

(19)



**Евразийское
патентное
ведомство**

(21) **202090086** (13) **A1**

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ЕВРАЗИЙСКОЙ ЗАЯВКЕ

(43) Дата публикации заявки
2020.06.08

(51) Int. Cl. *B01D 61/48* (2006.01)
B01D 61/50 (2006.01)
C02F 1/469 (2006.01)

(22) Дата подачи заявки
2018.07.11

(54) УПЛОТНЕНИЕ СУББЛОКОВ ДЛЯ УСТРОЙСТВ ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКОГО РАЗДЕЛЕНИЯ

(31) 62/531,030

(32) 2017.07.11

(33) US

(86) PCT/US2018/041553

(87) WO 2019/014297 2019.01.17

(71) Заявитель:
ЭВОКУА УОТЕР ТЕКНОЛОДЖИЗ
ЛЛК (US)

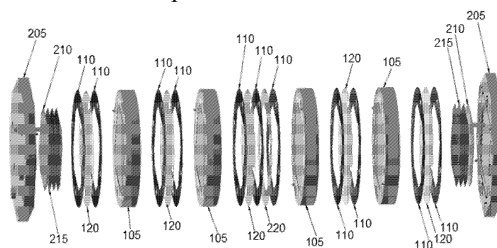
(72) Изобретатель:

Мьюз Майкл, Шо Майкл Дж.,
Гриффис Джошуа, Дьюкс Саймон
Пол, Лян Ли-Шиан (US)

(74) Представитель:

Хмара М.В., Липатова И.И.,
Новоселова С.В., Осипов К.В.,
Пантелеев А.С., Ильмер Е.Г. (RU)

(57) Устройство электрохимического разделения содержит первый электрод, второй электрод и пакет ячеек, включающий в себя множество субблоков, каждый из которых содержит чередующиеся обедняющие камеры и концентрирующие камеры, и каждый включает в себя раму и каналные участки, расположенные между первым электродом и вторым электродом. Внутреннее уплотнение, образованное из первого материала, расположено между и находится в контакте с каналными участками между соседними субблоками в пакете ячеек и выполнено с возможностью предотвращения утечки между обедняющими камерами и концентрирующими камерами в соседних субблоках. Внешнее уплотнение, образованное из второго материала, имеющего по меньшей мере один параметр материала, отличный от первого материала, расположено между и находится в контакте с рамами соседних субблоков в пакете ячеек и выполнено с возможностью предотвращения утечки из внутреннего объема устройства электрохимического разделения за пределы устройства электрохимического разделения.



A1

202090086

202090086

A1

УПЛОТНЕНИЕ СУББЛОКОВ ДЛЯ УСТРОЙСТВ ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКОГО РАЗДЕЛЕНИЯ

Родственные заявки

Настоящая заявка на патент испрашивает приоритет согласно разделу 35 Свода законов США, § 119(e), по предварительной заявке на патент США № 62/531,030, озаглавленной «SUBBLOCK SEALING IMPROVEMENTS FOR CROSS FLOW ED MODULES» и поданной 11 июля 2017 г., содержание которой полностью включено в настоящую заявку посредством ссылки.

Область техники, к которой относится изобретение

Аспекты и варианты осуществления, раскрытые в настоящем документе, в целом относятся к электрохимическим мембранным системам и способу их изготовления.

Уровень техники

Устройства для очистки текучих сред при помощи электрических полей могут применяться для обработки воды и других жидкостей, содержащих растворенные ионные формы (частицы). Двумя типами устройств, обрабатывающих воду таким способом, являются устройства для электродеионизации и электродиализа. Внутри этих устройств имеются концентрирующие и разбавляющие камеры, разделенные ионоселективными мембранами. Электродиализное устройство, как правило, включает в себя чередующиеся электроактивные полупроницаемые анионо- и катионообменные мембраны. Пространства между мембранами выполнены с возможностью создания камер жидкого потока с впускными и выпускными отверстиями. Внешнее электрическое поле, наложенное при помощи электродов, вызывает образование растворенных ионов, притягиваемых к соответствующим противоиэлектродам и мигрирующих через анионо- и катионообменные мембраны. Это обычно приводит к тому, что жидкость в разбавляющей камере обедняется ионами, а жидкость в концентрирующей камере обогащается перенесенными ионами.

Устройства, аналогичные по конструкции электродиализным устройствам, могут применяться в качестве устройств обращенного электродиализа (УОЭ). В два комплекта камер подают текучие среды с различными концентрациями ионов, разделенными ионоселективными мембранами; например, морскую воду и речную воду. Разность концентраций и химических потенциалов приводит к

возникновению разности напряжений на каждой мембране, которая, при суммировании по всему количеству мембран в устройстве, приводит к возникновению потенциала, генерируемого на двух электродах, ограничивающих пакет камер и мембран.

5

Раскрытие изобретения

В соответствии с одним или более аспектами, система электрохимического разделения может содержать первый электрод, второй электрод, первый модульный блок электрохимического разделения, имеющий

10 первый пакет ячеек, образующий множество чередующихся обедняющих камер и концентрирующих камер, поддерживаемых первой рамой, при этом первый модульный блок электрохимического разделения расположен между первым электродом и вторым электродом, и второй модульный блок электрохимического

15 разделения, расположенный рядом и взаимодействующий с первым модульным блоком электрохимического разделения, имеющий второй пакет ячеек, образующий множество чередующихся обедняющих камер и концентрирующих камер, поддерживаемых второй рамой, при этом второй модульный блок электрохимического разделения расположен между первым модульным блоком электрохимического разделения и вторым электродом.

20 В соответствии с одним или более аспектами, способ сборки системы электрохимического разделения может включать в себя монтаж первого модульного блока электрохимического разделения, имеющего первый пакет ячеек, окруженный первой рамой, в сосуде между первым электродом и вторым электродом, и монтаж второго модульного блока электрохимического

25 разделения, имеющего второй пакет ячеек, окруженный второй рамой, в сосуде между первым модульным блоком электрохимического разделения и вторым электродом.

В соответствии с одним или более аспектами, модульный блок электрохимического разделения может содержать пакет ячеек, образующий

30 множество чередующихся обедняющих камер и концентрирующих камер, и раму, окружающую пакет ячеек и включающую в себя систему коллектора, выполненную с возможностью обеспечения потока текучей среды через пакет ячеек.

В соответствии с одним или более аспектами, распределитель потока для электрохимического разделения может содержать множество первых проходов

35 (каналов), ориентированных в первом направлении и выполненных с возможностью доставки подаваемого материала к по меньшей мере одной

камере устройства электрохимического разделения, и множество вторых проходов, ориентированных во втором направлении, при этом множество вторых проходов сообщается по текучей среде со множеством первых проходов и с впускным коллектором, связанным с устройством электрохимического разделения.

В соответствии с одним или более аспектами, система электрохимического разделения может содержать первый электрод, второй электрод, первый модульный блок электрохимического разделения, включающий в себя множество чередующихся обедняющих камер и концентрирующих камер, расположенных между первым и вторым электродами, и второй модульный блок электрохимического разделения, включающий в себя множество чередующихся обедняющих камер и концентрирующих камер, при этом второй модульный блок электрохимического разделения предназначен для совместного функционирования с первым модульным блоком электрохимического разделения и расположен между первым модульным блоком электрохимического разделения и вторым электродом, а распорная деталь, размещенная между и рядом с первым и вторым модульными блоками электрохимического разделения, выполнена с возможностью уменьшения токовых потерь в системе.

В соответствии с одним или более вариантами осуществления, модульная система электрохимического разделения, которая может также называться устройством или аппаратом электрической очистки, может повышать эффективность и общую гибкость различных процессов обработки. В некоторых вариантах осуществления перекрестноточные устройства электрохимического разделения, такие как перекрестноточные электродиализные устройства (устройства ЭД), могут быть реализованы в качестве привлекательной альтернативы традиционным рамным устройствам. Перекрестноточные устройства раскрыты в US 8,627,560 B2, US 8,741,121 B2 и US 9,782,725, все из которых полностью включены в настоящую заявку во всех отношениях посредством ссылки.

Один или более вариантов осуществления, раскрытых в настоящем документе, относятся к устройствам, способным очищать при помощи электричества текучие среды, которые могут содержаться внутри корпуса, а также способам их изготовления и применения. Жидкости или другие текучие среды, подлежащие очистке, поступают в очистное устройство и, под воздействием электрического поля, обрабатываются для получения обедненной ионами жидкости. Частицы из поступающих жидкостей собирают для получения ионно-концентрированной жидкости.

В соответствии с одним или более вариантами осуществления, система или устройство электрохимического разделения может быть модульным. Каждый модульный блок может, как правило, функционировать в качестве субблока общей системы электрохимического разделения. Модульный блок может

5 включать в себя любое требуемое количество пар ячеек. В некоторых вариантах осуществления количество пар ячеек на модульный блок может зависеть от общего количества пар ячеек и проходов в устройстве разделения. Оно может также зависеть от количества пар ячеек, которые могут быть термоскрепленными и герметизированными (залитыми) в раме с приемлемой частотой отказов при

10 испытаниях на перекрестные утечки и другие критерии эффективности функционирования. Количество может быть основано на статистическом анализе производственного процесса и может быть увеличено по мере улучшения управления производственным процессом. В некоторых неограничивающих вариантах осуществления модульный блок может включать в себя от

15 приблизительно 50 до приблизительно 100 пар ячеек. Модульные блоки могут быть собраны в индивидуальном порядке и подвергнуты испытаниям по контролю качества, таким как проверка на утечки, показатели разделения и падение давления, перед встраиванием в более крупную систему. В некоторых вариантах осуществления пакет ячеек может быть установлен в раме в качестве

20 модульного блока, который можно испытывать независимо. Множество модульных блоков могут затем быть собраны вместе для обеспечения общего расчетного количества пар ячеек в устройстве электрохимического разделения. В некоторых вариантах осуществления способ сборки может в общем случае включать в себя помещение первого модульного блока на второй модульный

25 блок, помещение третьего модульного блока на первый и второй модульные блоки, и повторение для получения множества модульных блоков в требуемом количестве. В некоторых вариантах осуществления сборка или отдельные модульные блоки могут быть вставлены в сосуд высокого давления для осуществления эксплуатации. Конфигурации с многопроходным потоком

30 возможны при помещении блокирующих мембран и/или распорных деталей между модульными блоками или внутри модульных блоков. Модульный принцип может улучшать технологичность изготовления с точки зрения экономии времени и затрат. Модульность может также способствовать обслуживанию системы, обеспечивая возможность выявления неисправностей, изолирования, демонтажа

35 и замены отдельных модульных блоков. Отдельные модульные блоки могут включать в себя коллекторные системы и системы распределения потока, способствующие процессу электрохимического разделения. Отдельные

модульные блоки могут сообщаться по текучей среде друг с другом, а также с центральной коллекторной и другими системами, связанными с общим процессом электрохимического разделения.

В соответствии с одним или более аспектами, аппарат электрохимического разделения может содержать пакет ячеек. Пакет ячеек может дополнительно содержать множество выровненных в одну линию пар ячеек, при этом каждая из множества выровненных в одну линию пар ячеек включает в себя камеру концентрации ионов, выполненную и расположенную таким образом, чтобы обеспечивать поток текучей среды в первом направлении, и камеру ионного обеднения, выполненную и расположенную таким образом, чтобы обеспечивать поток текучей среды во втором направлении, отличном от первого направления.

В соответствии с одним или более аспектами, предлагается устройство электрохимического разделения. Устройство электрохимического разделения содержит первый электрод, второй электрод и пакет ячеек, включающий в себя множество субблоков, каждый из которых содержит чередующиеся обедняющие камеры и концентрирующие камеры, расположенные между первым электродом и вторым электродом, при этом каждый из субблоков включает в себя раму и каналные участки. Внутреннее уплотнение, образованное из первого материала, расположено между и находится в контакте с каналными участками между соседними субблоками в пакете ячеек, и выполнено с возможностью предотвращения утечки между обедняющими камерами и концентрирующими камерами в соседних субблоках. Внешнее уплотнение, образованное из второго материала, имеющего по меньшей мере один параметр материала, отличный от первого материала, расположено между и находится в контакте с рамами соседних субблоков в пакете ячеек, и выполнено с возможностью предотвращения утечки из внутреннего объема устройства электрохимического разделения за пределы устройства электрохимического разделения.

В некоторых вариантах осуществления внешнее уплотнение выполнено с возможностью выдерживать без протекания более высокое давление на внешнем уплотнении, чем внутреннее уплотнение.

В некоторых вариантах осуществления внутреннее уплотнение выполнено с возможностью предотвращения утечки между обедняющими камерами и концентрирующими камерами в условиях, при которых каналные участки имеют усадочные раковины глубиной менее чем приблизительно 1 мм.

В некоторых вариантах осуществления внешнее уплотнение выполнено с возможностью предотвращения утечки из внутреннего объема устройства

электрохимического разделения в условиях, при которых рамы имеют ямки глубиной менее чем приблизительно 250 мкм.

В некоторых вариантах осуществления внутреннее уплотнение включает в себя силиконовый (кремнийорганический) пенопласт с закрытыми ячейками.

5 В некоторых вариантах осуществления внутреннее уплотнение включает в себя множество отдельных секций из силиконового пенопласта с закрытыми ячейками.

В некоторых вариантах осуществления устройство дополнительно содержит секции смещения внутреннего объема, расположенные между
10 соседними секциями внутреннего уплотнения.

В некоторых вариантах осуществления секции смещения внутреннего объема образованы из того же или более мягкого материала, чем секции внутреннего уплотнения.

В некоторых вариантах осуществления внешнее уплотнение образовано
15 из листа силиконового каучука.

В некоторых вариантах осуществления отверстия образованы во внешнем уплотнении поверх закрытых участков рам.

В некоторых вариантах осуществления устройство дополнительно содержит концевой блок, защищающий электрод, субблок, соседний с концевым
20 блоком, включающий в себя распорную деталь, приклеенную к его лицевой стороне над рамой и канальными участками, канавку уплотнительного кольца, образованную между распорной деталью и концевым блоком, и уплотнительное кольцо, расположенное в канавке уплотнительного кольца.

В некоторых вариантах осуществления устройство дополнительно
25 содержит концевой блок, вмещающий электрод, имеющий множество канавок уплотнительного кольца, образованных между концевым блоком и субблоком, соседним с концевым блоком, и уплотнительное кольцо, расположенное в каждой канавке уплотнительного кольца.

В соответствии с другим аспектом, предлагается способ наложения
30 уплотнения на концевой блок устройства электрохимического разделения. Способ включает в себя расположение секций внутреннего уплотнения в сборочном приспособлении с вырезами, выполненном с возможностью удержания секций внутреннего уплотнения, при этом секции внутреннего уплотнения образованы из первого материала, помещения субблока устройства
35 электрохимического разделения, включая канальный участок и раму, на сборочное приспособление, приклеивание секций внутреннего уплотнения к канальному участку со стороны субблока, снятие субблока со сборочного

приспособления и наложение внешнего уплотнения на раму со стороны субблока, при этом внешнее уплотнение образовано из второго материала, имеющего по меньшей мере один параметр материала, отличный от первого материала.

5 В некоторых вариантах осуществления способ дополнительно включает в себя формирование секций внутреннего уплотнения из первого материала.

В некоторых вариантах осуществления способ дополнительно включает в себя формирование внешнего уплотнения из второго материала, при этом второй материал тверже, чем первый материал.

10 В некоторых вариантах осуществления способ дополнительно включает в себя формирование отверстий во внешнем уплотнении в местах внешнего уплотнения, располагаемых над непокрытыми зонами рамы.

В некоторых вариантах осуществления формирование секций внутреннего уплотнения из первого материала включает в себя формирование секций
15 внутреннего уплотнения из силиконового пенопласта.

В некоторых вариантах осуществления формирование внешнего уплотнения из второго материала включает в себя формирование внешнего уплотнения из листа силиконового каучука.

20 В некоторых вариантах осуществления способ дополнительно включает в себя расположение секций объемного смещаемого материала в сборочном приспособлении между соседними секциями внутреннего уплотнения.

В некоторых вариантах осуществления способ дополнительно включает в себя приклеивание секций объемного смещаемого материала к канальному участку со стороны субблока.

25 В некоторых вариантах осуществления устройство представляет собой электродиализное устройство для очистки текучих сред при помощи электрических полей.

В некоторых вариантах осуществления устройство представляет собой устройство обращенного электродиализа для производства электроэнергии на
30 основе двух или более потоков текучей среды с различными концентрациями ионов.

Другие аспекты, варианты осуществления и преимущества этих иллюстративных аспектов и вариантов осуществления подробно раскрыты ниже. Варианты осуществления, раскрытые в настоящем документе, могут сочетаться с
35 другими вариантами осуществления способом, соответствующим по меньшей мере одному из принципов, раскрытых в настоящем документе, при этом ссылки на «вариант осуществления», «некоторые варианты осуществления»,

«альтернативный вариант осуществления», «различные варианты осуществления», «один вариант осуществления» и т. п. необязательно являются взаимоисключающими и предназначены для указания на то, что конкретные описанные признак, структура или характеристика могут быть включены по меньшей мере в один вариант осуществления. Необязательно все такие термины, появляющиеся в тексте настоящего документа, относятся к одному и тому же варианту осуществления.

Краткое описание чертежей

- 10 Приложенные чертежи не предназначены для выполнения в соответствии с масштабом. На чертежах каждый идентичный или почти идентичный компонент, изображенный на различных фигурах, представлен одним и тем же позиционным обозначением. В целях обеспечения ясности не каждый компонент может быть обозначен на каждом чертеже.
- 15 На ФИГ. 1А показан пример субблока электродиализного устройства.
- На ФИГ. 1В показан пакет из восьми субблоков, представленных на ФИГ. 1А, перед установкой в корпусе.
- На ФИГ. 1С показано собранное электродиализное устройство с прозрачным кожухом.
- 20 На ФИГ. 1D показано собранное электродиализное устройство с непрозрачным кожухом.
- На ФИГ. 2А изображены потенциальные пути утечки в субблоке электродиализного устройства.
- На ФИГ. 2В изображен вариант осуществления уплотнительной прокладки, расположенной на субблоке электродиализного устройства.
- 25 На ФИГ. 2С изображена катионообменная мембрана, расположенная на уплотнительной прокладке, показанной на ФИГ. 2В.
- На ФИГ. 3 показан вид с пространственным разделением деталей электродиализного устройства с четырьмя субблоками.
- 30 На ФИГ. 4А изображена раковина, которая может образовываться в слое эпоксидной смолы субблока при отверждении.
- На ФИГ. 4В представлено другое изображение раковины, которая может образовываться в слое эпоксидной смолы субблока при отверждении.
- На ФИГ. 4С представлено еще одно изображение раковины, которая
- 35 может образовываться в слое эпоксидной смолы субблока при отверждении.

На ФИГ. 5 изображен вариант осуществления уплотнительного решения, располагаемого между соседними субблоками пакета ячеек электродиализного устройства.

5 На ФИГ. 6А изображено действие способа применения уплотнительного решения, показанного на ФИГ. 5, к субблоку электродиализного устройства.

На ФИГ. 6В изображено другое действие способа применения уплотнительного решения, показанного на ФИГ. 5, к субблоку электродиализного устройства.

10 На ФИГ. 6С изображено другое действие способа применения уплотнительного решения, показанного на ФИГ. 5, к субблоку электродиализного устройства.

На ФИГ. 6D изображено другое действие способа применения уплотнительного решения, показанного на ФИГ. 5, к субблоку электродиализного устройства.

15 На ФИГ. 6Е изображено другое действие способа применения уплотнительного решения, показанного на ФИГ. 5, к субблоку электродиализного устройства.

На ФИГ. 7А изображен участок другого варианта осуществления уплотнительного решения на лицевой стороне рамы первого субблока.

20 На ФИГ. 7В изображен участок другого варианта осуществления уплотнительного решения на лицевой стороне рамы второго субблока.

На ФИГ. 7С изображен первый субблок, закрепленный на втором субблоке.

25 На ФИГ. 8А представлен вид снизу распорной детали, приклеенной к лицевой стороне субблока.

На ФИГ. 8В представлен вид в изометрии распорной детали, приклеенной к лицевой стороне субблока, показанного на ФИГ. 8А.

На ФИГ. 8С представлена горизонтальная проекция распорной детали, приклеенной к лицевой стороне субблока, показанного 8А.

30 На ФИГ. 9 А представлен вид снизу субблока, показанного на ФИГ. 8А, залитого эпоксидной смолой.

На ФИГ. 9В представлен вид сверху субблока, показанного на ФИГ. 8А, залитого эпоксидной смолой.

35 На ФИГ. 9С изображена распорная деталь субблока, показанного на ФИГ. 8А, с вырезами, обеспечивающими возможность доступа к внутренним участкам субблока.

На ФИГ. 10А изображен вариант осуществления концевой блока электродиализного устройства.

На ФИГ. 10В изображен концевой блок, показанный на ФИГ. 10А, оснащенный катионообменной мембраной.

5 На ФИГ. 10С изображен концевой блок, показанный на ФИГ. 10В, включающий в себя уплотнительное кольцо.

На ФИГ. 11 представлен вид в поперечном разрезе распорной детали, показанной на ФИГ. 8А-8С, закрепленной на концевом блоке, показанном на ФИГ. 10А-10С;

10 На ФИГ. 12А изображен вариант осуществления концевой блока электродиализного устройства, включающего в себя две канавки уплотнительных колец, образованные на лицевой стороне концевой блока.

На ФИГ. 12В изображен концевой блок, показанный на ФИГ. 12А, с уплотнительными кольцами, расположенными в канавках уплотнительных колец.

15 На ФИГ. 13 изображено собранное электродиализное устройство, включающее в себя субблок, содержащий распорные детали, изображенные на ФИГ. 8А-8С, расположенные вплотную к концевым блокам электродиализного устройства.

На ФИГ. 14А изображены результаты конечно-элементного анализа (КЭА) смещения концевой блока электродиализного устройства под действием давления внутри электродиализного устройства.

На ФИГ. 14В изображены результаты КЭА механического напряжения, сформировавшегося в концевом блоке электродиализного устройства под действием давления внутри электродиализного устройства.

25 На ФИГ. 15А изображена усилительная пластина для концевой блока электродиализного устройства.

На ФИГ. 15В изображены усилительные пластины, показанные на ФИГ. 15А, закрепленные на концевых блоках собранного электродиализного устройства.

30 На ФИГ. 16 изображены результаты КЭА смещения концевой блока, имеющего различные значения толщины и различные значения толщины усилительной пластины.

На ФИГ. 17А изображена форма профиля ребра для варианта осуществления формованной прокладки.

35 На ФИГ. 17В изображена форма профиля ребра для другого варианта осуществления формованной прокладки.

На ФИГ. 18 изображена возможная схема расположения ребер формованной прокладки.

На ФИГ. 19 изображены результаты испытания электродиализного устройства, включающего в себя элементы, раскрытые в настоящем документе.

5

Осуществление изобретения

Аспекты и варианты осуществления, раскрытые в настоящем документе, не ограничены деталями конструкции и расположением компонентов, представленными в нижеследующем описании или изображенными на
10 приложенных чертежах. Аспекты и варианты осуществления, раскрытые в настоящем документе, выполнены с возможностью принятия других вариантов осуществления и их применения на практике или реализации различными путями.

Электродеионизация (ЭДИ) представляет собой процесс, устраняющий
15 одну или более ионизированных или ионизируемых частиц (или по меньшей мере уменьшающий их количество) из воды с использованием электрически активной среды и разности электрических потенциалов для воздействия на перенос ионов. Электрически активная среда, как правило, служит для поочередного улавливания и удаления ионных и/или ионизируемых частиц и, в некоторых
20 случаях, содействия переносу ионов, который может происходить непрерывно, при помощи ионных или электронных механизмов замещения. Устройства ЭДИ могут содержать электрохимически активную среду с постоянным или временным зарядом и работать с порциями, периодически, непрерывно и/или даже в режимах с изменением полярности. Устройства ЭДИ могут работать, активизируя
25 одну или более электрохимических реакций, специально рассчитанных на достижение или улучшение эксплуатационных характеристик. Кроме того, такие электрохимические устройства могут содержать электрически активные мембраны, такие как полупроницаемые или избирательно проницаемые ионообменные или биполярные мембраны. Устройства непрерывной
30 электродеионизации (НЭДИ) представляют собой устройства электродеионизации (ЭДИ), известные специалистам в данной области техники, работающие способом, при котором очистка воды может происходить непрерывно, в то время как ионообменный материал непрерывно повторно перезаряжается. Методы НЭДИ могут включать в себя такие процессы, как
35 непрерывная деионизация, электродиализ в наполненных ячейках или электродиарез. В условиях управляемых напряжения и солености молекулы воды в системах НЭДИ могут расщепляться, образуя ионы или частицы водорода

или гидроксония и ионы или частицы гидроксида или гидроксила, которые могут регенерировать ионообменную среду в устройстве и, тем самым, облегчать высвобождение из нее захваченных частиц. Таким образом, поток воды, подлежащей обработке, можно непрерывно очищать без необходимости в химической перезарядке ионообменной смолы.

Устройства электродиализа (ЭД) работают на основе принципа, аналогичного НЭДИ, за исключением того, что устройства ЭД, как правило, не содержат электроактивной среды между мембранами. Ввиду отсутствия электроактивной среды, подаваемые воды низкой солёности могут затруднять операцию электродиализа из-за повышенного электрического сопротивления. Кроме того, поскольку операция электродиализа на подаваемых водах высокой солёности может приводить к повышенному потреблению электрического тока, электродиализные аппараты наиболее эффективно применяются на исходных водах промежуточной солёности. Поскольку в системах на основе электродиализа отсутствует электроактивная среда, расщепление воды неэффективно, и работы в этом режиме обычно избегают.

В устройствах НЭДИ и ЭД множество соседних ячеек или камер, как правило, разделены избирательно проницаемыми мембранами, которые обеспечивают возможность прохождения либо положительно, либо отрицательно заряженных частиц, но, как правило, не обоих видов. В таких устройствах камеры разбавления или обеднения, как правило, отделены промежутками от концентрирующих камер или камер концентрирования. В некоторых вариантах осуществления выражение «пара ячеек» может относиться к паре соседних концентрирующей и разбавляющей камер. По мере того как вода протекает через камеры обеднения, ионные и другие заряженные частицы, как правило, втягиваются в концентрирующие камеры под действием электрического поля, такого как поле постоянного тока. Положительно заряженные частицы притягиваются к катоду, как правило, находящемуся на одном конце пакета из множества камер обеднения и концентрирования, а отрицательно заряженные частицы аналогичным образом притягиваются к аноду таких устройств, как правило, находящемуся на противоположном конце пакета камер. Электроды, как правило, заключены в электролитных камерах, которые обычно частично изолированы от сообщения по текучей среде с камерами обеднения и/или концентрирования. Как только они оказываются в камере концентрирования, заряженные частицы, как правило, захватываются барьером из избирательно проницаемой мембраны, по меньшей мере частично ограничивающим камеру концентрирования. Например, в типичном случае предотвращается миграция

анионов далее к катоду, из камеры концентрирования, посредством катионоселективной мембраны. Будучи уловленными в концентрирующей камере, захваченные заряженные частицы могут быть удалены в потоке концентрата.

5 В устройствах НЭДИ и ЭД к ячейкам, как правило, прикладывается поле постоянного тока от источника напряжения и электрического тока, подаваемых на электроды (анод, или положительный электрод, и катод, или отрицательный электрод). Питание самого источника напряжения и тока (собираательно именуемого «источником питания») можно осуществлять с помощью множества
10 различных средств, таких как источник питания переменного тока или, например, источник питания, получаемого от энергии солнца, ветра или волн. На границах раздела электрод/жидкость происходят электрохимические реакции в полужайке, инициирующие и/или облегчающие перенос ионов через мембраны и камеры. Специфическими электрохимическими реакциями, которые происходят
15 на границах раздела электрод/жидкость, можно до некоторой степени управлять при помощи концентрации солей в специализированных камерах, где заключены электродные узлы. Например, материал, подаваемый в анодные электролитные камеры, имеющий высокую концентрацию хлорида натрия, будет проявлять тенденцию к образованию газообразного хлора и водород-ионов, при этом такой
20 материал, подаваемый в катодную электролитную камеру, будет проявлять тенденцию к образованию газообразного водорода и гидроксид-ионов. Вообще говоря, водород-ионы, образующиеся в анодной камере, будут ассоциироваться со свободными анионами, такими как хлорид-ионы, сохраняя нейтральность заряда и создавая раствор соляной кислоты, и, аналогичным образом, гидроксид-ионы, образующиеся в катодной камере, будет ассоциироваться со свободными
25 катионами, такими как ионы натрия, сохраняя нейтральность заряда и создавая раствор гидроксида натрия. Продукты реакции электродных камер, такие как образующиеся газообразный хлор и гидроксид натрия, можно использовать в процессе по мере необходимости в целях дезинфекции, в целях очистки и
30 прочистки мембран, а также в целях регулирования pH.

Для различных типов устройств электрохимической деионизации, включая, но не ограничиваясь ими, устройства электродиализа (ЭД) и электродеионизации (ЭДИ), применяются пластинчато-рамная и спирально-навитая конструкции. Имеющиеся в продаже устройства ЭД, как правило, имеют пластинчато-рамную
35 конструкцию, а устройства ЭДИ выпускаются и в пластинчато-рамной, и в спиральной конфигурациях.

В предшествующих патентах были раскрыты «перекрестноточные» устройства электродиализа (ЭД) с разбавленными и концентрированными потоками, протекающими в перпендикулярных направлениях. Пакет пар ячеек в устройстве может быть собран из одного или более модульных блоков, называемых субблоками. На ФИГ. 1А показан пример субблока. На ФИГ. 1В показан пакет из восьми субблоков перед установкой в корпусе. Используемый в настоящем документе термин «пакет ячеек» относится к единственному субблоку или к пакету из множества субблоков. На ФИГ. 1С показано собранное электродиализное устройство с прозрачным кожухом. На ФИГ. 1D показано собранное электродиализное устройство с непрозрачным кожухом.

Было признано желательным обеспечить уплотнения между соседними субблоками в пакете ячеек перекрестноточных электродиализных устройств. Уплотнения могут способствовать предотвращению утечек, которые приводят к смешиванию разбавленных и концентрированных потоков электродиализных устройств и могут снижать эффективность электродиализных устройств. Уплотнения могут дополнительно предотвращать утечку текучей среды изнутри наружу пакета ячеек. Пути внутренней перекрестной утечки, которые могут приводить к смешиванию разбавленных и концентрированных потоков электродиализных устройств и утечке из электродиализного устройства, изображены в примере субблока 105, показанного на ФИГ. 2А.

Один способ получения уплотнения между субблоками в пакете ячеек электродиализного устройства изображен на ФИГ. 2А-2С. Способ предусматривает укладывание силиконовой прокладки 110 на лицевой стороне первого субблока 105, выравнивание вырезов 115 в прокладке 110 с отверстиями первого субблока, укладывание элемента катионообменной мембраны (КОМ) 120 поверх прокладки 110, укладывание другой силиконовой прокладки 110 (не показана) поверх КОМ 120 и, наконец, установку второго субблока (не показан) поверх второй силиконовой прокладки. Эта процедура может повторяться для каждой пары соседних субблоков в пакете ячеек. Вырезы 115 на ФИГ. 2А и ФИГ. 2В изображены круговыми, но, как правило, являются по существу треугольными, чтобы соответствовать форме отверстий 125 коллектора (как изображено на ФИГ. 2А) в субблоке 105. Вырезы 115 в прокладке 110, а также центральная открытая область прокладки 110 могут быть штампованными.

На ФИГ. 3 показан вид с пространственным разделением деталей пакета ячеек электродиализного устройства, включающего в себя четыре субблока. Четыре субблока 105 расположены между двумя концевыми пластинами 205. Электроды 210 и экраны 215 электродов расположены между концевыми

пластинами 205 и пакетом субблоков 105. Для создания двухпроходной системы одно из межсубблочных уплотнений включает в себя лист 220 из стекловолокна G10, который блокирует поток, а также третью прокладку 110 для получения уплотнения между КОМ 120 и листом 220 G10.

- 5 При изготовлении субблока 105 эпоксидная смола 105B может быть залита в раму 105A, образованную из, например, из каучука NORYL® (ФИГ. 2A) для закрепления ионообменных мембран в раме 105A. В некоторых случаях эпоксидная смола, залитая в раму 105A, может усаживаться при отверждении, что приводит к образованию раковин или углублений в слое эпоксидной смолы.
- 10 Эти раковины или углубления могут располагаться возле границ раздела между эпоксидной смолой и рамой или трубами, образуя отверстия через субблоки 105. На ФИГ. 4A-4C изображены примеры раковин, которые могут образоваться в эпоксидной смоле 105B в процессе заливки. Эти раковины могут обеспечивать путь для утечки между разбавленными и концентрированными потоками в пакете
- 15 ячеек для электродиализа. Создание уплотнения с прижатием к неплоской и непредсказуемо неровной поверхности оказалось сложной задачей. Раковины в эпоксидной смоле 105B субблоков 105 могут быть, например, от приблизительно 200 мкм до 500 мкм в глубину или, в некоторых случаях, до 1 мм в глубину, и представляют проблему, с учетом которой необходимо создавать
- 20 уплотнительное решение между соседними субблоками 105. Прокладки из силиконового пенопласта, такие как прокладки 110, имеют высокую степень сжимаемости и способны принимать форму пиков и впадин в эпоксидной смоле 105B, но уплотнительное решение, использующее такие прокладки, не является особенно надежным. Альтернативные средства уплотнения, раскрытые в
- 25 настоящем документе, представляют собой усовершенствования по сравнению с существующими средствами уплотнения.

- Было установлено, что различные уплотнительные решения можно эффективно использовать для предотвращения внутренних утечек, которые могут привести к смешиванию между разбавленными и концентрированными
- 30 потоками пакета ячеек электродиализного устройства, а также для предотвращения внешних утечек — утечки текучей среды из внутреннего объема наружу пакета ячеек. Как показано на ФИГ. 2A, пути для внутренних утечек могут преимущественно проходить поперек заливки эпоксидной смолой в субблоке 105, тогда как пути для внешних утечек могут преимущественно проходить поперек
- 35 поверхности или лицевой стороны участка 105A рамы субмодуля 105. Внутренние и внешние утечки могут возникать при различных градиентах давления. Например, перепад давления между коллекторами разбавляющих

камер и коллекторами концентрирующих камер в единственном субблоке может быть в диапазоне от приблизительно 4 фунт/кв. дюйм (27,6 кПа) и приблизительно 10 фунт/кв. дюйм (69 кПа). Уплотнительное решение для предотвращения внутренних утечек между разбавляющими камерами и концентрирующими камерами должно, таким образом, быть рассчитано так, чтобы выдерживать давления до приблизительно 10 фунт/кв. дюйм. Внешние утечки могут возникать вследствие перепада давления между внутренним объемом пакета ячеек электродиализного устройства и внешней средой, который может находиться в диапазоне от приблизительно 50 фунт/кв. дюйм (345 кПа) до приблизительно 75 фунт/кв. дюйм (517 кПа). Уплотнительное решение для предотвращения внешних утечек должно, таким образом, быть рассчитано так, чтобы выдерживать эти более высокие давления. Уплотнительное решение для предотвращения внутренних утечек должно быть рассчитано таким образом, чтобы адаптироваться к раковинам в заливке эпоксидной смолой (приблизительно от 200 мкм до приблизительно 500 мкм в глубину или до 1 мм в глубину), тогда как уплотнительное решение для предотвращения внешних утечек должно быть рассчитано таким образом, чтобы адаптироваться к неровностям или ямкам, которые могут присутствовать на поверхности или лицевой стороне участка 105А рамы субмодуля 105 и достигать приблизительно 100 мкм в глубину или, в некоторых случаях, приблизительно 250 мкм в глубину.

Один пример уплотнительного решения, который учитывает различные факторы, связанные с внутренними и внешними утечками, представлен на ФИГ. 5. Уплотнительное решение на ФИГ. 5 включает в себя секции 505 внутреннего уплотнения низкого давления, которые расположены на слое 105В заливки эпоксидной смолой субблока 105 и окружают отверстия 125 коллектора для разбавляющих и концентрирующих камер. Секции 505 внутреннего уплотнения низкого давления могут представлять собой самоклеящиеся секции эластичного силиконового пенопласта с закрытыми ячейками, имеющего твердость по Шору 10А и толщину около 2 мм. Секции 505 внутреннего уплотнения низкого давления не ограничены формированием из силиконового пенопласта. Можно использовать любой подходящий материал, например, любой подходящий эластомер, имеющий подходящую характеристику по дюрометру (твердость) и химическую устойчивость к текучей среде, обрабатываемой в устройстве. После сборки пакета ячеек секции 505 внутреннего уплотнения низкого давления могут сжиматься до толщины в интервале от приблизительно 0,4 мм до приблизительно 1,5 мм. Секции 505 внутреннего уплотнения низкого давления могут быть выполнены с возможностью предотвращения утечки между

обедняющими камерами и концентрирующими камерами в условиях, при которых каналы имеют раковины глубиной от приблизительно 200 мкм до приблизительно 500 мкм или меньше, чем приблизительно 1 мм.

Секции 510 смещения (вытеснения) внутреннего объема могут быть
5 расположены между секциями 505 внутреннего уплотнения низкого давления на поверхности заливки 105В эпоксидной смолой. Секции 510 смещения внутреннего объема могут заполнять участки между соседними субблоками, которые могли бы в противном случае допускать возможность скапливания застойной текучей среды во время работы. Секции 510 смещения внутреннего
10 объема могут быть образованы из такого же материала, что секции 505 внутреннего уплотнения низкого давления, или более мягкого материала, и могут также быть самоклеящимися. Секции 505 внутреннего уплотнения низкого давления и секции 510 смещения внутреннего объема могут располагаться на впускных и выпускных канальных участках субблока 105, но не покрывают
15 активные площади мембран внутри субблока 105. Активная площадь мембраны в субблоке изображена позицией 105D на ФИГ. 6D ниже. Впускные и выпускные канальные участки субблока 105 занимают область 105С, окружающую активную площадь мембраны 105D.

Отдельное внешнее уплотнение 515 высокого давления расположено на
20 участке 105А рамы субблока 105. Внешнее уплотнение высокого давления 515 может быть образовано из более твердого материала, чем секции 505 внутреннего уплотнения низкого давления, например, силиконового каучука, имеющего твердость по Шору 70А и толщину в диапазоне от приблизительно 0,8 мм до приблизительно 1 мм. Внешнее уплотнение 515 высокого давления может
25 быть в форме листа силиконового каучука. Внешнее уплотнение 515 высокого давления может быть в форме листа непористого (непенопластового) силиконового каучука. Внешнее уплотнение 515 высокого давления может быть выполнено с возможностью предотвращения утечки из внутреннего объема устройства электрохимического разделения в условиях, при которых рамы имеют
30 ямки глубиной до приблизительно 100 мкм или менее чем приблизительно 250 мкм. Внешнее уплотнение 515 высокого давления не ограничено формированием из силиконового каучука. Можно использовать любой подходящий материал, например, любой подходящий эластомер, имеющий подходящую характеристику по дюрометру (твердость) и химическую устойчивость к текучей среде,
35 обрабатываемой в устройстве. Отверстия 520 могут быть образованы во внешнем уплотнении 515 высокого давления, чтобы обеспечить проемы для каналов 525, которые могут вмещать соединительные стержни, удерживающие

вместе пакет ячеек, или проход для электрических соединений. Отверстия 520 могут также уменьшать площадь поперечного сечения внешнего уплотнения 515 высокого давления таким образом, что к внешнему уплотнению 515 высокого давления может быть приложено более высокое давление на единицу площади

5 после сборки и приложения сжимающей силы поперек пакета ячеек, чтобы способствовать сжатию внешнего уплотнения 515 высокого давления. Отверстия 520, образованные во внешнем уплотнении 515 высокого давления над участками рамы, не включающими каналы, могут рассматриваться в качестве образованных над закрытыми секциями или непокрытыми зонами рамы 105А.

10 После сборки пакета ячеек внешнее уплотнение 515 высокого давления может сжиматься, например, приблизительно на 50%.

Способ применения уплотнительного решения, показанного на ФИГ. 5, к субблоку 105, изображен на ФИГ. 6А-6Е. Как показано на ФИГ. 6А, секции 505 внутреннего уплотнения низкого давления и секции 510 смещения внутреннего

15 объема могут быть помещены в сборочное приспособление 605, имеющее вырезы для размещения этих секций. Секции 505 внутреннего уплотнения низкого давления и секции 510 смещения внутреннего объема могут быть помещены в сборочное приспособление 605 своими самоклеящимися сторонами, обращенными вверх. На ФИГ. 6В изображены секции 505 внутреннего

20 уплотнения низкого давления и секции 510 смещения внутреннего объема, расположенные в сборочном приспособлении 605. Субблок 105, к которому должно крепиться уплотнительное решение, опускают затем на сборочное приспособление 605, в которое помещены секции 505 внутреннего уплотнения низкого давления и секции 510 смещения внутреннего объема, как показано на

25 ФИГ. 6С. Установочные штифты 610 могут быть включены в состав сборочного приспособления 605 и взаимодействовать с отверстиями в раме 105А субблока, чтобы правильно выровнять субблок 105 относительно секций 505 внутреннего уплотнения низкого давления и секций 510 смещения внутреннего объема. На ФИГ. 6D изображен субблок, установленный на сборочное приспособление 605

30 таким образом, что секции 505 внутреннего уплотнения низкого давления и секции 510 смещения внутреннего объема приклеиваются к нижней поверхности субблока 105. Субблок 105 можно извлечь из сборочного приспособления 605 и ввести в модульную конструкцию, собираемую, как показано на ФИГ. 6Е. Съёмные установочные штифты 615 могут быть помещены в каналы 525 (см.

35 ФИГ. 5) в субблоке 105, чтобы способствовать выравниванию внешнего уплотнения 515 высокого давления на субблоке 105. Внешнее уплотнение 515

высокого давления может быть вручную наложено на участок 105А рамы субблока 105, после чего установочные штифты 615 могут быть извлечены.

Следует отметить, что внешнее уплотнение 515 высокого давления может иметь различные формы в различных вариантах осуществления. Например, в варианте осуществления, изображенном на ФИГ. 5, внешнее уплотнение 515 высокого давления имеет круговой контур и отверстия 520, образованные вокруг каналов 525, а также отверстия над непокрытыми зонами поверхности рамы 105А. В варианте осуществления, изображенном на ФИГ. 6Е, внешнее уплотнение 515 высокого давления включает в себя контур, который является некруговым, и не имеет отверстий 520, отличных от образованных вокруг каналов 525 в раме 105А.

Альтернативный вариант осуществления конструкции внешнего уплотнения высокого давления изображен на ФИГ. 7А-7С. В варианте осуществления, изображенном на ФИГ. 7А-7С, первая поверхность (верхняя или нижняя) рамы 105А первого субблока 105 включает в себя охватывающий паз 705 (ФИГ. 7А). Вторая поверхность (нижняя или верхняя) рамы 105А второго субблока 105, которая располагается вплотную к первой поверхности рамы 105А первого субблока 105, включает в себя охватываемый выступ 710, ограничивающий собой канавку 715 уплотнительного кольца (ФИГ. 7В). На ФИГ. 7С изображена рама 105А первого субблока 105, прикрепленная к раме 105А второго субблока 105 при помощи уплотнительного кольца 720, расположенного внутри канавки 715 уплотнительного кольца. Вариант осуществления на ФИГ. 7А-7С может иметь преимущество над показанным на ФИГ. 5, состоящее в том, что рамы 105А могут быть помещены в непосредственном контакте, сводящем к минимуму расстояние между соседними субблоками 105 с образованием более компактного пакета ячеек.

В соответствии с другим аспектом предлагается усовершенствованный способ уплотнения субмодуля 105 на торце пакета ячеек электродиализного устройства относительно концевой пластины 205 (также называемой в настоящем документе концевым блоком 205), защищающей электрод 210 и связанные с ним экраны 215 (см. ФИГ. 3). Способ включает в себя приклеивание распорной детали 805 к самой верхней поверхности рамы 105А субблока перед заливкой. Распорная деталь 805 может быть приклеена к раме 105А субблока при помощи, например, клея-расплава или эпоксидной смолы. Пример распорной детали 805, приклеенной к раме 105А субблока, изображен снизу на ФИГ. 8А, на виде в изометрии на ФИГ. 8В и на горизонтальной проекции на ФИГ. 8С.

Субблок 105 с присоединенной распорной деталью 805 заливают эпоксидной смолой, как изображено на ФИГ. 9А и 9В, и прорезают водяной струей (ФИГ. 9С) для получения доступа к внутренним камерам субблока.

Концевой блок 205 с канавкой 1005 уплотнительного кольца собирают с электродом и экраном, как изображено на ФИГ. 10А. Катионообменную мембрану (КОМ) помещают поверх электродного узла, как показано на ФИГ. 10В. Уплотнительное кольцо 1010 располагают по окружности вокруг электродного узла, ограничивающего КОМ, как изображено на ФИГ. 10С. Субблок 105 и распорную деталь 805 в сборе затем помещают поверх концевого блока 205, как показано на ФИГ. 10D. Вид в поперечном разрезе концевого блока 205 с распорной деталью 805 и уплотнительным кольцом 1010, расположенным в нем, изображен на ФИГ. 11.

Альтернативный вариант осуществления концевого блока 205 с канавками 1205 торцевого уплотнительного кольца изображен на ФИГ. 12А. Альтернативный вариант осуществления концевого блока 205, смонтированного на соединительных стержнях 1215 для сборки с установленными уплотнительными кольцами 1210, изображен на 12В.

Полностью собранное электродиализное устройство 1300, включающее в себя распорную деталь 805, как описано выше, изображено на ФИГ. 13. Затягивание крепежных элементов, например, гаек 1305 на соединительных стержнях 1215 с каждого конца собранного электродиализного устройства 1300, обеспечивает сжимающую силу, которая сжимает уплотнения между соседними субблоками 105 в пакете ячеек электродиализного устройства 1300.

В соответствии с другим аспектом было установлено, что деформация концевых блоков 205 электродиализного устройства 1300 во время работы под воздействием внутреннего давления в устройстве может быть возможной причиной утечки. Деформация концевых блоков 205 могла бы снизить давление, прикладываемое к уплотнительным прокладкам внутри электродиализного устройства 1300, становясь возможной причиной внутренней или внешней утечки. Конечно-элементный анализ (КЭА) был проведен на одном варианте осуществления концевого блока 205, выполненного из 1,5-дюймового (3,8-сантиметрового) толстого поливинилхлорида (ПВХ), при этом были получены распределения смещений и напряжений, изображенные на ФИГ. 14А и 14 В. Для уменьшения деформации концевых блоков 205 электродиализного устройства 1300 концевые блоки могут быть усилены, например, при помощи пластин 1505 из стекловолокна G10, как изображено на ФИГ. 15А и 15В. Стекловолокно G10 имеет такой же предел текучести, как у алюминия, но обладает такими

свойствами, как низкая коррозионность и низкая электропроводность, что делает его выбор предпочтительным по сравнению с алюминием и другими металлами для усиления концевых блоков электродиализного устройства. Пластина G10 может быть формованной или механообработанной, и прикрепленной к концевым блокам 205 при помощи невыпадающих уплотняющих элементов 1510, например, винтов или болтов.

КЭА был проведен для нескольких толщин и конфигураций ПВХ и усилительных пластин G10, при этом важным показателем является результирующее перемещение (смещение) в центре пластины. Результаты этого анализа изображены на ФИГ. 16. На основе этого анализа был выбран ПВХ толщиной 1 дюйм (2,54 см) с усилительной пластиной G10 толщиной 1 дюйм, так как эта конфигурация показала минимальное смещение (по отношению к стоимости) для уплотняющих элементов в диапазоне 150 мм - 200 мм от центра концевого блока.

Следует также принимать во внимание, что различные альтернативные/дополнительные элементы или способы могут использоваться совместно или в качестве замены для уплотнительных конфигураций и способов уплотнения, раскрытых выше.

Формованная прокладка с уплотнительными элементами

В одном варианте осуществления формованные прокладки могут применяться вместо штампованных прокладок для одной или более из секций 505 внутреннего уплотнения низкого давления, секций 510 смещения внутреннего объема или секций 515 внешнего уплотнения высокого давления, раскрытых выше, с использованием силиконового пенопласта или другого подходящего материала. Это обеспечило бы возможность создания уплотнительных элементов или ребер на поверхности прокладки, где может концентрироваться сжимающая сила, деформируя материал прокладки и воздействуя на уплотнение. На ФИГ. 17А и 17В показаны возможные формы профиля ребер для формованных ребер 1700. На ФИГ. 18 показана возможная схема размещения, при помощи которой эти реберные элементы 1700 могут быть расположены на прокладке 1800. Ребра 1700 располагались бы вокруг каждого отверстия, а также вокруг активной зоны субблока, с дополнительными ребрами для уравнивания сжатия и резервирования уплотнения. Ребра 1700 могут иметь высоту до приблизительно 2 мм в несжатом состоянии с нереберными участками прокладки 1800, имеющими толщину приблизительно 200 мкм. При сжатии ребра 1700 сжимались бы до приблизительно такой же толщины, как у нереберных участков прокладки 1800.

Постоянный клей между субблоками

В другом варианте осуществления клей (например, эпоксидную смолу, силикон с вулканизацией при комнатной температуре (RTV), клей-расплав и т. д.) применяют между поверхностями соседних субблоков, что создает несколько
 5 преимуществ и недостатков. Клей может обеспечивать надежное уплотнение, так как клей способен соответствовать по форме любым деформациям поверхности эпоксидной смолы. Клей может приклеиваться к раме, затрудняя продавливание воды даже при повышенных давлениях. Клей не требовал бы прижатия к уплотнению, как прокладка. Однако если соседние субблоки склеены,
 10 преимущество модульности субблоков может быть ослаблено. В существующих конструкциях, если субблок в пакете поврежден, его можно легко заменить. Если клей применяют для склеивания соседних субблоков, выполнить замену поврежденных субблоков может быть нелегко. Клеевой материал можно помещать на поверхностях субблока по каплям, например, при помощи
 15 дозирующего аппарата на координатном столе.

Заданное угловое смещение

В другом варианте осуществления субблоки заливают с прижатием к плоской пластине с нанесенным на нее силиконом таким образом, что после отверждения эпоксидной смолы пластину снимают, при этом она может
 20 отслаиваться благодаря силикону. В заливочную пластину могут быть встроены выступы таким образом, чтобы они образовывали заданные вмятины на лицевой поверхности эпоксидной смолы субблока. Хотя участок поверхности невысок, эти вмятины могут обеспечивать возможности для фиксации на них обжатой прокладки. Этот способ может быть объединен со способом постоянного клея.

Мембрана, покрытая прокладочным материалом

В другом варианте осуществления специализированные мембранные элементы, имеющие прокладочный материал вдоль наружной стороны, могут применяться для выполнения той же функции, что силиконовая пенопластовая прокладка. Мембранные элементы, составляющие единое целое с прокладочным
 30 материалом, могут представлять собой одиночные вставляемые элементы, что упрощает изготовление.

Альтернативный клей для субблока, такой как жидкий силикон или УФ-отверждаемая эпоксидная смола

Существующий клей, используемый в субблоках, представляет собой
 35 специальную композицию эпоксидной смолы, имеющую несколько желаемых характеристик, которые обеспечивают успешную изоляцию разбавленных и концентрированных потоков. Вязкость эпоксидной смолы позволяет ей проникать

и впитываться в тонкие каналы потока, при этом температура химической реакции остается ниже 100°C, поэтому любая захваченная вода не превращается в пар и образует воздушные пузыри, а эпоксидная смола затвердевает в достаточной степени, чтобы очень точно разрезаться при прорезании водяной струей. В другом варианте осуществления замена эпоксидной смолы на основе

5 силикона или эпоксидная смола, которая может отверждаться УФ-излучением, может обеспечивать более равномерную поверхность для плотного прижатия уплотнения к лицевой стороне субблока.

Выступающая заливка, снимаемая механической обработкой

10 Этот подход является противоположным способу заданного углового смещения. Углубление, образованное в заливочной пластине, может использоваться таким образом, что, когда заливка закончена, эпоксидная смола отодвигается от лицевой стороны рамы субблока. Эта эпоксидная смола была бы затем снята механической обработкой, чтобы иметь такую же высоту, как рама,

15 обеспечивая очень плоскую поверхность для уплотнения с плотным прижатием.

Поверхностный слой эпоксидной смолы

В другом варианте осуществления, после применения первого этапа заливки эпоксидной смолой для изолирования каналов пакета друг от друга, может использоваться вторичный процесс для нанесения второго, очень тонкого

20 слоя новой эпоксидной смолы поверх отвержденной эпоксидной смолы, которая будет значительно менее подвержена усаживанию, обеспечивая более равномерную поверхность для уплотнения с плотным прижатием.

Уплотненный прокладкой экран

В другом варианте осуществления распорные детали, изготовленные из пластмассового сеточного экрана, очень похожего на применяемые в субблоках,

25 могут использоваться с каучуковым прокладочным материалом, нанесенным на периферийную часть с вставленной внутри сеткой. Уложенные друг на друга, они обеспечивают уплотнение. Они заменили бы существующие силиконовые прокладки с КОМ между ними.

Пример 1.

30 Рабочие характеристики электродиализного устройства, включающего в себя секции внутреннего уплотнения низкого давления, секции смещения внутреннего объема, внешние уплотнения высокого давления, усиленные концевые пластины, и распорные детали и уплотнительные кольца между

35 электродными субмодулями и соседними субмодулями, как раскрыто в настоящем документе, сравнивали с рабочими характеристиками электродиализного устройства без этих усовершенствований. Было выполнено

сравнение значений эффективности тока при различных уровнях отношения электропроводности концентрата (концентрирующего потока) к электропроводности продукта (разбавляющего потока). Результаты изображены на диаграмме на ФИГ. 19. Электродиализное устройство с усовершенствованиями, раскрытыми в настоящем документе (оптимизированный модуль на ФИГ. 19), продемонстрировало такую же эффективность тока, как немодифицированное электродиализное устройство. Эти результаты показывают, что включение в состав элементов, уменьшающих возможность утечки в электродиализном устройстве, не ухудшает значительно рабочие характеристики устройства.

Пример 2.

Электродиализное устройство, раскрытое со ссылкой на ФИГ. 13, было изготовлено и испытано под давлением на утечки. После последовательных циклических испытаний из 50 000 циклов при 20 фунтах/кв. дюйм дифференциального давления (138 кПа) и 50 000 циклов при 30 фунтах/кв. дюйм дифференциального давления (207 кПа) внешней утечки не наблюдалось.

Аспекты и варианты осуществления, раскрытые в настоящем документе, не ограничены электродиализным аппаратом. Все устройства электрохимического разделения могут извлекать преимущество из элементов и способов, раскрытых в настоящем документе. Устройства электрохимического разделения включают в себя, без ограничения, электродиализ, обращение электродиализа, непрерывную деионизацию, непрерывную электродеионизацию, электродеионизацию, электродиарез и емкостную деионизацию. Другие электрохимические устройства, которые извлекали бы преимущество из элементов и способов, раскрытых в настоящем документе, включают в себя проточные батареи, топливные элементы, электрохлорирующие элементы и электролизеры для получения щелочи и хлора.

Используемые в настоящем документе фразеология и терминология служат для описательных целей и не должны рассматриваться как ограничительные. В контексте настоящего документа термин «множество» относится к двум или более позициям или компонентам. Термины «содержащий», «включающий в себя», «несущий», «имеющий», «вмещающий» и «охватывающий», используемые в текстовом описании или формуле изобретения и т. п., представляют собой неограничивающие термины, т. е. означают «включающий в себя, без ограничений». Таким образом, использование таких терминов предназначено для того, чтобы охватывать перечисленные после них элементы и их эквиваленты, а также дополнительные элементы. Только

переходные фразы «состоящий из» и «состоящий по существу из» представляют собой закрытые или полужакрытые переходные фразы соответственно в отношении формулы изобретения. Использование порядковых терминов, таких как «первый», «второй», «третий» и т. п. в формуле изобретения для модификации элемента формулы изобретения само по себе не подразумевает какой-либо приоритет, старшинство или порядок одного элемента формулы по сравнению с другим или временный порядок, в котором выполняются действия способа, при этом они применяются просто в качестве меток, чтобы отличать один элемент формулы, имеющий определенное название, от другого элемента, имеющего такое же название (но с употреблением порядкового термина), что позволяет различать указанные в формуле элементы.

ФОРМУЛА ИЗОБРЕТЕНИЯ

1. Устройство электрохимического разделения, содержащее:

первый электрод;

второй электрод;

пакет ячеек, включающий в себя множество субблоков, каждый из которых содержит чередующиеся обедняющие камеры и концентрирующие камеры, расположенные между первым электродом и вторым электродом, при этом каждый из субблоков включает в себя раму и каналные участки;

внутреннее уплотнение, образованное из первого материала, расположенное между и находящееся в контакте с каналными участками между соседними субблоками в пакете ячеек, и выполненное с возможностью предотвращения утечки между обедняющими камерами и концентрирующими камерами в соседних субблоках; и

внешнее уплотнение, образованное из второго материала, имеющего по меньшей мере один параметр материала, отличный от первого материала, расположенное между и находящееся в контакте с рамами соседних субблоков в пакете ячеек, и выполненное с возможностью предотвращения утечки из внутреннего объема устройства электрохимического разделения за пределы устройства электрохимического разделения.

2. Устройство по п. 1, отличающееся тем, что внешнее уплотнение выполнено с возможностью выдерживать без протекания более высокое давление на внешнем уплотнении, чем внутреннее уплотнение.

3. Устройство по п. 1, отличающееся тем, что внутреннее уплотнение выполнено с возможностью предотвращения утечки между обедняющими камерами и концентрирующими камерами в условиях, при которых каналные участки имеют раковины глубиной менее чем приблизительно 1 мм.

4. Устройство по п. 3, отличающееся тем, что внешнее уплотнение выполнено с возможностью предотвращения утечки из внутреннего объема устройства электрохимического разделения в условиях, при которых рамы имеют ямки глубиной менее чем приблизительно 250 мкм.

5. Устройство по п. 4, отличающееся тем, что внутреннее уплотнение включает в себя силиконовый пенопласт с закрытыми ячейками.

6. Устройство по п. 5, отличающееся тем, что внутреннее уплотнение включает в себя множество отдельных секций из силиконового пенопласта с закрытыми ячейками.

7. Устройство по п. 6, дополнительно содержащее секции смещения внутреннего объема, расположенные между соседними секциями внутреннего уплотнения.

8. Устройство по п. 7, отличающееся тем, что секции смещения внутреннего объема образованы из того же или более мягкого материала, чем секции внутреннего уплотнения.

9. Устройство по п. 5, отличающееся тем, что внутреннее уплотнение образовано из листа силиконового каучука.

10. Устройство по п. 9, отличающееся тем, что отверстия образованы во внешнем уплотнении поверх закрытых участков рам.

11. Устройство по п. 1, дополнительно содержащее:
концевой блок, защищающий электрод;
субблок, соседний с концевым блоком, включающий в себя распорную деталь, приклеенную к его лицевой стороне над рамой и канальными участками;
канавку уплотнительного кольца, образованную между распорной деталью и концевым блоком; и
уплотнительное кольцо, расположенное в канавке уплотнительного кольца.

12. Устройство по п. 1, дополнительно содержащее концевой блок, защищающий электрод, имеющий множество канавок уплотнительного кольца, образованных между концевым блоком и субблоком, соседним с концевым блоком, и уплотнительное кольцо, расположенное в каждой канавке уплотнительного кольца.

13. Способ наложения уплотнения на концевой блок устройства электрохимического разделения, включающий в себя следующие этапы:

располагают секции внутреннего уплотнения в сборочном приспособлении с вырезами, выполненном с возможностью удержания секций внутреннего уплотнения, при этом секции внутреннего уплотнения образованы из первого материала;

помещают субблок устройства электрохимического разделения, включающий в себя канальный участок и раму, на сборочное приспособление;

приклеивают секции внутреннего уплотнения к канальному участку со стороны субблока;

снимают субблок со сборочного приспособления; и

накладывают внешнее уплотнение на раму со стороны субблока, при этом внешнее уплотнение образовано из второго материала, имеющего по меньшей мере один параметр материала, отличный от первого материала.

14. Способ по п. 13, дополнительно включающий в себя формирование секций внутреннего уплотнения из первого материала.

15. Способ по п. 14, дополнительно включающий в себя формирование внешнего уплотнения из второго материала, при этом второй материал тверже, чем первый материал.

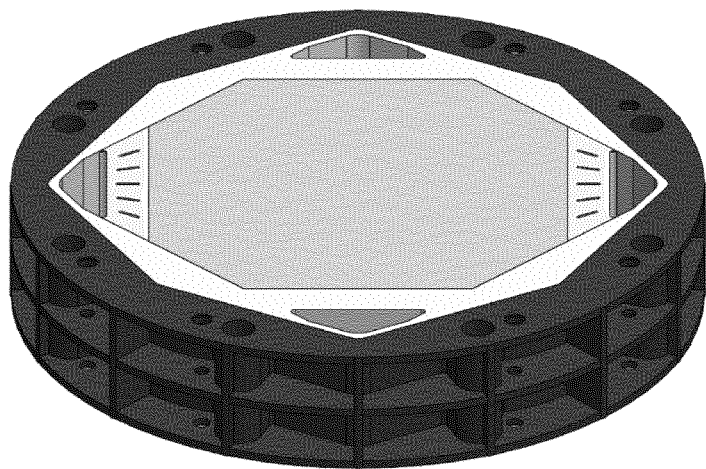
16. Способ по п. 15, дополнительно включающий в себя формирование отверстий во внешнем уплотнении в местах внешнего уплотнения, расположенных над непокрытыми зонами рамы.

17. Способ по п. 15, отличающийся тем, что формирование секций внутреннего уплотнения из первого материала включает в себя формирование секций внутреннего уплотнения из силиконового пенопласта.

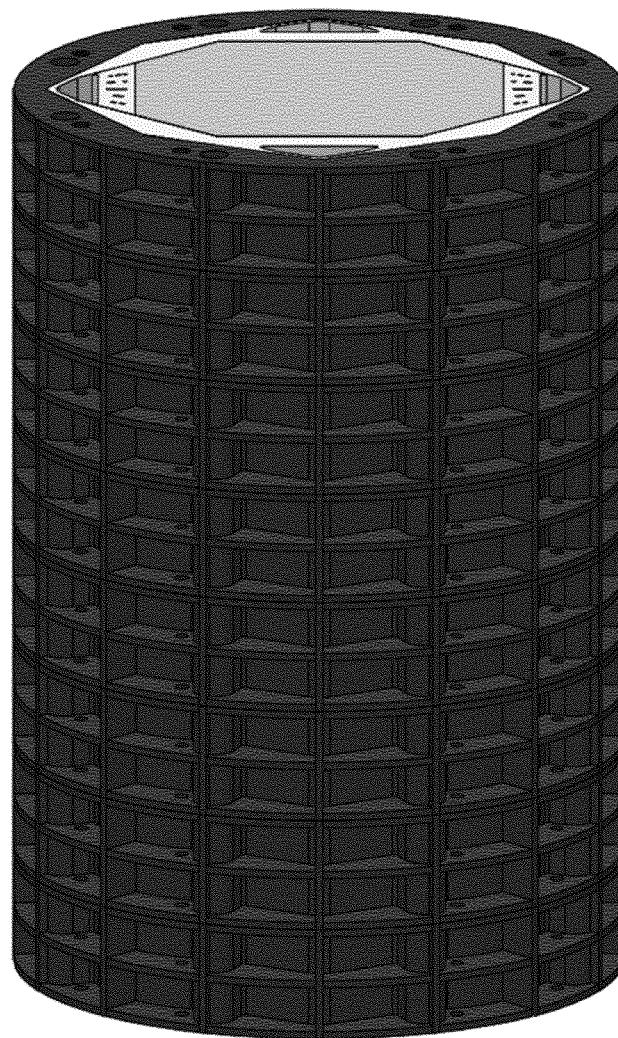
18. Способ по п. 17, отличающийся тем, что формирование внешнего уплотнения из второго материала включает в себя формирование внешнего уплотнения из листа силиконового каучука.

19. Способ по п. 13, дополнительно включающий в себя расположение секций объемного смещаемого материала в сборочном приспособлении между соседними секциями внутреннего уплотнения.

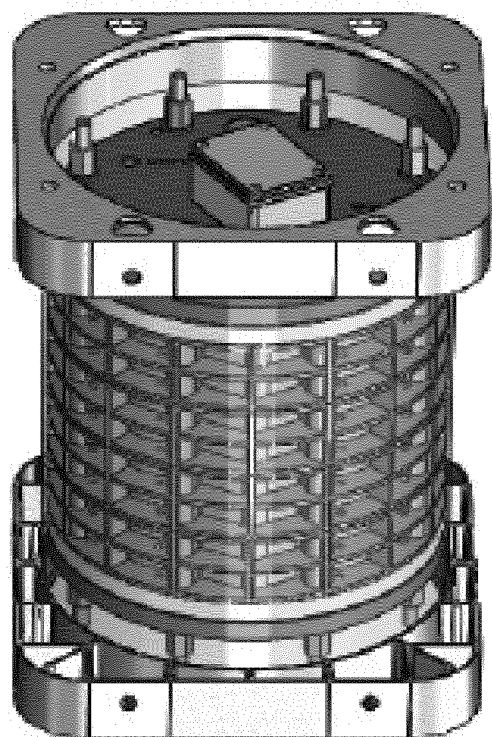
20. Способ по п. 19, дополнительно включающий в себя приклеивание секций объемного смещаемого материала к канальному участку со стороны субблока.



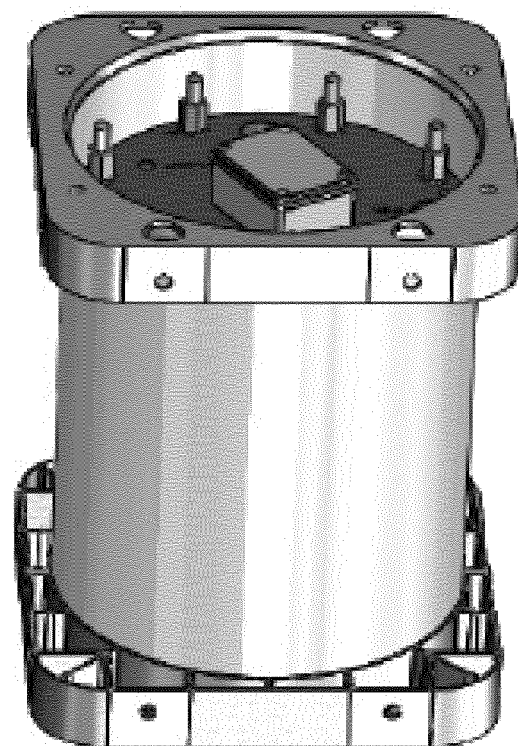
ФИГ. 1А



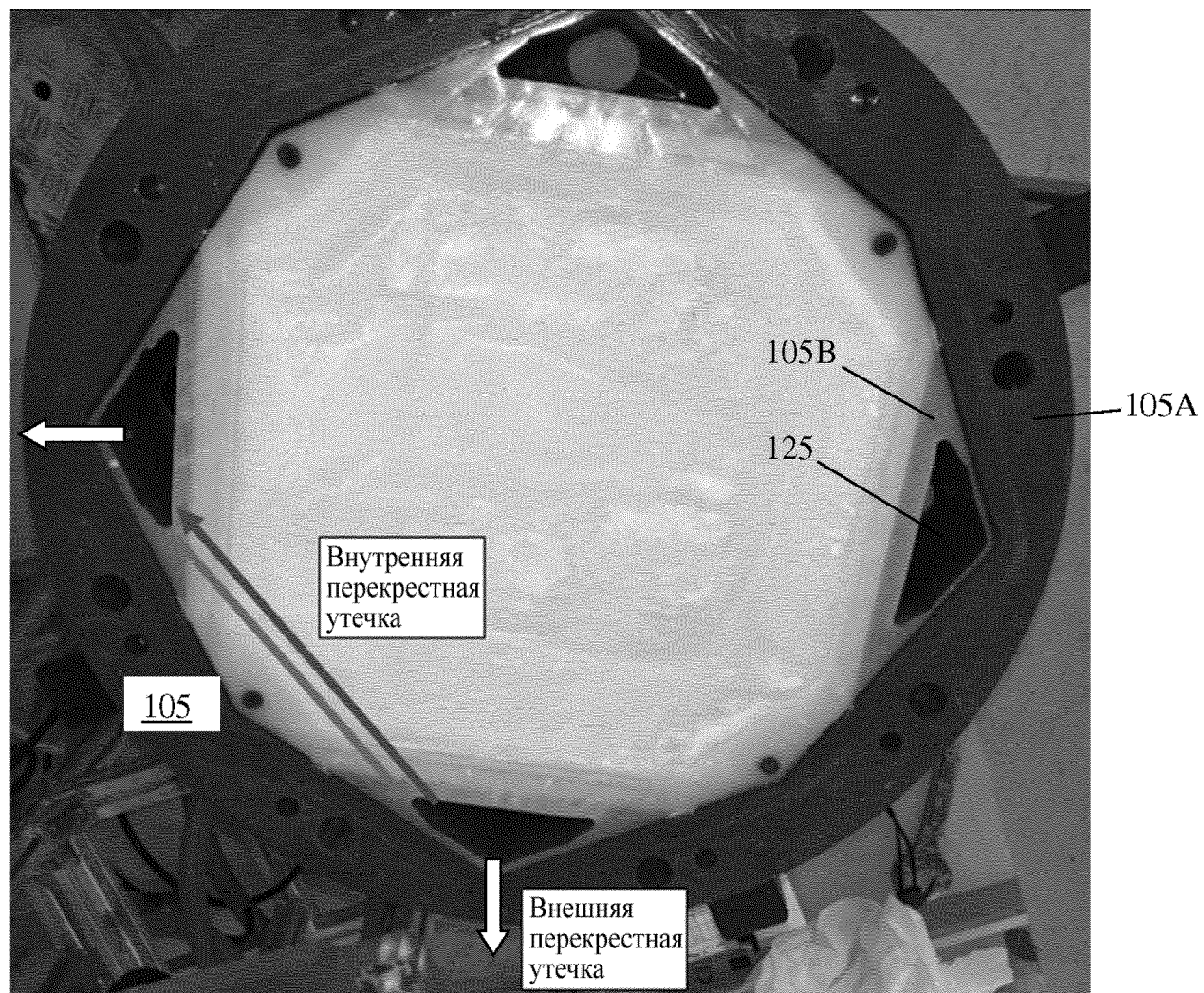
ФИГ. 1В



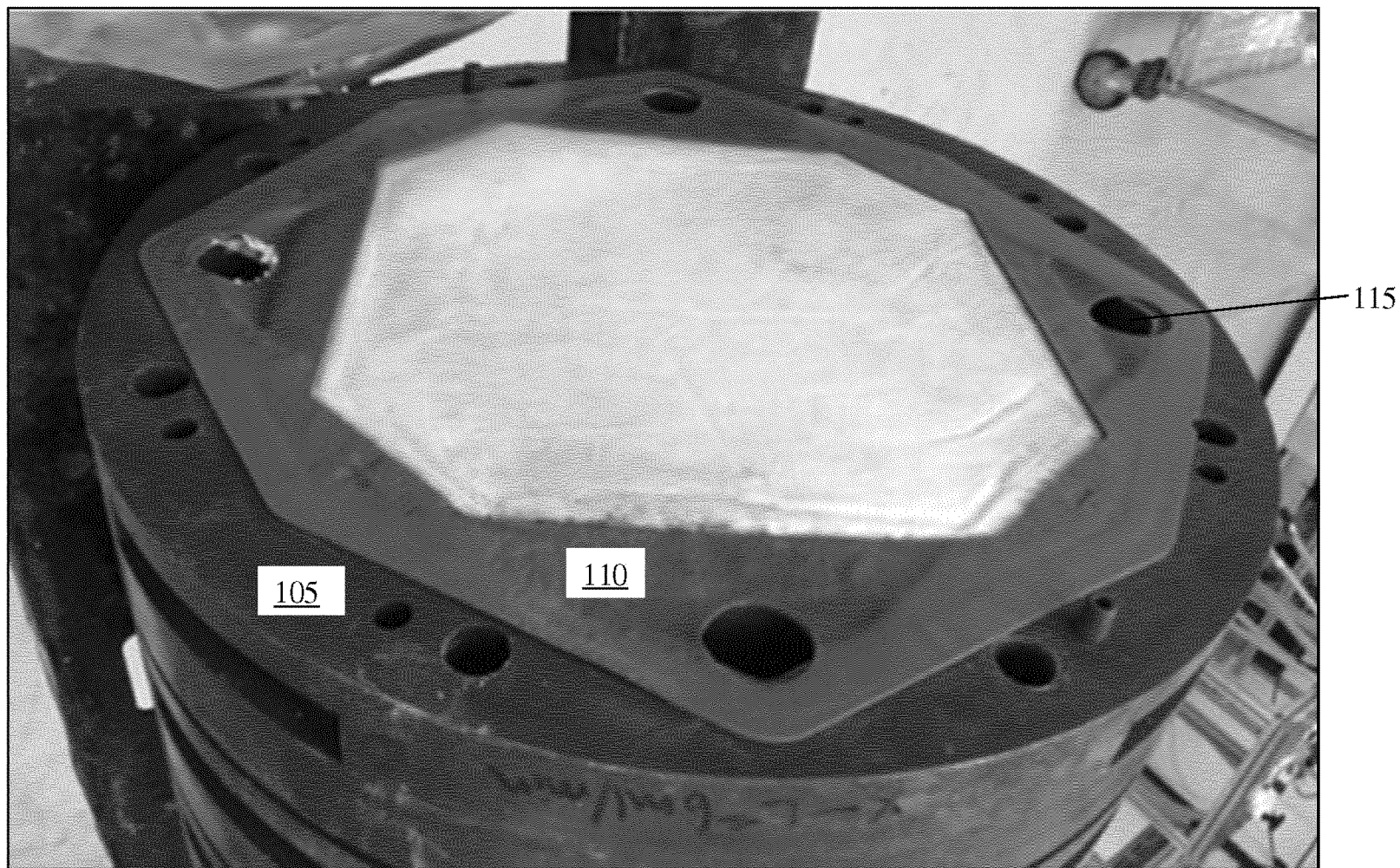
ФИГ. 1С



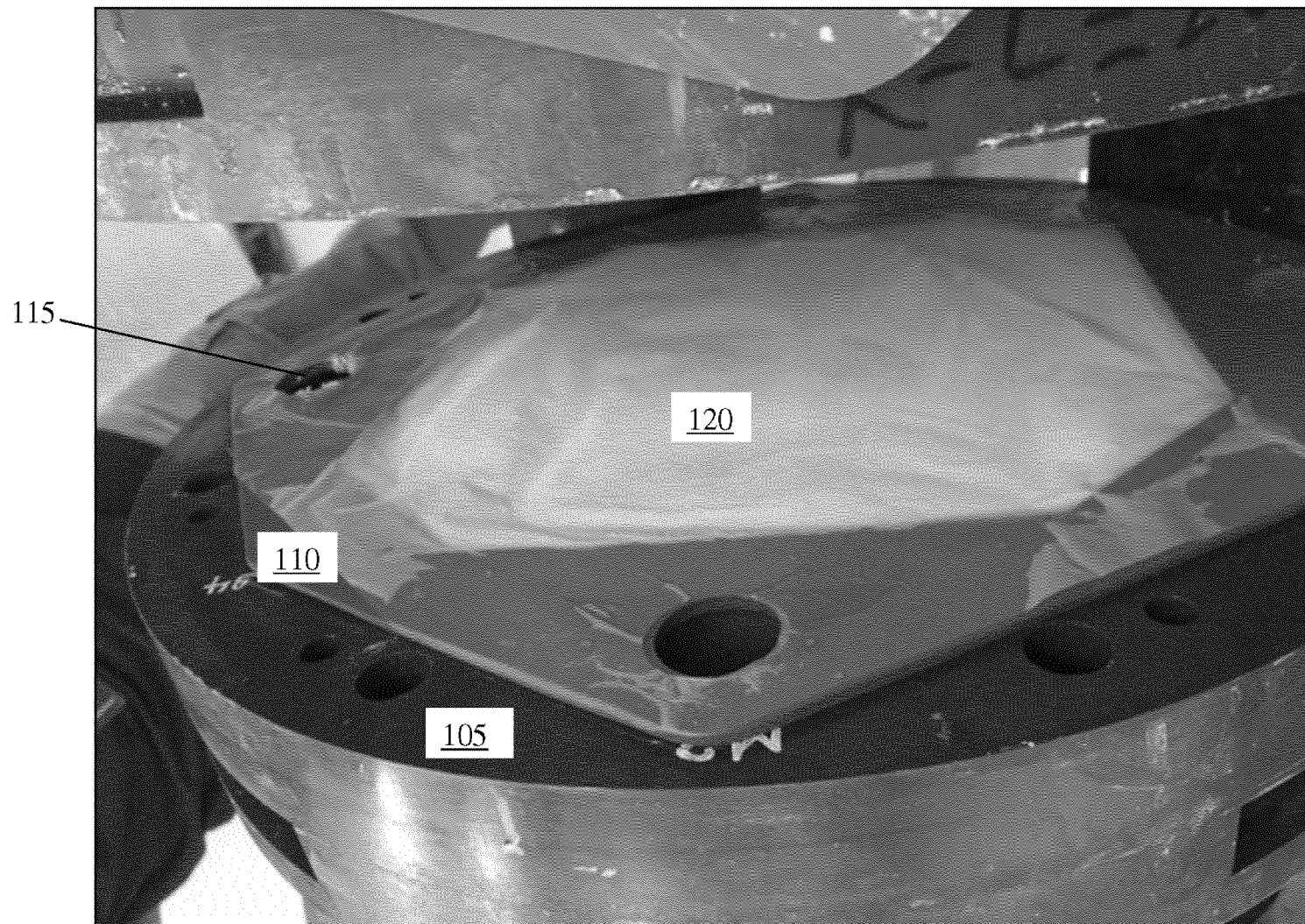
ФИГ. 1D



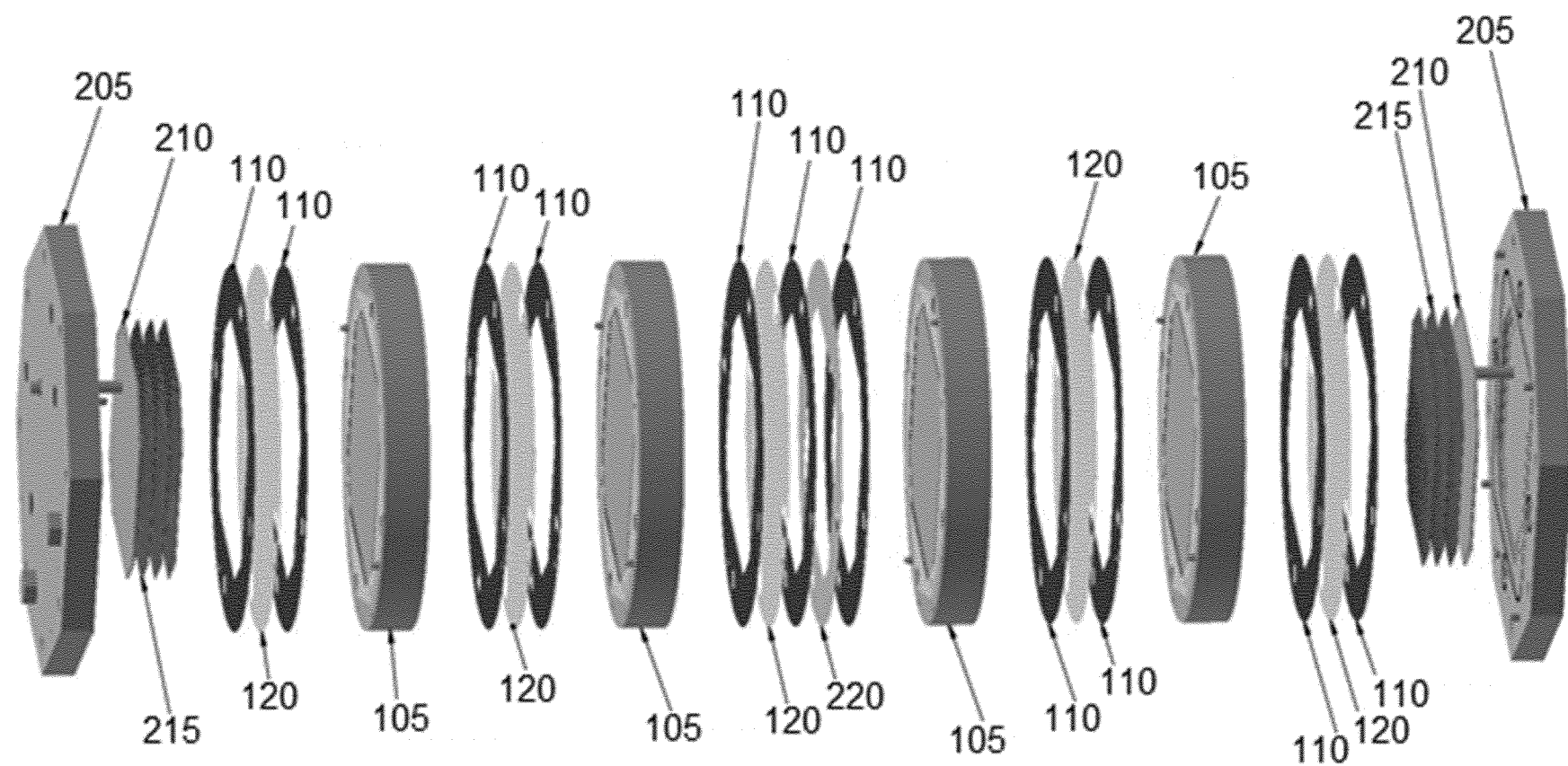
ФИГ. 2А



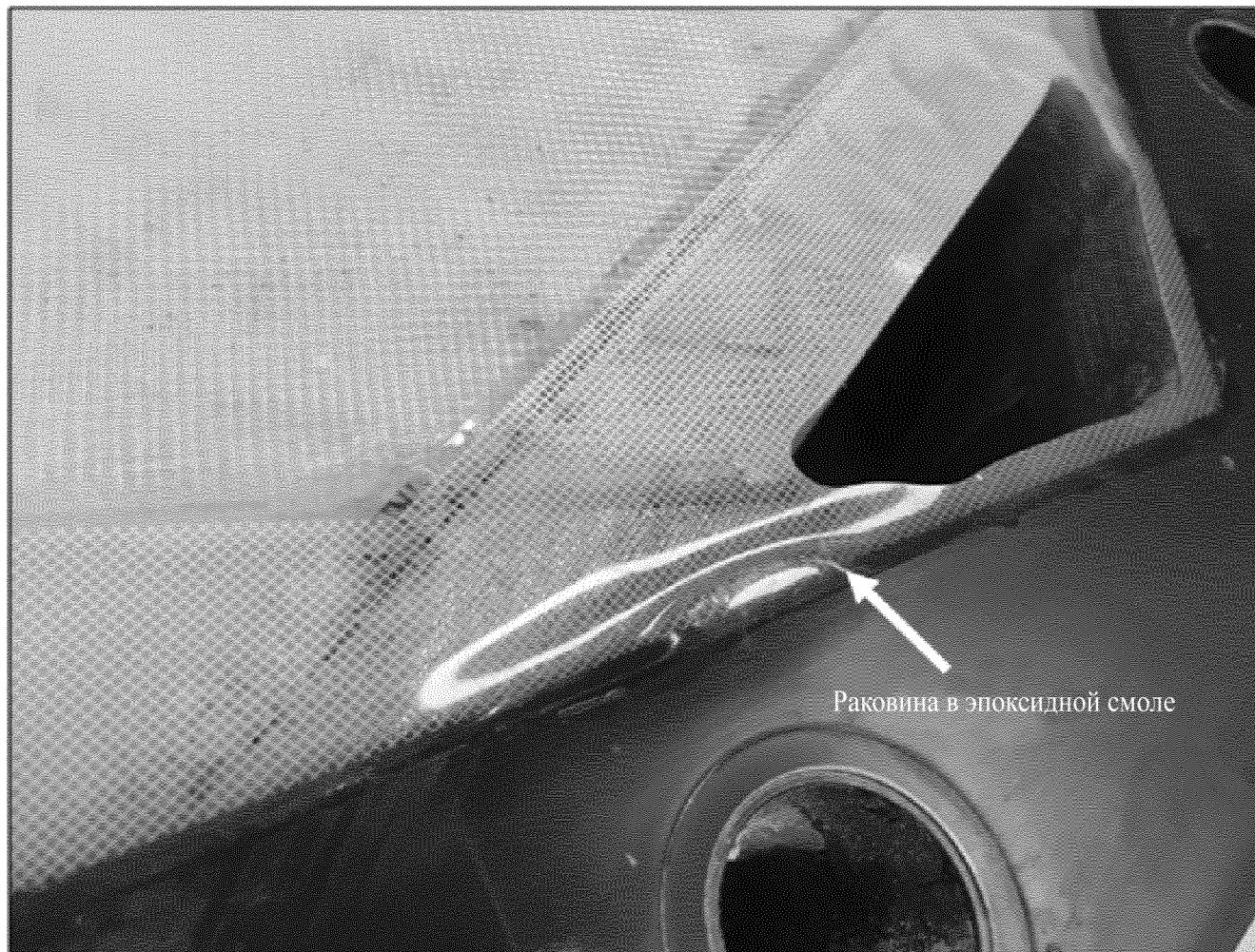
ФИГ. 2В



ФИГ. 2С



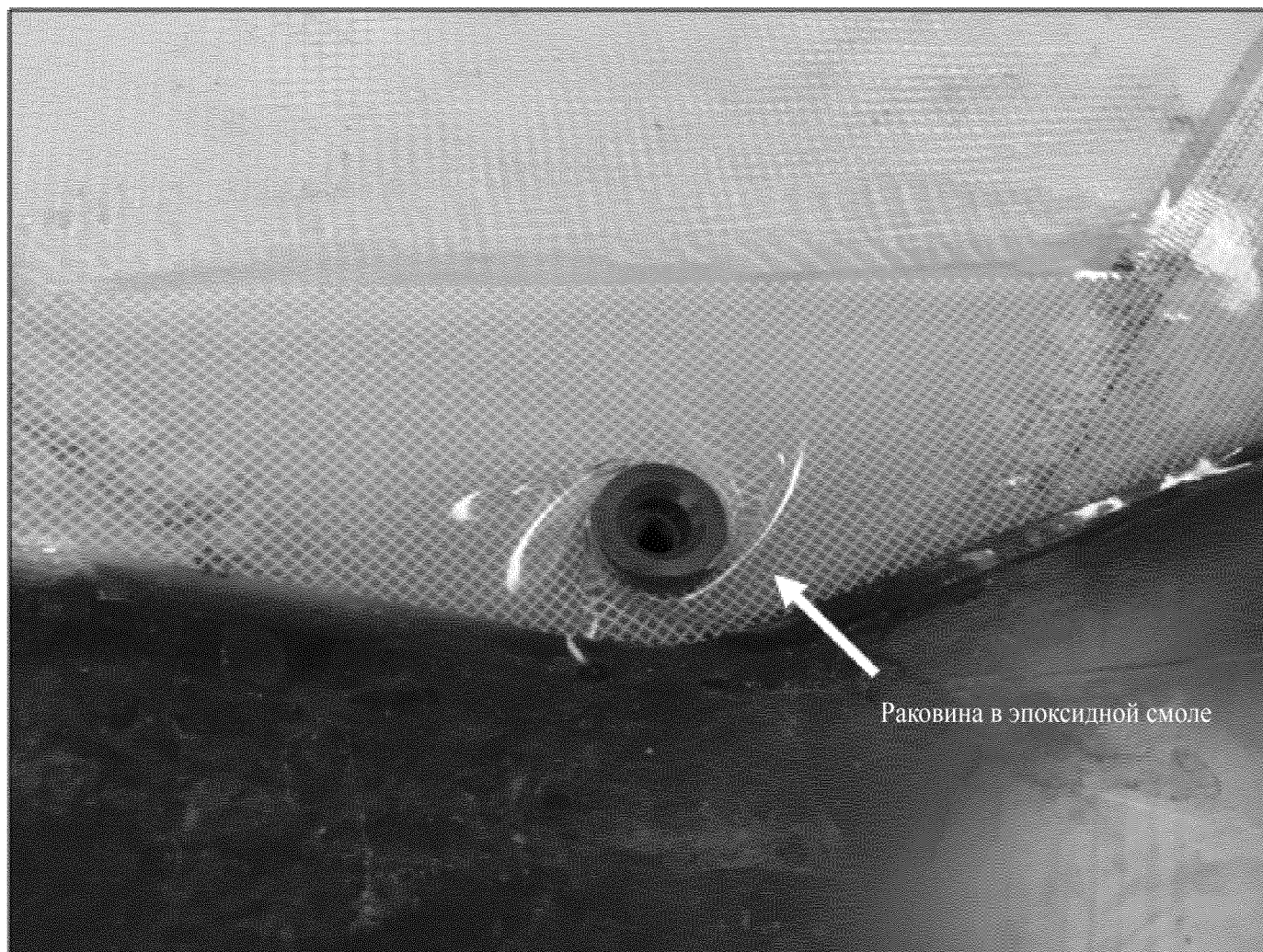
ФИГ. 3



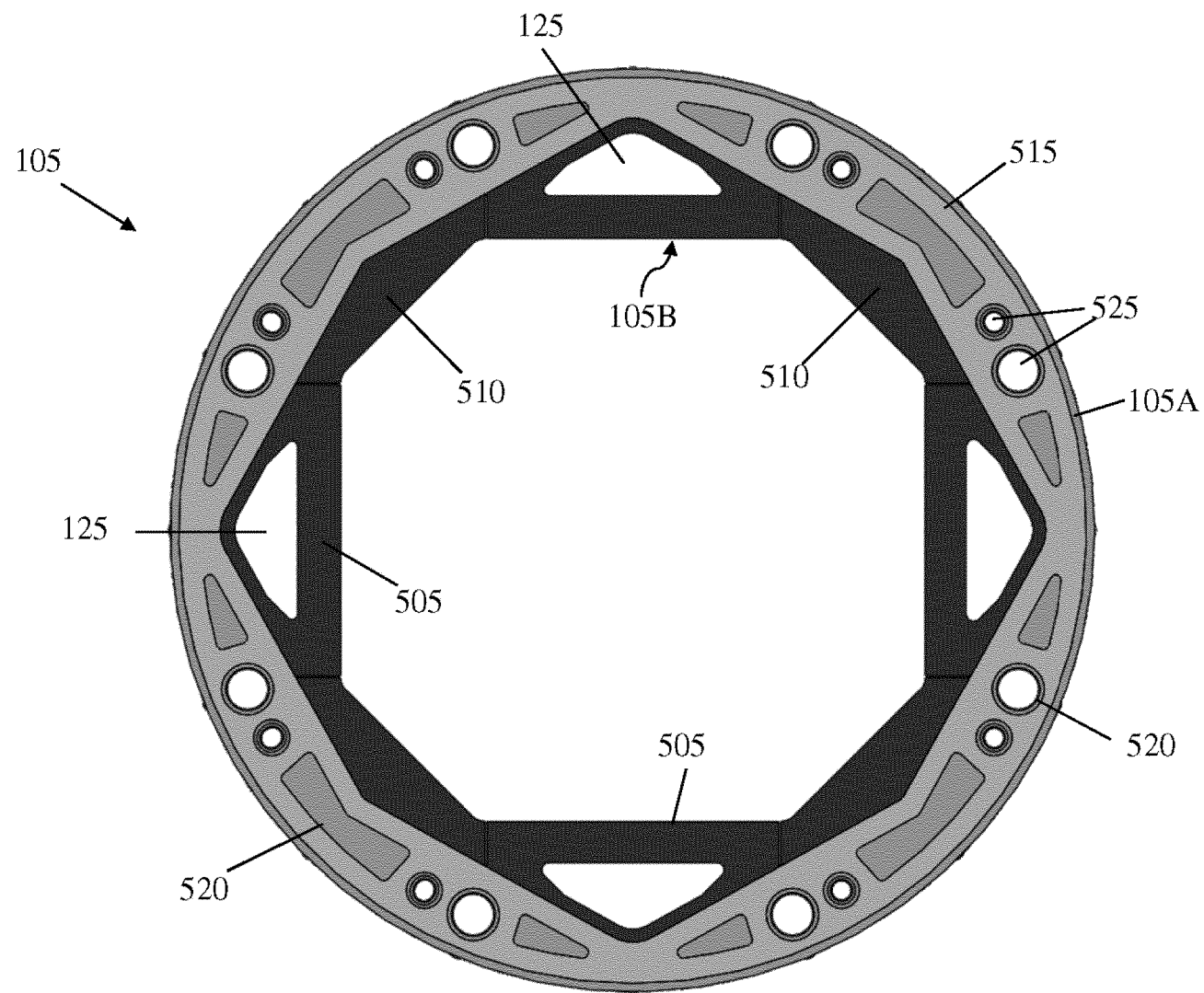
ФИГ. 4А



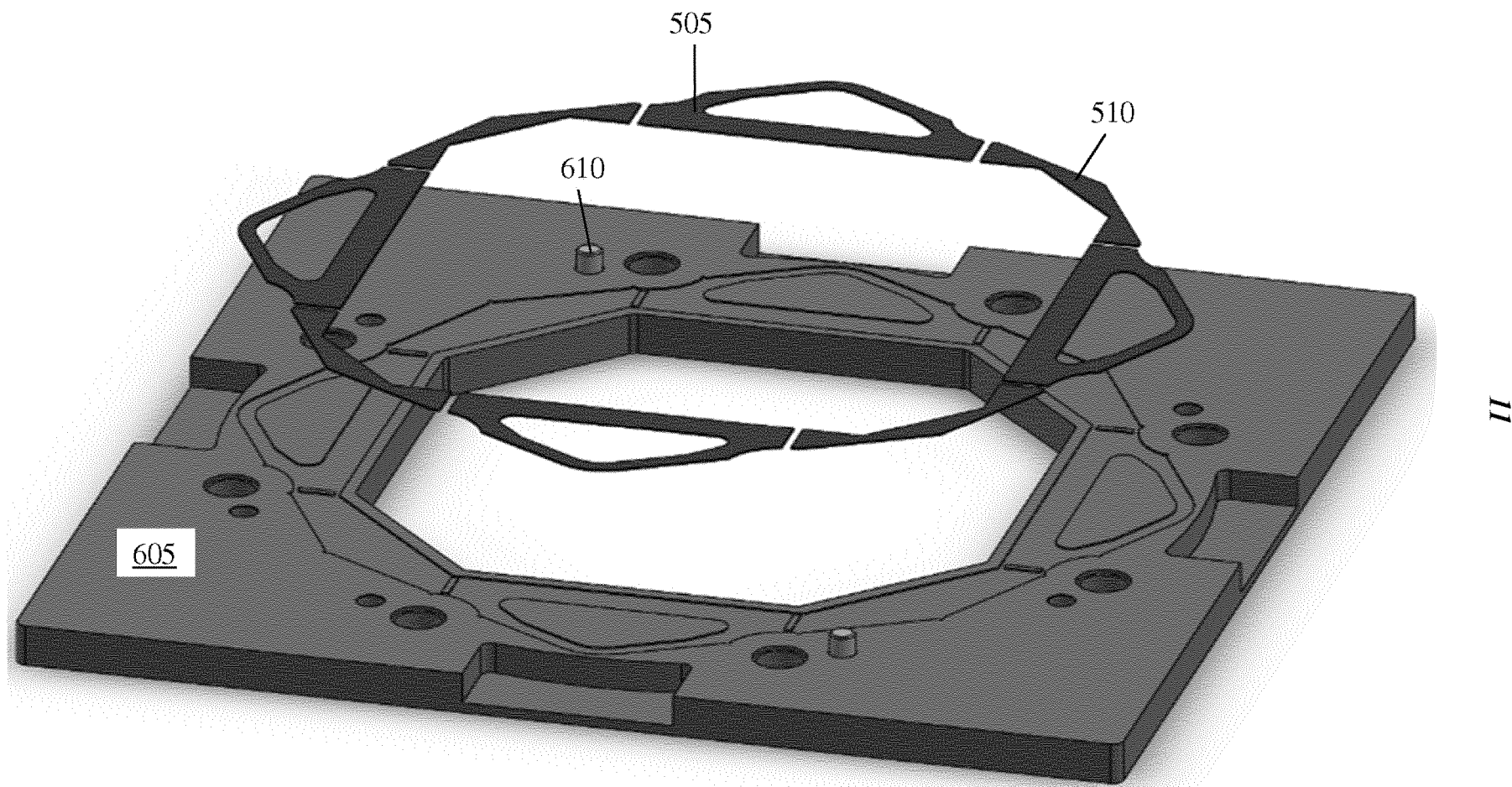
ФИГ. 4В



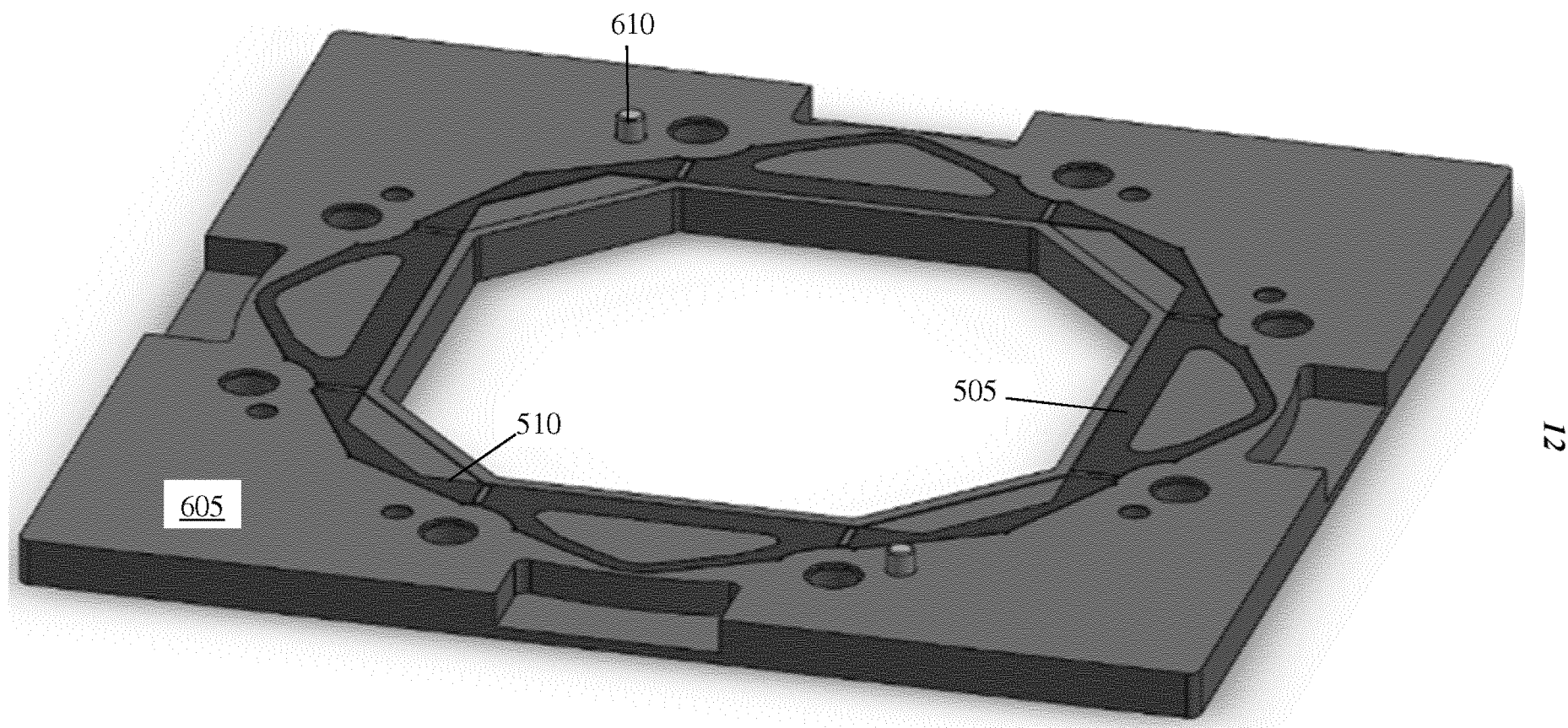
ФИГ. 4С



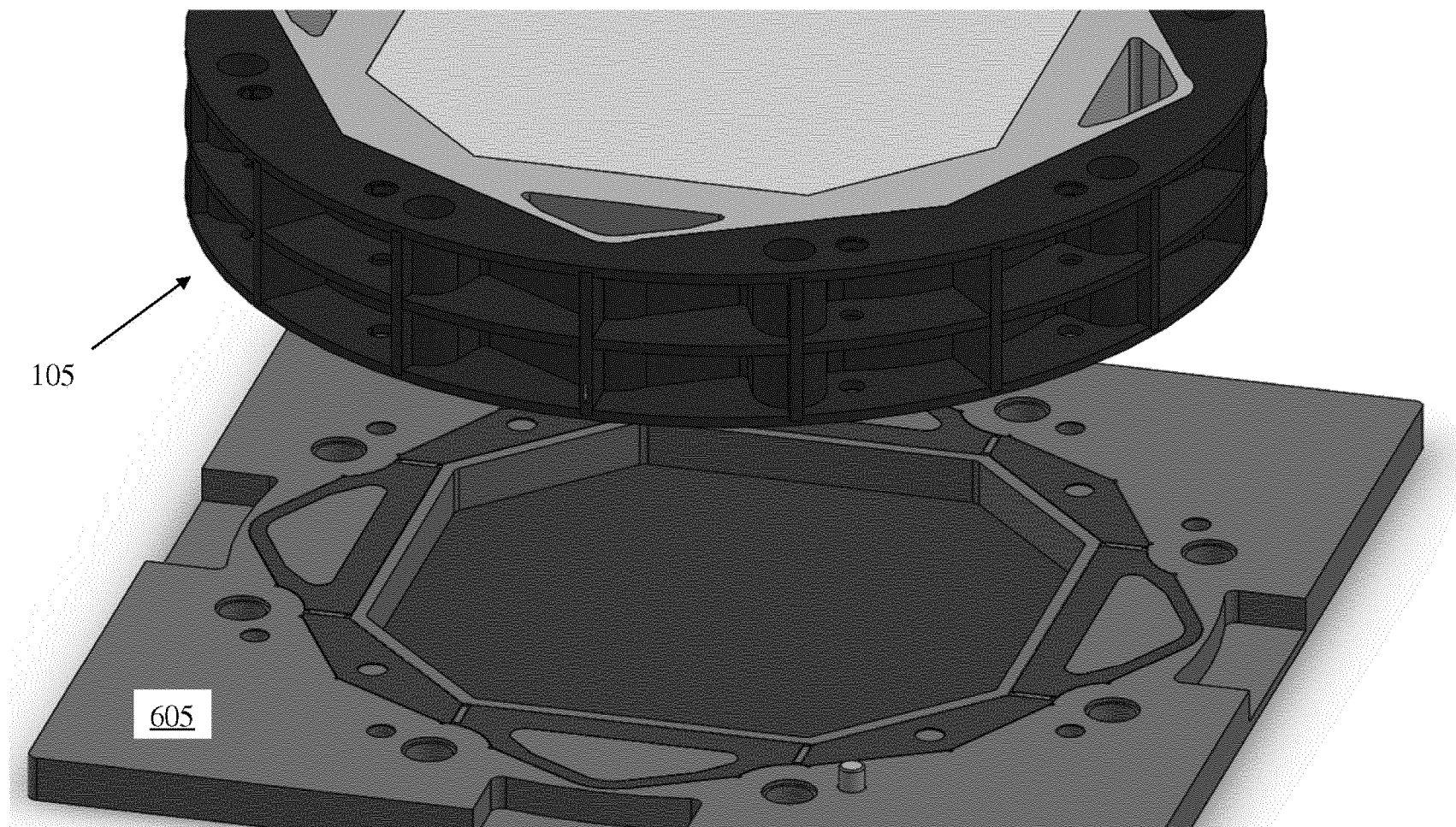
ФИГ. 5



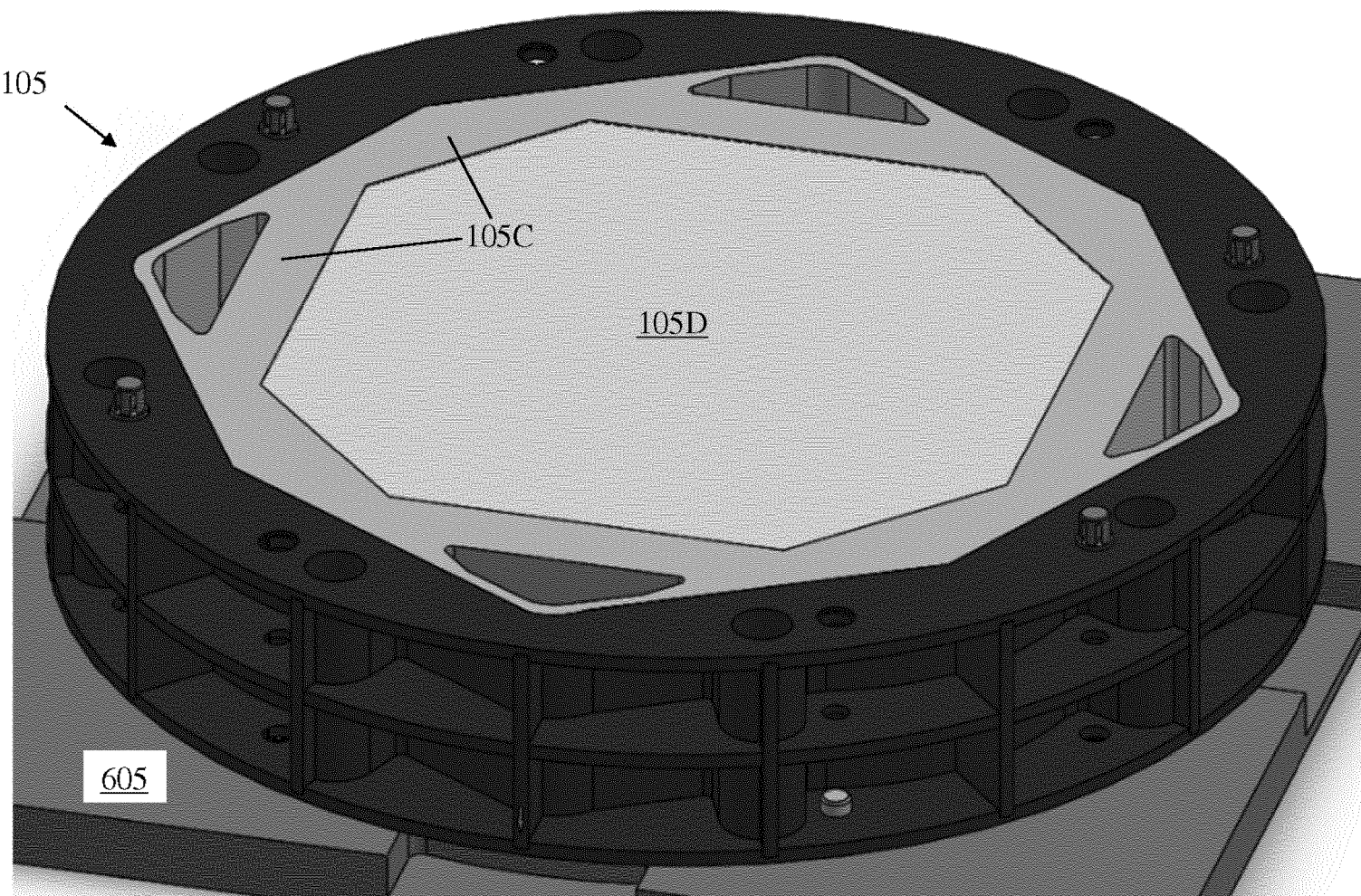
ФИГ. 6А



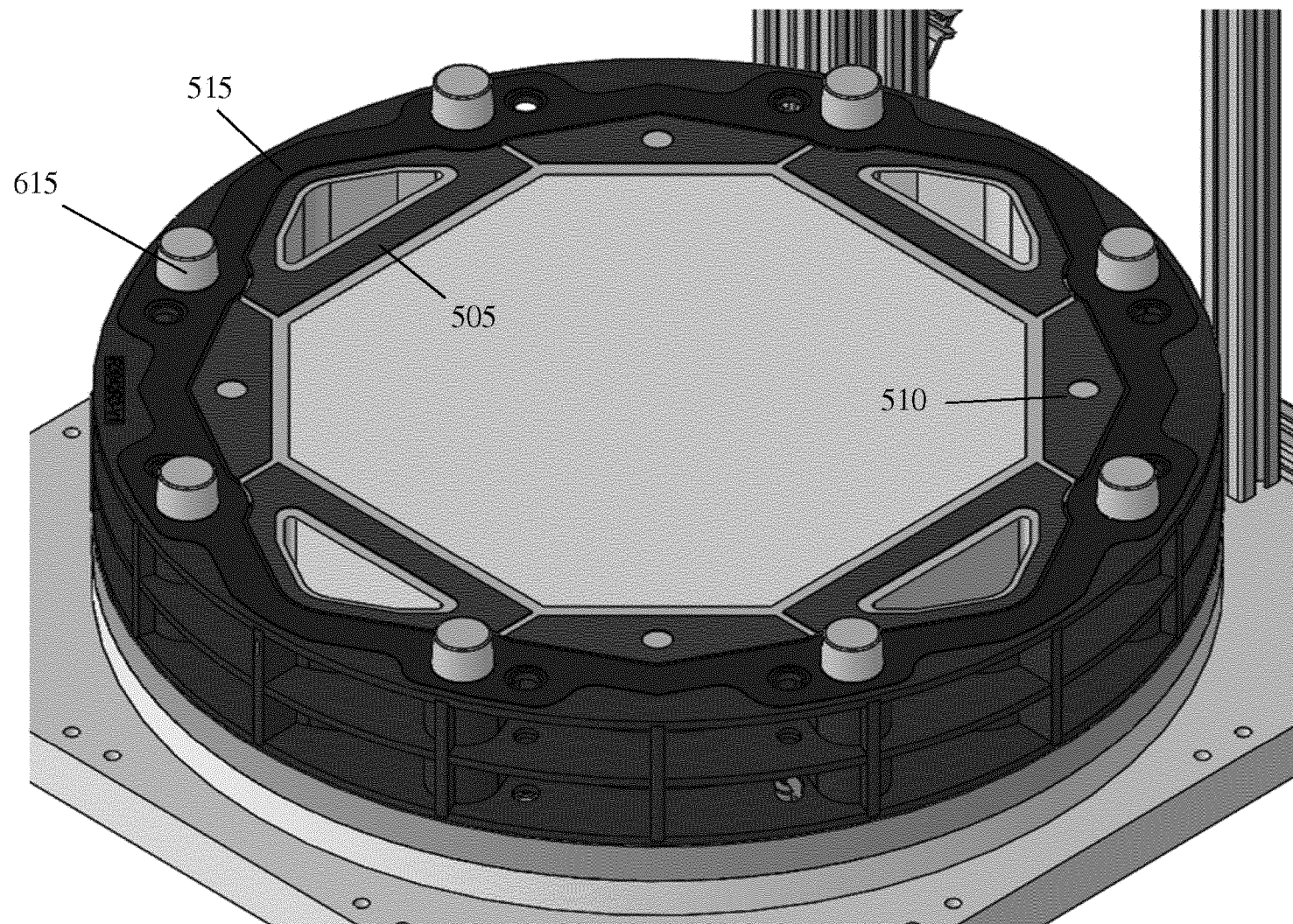
ФИГ. 6В



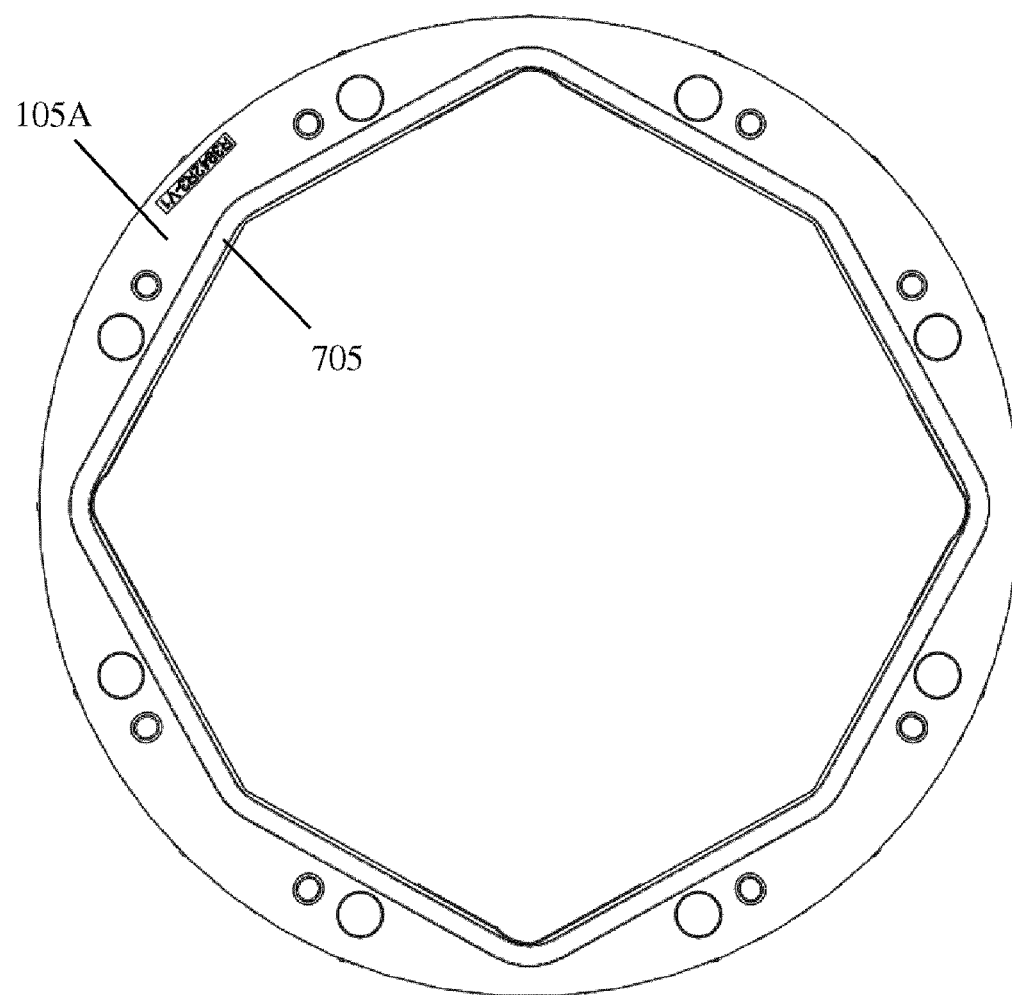
ФИГ. 6С



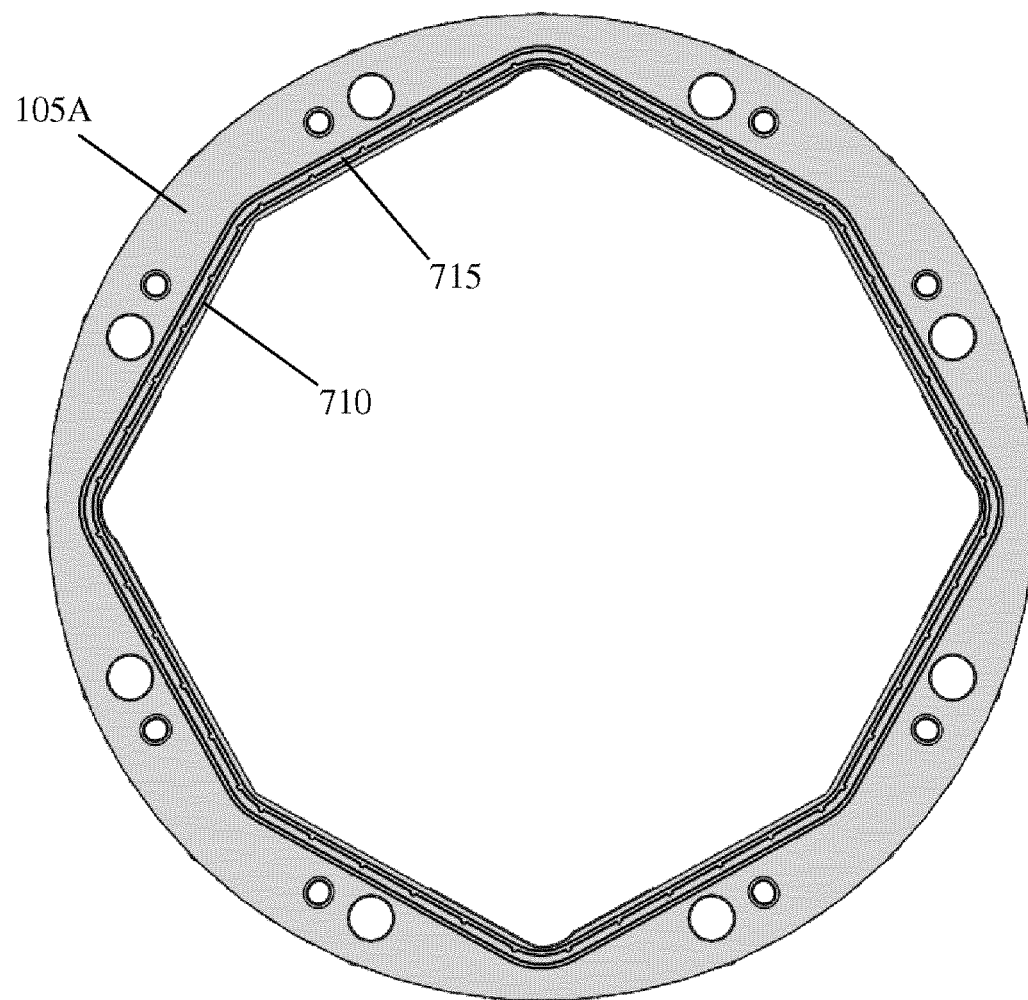
ФИГ. 6D



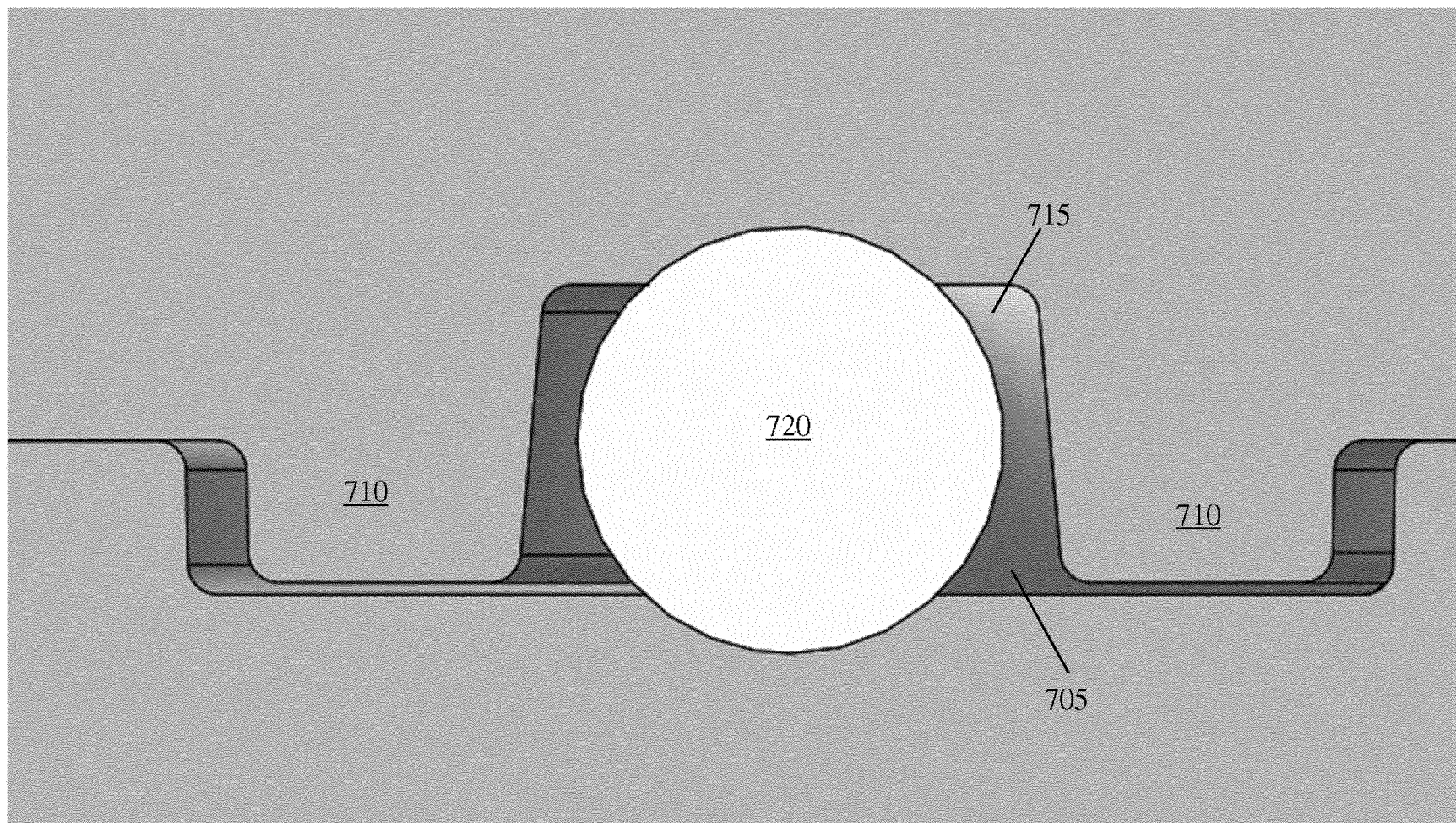
ФИГ. 6Е



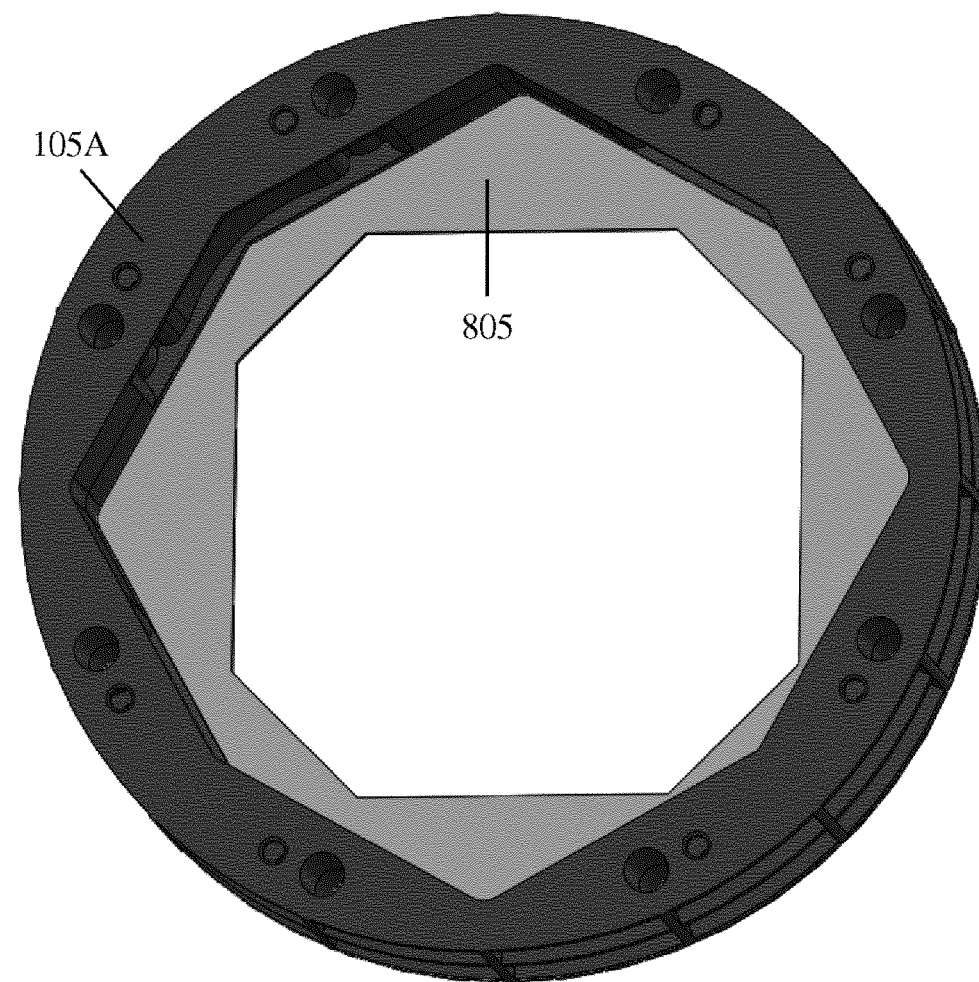
ФИГ. 7А



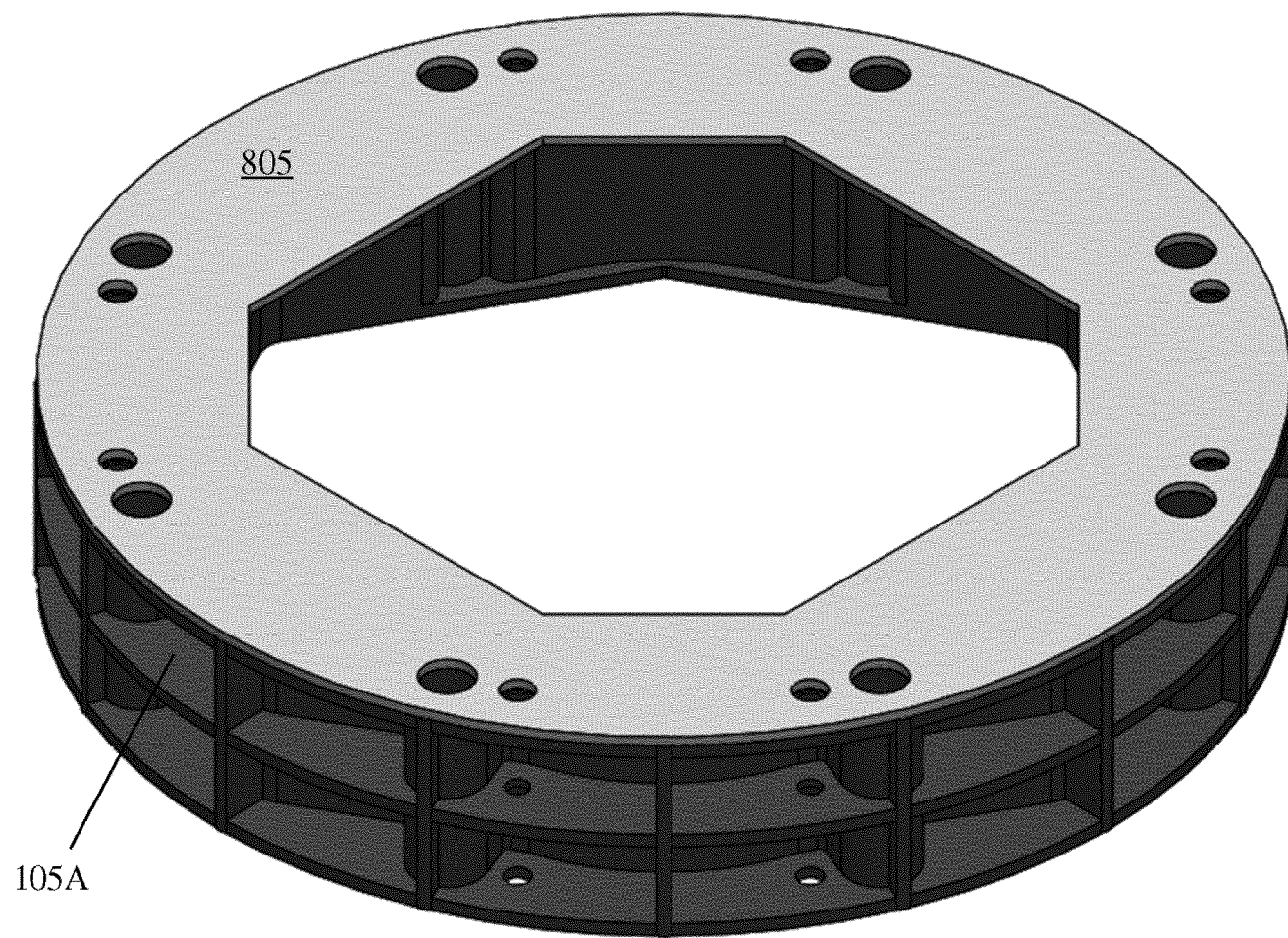
ФИГ. 7В



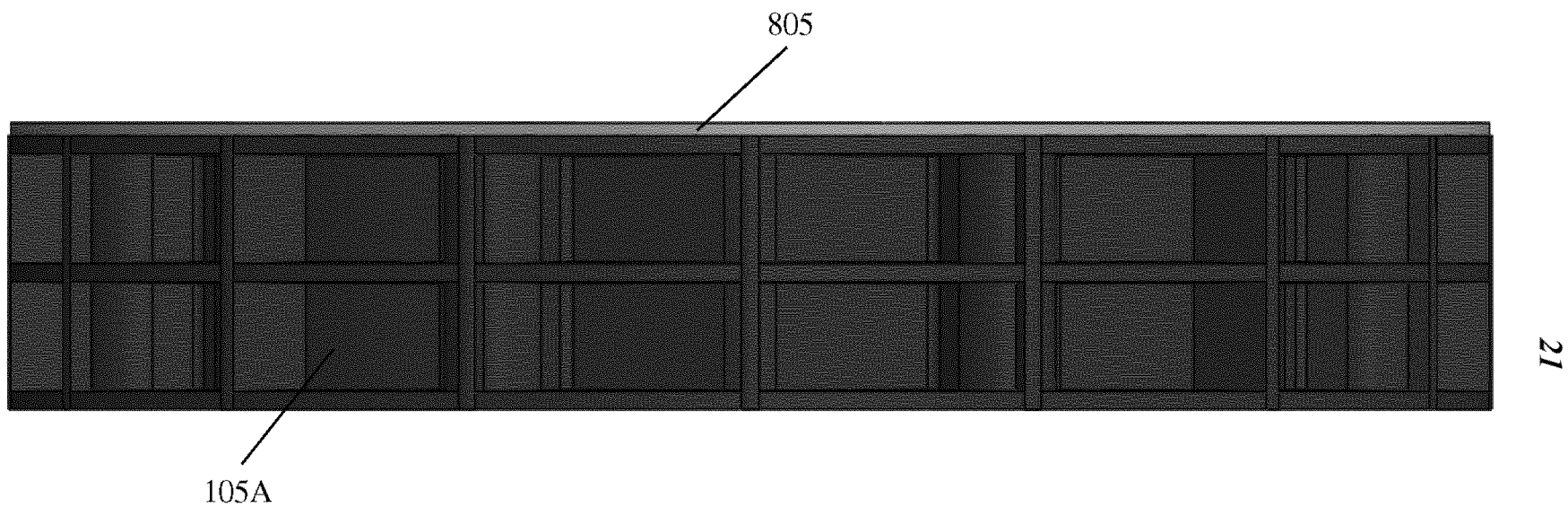
ФИГ. 7С



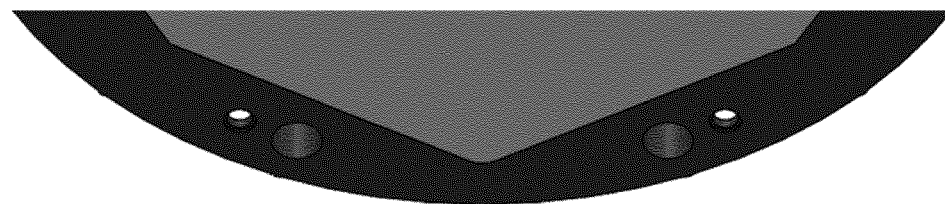
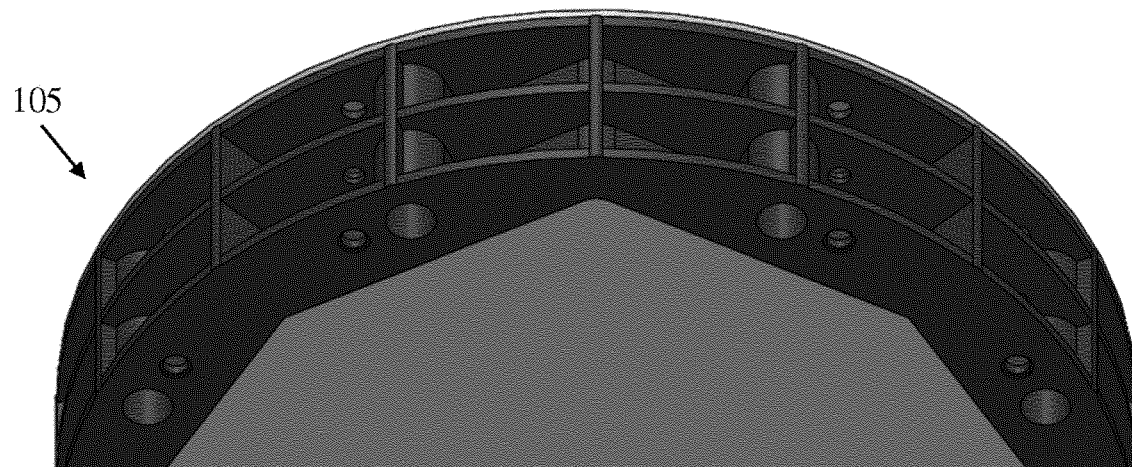
ФИГ. 8А



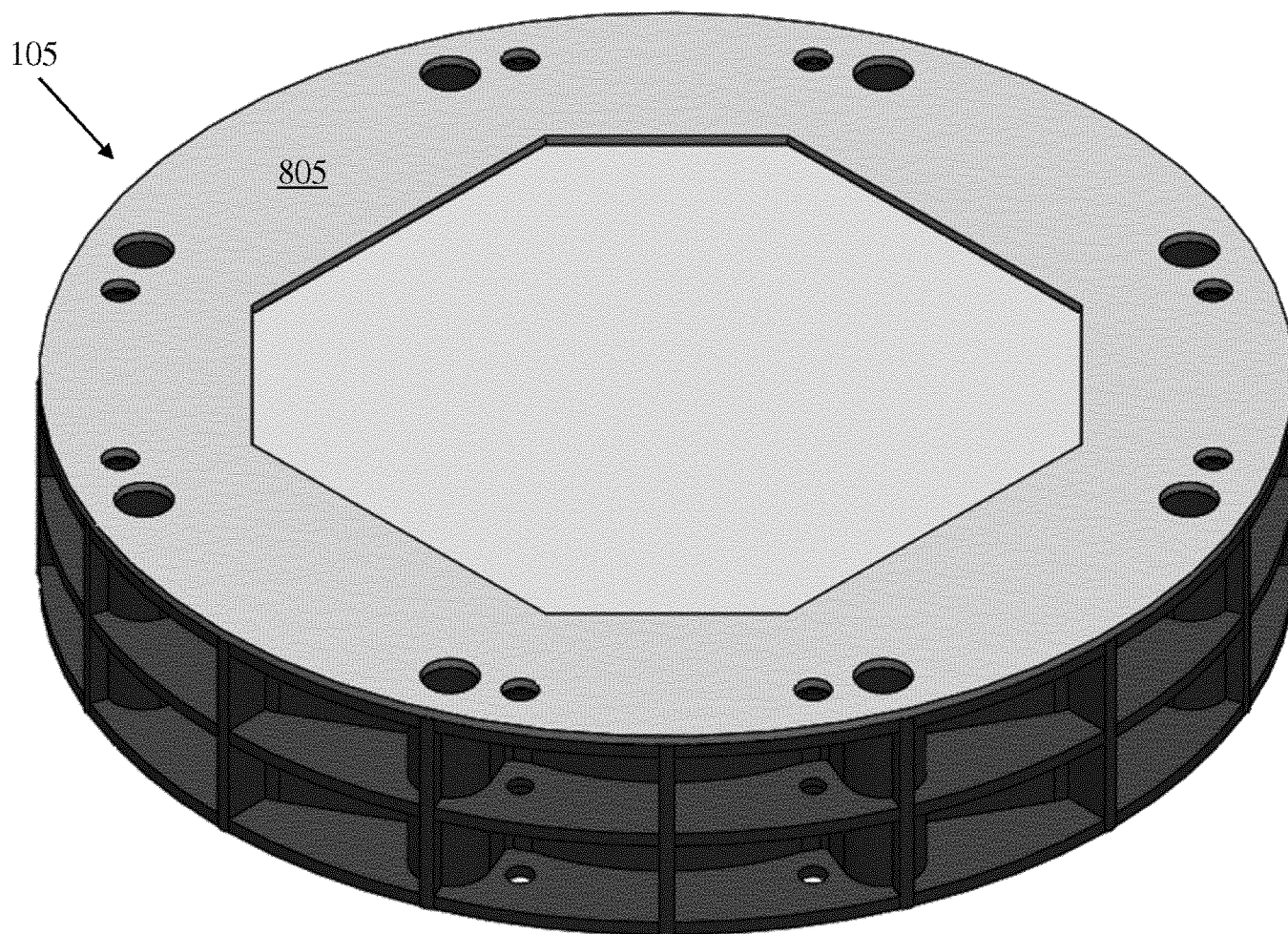
ФИГ. 8В



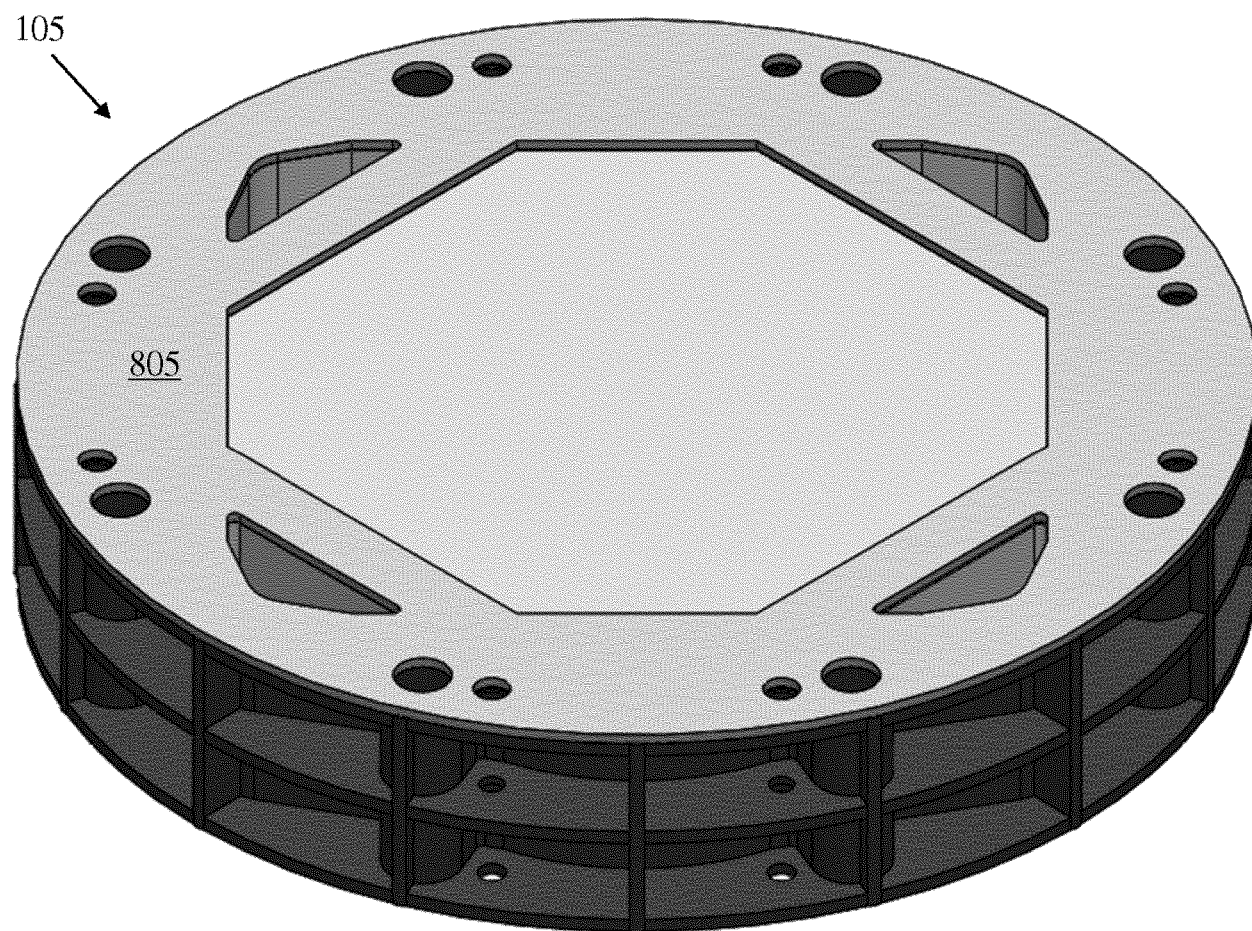
ФИГ. 8С



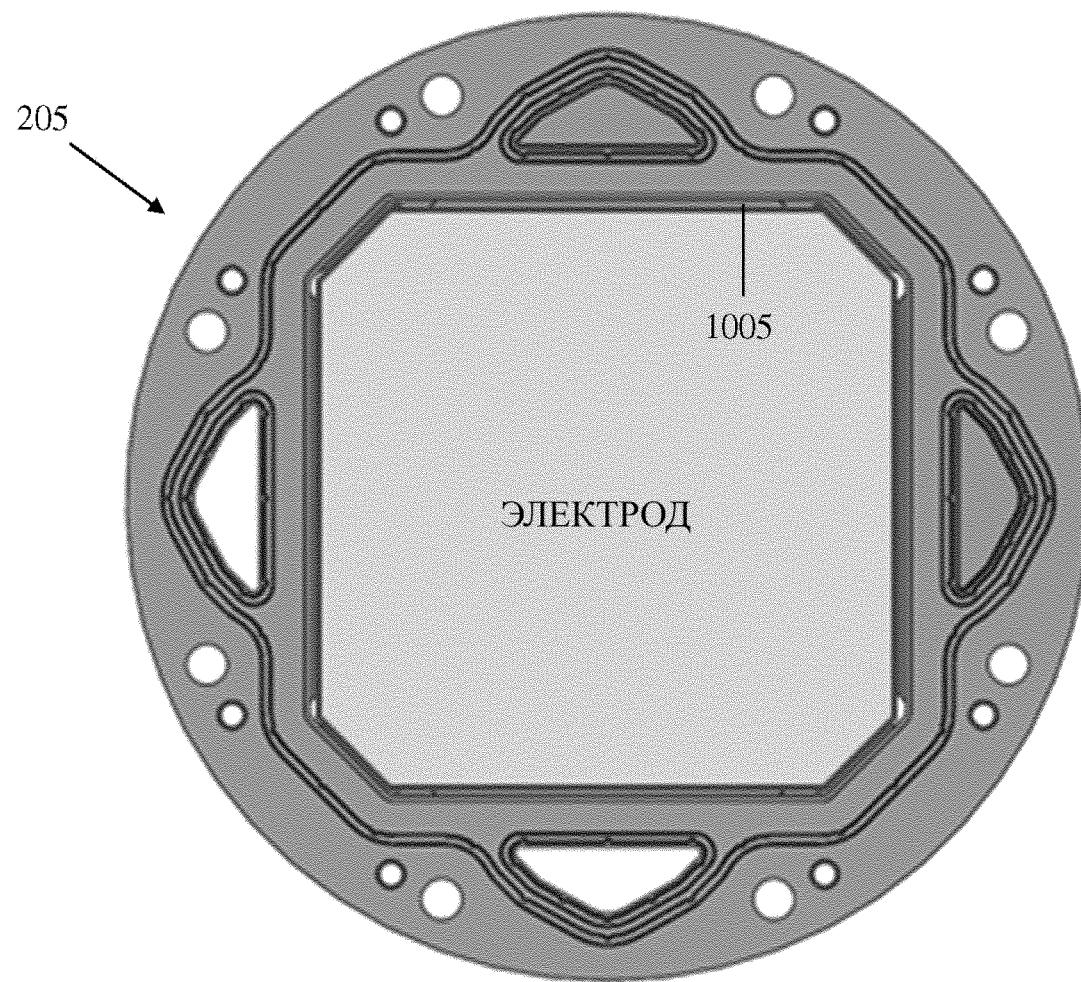
ФИГ. 9А



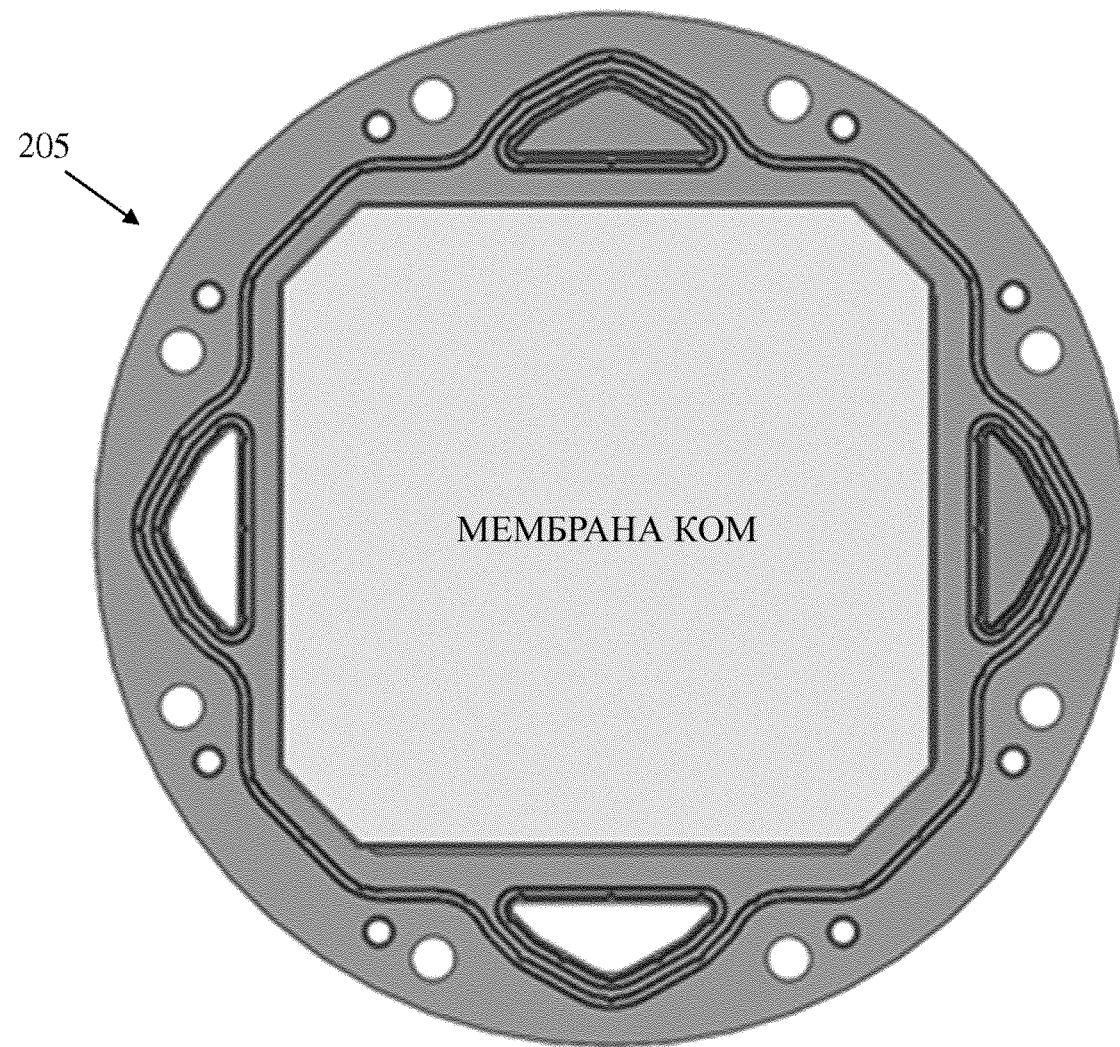
ФИГ. 9В



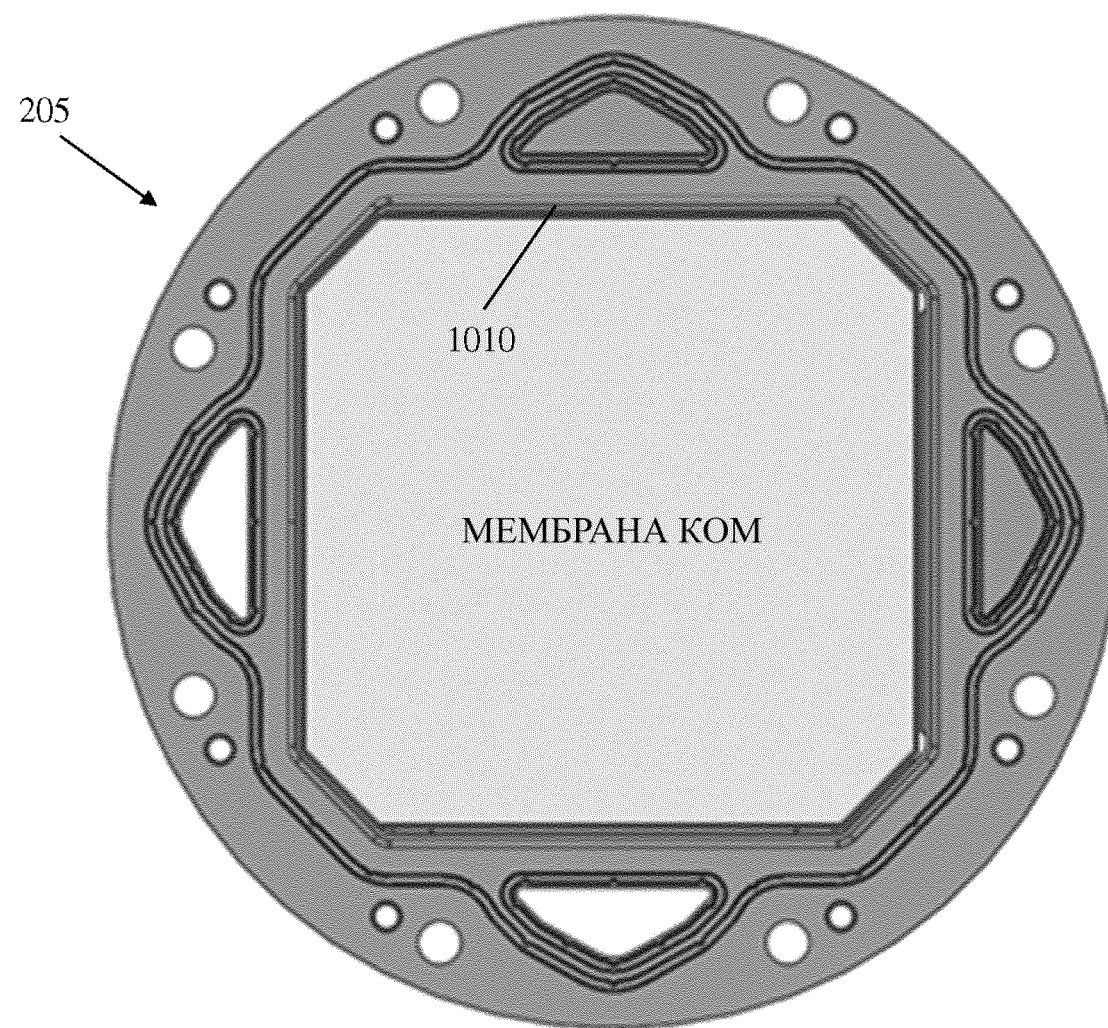
ФИГ. 9С



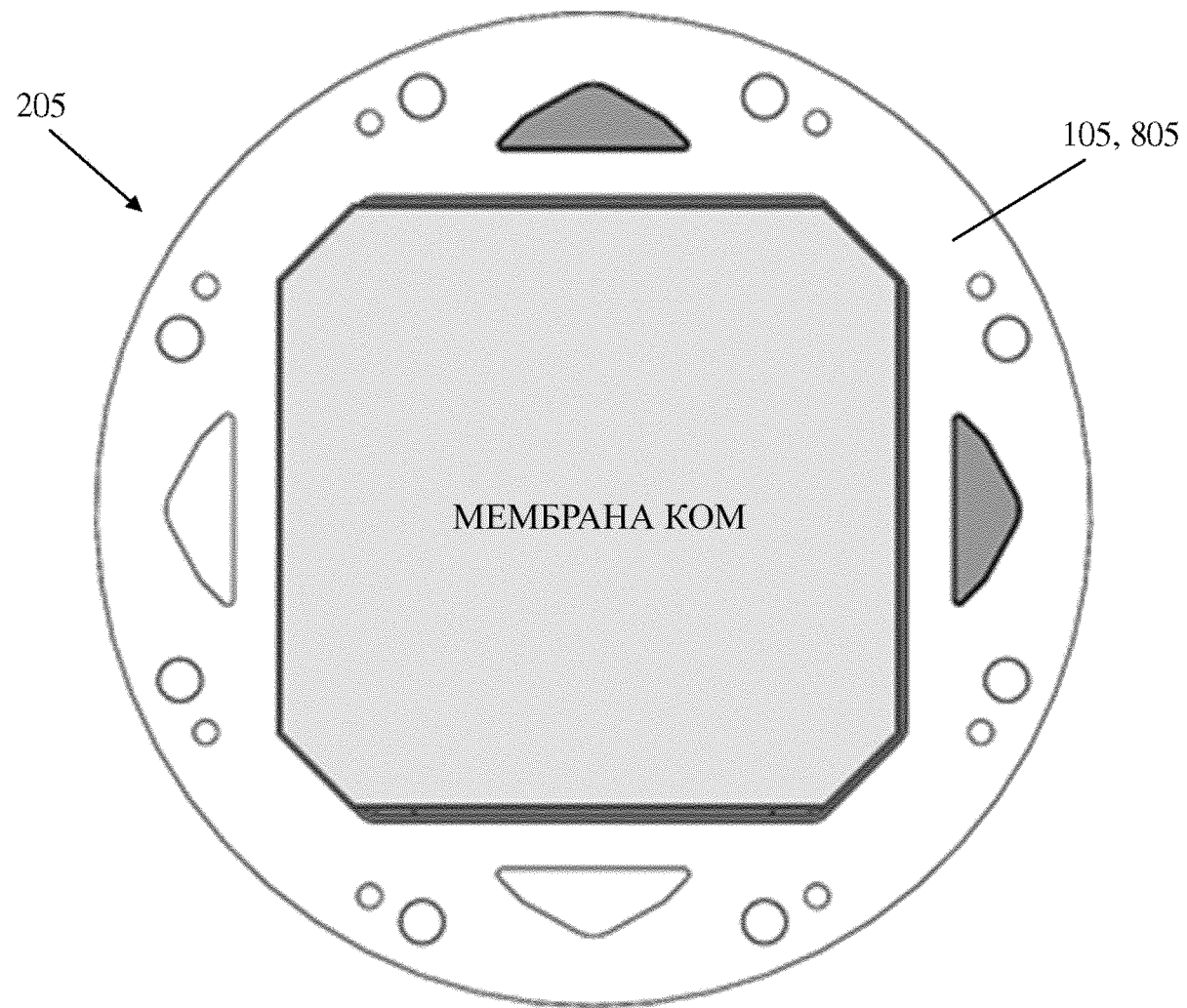
ФИГ. 10А



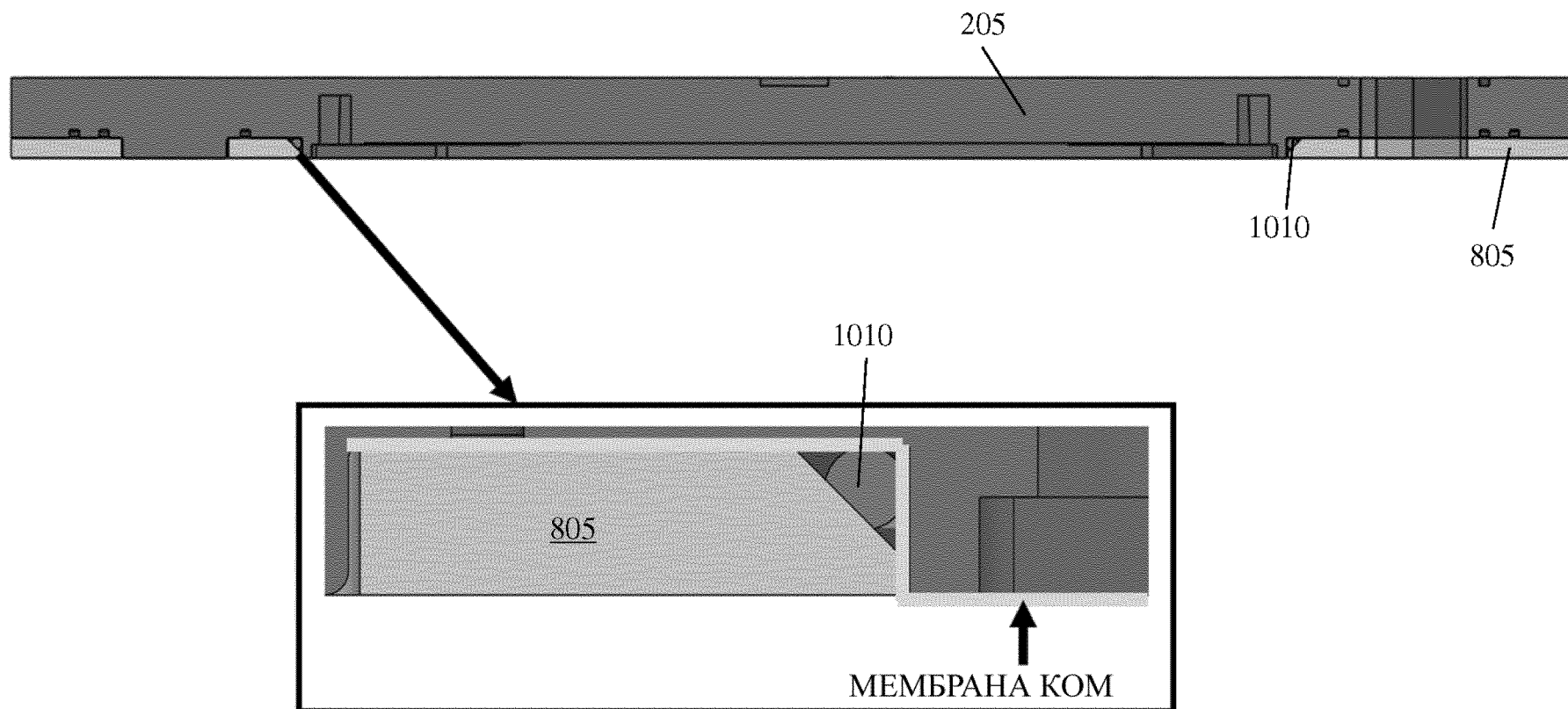
ФИГ. 10В



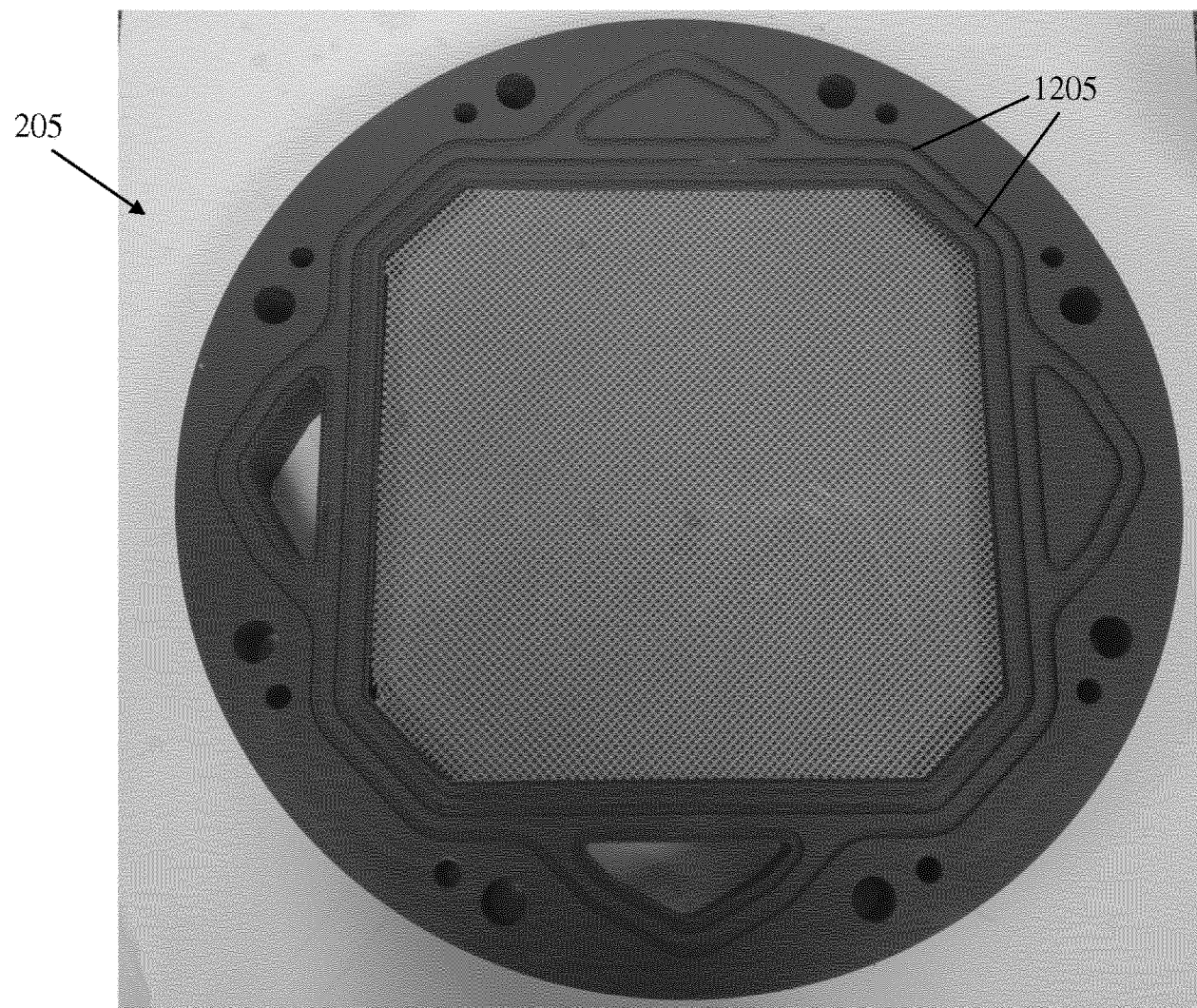
ФИГ. 10С



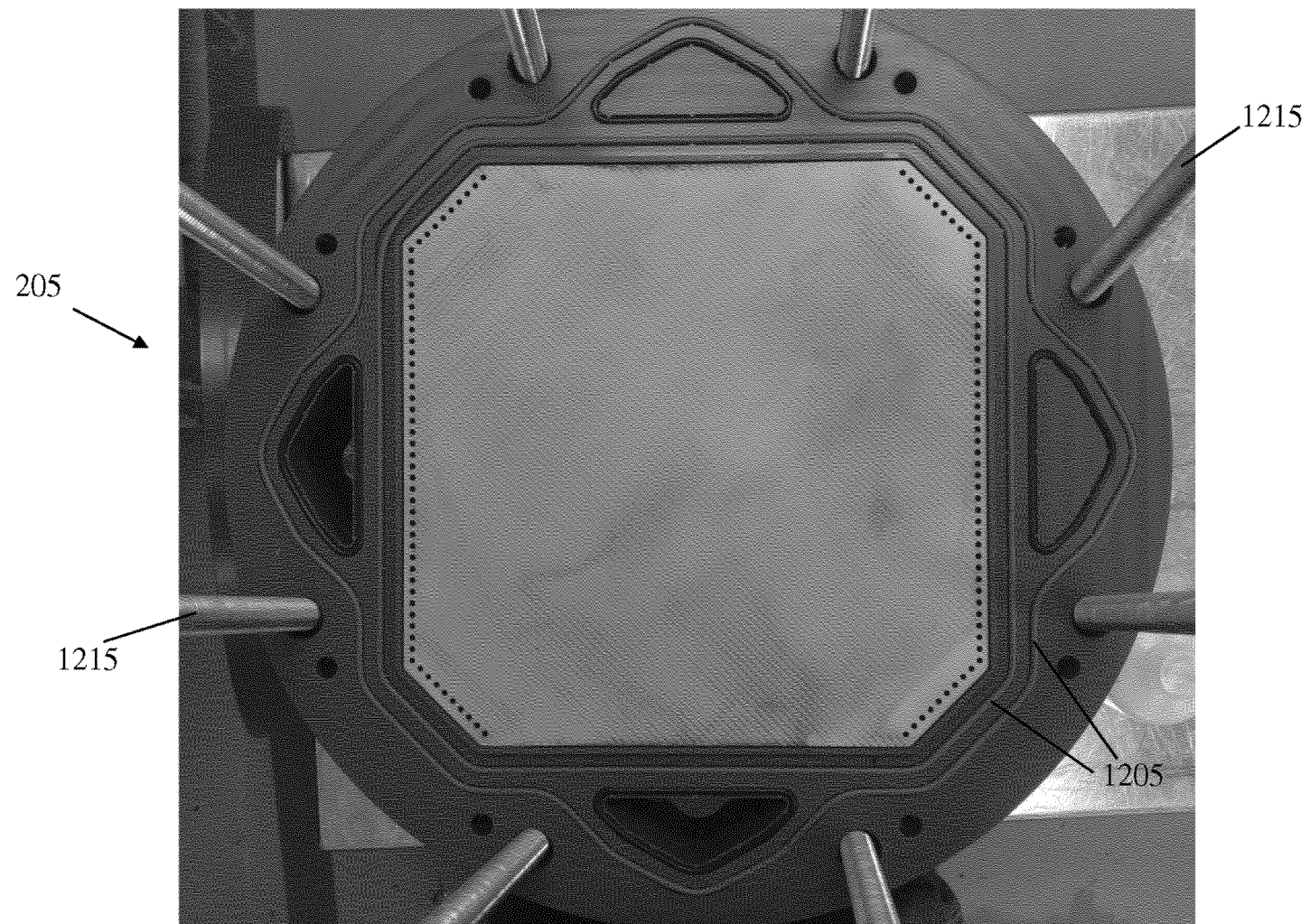
ФИГ. 10D



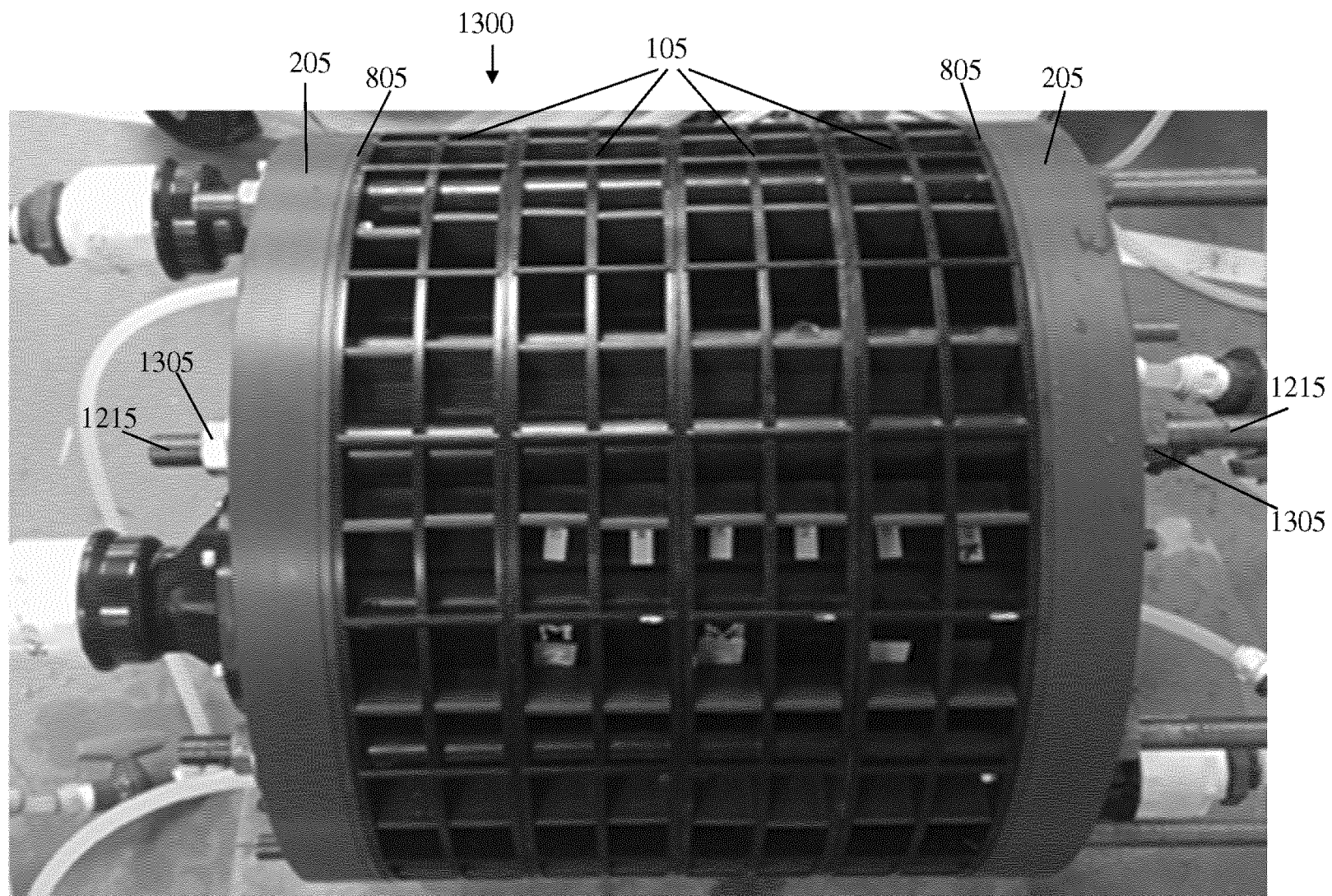
ФИГ. 11



ФИГ. 12А

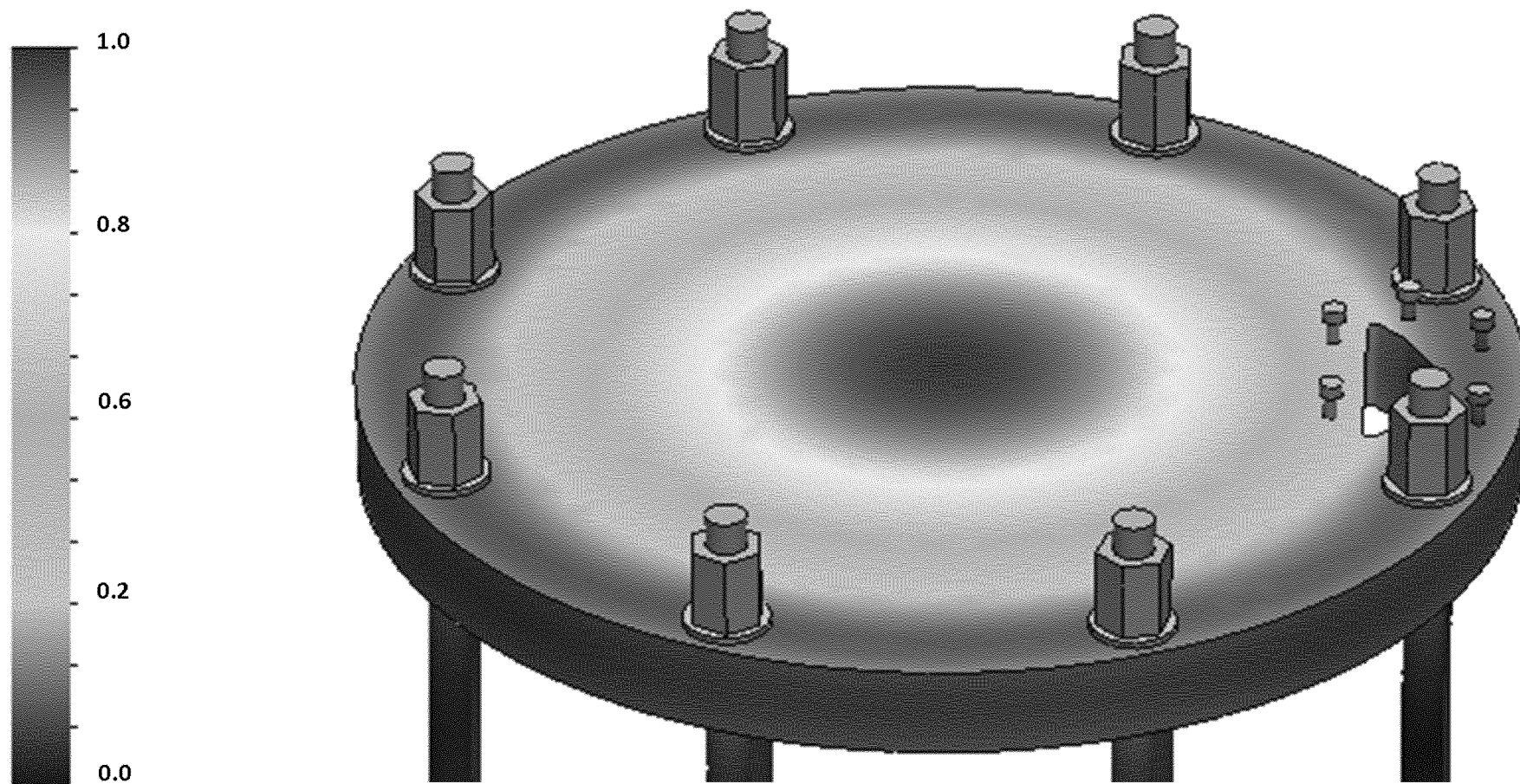


ФИГ. 12В



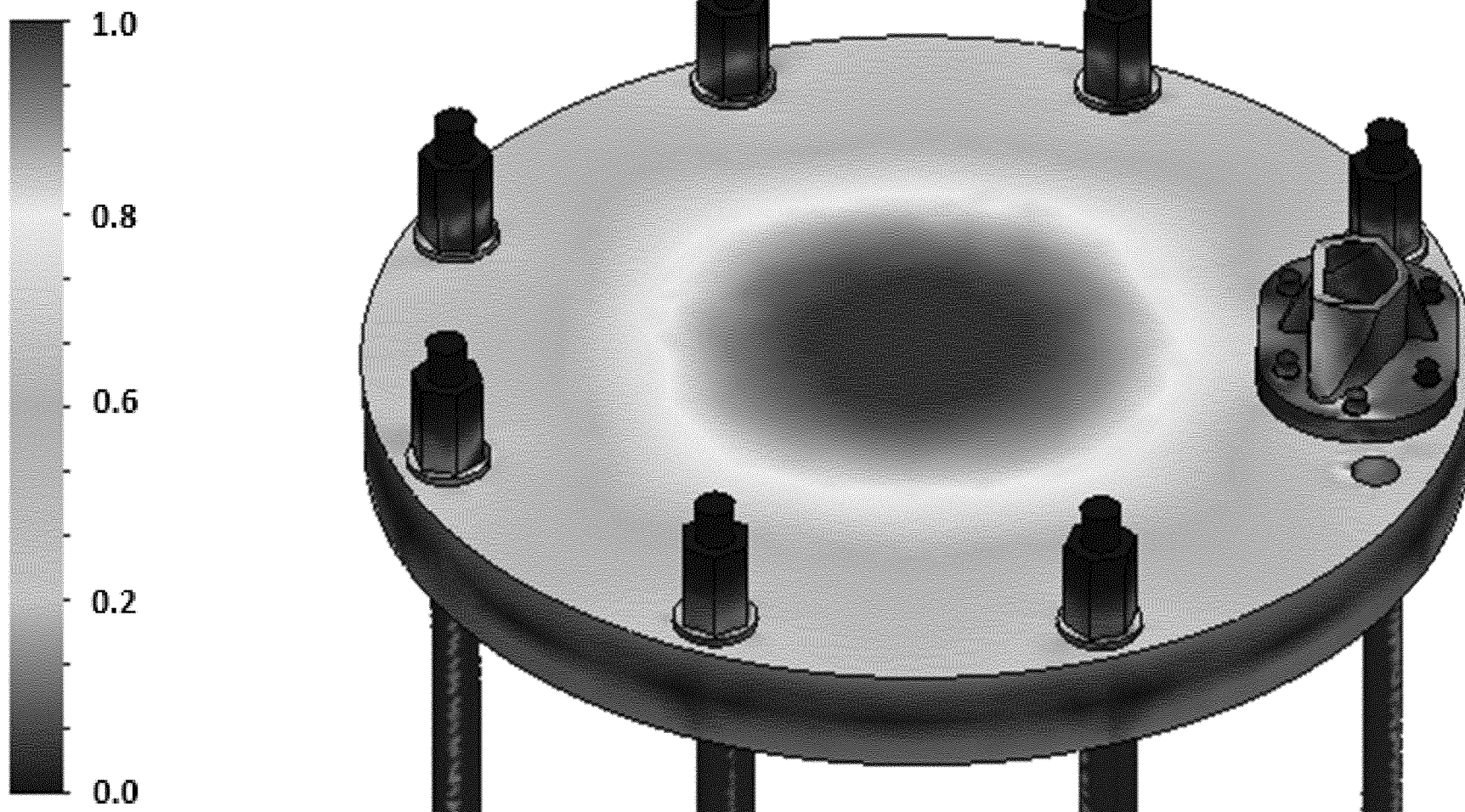
ФИГ. 13

Результирующее
перемещение (мм)

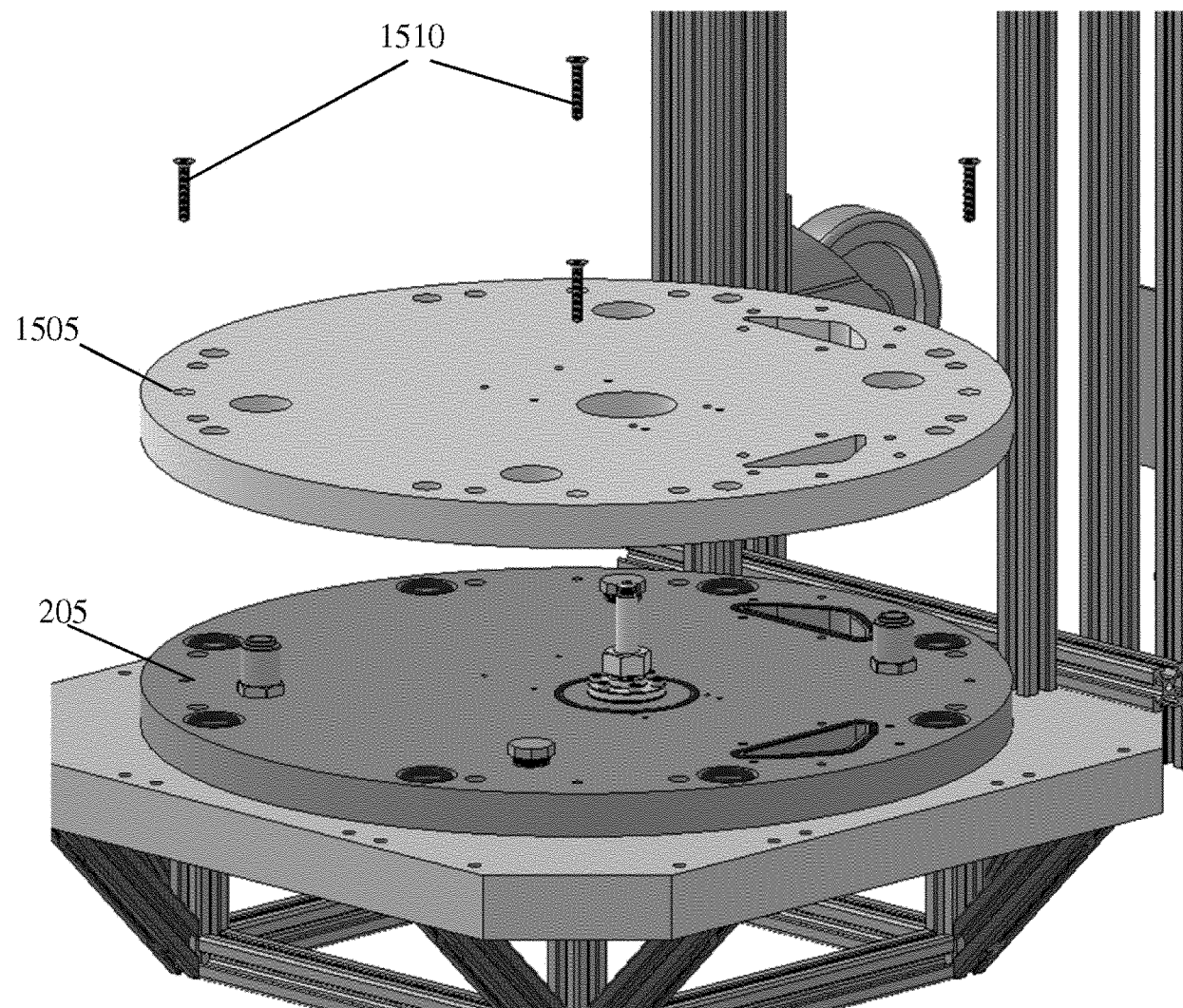


ФИГ. 14А

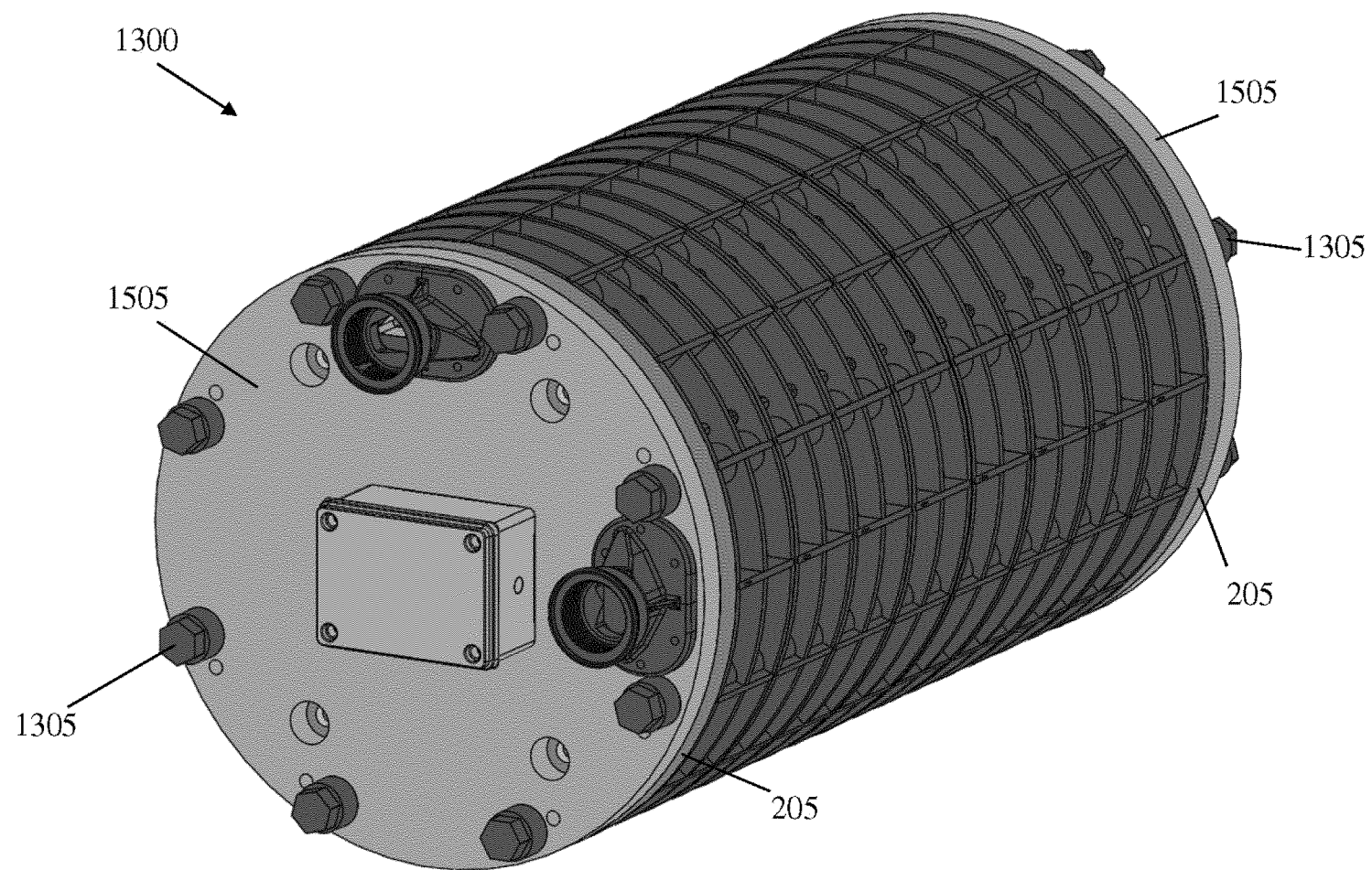
По Мизесу
(Н/мм² (МПа))



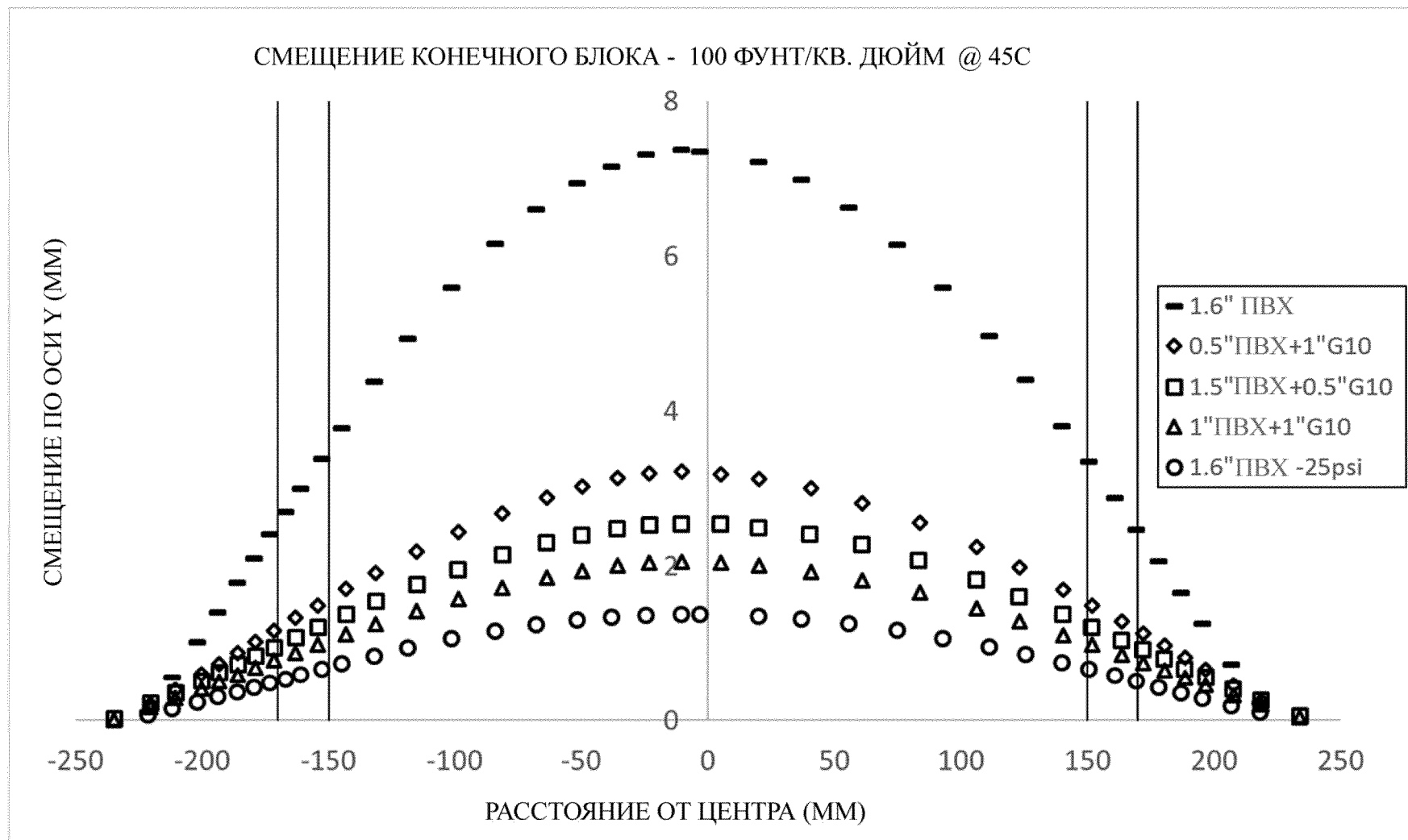
ФИГ. 14В



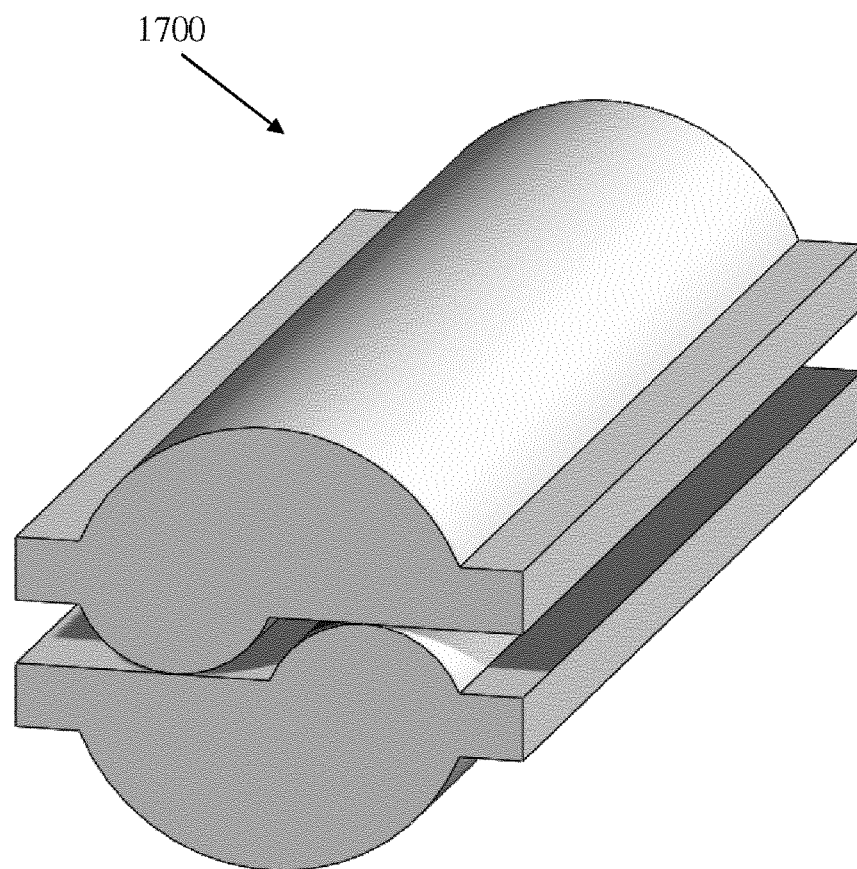
ФИГ. 15А



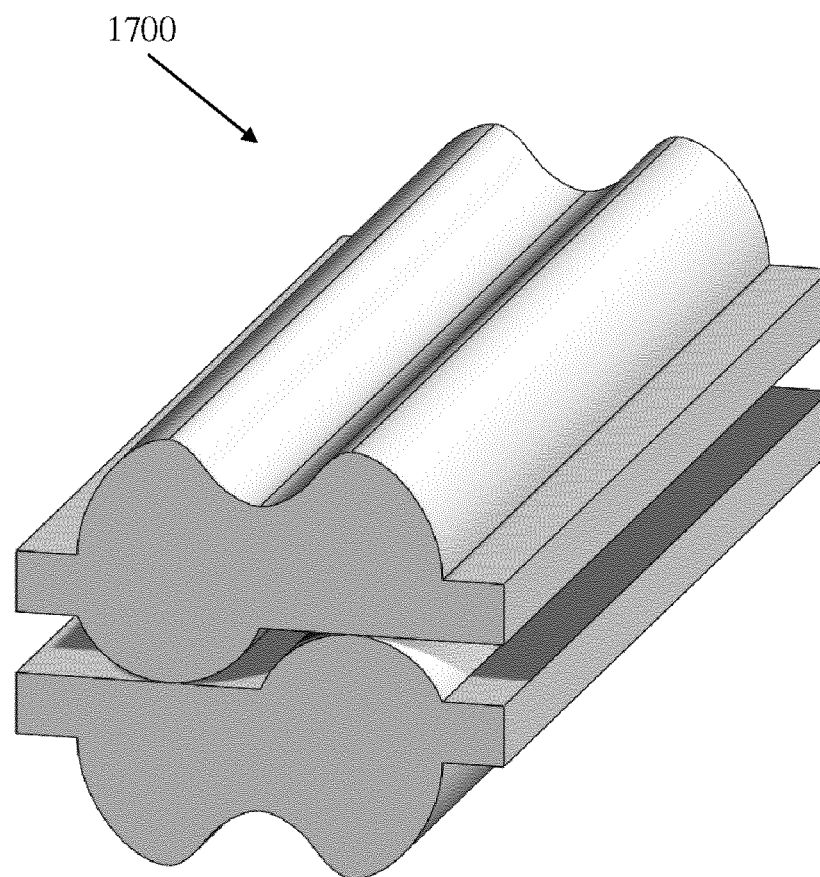
ФИГ. 15В



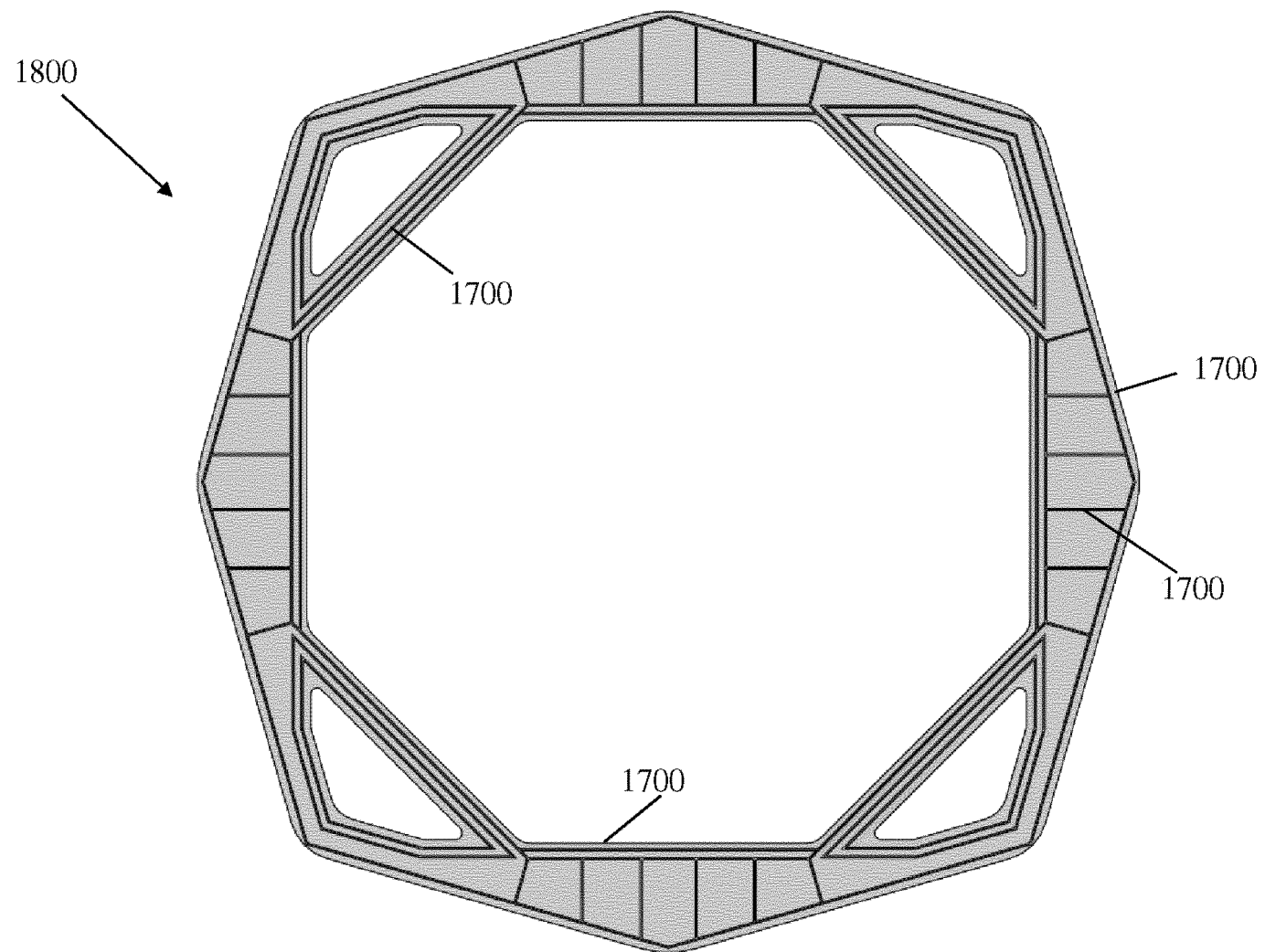
ФИГ. 16



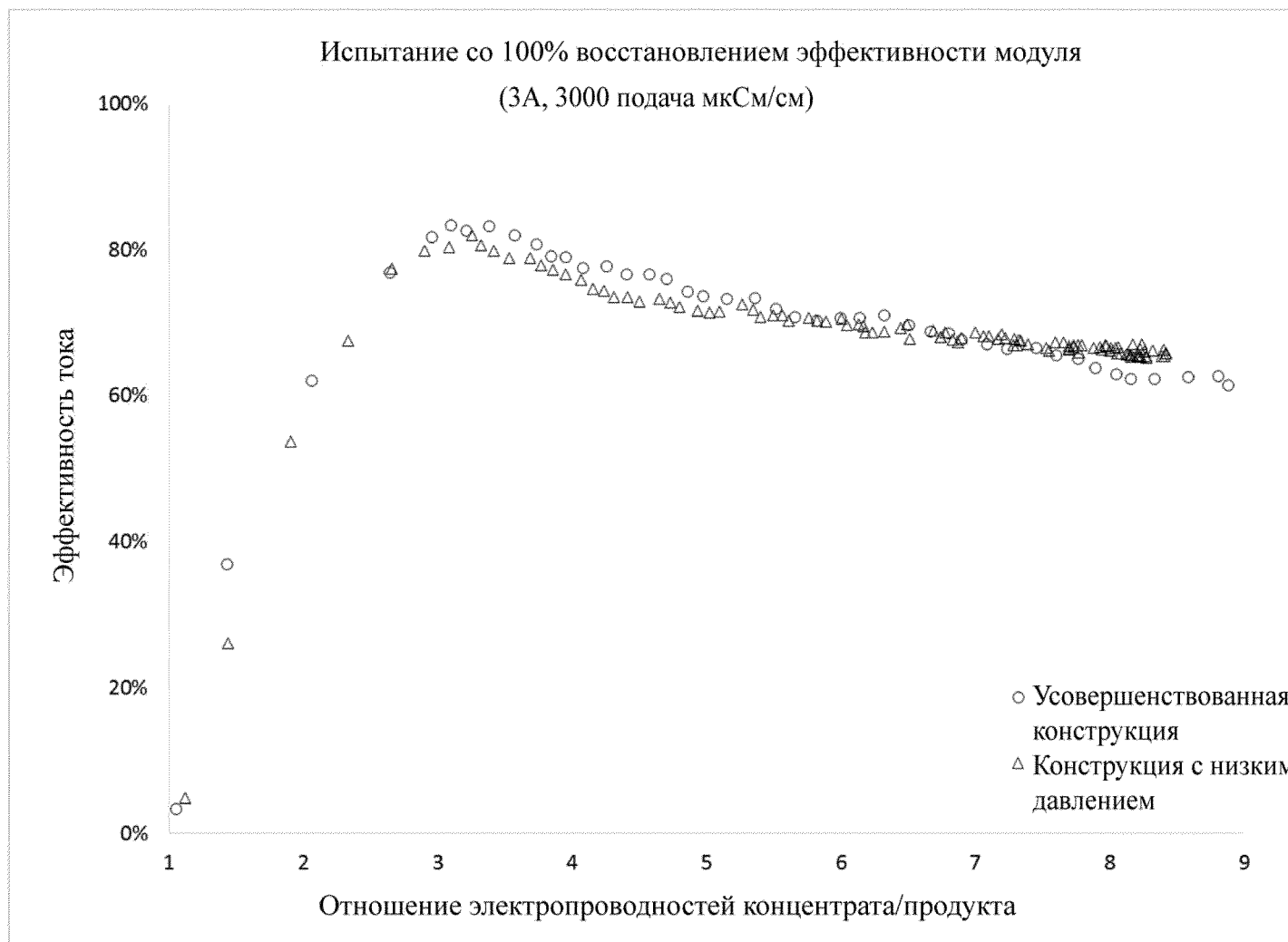
ФИГ. 17А



ФИГ. 17В



ФИГ. 18



ФИГ. 19