлять 5-15 мм (см. также Пример 1). Тем не менее, должно быть понятно, что величина расстояния смещения в осевом направлении может варьироваться в зависимости от размера, типа, конструкции и/или назначения реакторного устройства.

25 Дополнительное или альтернативное решение может включать в себя сдвиг диска 3А ротора вдоль вала 1 ротора (не показано).

30 В конфигурациях, раскрытых при рассмотрении фиг. 2-5, ротор 3 выполнен аксиально смещаемым в направлении решетки неподвижных лопаток, расположенной выше по потоку от решетки лопастей ротора (т.е. решетки сопловых направляющих лопаток). Это обосновано размещением смещаемого подшипника вблизи от приводного узла ротора. В реакторе, раскрытом в настоящем документе, диск со связанной с ним решеткой лопастей расположен между кольцевыми решетками лопаток; таким образом, смещение решетки ротора в сторону любой из неподвижных решеток изменяет исходное положение 35 лопастей ротора относительно обеих решеток статора. Для ясности, решетки неподвижных лопаток не смещены в осевом направлении.

Таким образом, в некоторых вариантах осуществления, изобретение предусматривает регулировку положения решетки 3 лопастей ротора относительно решеток 2, 4 неподвижных лопаток в компоновке «статор-ротор-статор» путем выполнения ротора аксиально смещаемым относительно неподвижного компонента (неподвижных компонентов) реактора (а именно, решетки 2, 4 неподвижных лопаток и кожуха 6) на заданное расстояние (ΔX) в продольном направлении ($X-X'$) вала ротора.

В некоторых конфигурациях ротор смещается на заданное расстояние (ΔX) в продольном направлении к решетке 2 неподвижных лопаток, расположенной выше по потоку от решетки 3 лопастей ротора, при уменьшении скорости (U) вращения ротора и/или при увеличении расхода технологической текучей среды через реактор. На практике измененный расход относится к измененному массовому расходу, вызванному повышенным потреблением исходного сырьевого материала.

В некоторых других конфигурациях ротор смещается на заданное расстояние (ΔX) в продольном направлении от решетки 2 неподвижных лопаток, расположенной выше по потоку от решетки 3 лопастей ротора, при увеличении скорости вращения ротора и/или при уменьшении расхода технологической текучей среды через реактор. На практике измененный расход относится к измененному массовому расходу, вызванному снижением потребления исходных сырьевых материалов.

В некоторых вариантах осуществления расстояние между решеткой 3 лопастей ротора и решетками 2, 4 неподвижных лопаток вдоль вала ротора регулируется путем выполнения неподвижного компонента (неподвижных компонентов) реактора смещаемыми вдоль вала ротора. Неподвижный компонент (неподвижные компоненты) смещается/смещаются вдоль вала 1 ротора (в направлении $X - X'$) на заданное расстояние (ΔX). В таком случае ротор остается несдвинутым. Альтернативно, осевое перемещение неподвижного компонента может сопровождаться осевым перемещением ротора.

Например, осевое смещение кожуха 6 может сопровождаться осевым смещением по меньшей мере одной решетки неподвижных лопаток, например, решетки 2 сопловых направляющих лопаток, когда эти элементы выполнены соединенными друг с другом.

Изменение положения решетки лопастей ротора вышеуказанным образом, например, путем сдвига ротора и/или неподвижного компонента, позволяет регулировать утечки потока с высокой точностью. Количество и/или направление

(от входа к выходу; от конца зоны реакции к началу соседней реакции) можно эффективно регулировать.

Изменения (массового) расхода и связанного с ним потребления исходного сырья можно дополнительно компенсировать путем изменения соотношения исходного сырья и разбавителя (где разбавителем является, например, (водяной) пар) таким образом, чтобы общий расход технологической текучей среды, содержащей сырье (т.е. смеси исходного сырья и разбавителя) через реактор сохранялся неизменным.

Регулировка положения решетки лопастей ротора относительно неподвижных лопаток путем осевого смещения ротора, например, как раскрыто выше, может быть реализована в реакторе 100, находящемся в рабочем режиме или в нерабочем режиме. Под «рабочим режимом» мы подразумеваем в настоящем контексте состояние устройства 100, которое возникает в результате его использования или применения и, опционально, подразумевает приведение ротора во вращение. Такое использование может происходить, например, во время нормальной эксплуатации (подразумевающей проведение химической реакции (реакций) в указанной зоне реакции) или при испытании системы. С другой стороны, нерабочий режим обычно подразумевает, что устройство 100 остановлено или выключено.

Выполнение смещения ротора в реакторе, находящемся в нерабочем режиме, обычно осуществляется, когда реактор должен быть подготовлен для использования с исходным сырьем, отличным от ранее использовавшегося (например, иного происхождения и/или с измененным химическим составом), поскольку такая подготовка может потребовать других корректировок в системе.

Смещение ротора может быть выполнено, когда реактор находится в рабочем режиме. В таком случае осевое смещение может выполняться вручную или автоматически, при этом автоматическая регулировка осевого перемещения ротора включается и управляется локальной или централизованной системой управления (не показана). В некоторых случаях осевое смещение можно выполнить без остановки вращения ротора. В таком случае может быть целесообразным уменьшение скорости вращения ротора.

Аналогичные соображения применимы и к осевому смещению неподвижного компонента (неподвижных компонентов).

Можно использовать любую комбинацию подходов, раскрытых выше и направленных на регулирование потерь потока в результате утечек, протекающих в кольцевом направлении.

Рассмотрим далее фиг. 6А и 6В, где на фиг. 6А показан реактор 100 в соответствии с одним из вариантов осуществления, а на фиг. 6В показаны виды в сечениях по линиям А-А и В-В, показанным на фиг. 6А. Область сечения по линии А-А расположена на входе (во входном сечении) в сопловую направляющую решетку 2, тогда как область сечения по линии В-В расположена на выходе из диффузорной решетки 4. В общем, сечения А-А и В-В изображают события, происходящие на входе и выходе компоновки «статор-ротор-статор».

Места, в которых технологические линии тока входят во внутреннюю область реактора и выходят из нее, обозначены на видах, изображающих поперечные разрезы А-А и В-В (фиг. 6В). Кроме того, технологические линии, проходящие через компоновку 2, 3, 4 «статор-ротор-статор», обычно идущие по спиральной траектории, обозначены отдельными пронумерованными секторными областями, или секторами (см. римские цифры i-vii). Справа показана блок-схема, иллюстрирующая прохождение линий тока через реактор. На фиг. 6В показаны линии тока, проходящие между первым входом и первым выходом 8А, 9А, соответственно (линии тока, проходящие между вторым входом 8В и вторым выходом 9В, не показаны).

В процессе работы поток технологической текучей среды, содержащий сырье, поступает в реактор через входное отверстие 8 (здесь - 8А) и попадает в первую решетку 2 неподвижных лопаток (решетку сопловых направляющих лопаток). В сечении А-А входные области в первой решетке 2 неподвижных лопаток заштрихованы (фиг. 6В). Некоторые неподвижные лопатки, расположенные во входных областях, соединены разделительной перегородкой (перегородками) с соответствующими входными отверстиями, в результате чего между входом и выходом образованы рабочие полости.

Протекающий поток текучей среды проходит через компоновку 2, 3, 4 «статор-ротор-статор», что на практике означает, что протекающий поток последовательно проходит через (неподвижные) сопловые направляющие лопатки 2, через (вращающиеся) лопасти 3 ротора и через (неподвижные) диффузорные лопатки 4; после этого протекающий поток выходит из решетки (решеток) в секторе (i) диффузорной решетки (сечение В-В) и течет «вверх» через безлопаточное пространство 7. Поток входит в безлопаточное пространство после того, как он выйдет из второй решетки 4 неподвижных лопаток (решетки диффузорных лопаток).

Каждый раз, когда технологическая текучая среда проходит через решетки статора-ротора-статора, температура технологического потока повышается, тем самым способствуя химической реакции (химическим реакциям) в безлопаточном

пространстве, расположенном ниже по потоку от указанных решеток, если смотреть в направлении потока текучей среды.

Пройдя безлопаточное пространство 7, протекающий поток входит в сектор (i) решетки 2 сопловых направляющих лопаток (сечение А-А), и вышеописанный процесс повторяется. А именно, протекающий поток текучей среды проходит через решетки 2, 3, 4, выходит в секторе (ii) диффузорной решетки 4 (сечение В-В) и продолжается через безлопаточное пространство 7 в направлении сектора (ii) решетки 2 сопловых направляющих лопаток (сечение А-А), обычно следуя по спиральной траектории. В конфигурации, представленной на фиг. 6В протекающий поток проходит через решетки восемь (8) раз (создавая 8 ступеней, соответственно). После последнего прохождения через решетки статора-ротора-статора (здесь - в восьмой раз) протекающий поток выходит из решеток и направляется к выходу 9 (здесь - 9А) из реактора.

В сечении В-В выходные области во второй решетке 4 неподвижных лопаток затенены. Некоторые неподвижные лопатки, расположенные в выходных областях, соединены посредством разделительной перегородки (разделительных перегородок) с соответствующими выходными отверстиям.

Рассмотрим фиг. 8А-8С, где схематично показаны различные компоновки для осевого смещения ротора (фиг. 8А, 8В) и неподвижного компонента (неподвижных компонентов) (фиг. 8С).

Во всех базовых вариантах осуществления реактор 100 содержит (газовый) кожух 6, охватывающий решетку 3 ротора, и кольцевые решетки 2, 4 неподвижных лопаток, предусмотренные по обеим сторонам ротора. Внутри кожуха 6 установлен формирователь 5 потока в виде полого обруча, вследствие чего образуется кольцевой канал между внутренней поверхностью кожуха 6 и внешней поверхностью формирователя 5 потока. Часть указанного канала, не занятая лопатками/лопастями, образует безлопаточное пространство 7.

Реактор, реализованный как 100А (фиг. 8А), дополнительно содержит по меньшей мере один упорный подшипниковый элемент 23 (который также может называться упорным подшипником скольжения), расположенный на валу 1 ротора. Упорный подшипник (упорные подшипники) поддерживают осевые нагрузки, действующие параллельно оси вала. Упорный подшипниковый элемент 23 может быть выполнен в виде гидродинамического упорного подшипника, например, с упорным диском 23А, установленным между соответствующими колодками или обоймами. Можно использовать любую другую подходящую конфигурацию.

Упорный подшипниковый элемент 23 выполнен с возможностью смещения вдоль вала 1 ротора относительно неподвижных компонентов реактора, например, кожуха 6. Таким образом, в конфигурации на фиг. 8А, ротор подвергается осевому смещению за счет осевого смещения упорного подшипникового элемента 23. В такой конфигурации муфта 1А вала, расположенная между валом 1 ротора и приводным валом 1В, предпочтительно, выполнена в виде упругой муфты, которая обеспечивает возможность осевого смещения чего-либо из приводного вала и вала ротора (или их обоих) в осевом направлении.

10 На фиг. 8В показана конфигурация 100В, в которой ротор выполнен аксиально смещаемым за счет осевого смещения приводного вала 1В (последний соединен с валом 1 ротора с помощью муфты 1А). Муфта 1А может быть выполнена жесткой (предпочтительно) или упругой. Реактор 100В может быть реализован без упорного подшипника (упорных подшипников).

15 В некоторой конкретной конфигурации реактор 100В реализован без упорного подшипника, приводной вал 1В выполнен с возможностью смещения в осевом направлении, а муфта 1А, расположенная между приводным валом 1В и валом 1 ротора, является неупругой (в осевом направлении), т.е. она не допускает взаимного смещения приводного вала и вала ротора.

20 Конфигурации 100А, 100В (фиг. 8А, 8В) имеют фиксированный неподвижный компонент. В частности, кожух реактора выполнен неподвижным (несмещаемым) по отношению к приводу 1С реактора. В обеих конфигурациях предусмотрена возможность возвратно-поступательного движения ротора в осевом направлении.

25 Конфигурации 100А, 100В могут включать в себя обеспечение радиальных подшипников скольжения (радиальных опорных подшипников), опционально — в соответствующих блоках, расположенных продольно на валу 1 ротора на противоположных сторонах диска 3А ротора (подробнее см. описание фиг. 9).

30 На фиг. 8С показана конфигурация (100С), в которой положение решетки 3 лопастей ротора относительно решеток 2, 4 неподвижных лопаток в компоновке «статор-ротор-статор» является регулируемым путем осевого смещения по меньшей мере одного неподвижного компонента, в частности, кожуха 6 реактора, в продольном направлении вала ротора. Смещение кожуха 6 и/или какой-либо из решеток 2, 4 неподвижных лопаток может обеспечиваться посредством радиальных подшипников 22, 32 скольжения (см. описание фиг. 9).

35 В общем, реактор 100 может быть выполнен без упорного подшипника (упорных подшипников) 23 (например, конфигурация 100С).

В устройстве 100С приводной вал 1В, предпочтительно, зафиксирован (является несмещаемым) в осевом направлении. Кроме того, муфта 1А, предпочтительно, выполнена жесткой (неупругой), что делает приводной вал 1В и вал 1 ротора несмещаемыми в осевом направлении.

5 В некоторой конкретной конфигурации реактор 100С реализован без упорного подшипника, приводной вал 1В выполнен несмещаемым в осевом направлении, а муфта 1А, расположенная между приводным валом 1В и валом 1 ротора, также является неупругой, благодаря чему предотвращается осевое смещение приводного вала и вала ротора.

10 В настоящем изобретении газовый кожух 6 обычно называют кожухом реактора. Тем не менее, конструкция 100 (100А, 100В, 100С) устройства может быть дополнительно заключена в отдельный внешний корпус (не показано).

Рассмотрим фиг. 9, где показан примерный механизм осевого смещения ротора в реакторе 100, указанный механизм предусматривает смещение
15 упорного подшипника. В общем, конфигурация 100, 100А, показанная на фиг. 9 основана на том, что показано на фиг. 8А, поэтому повторений при описании базового варианта осуществления не будет.

В конфигурации по фиг. 9 реактор содержит подшипниковую систему, содержащую радиальные (скользящие) подшипниковые элементы 22, 32 и по
20 меньшей мере один упорный подшипниковый элемент 23. В некоторых конфигурациях радиальные подшипниковые элементы представляют собой радиальные опорные подшипники, расположенные на валу 1 ротора в продольном направлении с противоположных сторон диска 3А ротора. Радиальные подшипники поддерживают нагрузку от ротора, которая действует
25 перпендикулярно оси вала ротора. Каждый радиальный подшипниковый элемент 22, 32 установлен в корпусе 22А, 32А (корпус радиального подшипника) и поддерживается подходящим уплотнительным кольцом 39 (другая сторона не показана).

Указанный по меньшей мере один упорный подшипник 23 расположен на
30 валу ротора так, чтобы примыкать к радиальному подшипнику. Можно использовать любые подходящие радиальные (опорные) и упорные конфигурации подшипников.

Таким образом, в некоторых конфигурациях подшипниковая система реализована с парой радиальных подшипников 22, 32, причем радиальный
35 подшипниковый элемент 22 и упорный подшипниковый элемент 23, расположенные рядом на валу ротора с одной стороны диска ротора, размещены в корпусе 21 и образуют первый подшипниковый блок. Радиальный

подшипниковый элемент 32, расположенный на валу ротора с другой стороны диска ротора размещен в корпусе 31, образуя второй подшипниковый блок. Указанные подшипниковые блоки установлены по обеим сторонам газового кожуха 6.

5 Предпочтительно, чтобы упорный подшипниковый элемент был установлен на валу ротора вблизи от приводного узла ротора (т.е. со стороны диска ротора, связанной с приводным двигателем).

Подшипниковый блок, расположенный на переднем/входном конце реактора (т.е. на том конце, где находится решетка 2 сопловых направляющих лопаток), называется первым подшипниковым блоком, при этом подшипниковый блок, расположенный на заднем/выходном конце реактора (т.е. на том конце, где находится решетка 4 диффузорных лопаток), называют вторым подшипниковым блоком. Каждый из указанных первого и второго подшипниковых блоков содержит подшипники, опционально, подшипниковые узлы, установленные в
10 соответствующем корпусе 21,31 (корпусе подшипникового блока). Указанные подшипниковые узлы выполнены с возможностью поглощать радиальные нагрузки, а также, предпочтительно, осевые (продольные) нагрузки.
15

В устройстве по фиг. 9 упорный подшипниковый элемент 23 размещен в отдельном корпусе 24 (корпусе упорного подшипника), который заключен, по
20 меньшей мере частично, внутри корпуса 21 соответствующего подшипникового блока. Торцевое уплотнение 29 (вала ротора) установлено в корпусе 24 упорного подшипника под крышкой 24А корпуса упорного подшипника.

Дополнительно или альтернативно, упорный подшипник может быть размещен во втором подшипниковом блоке (не показано).

25 Смазочное масло подается в подшипниковые блоки из масляной системы (не показана) через соответствующие масловпускные каналы 25, 35 в корпусах 21, 31 блоков. Слив масла из подшипников осуществляется через масловыпускные каналы 26, 36. Отдельные масляные каналы (впускной и выпускной) расположены в корпусе 24 упорного подшипника для смазки и
30 охлаждения последнего.

Подшипниковые блоки могут дополнительно содержать лабиринтные уплотнения 27, 37. Во избежание загрязнения технологической текучей среды и/или выделения чрезмерного тепла во время процесса можно использовать безжидкостные лабиринтные уплотнения, такие как газолабиринтные уплотнения.
35 Для обеспечения герметичности можно использовать, например, пар (водяной пар) или инертный газ, такой как азот. Инертный газ подается в лабиринтные уплотнения по каналам 28, 38.

В некоторых конфигурациях каждая из решеток 2, 4 неподвижных лопаток и, опционально, наружный кожух 6 закреплены на подшипниковых блоках.

5 Заключенный в корпус (24) упорный подшипниковый элемент 23 выполнен аксиально смещаемым на заданное расстояние ΔX в продольном направлении вала ротора (вдоль оси X - X') в соответствующем подшипниковом блоке. Упорный подшипник 23 смещен относительно корпуса 21 указанного подшипникового блока. За счет того, что упорный подшипниковый элемент 23 является смещаемым относительно корпуса подшипникового блока, он также является смещаемым относительно неподвижных компонентов реактора
10 (например, кожуха 6).

Как упоминалось выше, вращательное движение ротора поддерживается радиальными подшипниками 22, 32, установленными вдоль вала 1 ротора. С другой стороны, упорный подшипниковый элемент 23 обеспечивает осевое смещение ротора.

15 Таким образом, в варианте по фиг. 9, ротор выполнен аксиально смещаемым относительно решеток 2, 4 неподвижных лопаток и относительно газового кожуха 6 путем регулировки положения заключенного в корпус (24) упорного подшипникового элемента 23 в продольном направлении вала ротора в соответствующем подшипниковом блоке относительно корпуса 21 указанного
20 подшипникового блока. Таким образом, обеспечивается возвратно-поступательное перемещение ротора в осевом направлении.

Устройство 100 может быть реализовано в соответствии со следующим примером.

25 Пример 1. Устройство 100 содержит газовый кожух 6 с двумя входами 8А, 8В и двумя выходами 9А, 9В. Корпус охватывает ротор 3 и кольцевые решетки 2, 4 неподвижных лопаток, установленные с каждой стороны ротора. Внутри корпуса установлен формирователь 5 потока в виде полого обруча, образуя кольцевой канал, причем часть указанного канала, не занятая лопатками/лопастями, образует безлопаточное пространство 7. Ротор выполнен
30 с возможностью смещения вдоль продольной оси X - X'. Реактор 100 работает с параметрами, указанными в Таблице 2.

Таблица 2. Примерные параметры, относящиеся к решетке 3 лопастей ротора и к потоку технологической текучей среды.

<i>Параметры, относящиеся к потоку текучей среды, входящей в решетку ротора</i>	
V_1 - абсолютная скорость потока текучей среды	325 м/с

α_1 - угол, под которым абсолютный поток (V_1) текучей среды входит в решетку ротора	30°
W_1 - относительная скорость потока текучей среды	590 м/с
β_1 - угол, под которым относительный поток текучей среды входит в решетку ротора	16°
Параметры, относящиеся к потоку текучей среды, выходящему из решетки ротора	
W_2 - относительная скорость потока текучей среды	580 м/с
β_2 - угол, под которым относительный поток текучей среды выходит из решетки ротора	28°
V_2 - абсолютная скорость потока текучей среды, входящей в диффузорную решетку	858 м/с
α_2 - угол, под которым абсолютный поток текучей среды входит в диффузорную решетку	18,5°
U - окружная скорость вращения ротора	285 м/с
Размер лопасти ротора в осевом направлении	42 мм
Зазор между решеткой сопловых направляющих лопаток и решеткой лопастей ротора в осевом направлении	12 мм
Зазор между решеткой лопастей ротора и диффузорной решеткой лопаток в осевом направлении	12 мм

Чтобы в устройстве 100, разработанном и реализованном с параметрами, указанными в Таблице 2, предотвратить или, по меньшей мере, свести к минимуму окружные утечки потока, возникающие из-за уменьшения скорости U вращения на 25%, ротор должен быть аксиально смещен в направлении решетки сопловых направляющих лопаток на расстояние ΔX , равное 6,6 мм.

Результаты этого смещения дополнительно представлены на фиг. 7, при этом на фиг. 7А показан треугольник скоростей, получаемый в реакторе 100 при расчетных параметрах в соответствии с Таблицей 2 (числовые значения приведены в миллиметрах).

На фиг. 7В показан треугольник скоростей в нерасчетных условиях эксплуатации, которые предполагают снижение скорости U' вращения на 25% по сравнению со скоростью U вращения в расчетном режиме. Скорости W_1 и V_2 обозначены пунктирными стрелками.

На фиг. 7С показана ситуация, когда решетка 3 ротора смещена на расстояние ΔX в направлении решетки 2 сопловых направляющих лопаток. В

данном случае $\Delta X = 6,6$ мм. При выбранной величине смещения, по существу, весь протекающий поток, входящий внутрь реактора, принудительно направляется к началу зоны реакции.

5 Устройство 100, разработанное с параметрами лопасти в соответствии с Таблицей 2, также показано на фиг. 9. Следует отметить, что расстояние ΔX смещения составляет 8 мм. Там, где это применимо, числовые значения на чертеже (чертежах) указаны в миллиметрах.

10 Неограничивающим образом, во всех конфигурациях, раскрытых выше, может быть обеспечена окружная (вращательная) скорость (U) вращения ротора в диапазоне 150 – 400 м/с. Скорость зависит от того, сколько энергии необходимо подать в технологический поток для данного состава исходного сырья.

15 Размер лопасти ротора в осевом направлении может быть обеспечен в диапазоне 20 - 90 мм. Зазор между решеткой сопловых направляющих лопаток и решеткой лопастей ротора в осевом направлении может быть обеспечен в диапазоне 6 – 40 мм. В общем, размеры лопастей ротора и неподвижных лопаток, а также зазоры между ними зависят от размера реактора 100 и, соответственно, от его производительности.

20 Расстояние ΔX смещения в реакторе, имеющем указанные выше характеристики, может изменяться в диапазоне приблизительно 0,5 - 25 мм; этот диапазон может быть расширен при укрупнении устройства.

25 Можно обеспечить компоновку реакторов (не показано) для параллельного или последовательного соединения по меньшей мере двух реакторных устройств 100. Соединение между указанными устройствами может быть механическим и/или функциональным. Функциональное (например, с точки зрения химии) соединение может быть установлено при обеспечении связи по меньшей мере двух отдельных, физически интегрированных или неинтегрированных реакторов 100. В последнем случае связь между указанными по меньшей мере двумя устройствами 100 может быть установлена с помощью ряда 10 вспомогательных установок (не показаны). В некоторых конфигурациях компоновка содержит по 30 меньшей мере два устройства, которые, по меньшей мере, функционально соединены посредством своих центральных валов. Такая конфигурация может быть дополнительно определена как имеющая по меньшей мере два устройства 100, механически соединенных последовательно (друг за другом), тогда как функциональное (например, с точки зрения реакций, основанных на исходном 35 сырье) соединение можно рассматривать как параллельное соединение (в массивах).

В некоторых случаях компоновка может дополнительно содержать печь предварительного нагрева (далее - печь). Вместе печь и по меньшей мере один реактор 100 могут образовывать блок крекинга (не показано). Несколько параллельных реакторов 100 могут быть соединены с общей печью; или
5 несколько реакторов 100 могут быть соединены с несколькими печами.

В еще одном аспекте обеспечено применение устройства 100 и/или соответствующей компоновки для термического или термохимического преобразования углеводородсодержащего исходного сырья.

В выбранных конфигурациях указанное преобразование представляет
10 собой термический или термохимический крекинг указанного углеводородсодержащего исходного сырья, в частности, флюидизированного углеводородсодержащего исходного сырья (т.е., флюидизированного органического исходного материала, который в основном содержит углерод и водород).

15 Дополнительно или альтернативно, реактор 100 может быть выполнен с возможностью переработки кислородсодержащего исходного материала, такого как кислородсодержащие производные углеводородов. В некоторых конфигурациях реактор 100 может быть выполнен с возможностью переработки исходного сырья на основе целлюлозы. В некоторых дополнительных или
20 альтернативных конфигурациях реактор может быть выполнен для переработки исходного сырья на основе (отходов) животных жиров и/или (отходов) растительного масла. Предварительная переработка указанного сырья на основе животных жиров и растительных масел может включать в себя гидродезоксигенацию (удаление кислорода из кислородсодержащих соединений),
25 что приводит к разрушению (три)глицеридных структур и дает в основном линейные алканы. В дополнительных или альтернативных конфигурациях реактор 100 может быть выполнен с возможностью переработки побочных продуктов целлюлозной промышленности, таких как талловое масло или какие-либо его производные. Определение «талловое масло» относится к побочному
30 продукту (побочным продуктам) широко известного процесса Крафта, используемого при варке целлюлозы, в основном из хвойных пород деревьев, при производстве целлюлозы.

В производственном процессе углеводородсодержащее сырье обеспечивают, но не ограничиваются этим, в виде любого из следующего:
35 среднетяжелые углеводороды, такие как нефти и газойли, и легкие углеводороды, такие как этан, пропан и бутаны. Пропаны и более тяжелые фракции можно использовать далее.

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

Углеводородсодержащее сырье может быть дополнительно обеспечено в виде какого-либо предварительно переработанного материала на основе глицеридов, такого как (отходы или остатки) растительных масел и/или животных жиров, или предварительно переработанные пластиковые отходы или остатки. Предварительная переработка указанного (три)глицеридного исходного сырья может включать в себя различные процессы, такие как пиролиз или дезоксигенация, как раскрыто выше. Ряд пластиковых отходов, включающих PVC (поливинилхлорид), PE (полиэтилен), PP (полипропилен), PC (полистирол) и их смеси, можно использовать в процессах восстановления пиролизного масла или газа, которые в дальнейшем могут использоваться в качестве исходного сырья для производства новых пластмасс и/или рафинирования до мазута (мазутов) (дизельных эквивалентов).

Таким образом, в выбранных вариантах осуществления реактор 100 может быть выполнен с возможностью реализации по меньшей мере одного процесса, выбранного из группы, состоящей из: переработки углеводородного исходного сырья, предпочтительно содержащего среднетяжелые и легкие углеводородные фракции; переработки газифицированного углеводсодержащего исходного материала, переработки газифицированного исходного материала, содержащего глицериды и/или жирные кислоты, и переработки газифицированного материала целлюлозной биомассы. Таким образом, реактор 100 может быть выполнен с возможностью переработки кислородсодержащих исходных материалов, полученных, например, из исходного сырья на биологической основе. Возможные области применения включают переработку материалов на основе биомассы или полученных из биомассы для производства возобновляемых видов топлива в таких процессах, как прямая каталитическая гидрогенизация растительного масла или животных жиров до соответствующих алканов или каталитическая дегидрогенизация газообразных углеводородов, например, в качестве одной из стадий процесса Фишера-Тропша. Кроме того, реактор может быть выполнен для валоризации (улучшения или очистки газообразного материала) пиролизного газа на биологической основе или синтез-газа.

В случае использования исходного сырья на основе биомассы, глицеридов и/или полимерных веществ реактор 100 может быть дополнительно

приспособлен для каталитических процессов. Это достигается за счет наличия ряда каталитических поверхностей (не показано), образованных путем каталитического покрытия (каталитических покрытий) лопастей реактора или внутренних стенок, находящихся в контакте с технологической текучей средой (технологическими текучими средами). В некоторых случаях реактор может содержать ряд каталитических модулей, определяемых керамической или металлической подложкой (подложками) или опорным держателем (опорными держателями) с активным (каталитическим) покрытием, опционально реализованным в виде монолитных сотовых структур.

10 В другом аспекте обеспечен способ повышения эффективности процесса и регулирования потерь потока при переработке исходного сырья в технологической текучей среды, указанный способ содержит, по меньшей мере, следующие шаги:

а) обеспечивают наличие устройства (100), содержащего:

15 - ротор, содержащий множество лопастей ротора, расположенных по окружности диска (3а), установленного на валу (1) ротора и образующих решетку (3) лопастей ротора,

20 - множество неподвижных лопаток, размещенных в кольцевые решетки (2, 4) лопаток, которые расположены рядом с решеткой лопастей ротора, образуя компоновку (2, 3, 4) «статор-ротор-статор», и

- кожух (6), в котором образован канал с по меньшей мере одним входом (8) и по меньшей мере одним выходом (9), причем указанный кожух охватывает решетку (3) лопастей ротора (3) и решетки (2, 4) неподвижных лопаток внутри указанного канала, и

25 б) регулируют положение решетки лопастей ротора относительно решеток неподвижных лопаток в компоновке «статор-ротор-статор» в осевом направлении вдоль вала ротора на заданное расстояние (ΔX).

Этот способ особенно предпочтителен при работе устройства 100 в нерасчетных условиях.

30 В данном способе положение решетки лопастей ротора относительно решеток неподвижных лопаток в указанной компоновке «статор-ротор-статор» регулируют путем осевого смещения ротора в продольном направлении вала ротора. Альтернативно, можно смещать неподвижный компонент (например, кожух). Можно обеспечить возвратно-поступательное перемещение любого из ротора и неподвижного компонента в продольном направлении вдоль вала ротора.

35

В некоторых вариантах осуществления регулировка положения решетки лопастей ротора относительно решеток неподвижных лопаток в компоновке «статор-ротор-статор» сопровождается регулировкой, по меньшей мере, скорости вращения ротора и/или расхода технологической текучей среды, содержащей исходное сырье. В некоторых случаях регулировка расхода включает в себя регулировку массового расхода, указывающего на общее потребление исходных материалов.

В некоторых вариантах осуществления ротор смещают на заданное расстояние ΔX в продольном направлении к решетке 2 неподвижных лопаток (решетке сопловых направляющих лопаток), расположенной выше по потоку от решетки 3 лопастей ротора, при уменьшении скорости вращения ротора и/или при увеличении расхода технологической текучей среды через реактор 100.

В некоторых других вариантах осуществления ротор смещают на заданное расстояние ΔX в продольном направлении от решетки 2 неподвижных лопаток, расположенной выше по потоку от решетки 3 лопастей ротора, при увеличении скорости вращения ротора и/или при уменьшении расхода технологической текучей среды через реактор 100.

В данном способе положение ротора и/или неподвижного компонента можно регулировать в устройстве, находящемся в рабочем режиме или в нерабочем режиме.

В данном способе исходное сырье преимущественно содержит углеводороды. В некоторых случаях исходное сырье содержит по меньшей мере одно алкановое сырье (этан, пропан, бутан), нефть, газойль и/или любое другое сырье, пригодное для производства, по существу, низкомолекулярных, предпочтительно непредельных углеводородов, таких как олефины (этилен, пропилен, бутилен) и ацетилен.

Специалисту в данной области техники ясно, что с развитием техники основные идеи настоящего изобретения могут быть реализованы различным образом. Изобретение и его варианты осуществления, в общем, могут варьироваться в пределах объема прилагаемой формулы изобретения.

ФОРМУЛА ИЗОБРЕТЕНИЯ

1. Устройство (100) для переработки исходного сырья в технологической текучей среде, содержащее:

- 5 - ротор, содержащий множество лопастей ротора, расположенных по окружности диска (3а), установленного на валу (1) ротора, и образующих решетку (3) лопастей ротора,
- множество неподвижных лопаток, размещенных в виде, по существу, кольцевых решеток (2, 4) лопаток, которые расположены рядом с
- 10 решеткой лопастей ротора, образуя компоновку (2, 3, 4) «статор-ротор-статор», и
- кожух (6), в котором образован канал с по меньшей мере одним входом (8) и по меньшей мере одним выходом (9), причем указанный кожух охватывает решетку (3) лопастей ротора (3) и решетки (2, 4) неподвижных
- 15 лопаток внутри указанного канала, при этом предусмотрена возможность регулирования положения решетки (3) лопастей ротора относительно решеток (2, 4) неподвижных лопаток в компоновке «статор-ротор-статор» в осевом направлении вдоль вала ротора на заданное расстояние (ΔX).

2. Устройство (100) по п. 1, в котором предусмотрена возможность

20 регулирования положения решетки (3) лопастей ротора относительно решеток (2, 4) неподвижных лопаток в указанной компоновке «статор-ротор-статор» путем осевого смещения ротора в продольном направлении вала ротора.

3. Устройство (100, 100А) по п. 1 или 2, дополнительно содержащее по

25 меньшей мере один упорный подшипниковый элемент (23), расположенный на валу ротора, при этом ротор выполнен с возможностью аксиального смещения за счет осевого смещения указанного по меньшей мере одного упорного подшипникового элемента на валу ротора.

30 4. Устройство (100, 100А) по любому из предшествующих пунктов, в котором указанный по меньшей мере один упорный подшипниковый элемент (23) выполнен с возможностью аксиального смещения относительно кожуха (6).

5. Устройство (100, 100А) по любому из предшествующих пунктов, в

35 котором упорный подшипниковый элемент (23) размещен в отдельном корпусе (24), который заключен, по меньшей мере частично, внутри подшипникового блока (21), при этом заключенный в корпус упорный подшипниковый элемент (23,

24) выполнен с возможностью аксиального смещения в продольном направлении вала ротора в соответствующем подшипниковом блоке.

5 6. Устройство (100, 100А) по любому из предшествующих пунктов, в котором между валом (1) ротора и приводным валом (1В) расположена муфта (1А), представляющая собой упругую муфту вала, выполненную с возможностью обеспечения аксиального смещения приводного вала и вала ротора.

10 7. Устройство (100, 100В) по п. 1 или 2, в котором ротор выполнен с возможностью аксиального смещения за счет осевого смещения приводного вала (1В), соединенного с валом (1) ротора посредством муфты (1А).

15 8. Устройство (100, 100С) по п. 1, в котором предусмотрена возможность регулирования положения решетки (3) лопастей ротора относительно решеток (2, 4) неподвижных лопаток в компоновке «статор-ротор-статор» путем осевого смещения по меньшей мере одного неподвижного компонента, в частности, кожуха (6), в продольном направлении вала ротора.

20 9. Устройство по п. 8, в котором приводной вал (1В) зафиксирован с предотвращением его осевого смещения.

25 10. Устройство по любому из п.п. 7-9, в котором муфта (1А) представляет собой жесткую муфту вала, выполненную с возможностью предотвращения осевого смещения приводного вала и вала ротора.

30 11. Устройство (100) по любому из предшествующих пунктов, в котором каждая из решеток (2, 4) неподвижных лопаток закреплена на соответствующих подшипниковых блоках (21, 31), расположенных с обеих сторон кожуха (6).

35 12. Устройство (100) по любому из предшествующих пунктов, в котором регулировка положения решетки (3) лопастей ротора относительно решеток (2, 4) неподвижных лопаток в компоновке «статор-ротор-статор» сопровождается регулировкой, по меньшей мере, скорости вращения ротора и/или расхода технологической текучей среды, содержащей исходное сырье.

13. Устройство (100) по любому из предшествующих пунктов, дополнительно содержащее формирователь (5) потока, расположенный внутри

кожуха (6) так, что между кожухом и формирователем потока образован канал, причем указанный канал имеет кольцеобразное меридиональное сечение.

14. Устройство по п.13, в котором формирователь (5) потока
5 представляет собой кольцевую, по существу, полу конструкторию.

15. Устройство (100) по любому из предшествующих пунктов, в котором
10 между выходом из компоновки (2, 3, 4) «статор-ротор-статор» и входом в нее образовано безлопаточное пространство (7), причем указанное безлопаточное пространство (7) определено объемом между кожухом (6) и формирователем (5) потока.

16. Устройство (100) по любому из предшествующих пунктов, в котором
15 решетки неподвижных лопаток образованы множеством неподвижных сопловых направляющих лопаток, которые образуют кольцевую решетку (2) сопловых направляющих лопаток выше по потоку от лопастей ротора и множеством неподвижных диффузорных лопаток, которые образуют решетку (4) диффузорных лопаток ниже по потоку от лопастей ротора.

17. Устройство (100) по любому из предшествующих пунктов, в котором
20 решетки в компоновке (2, 3, 4) «статор-ротор-статор» выполнены с возможностью направлять технологическую текучую среду на повторное прохождение через указанные решетки и через безлопаточное пространство (7) в соответствии со спиральной траекторией потока при продвижении внутри канала между по
25 меньшей мере одним входом и по меньшей мере одним выходом, и создавать условия для проведения по меньшей мере одной химической реакции в технологической текучей среде.

18. Устройство (100) по любому из предшествующих пунктов,
30 выполненное с рядом каталитических поверхностей.

19. Применение устройства по любому из п.п. 1-18 в термической
переработке углеводородсодержащего исходного сырья.

20. Применение устройства по любому из п.п. 1-18, для проведения
35 химических реакций.

21. Применение по п. 19 или 20 для термического или термохимического крекинга углеводородсодержащего исходного сырья.

22. Применение по любому из п.п. 19-21 для осуществления по меньшей мере одного процесса, выбранного из группы, состоящей из: переработки углеводородного исходного сырья, предпочтительно содержащего средние и легкие углеводородные фракции; переработки газифицированного углеводородсодержащего исходного сырья, переработки газифицированного глицеридного и/или жирного кислотосодержащего исходного сырья и переработки газифицированного материала целлюлозной биомассы.

23. Компоновка, содержащая по меньшей мере два устройства по любому из п.п. 1-18, по меньшей мере, функционально соединенные параллельно или последовательно.

15

24. Способ повышения эффективности технологического процесса и регулирования потерь потока при переработке исходного сырья в технологической текучей среде, в частности, в нерасчетных условиях, включающий в себя следующее:

20

а) обеспечивают наличие устройства (100), содержащего:

- ротор, содержащий множество лопастей ротора, расположенных по окружности диска (3а), установленного на валу (1) ротора и образующих решетку (3) лопастей ротора,

25 - множество неподвижных лопаток, размещенных, по существу, в виде кольцевых решеток (2, 4) лопаток, которые расположены рядом с решеткой лопастей ротора, образуя компоновку (2, 3, 4) «статор-ротор-статор», и

30 - кожух (6), в котором образован канал с по меньшей мере одним входом (8) и по меньшей мере одним выходом (9), причем указанный кожух охватывает решетку (3) лопастей ротора (3) и решетки (2, 4) неподвижных лопаток внутри указанного канала;

и

35 б) регулируют положение решетки (3) лопастей ротора относительно решеток (2, 4) неподвижных лопаток в компоновке «статор-ротор-статор» в осевом направлении вдоль вала ротора на заданное расстояние (ΔX).

25. Способ по п. 24, в котором положение решетки (3) лопастей ротора относительно решеток (2, 4) неподвижных лопаток в указанной компоновке

«статор-ротор-статор» регулируют путем осевого смещения ротора в продольном направлении вала ротора.

26. Способ по п. 24, в котором положение решетки (3) лопастей ротора относительно решеток (2, 4) неподвижных лопаток в компоновке «статор-ротор-статор» регулируют путем осевого смещения по меньшей мере одного неподвижного компонента, в частности, кожуха (6), в продольном направлении вала ротора.

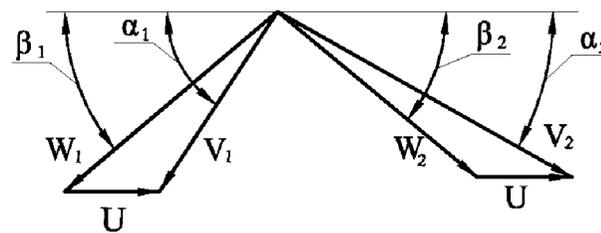
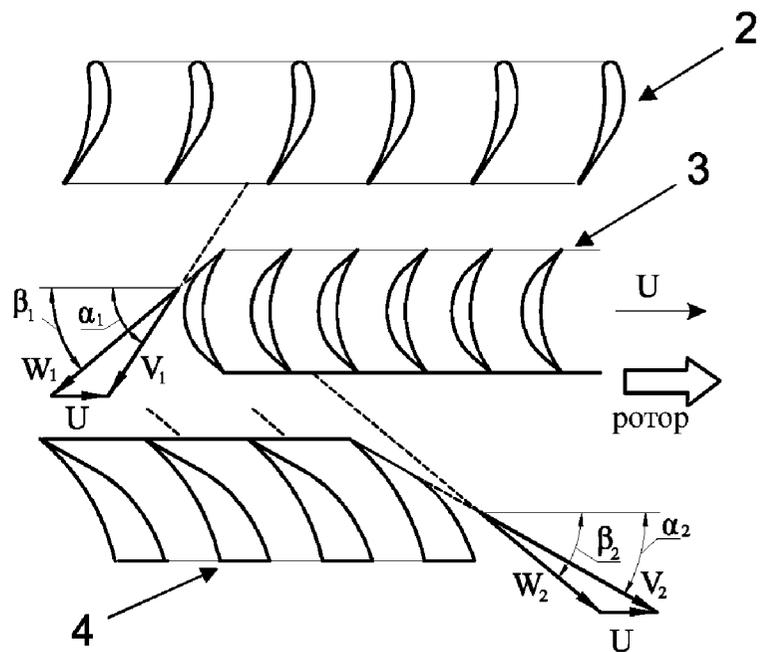
27. Способ по любому из п.п. 24-26, в котором регулировку положения решетки (3) лопастей ротора относительно решеток (2, 4) неподвижных лопаток в компоновке «статор-ротор-статор» сопровождают регулировкой, по меньшей мере, скорости вращения ротора и/или расхода технологической текучей среды, содержащей исходное сырье.

28. Способ по п. 24 или 25, в котором ротор смещают на заданное расстояние (ΔX) в продольном направлении к решетке (2) неподвижных лопаток, расположенной выше по потоку от решетки (3) лопастей ротора, при уменьшении скорости вращения ротора и/или при увеличении расхода технологической текучей среды через устройство (100).

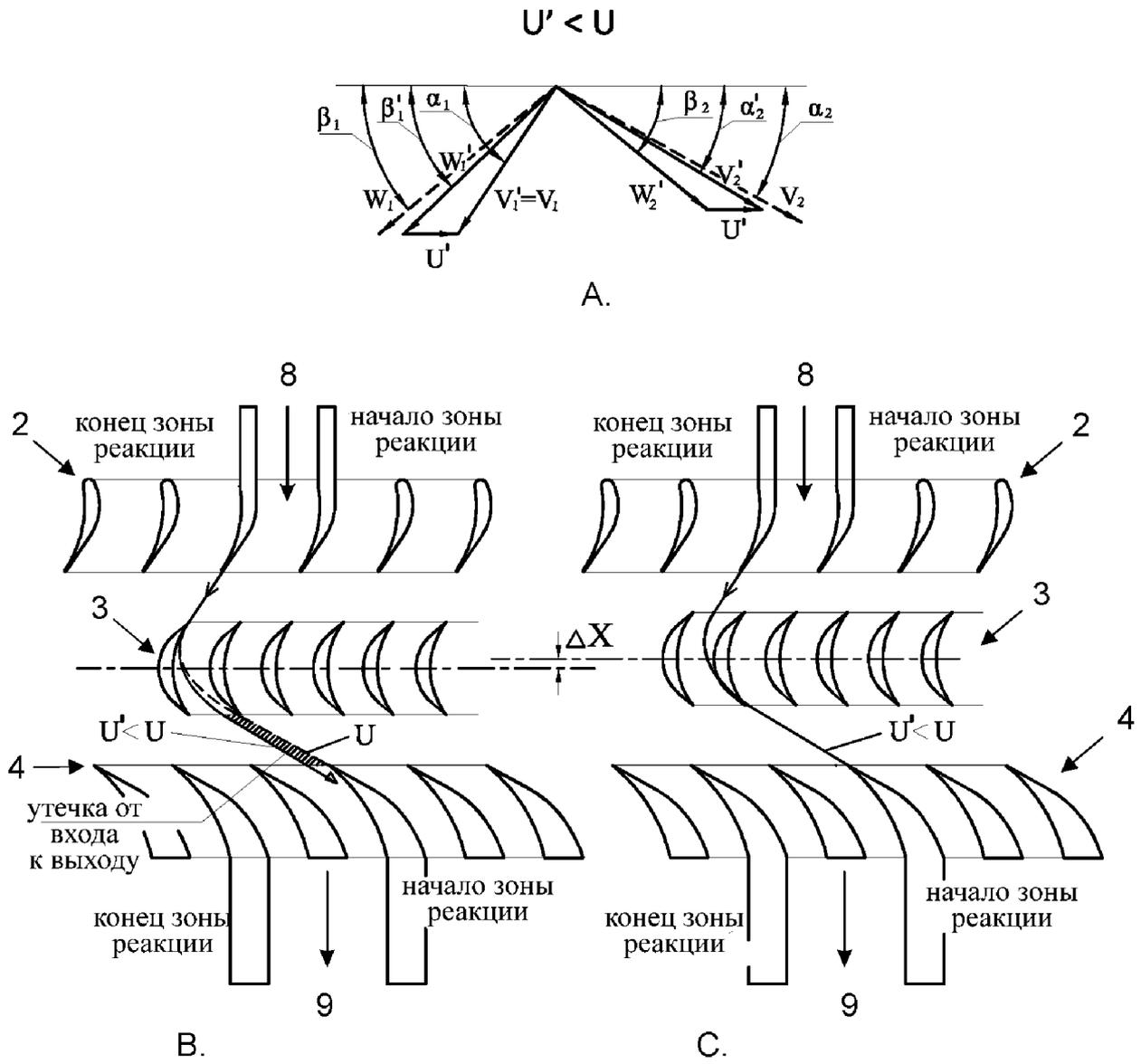
29. Способ по п. 24 или 25, в котором ротор смещают на заданное расстояние (ΔX) в продольном направлении от решетки (2) неподвижных лопаток, расположенной выше по потоку от решетки (3) лопастей ротора, при увеличении скорости вращения ротора и/или при уменьшении расхода технологической текучей среды через устройство (100).

30. Способ по любому из п.п. 24-29, в котором регулировку положения решетки (3) лопастей ротора относительно решеток (2, 4) неподвижных лопаток в компоновке «статор-ротор-статор» реализуют в устройстве, находящемся в рабочем режиме или в нерабочем режиме.

31. Способ по любому из п.п. 24-30, в котором исходное сырье содержит углеводороды.

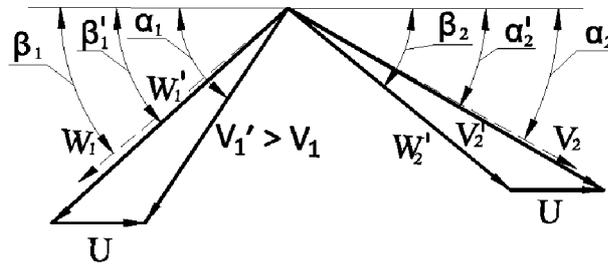


ФИГ. 1

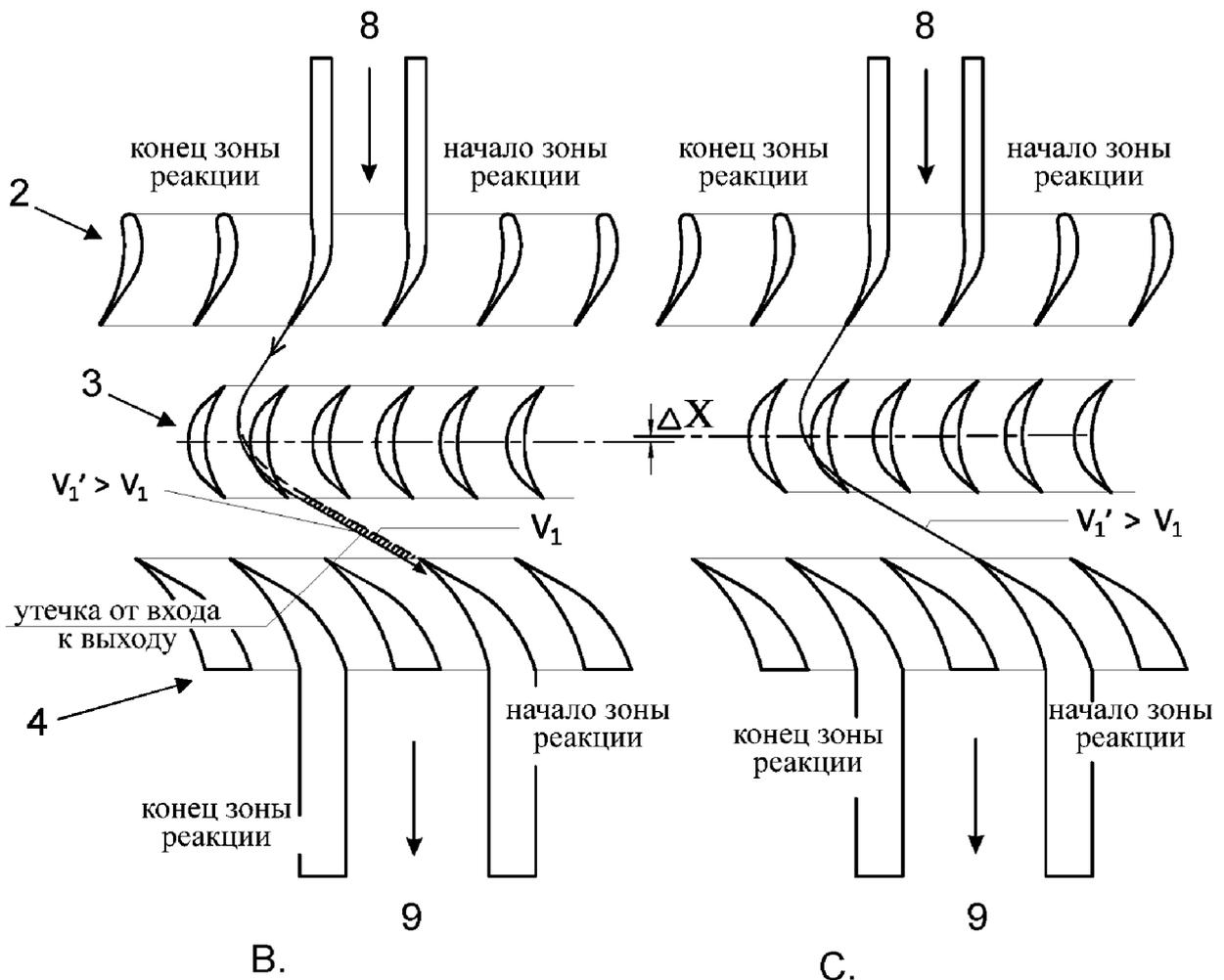


ФИГ. 2

$$V_1' > V_1$$



A.

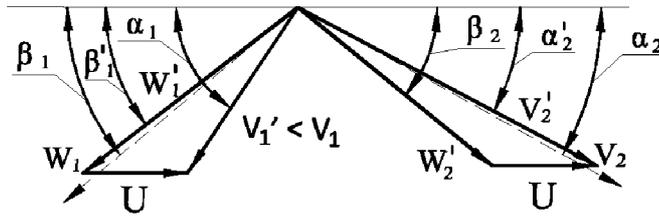


B.

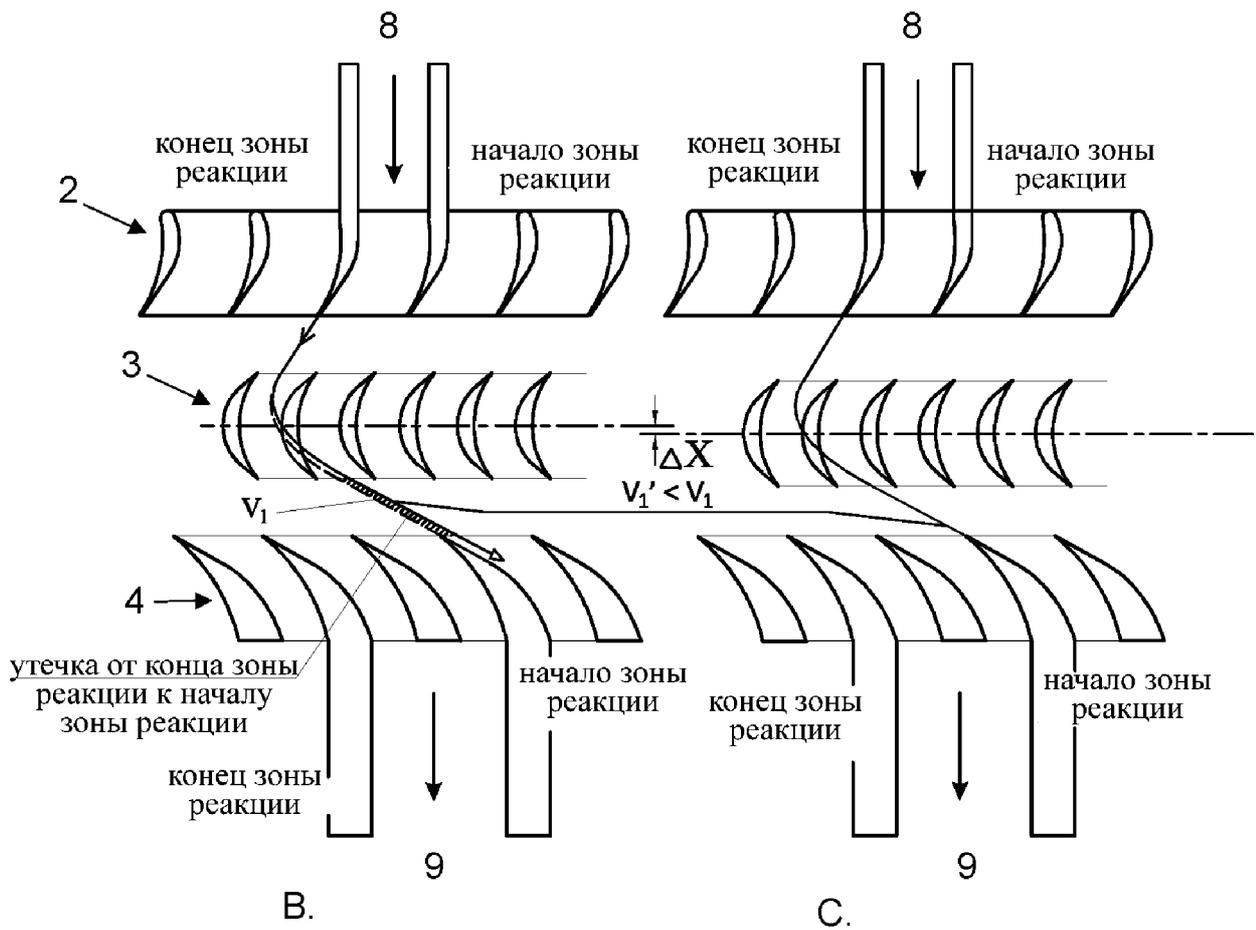
C.

ФИГ. 4

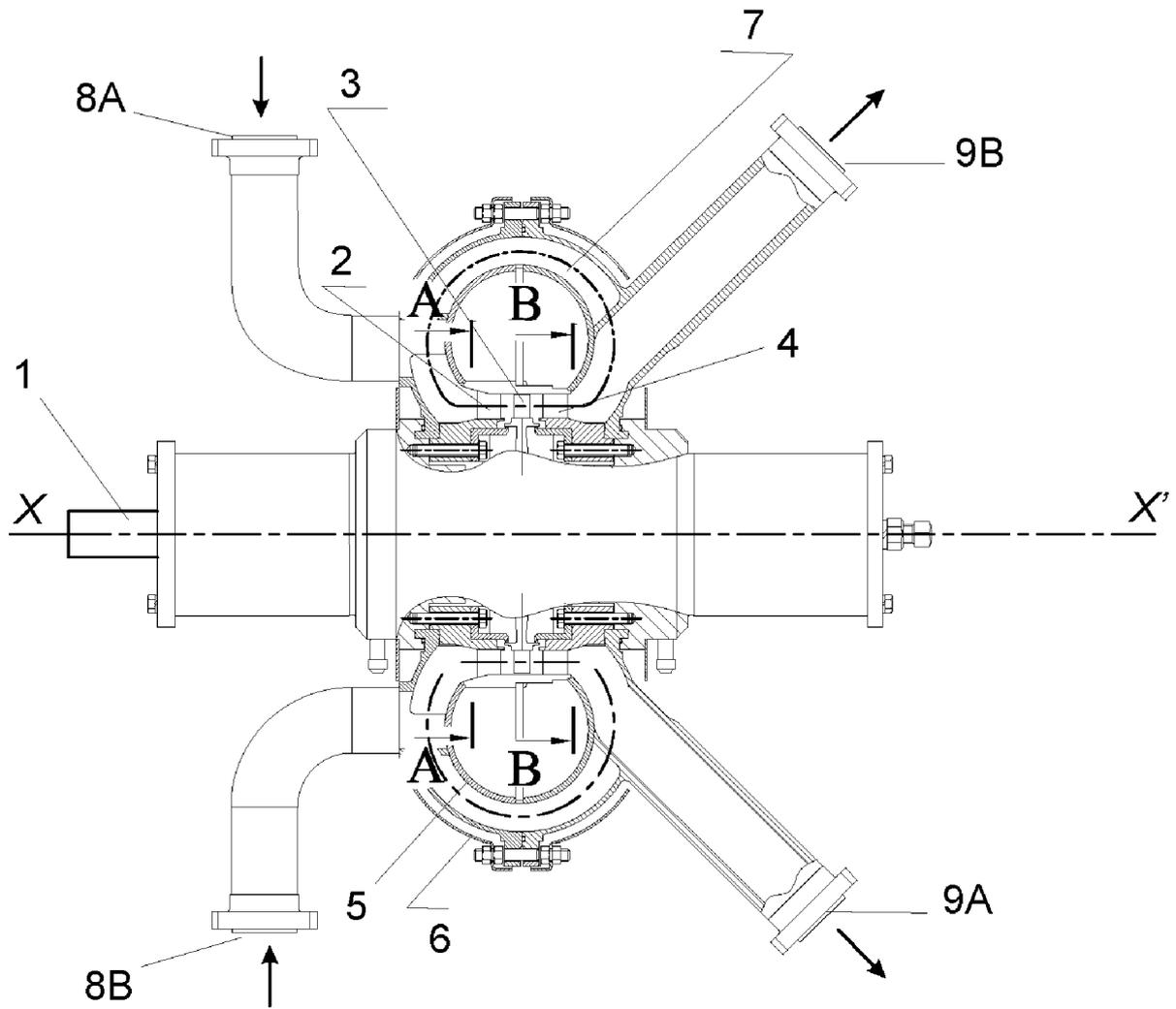
$$V_1' < V_1$$



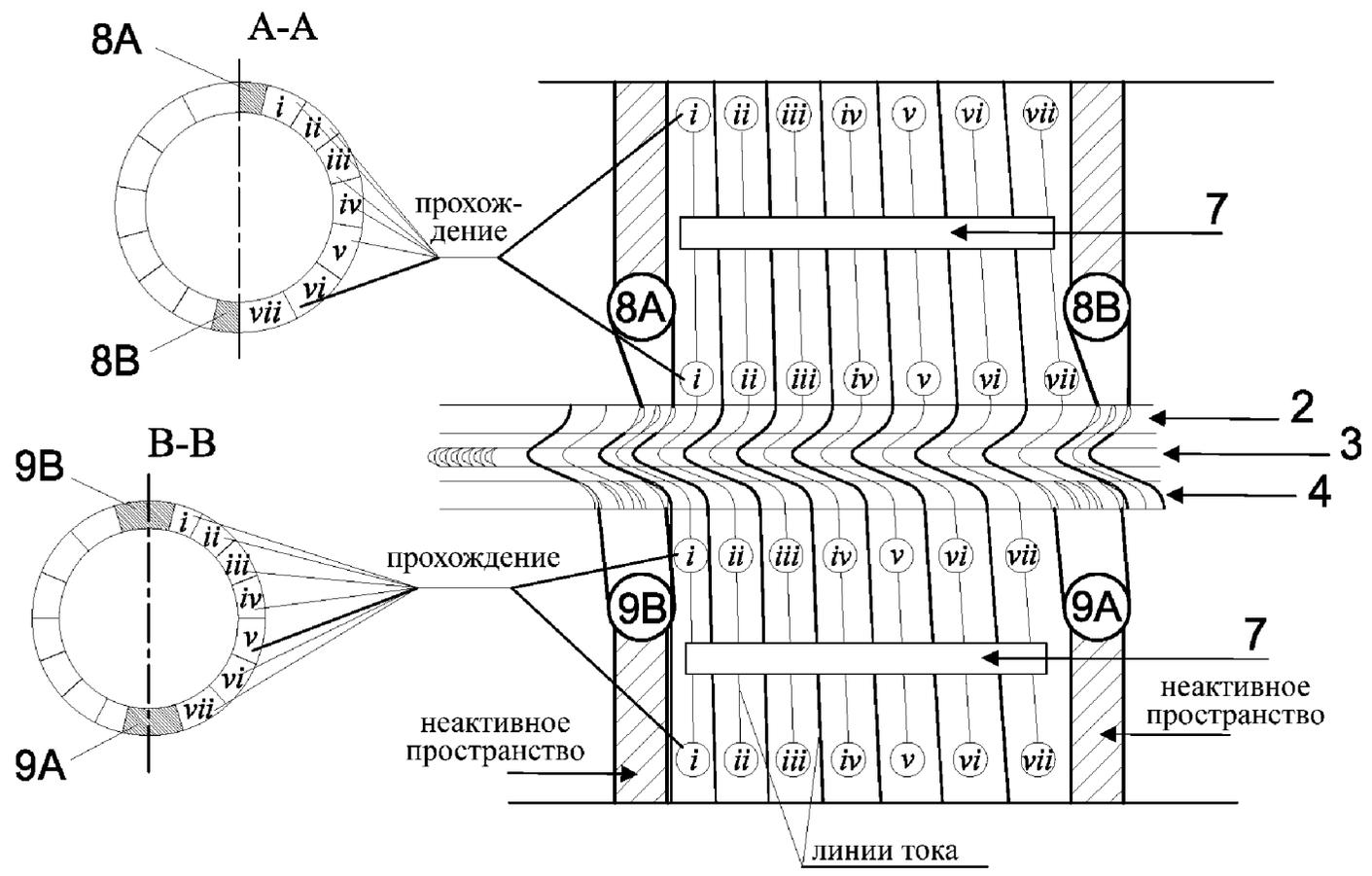
A.



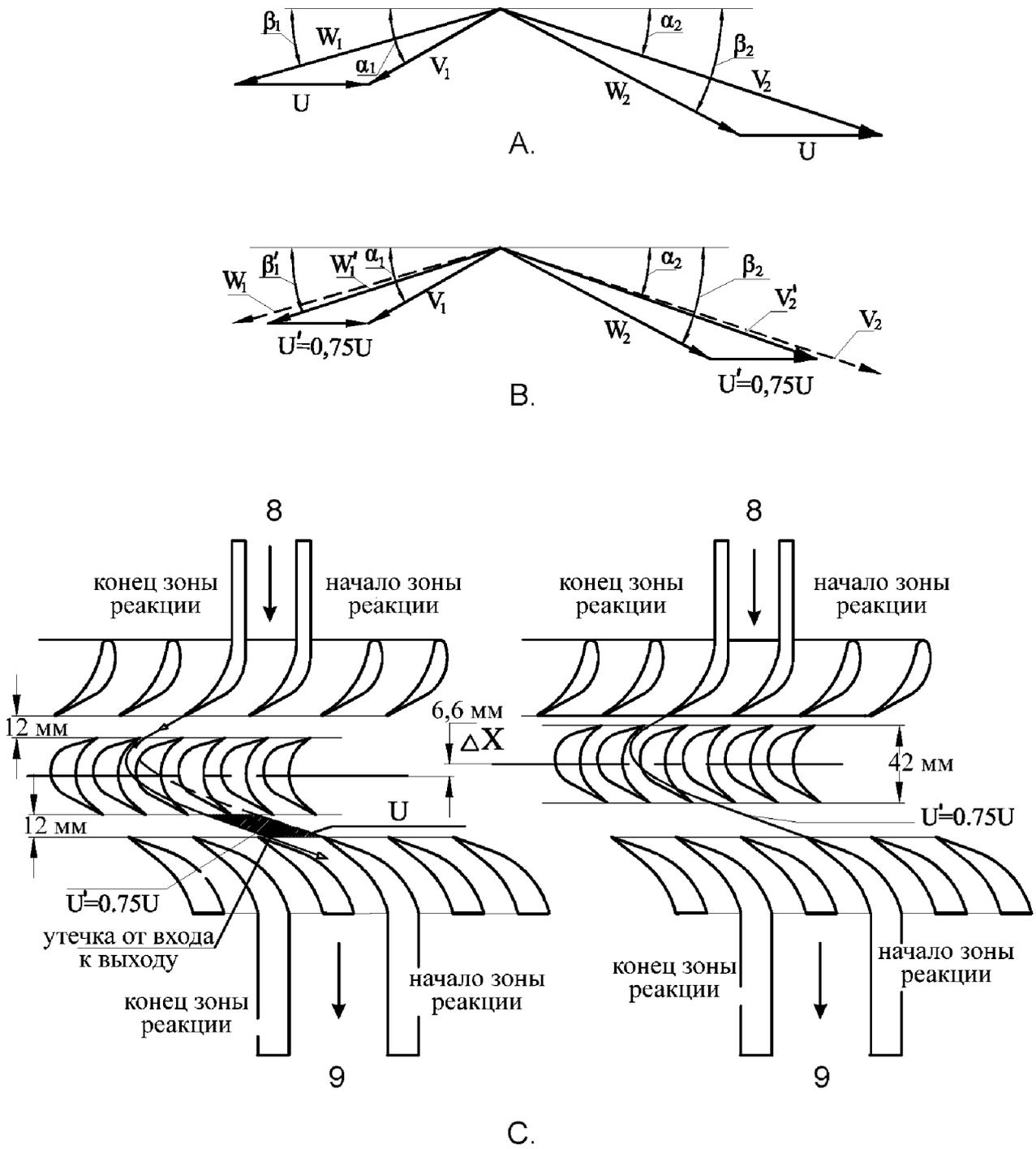
ФИГ. 5



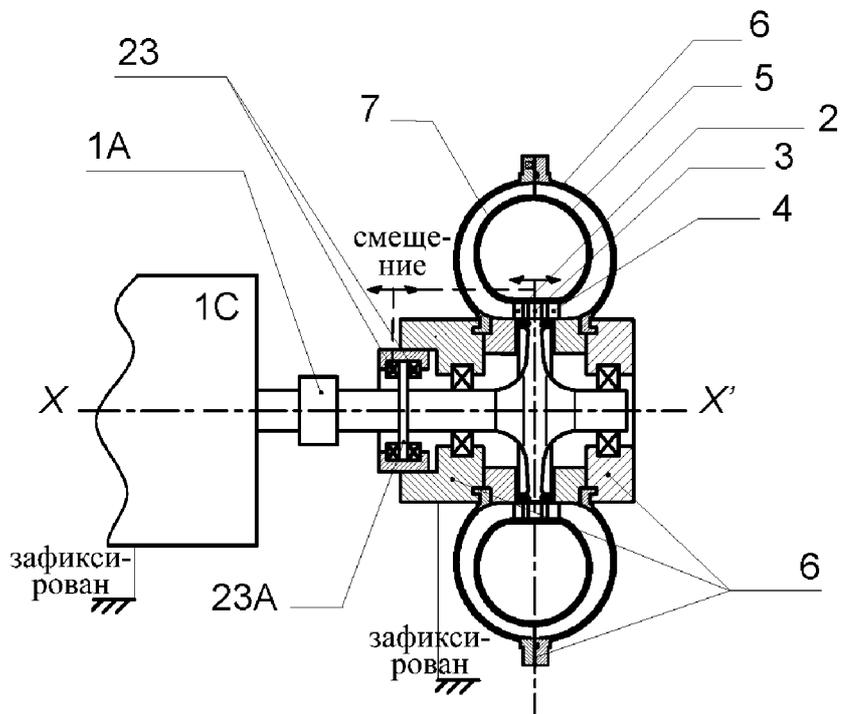
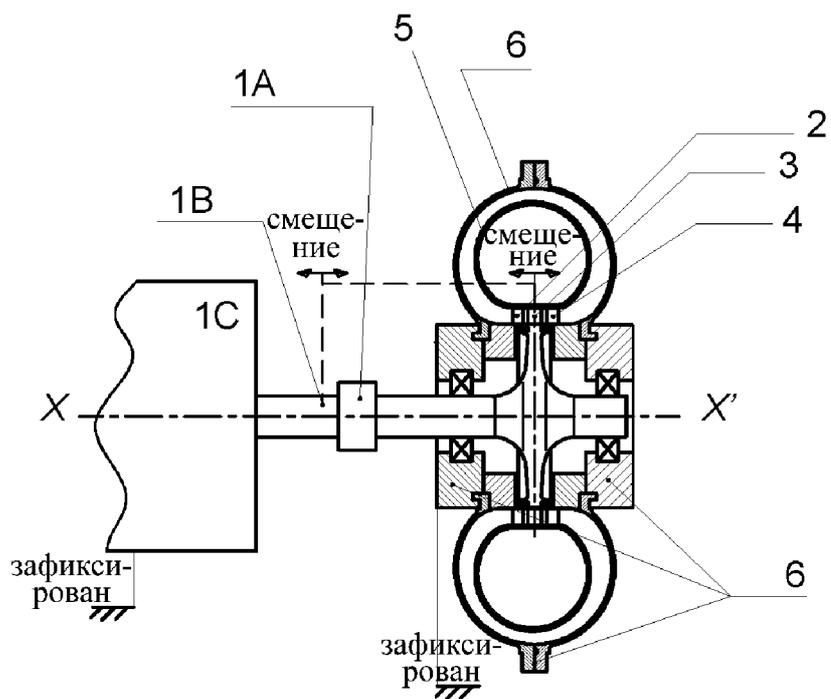
ФИГ. 6А

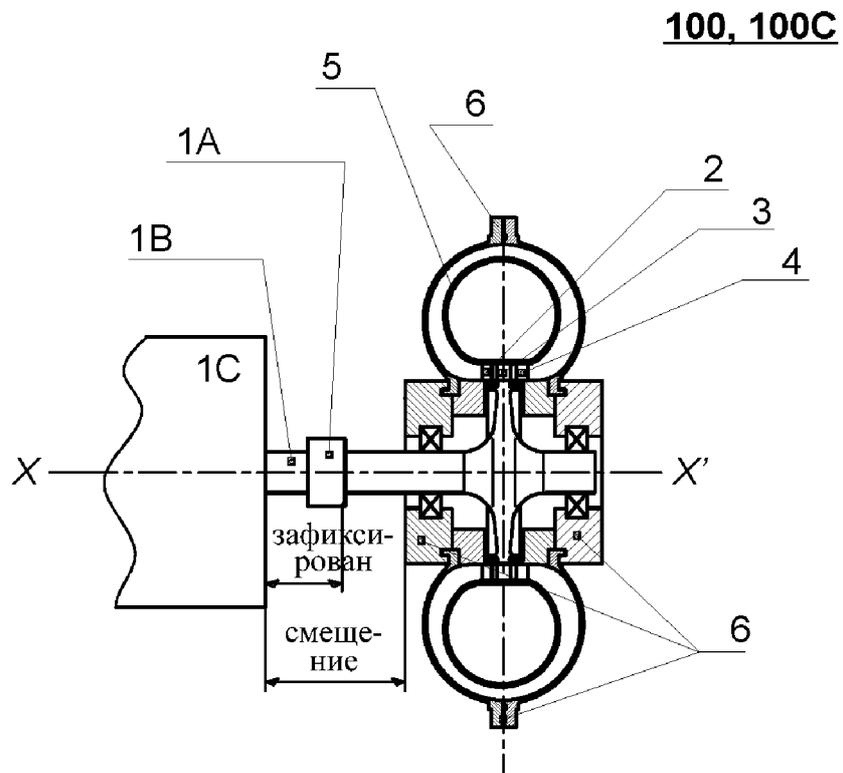


ФИГ. 6B



ФИГ. 7

100, 100A**ФИГ. 8А****100, 100B****ФИГ. 8В**



ФИГ. 8С

