

(19)



Евразийское  
патентное  
ведомство

(21) 202191492 (13) A1

## (12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ЕВРАЗИЙСКОЙ ЗАЯВКЕ

(43) Дата публикации заявки  
2021.09.20(51) Int. Cl. B01D 61/18 (2006.01)  
B01D 61/22 (2006.01)(22) Дата подачи заявки  
2019.12.10

## (54) УСТРОЙСТВО ДЛЯ МЕМБРАННОЙ ФИЛЬТРАЦИИ

(31) PA 2018 00984; PA 2019 00668

(72) Изобретатель:

(32) 2018.12.11; 2019.05.29

Йохансен Ульрик, Буннгор

(33) DK

Микаэль С., Аннреасен Келль Б. (DK)

(86) PCT/EP2019/084371

(74) Представитель:

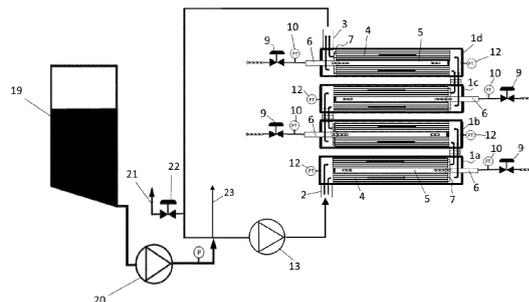
(87) WO 2020/120448 2020.06.18

Медведев В.Н. (RU)

(71) Заявитель:

СД ФИЛЬТРЕЙШН А/С (DK)

(57) Изобретение относится к устройству и способу для мембранной фильтрации с поперечным потоком, которые могут использоваться для процессов фильтрации, требующих управляемого низкого трансмембранного давления (TMP) и в то же самое время управляемого высокого поперечного потока. Оно может использоваться для процессов как микрофильтрации, так и ультрафильтрации. В частности, это устройство предназначено для использования в приготовлении пищевых ингредиентов, когда требуется фракционирование. Устройство содержит множество из  $n$  мембранных модулей (2, ...,  $n$ ) и насос, где мембранный модуль (1), расположенный непосредственно после насоса, называется первым мембранным модулем (1a), каждый мембранный модуль (1) содержит по меньшей мере один мембранный элемент (4), один выпуск (2) для подаваемой текучей среды и один выпуск (3) для подаваемой текучей среды, один выпуск для пермеата (6) и средство (9) управления противодавлением, такое как клапан, выполненный с возможностью управления давлением и/или потоком на выпуске для пермеата (6), причем каждый мембранный элемент (4) имеет центральное отверстие (5), выполненное с возможностью сбора пермеата и направления пермеата к выпуску для пермеата (6), расположенному на том же самом конце мембранного модуля (1), что и выпуск (3) для подаваемой текучей среды, обеспечивая прямоток подаваемой текучей среды и пермеата по длине  $Ml$  каждого мембранного модуля (1). Выпуск (3) для подаваемой текучей среды первого мембранного модуля (1a) соединяется с впуском (2) для подаваемой текучей среды второго мембранного модуля (1b), и если имеется дополнительный мембранный модуль (модули), выпуск (3) для подаваемой текучей среды предыдущего мембранного модуля ( $n-1$ ) соединяется с впуском (2) для подаваемой текучей среды следующего мембранного модуля ( $n$ ), а для последнего мембранного модуля ( $n$ ) выпуск (3) для подаваемой текучей среды соединяется с впуском (2) для подаваемой текучей среды первого мембранного модуля (1a). Способ содержит следующие стадии а), б) и с): а) некоторое количество подаваемой текучей среды непрерывно прокачивается с давлением  $P_B$  через контур, содержащий множество из  $n$  последовательно соединенных мембранных модулей, подаваемая текучая среда и поток пермеата текут прямотоком через каждый из  $n$  мембранных модулей; б) полученный пермеат непрерывно отводится из каждого мембранного модуля через выпуск для пермеата; с) давлением пермеата на выпуске для пермеата каждого мембранного модуля управляют путем поддержания значения TMP внутри желаемого диапазона.



A1

202191492

202191492

A1

## ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ

2420-568887EA/26

### УСТРОЙСТВО ДЛЯ МЕМБРАННОЙ ФИЛЬТРАЦИИ

Настоящее изобретение относится к устройству и способу для мембранной фильтрации с поперечным потоком, которые могут использоваться для процессов фильтрации, требующих управляемого низкого трансмембранного давления (ТМР) и в то же самое время управляемого высокого поперечного потока. Оно может использоваться для процессов как микрофильтрации, так и ультрафильтрации. В частности, это устройство предназначено для использования в приготовлении пищевых ингредиентов, когда требуется фракционирование.

#### УРОВЕНЬ ТЕХНИКИ

Мембрана представляет собой тонкий слой полупроницаемого материала, который разделяет вещества, когда ТМР прикладывается к мембране. Мембранные процессы все чаще используются для удаления бактерий, микроорганизмов, твердых частиц и природных органических материалов, которые могут придавать воде цвет, вкус и запах и вступать в реакцию с дезинфицирующими средствами с образованием побочных продуктов дезинфекции. По мере достижения прогресса в производстве мембран и конструкции модулей капитальные и эксплуатационные расходы продолжают снижаться. Часто используемыми мембранными процессами являются микрофильтрация (MF), ультрафильтрация (UF), нанофильтрация (NF) и обратный осмос (RO).

Микрофильтрация (MF) в общих чертах определяется как процесс мембранного разделения с использованием мембран с размером пор приблизительно от 0,03 до 10 микрон (1 микрон=0,0001 мм) и относительно низким рабочим давлением подачи подаваемого потока, приблизительно 50-400 кПа (7-60 фунтов на кв.дюйм). Материалы, обычно удаляемые с помощью MF, включают в себя песок, ил, глины, цисты *Giardia lamblia* и *Cryptosporidium*, морские водоросли, и некоторые виды бактерий. MF также используется в качестве предварительной обработки для RO или NF, чтобы снизить вероятность загрязнения.

Ультрафильтрация (UF) в общих чертах определяется как процесс мембранного разделения с использованием мембран с размером пор приблизительно от 0,002 до 0,1 микрон, MWCO приблизительно от 1000 до 100000 Дальтон и рабочим давлением приблизительно от 120 до 700 кПа (17-100 фунтов на кв.дюйм). UF удаляет все микробиологические виды, удаляемые MF (частичное удаление бактерий), а также некоторые вирусы (не являясь при этом абсолютным барьером для вирусов) и гуминовые материалы.

Патентный документ WO 2015/135545 раскрывает устройство и способ для мембранной фильтрации. Устройство имеет корпус (2) мембраны, содержащий впуск (3) и выпуск (4), кроме того, корпус (2) мембраны содержит по меньшей мере два мембранных элемента (10, 20), каждый из которых имеет соответствующую трубку пермеата и выпуск (11, 21). Патентный документ WO 2015/135545 описывает, как увеличить поток материала

путем размещения более одного мембранного элемента в последовательном положении относительно потока подаваемой текучей среды, но поскольку пермеат течет противотоком к потоку подаваемой текучей среды, пермеат будет сталкиваться с возрастающим давлением и увеличивающимся входящим потоком при движении к впуску (3). Эта особенность вызывает риск появления мертвого кармана в трубке пермеата, ближайшей к центральному АТД (15), либо во время производства, либо во время очистки, что крайне нежелательно, если устройство используется для разделения пищевых компонентов, таких как сыворотка и т.п. Кроме того, необходимо использовать нестандартный компонент в виде АТД (15), блокирующий транспортировку пермеата между мембранными элементами, в отличие от стандартной работы, когда АТД позволяет транспортировать пермеат через центральное отверстие АТД.

Патентный документ WO 2003/055580 раскрывает процесс для ультрафильтрации, использующий спирально намотанный мембранный фильтр. Этот документ указывает на то, что мембранные элементы устройства, описанного в патентном документе WO 2003/055580, могут работать при давлениях, значительно превышающих давления, известные до публикации этого документа, а именно при перепаде давления 2 бар или больше между впуском и выпуском мембранного элемента, имеющего длину приблизительно 1 м (см. стр. 6, строки 3-7). Высокое давление достигается за счет конструкции фильтра таким образом, чтобы проход между спирально намотанным элементом и корпусом был открыт для поступающей текучей среды на впуске в мембранный элемент и заблокирован или ограничен на выпуске из мембранного элемента. Фиг. 11 раскрывает вариант осуществления, в котором 4 мембранных элемента последовательно располагаются внутри корпуса мембраны, в этом варианте осуществления поток также направлен к впуску для подачи текучей среды, создавая тем самым риск появления мертвого кармана. В документах предшествующего уровня техники не сообщается, как избежать использования нестандартных компонентов и предотвратить возможное появление мертвых карманов в потоке пермеата.

Кроме того, настоящее изобретение обеспечивает параллельные направления потока как ретентата, так и пермеата во всех мембранных элементах с использованием только стандартного оборудования в модулях.

Кроме того, документы предшествующего уровня техники не описывают, как создавать мембранные системы, в которых корпуса мембран в одном и том же контуре подачи подаваемого потока могут помещаться друг над другом, например слоями, например в квадратной или прямоугольной матрице, с преодолением проблем, связанных с повышенным статическим давлением.

### **СПИСОК ОПРЕДЕЛЕНИЙ**

АТД - антителископическое устройство, предотвращает расширение спирально намотанной мембраны в продольном направлении из-за потока жидкости через мембранный элемент.

ТМР - трансмембранное давление, разница давлений между подаваемым потоком и

пермеатом. TMP вычисляется согласно следующей формуле: 
$$TMP = \frac{p_{in} + p_{out}}{2} - p_{perm}$$
, где  $p_{in}$  - давление подачи текучей среды/ретентата перед или на впуске мембранного модуля,  $p_{out}$  - давление подачи текучей среды/ретентата после или на выпуске мембранного модуля, и  $p_{perm}$  - давление пермеата на выпуске модуля.

*Застойный участок* или мертвый карман используется для описания трубопровода и т.п., где поток прекращается, создавая карманы застойной текучей среды, которые поддерживают рост микробов в этой текучей среде. Это крайне нежелательно в системах, используемых для приготовления пищевых продуктов, пищевых компонентов или питьевой воды.

*Поперечный поток* - линейный поток вдоль мембранной поверхности. Цель состоит в том, чтобы минимизировать или управлять динамическим слоем на мембранной поверхности.

*Потеря давления на мембранный элемент или dP на мембранный элемент или dP/элемент* - движущая сила для описанного выше поперечного потока. dP/элемент - это разность давлений между  $p_{in}$ , давлением подаваемого потока/ретентата перед или на впуске мембранного модуля, и  $p_{out}$ , давлением подаваемого потока/ретентата после или на выпуске мембранного модуля.  $dP/элемент = p_{in} - p_{out}$ .

*Мембранный элемент или элемент* - мембранный элемент, содержащий или состоящий из мембраны, которая обеспечивает барьер, позволяющий пермеату проходить через мембрану и предотвращающий прохождение ретентата. В контексте настоящей патентной заявки мембранный элемент может быть спирально намотанной мембраной, в которой пермеат течет от периферии к центральному отверстию мембранного элемента.

*Мембранный модуль или модуль* - сборка одного корпуса мембраны, включающая или содержащая один или более мембранных элементов и АТД, а также аналогичные внутренние части корпуса мембраны, выпуск для подаваемого потока текучей среды/ретентата, выпуск для ретентата и выпуск для пермеата, через которое отделенный пермеат удаляется из одного или более мембранных элементов одного мембранного корпуса. Выпуск для ретентата и выпуск для пермеата расположены на одном конце корпуса, то есть напротив впуска для подаваемого потока/ретентата, обеспечивая параллельный поток ретентата и пермеата.

*Сегмент мембранных модулей или сегмент* - сборка из двух или более мембранных модулей, соединенных последовательно.

*Секция* - параллельная сборка из одного или более сегментов.

*Контур* - сборка из одного или более модулей или модули, которые могут составлять одну или более секций, через которые подаваемая текучая среда прокачивается циркуляционным насосом.

## **СУЩНОСТЬ ИЗОБРЕТЕНИЯ**

Настоящее изобретение обеспечивает возможность создания как небольших, так и больших компактных устройств для мембранной фильтрации с поперечным потоком,

содержащих мембранные модули для процессов фильтрации, требующих даже очень низкого TMP. Устройство в соответствии с настоящим изобретением обеспечивает высокую управляемость TMP каждого мембранного модуля, независимость от статической высоты подъема и позволяет независимо регулировать поперечный поток.

В соответствии с одним аспектом настоящее изобретение относится к устройству для мембранной фильтрации с поперечным потоком, содержащему множество из  $n$  мембранных корпусов (2, ...,  $n$ ) и насос (13), где мембранный модуль (1), расположенный непосредственно после насоса, называется первым мембранным модулем (1a),

- каждый мембранный модуль (1) содержит по меньшей мере один мембранный элемент (4), один впуск (2) для подаваемой текучей среды и один выпуск (3) для подаваемой текучей среды, один выпуск для пермеата (6) и средство (9) управления противодавлением, такое как клапан, выполненный с возможностью управления давлением и/или потоком на выпуске пермеата (6),

- каждый мембранный элемент (4) имеет центральное отверстие (5), выполненное с возможностью собирать пермеат и направлять его к выпуску для пермеата (6), которое располагается на том же самом конце мембранного модуля (1), что выпуск (3) для подаваемой текучей среды, обеспечивая параллельные потоки подаваемой текучей среды и пермеата по всей длине каждого мембранного модуля (1), причем выпуск (3) для подаваемой текучей среды первого мембранного модуля (1a) соединяется с впуском (2) для текучей среды второго мембранного модуля (1b), и если присутствует дополнительный мембранный модуль (модули), выпуск (3) для подаваемой текучей среды предыдущего мембранного модуля ( $n-1$ ) соединяется с впуском (2) для текучей среды следующего мембранного модуля ( $n$ ), а для последнего мембранного модуля ( $n$ ) выпуск (3) для подаваемой текучей среды соединяется с впуском (2) для подаваемой текучей среды первого мембранного модуля (1a).

Это устройство предназначено для работы при низком TMP, что обычно бывает при микрофильтрации. То, что выпуск соединяется с впуском, означает, что по меньшей мере часть текучей среды, выходящей через выпуск, обычно вся текучая среда, попадает во впуск.

В соответствии с любым вариантом осуществления настоящего изобретения каждый мембранный модуль (1) может содержать максимум четыре мембранных элемента, и обычно каждый мембранный модуль содержит только один или два мембранных элемента (4).

В соответствии с любым вариантом осуществления настоящего изобретения количество мембранных модулей  $n$  составляет:  $n \geq 2$ , или  $n \geq 4$ , или  $2 \leq n \leq 40$ , или  $2 \leq n \leq 36$ , или  $4 \leq n \leq 32$ .

Количество  $n$  мембранных модулей относится к мембранным модулям, принадлежащим одному сегменту, сегмент представляет собой группу мембранных модулей, последовательно соединенных на стороне подаваемой текучей среды мембранного модуля, то есть часть подаваемой текучей среды, входящего в первый

мембранный модуль сегмента через впуск для подаваемой текучей среды, выходит из первого мембранного модуля через выпуск для подаваемой текучей среды, и все количество подаваемой текучей среды, выходящего из первого мембранного модуля, входит во впуск для подаваемой текучей среды второго мембранного модуля, затем часть подаваемой текучей среды, входящего во второй мембранный модуль сегмента через впуск для подаваемой текучей среды, выходит из второго мембранного модуля через выпуск для подаваемой текучей среды, и все количество подаваемой текучей среды, выходящего из второго мембранного модуля, входит во впуск для подаваемой текучей среды следующего мембранного модуля, если такой мембранный модуль существует, и т.д., и эта процедура повторяется для всех мембранных модулей, являющихся частью сегмента. Часть подаваемой текучей среды, входящего в мембранный модуль, будет в каждом мембранном модуле входить в пермеат. Количество мембранных модулей в сегменте и количество сегментов в устройстве будут определяться желаемой производительностью устройства.

В соответствии с любым вариантом осуществления настоящего изобретения мембранный элемент может быть спирально намотанной мембраной и может быть сделан, например, из полимера, такого как ацетилцеллюлоза, поливинилиденфторид, полиакрилонитрил, полипропилен, полисульфон, полиэфирсульфон.

В соответствии с любым вариантом осуществления настоящего изобретения АТД, позволяющее пермеату течь через центральное отверстие АТД, может располагаться между мембранными элементами, если в одном мембранном модуле используется более одного мембранного элемента.

В контексте настоящей патентной заявки АТД, позволяющее пермеату течь через центральное отверстие АТД, упоминается как стандартное АТД.

В соответствии с любым вариантом осуществления настоящего изобретения по меньшей мере один из мембранных модулей устанавливается над по меньшей мере одним из других мембранных модулей, то есть подаваемая текучая среда прокачивается вверх при прохождении от одного мембранного модуля к следующему мембранному модулю.

В соответствии с любым вариантом осуществления настоящего изобретения множество мембранных модулей может располагаться слоями из 2, или 3, или 4 или более друг на друге, то есть подаваемая текучая среда прокачивается вверх при прохождении через множество мембранных модулей, являющихся частью того же самого сегмента или той же самой секции.

В соответствии с любым вариантом осуществления настоящего изобретения по меньшей мере один мембранный модуль (модули), опционально 2, 3, 4 или больше, или все мембранные модули могут содержать второй впуск для вторичной текучей среды, такой как промывочная жидкость, например вода или буфер диафильтрации, которая добавляется к потоку ретентата или подаваемого потока.

В соответствии с любым вариантом осуществления настоящего изобретения, когда множество мембранных модулей располагаются сегментами по 2, или 3, или 4 или больше

друг над другом, и подаваемая текучая среда прокачивается вверх при прохождении через множество мембранных модулей, и по меньшей мере каждый один слой мембранных модулей, опционально 2, 3, 4 или более, или все слои, могут содержать второй выпуск для вторичной текучей среды, такой как промывочная жидкость, например вода или буфер диафильтрации, которая добавляется к потоку ретентата или подаваемого потока, и может опционально содержать общую подающую трубу для всех мембранных модулей на одном уровне.

В соответствии со вторым аспектом настоящего изобретения оно относится к способу для фильтрации жидкости, содержащему следующие стадии:

а) Количество подаваемой текучей среды непрерывно прокачивается с давлением  $P_B$  через контур, содержащий множество из  $n$  последовательно соединенных мембранных модулей, причем подаваемая текучая среда и поток пермеата текут прямолинейно через каждый из  $n$  мембранных модулей,

б) получаемый пермеат непрерывно отводится из каждого мембранного модуля через выпуск для пермеата,

в) давлением пермеата или потоком через выпуск для пермеата каждого мембранного модуля управляют путем поддержания TMP внутри желаемого диапазона, опционально давление измеряется на впуске и/или на выпуске подаваемого потока мембранного модуля,

г) опционально для получения желаемого разделения количество  $n$  мембранных модулей, через которые прокачивается подаваемая текучая среда, может варьироваться либо при проектировании процесса разделения, либо во время самого процесса разделения, то есть количество активных мембранных модулей может варьироваться до или во время работы.

То, что мембранные модули соединены последовательно, означает, что выпуск для подаваемой текучей среды первого мембранного модуля соединяется с впуском для подаваемой текучей среды второго мембранного модуля, и если имеется дополнительный мембранный модуль (модули), выпуск для подаваемой текучей среды предыдущего мембранного модуля ( $n-1$ ) соединяется с впуском для подаваемой текучей среды следующего мембранного модуля ( $n$ ), а для последнего мембранного модуля ( $n$ ) выпуск (3) для подаваемой текучей среды соединяется с впуском для подаваемой текучей среды первого мембранного модуля.

В соответствии с одним вариантом осуществления второго аспекта настоящего изобретения контур может содержать один, два или более сегментов мембранных модулей, или контур может содержать одну, две или более секций, где секция представляет собой параллельную сборку из одного или более сегментов мембранных модулей.

В соответствии с любым вариантом осуществления второго аспекта настоящего изобретения вторичная текучая среда, такая как буфер диафильтрации, может добавляться по меньшей мере к одному из  $n$  мембранных модулей, опционально вторичная текучая

среда, такая как буфер диафильтрации, может добавляться ко множеству мембранных модулей, опционально вторичная текучая среда, такая как буфер диафильтрации, может добавляться ко множеству сегментов мембранных модулей на одном, 2, 3, 4 или более уровнях, или на всех уровнях.

В соответствии с любым вариантом осуществления второго аспекта настоящего изобретения давление  $p_1$  на выпуске первого мембранного модуля (1a) может быть более высоким, чем давление  $p_2$  на выпуске второго мембранного модуля (1b), и аналогично для следующих мембранных модулей, то есть  $p_1 > p_2 > p_3 > \dots > p_n$ .

В соответствии с любым вариантом осуществления второго аспекта настоящего изобретения давление на впуске первого мембранного модуля может находиться в диапазоне 0,05-35 бар, например 0,1-25 бар, или 0,5-10 бар, или 2-4 бар, и/или TMP может находиться в диапазоне 0,02-12 бар, например 0,07-10 бар, или 0,2-8 бар, или 0,3-2 бар.

В соответствии с любым вариантом осуществления второго аспекта настоящего изобретения давление основной линии  $P_{BL}$ , то есть давление, с которым подаваемая текучая среда закачивается в контур, может быть выше 0,2 бар, или выше 0,3 бар, или выше 0,5 бар, или выше 0,9 бар, или выше 1,0 бар.

В соответствии с любым вариантом осуществления второго аспекта настоящего изобретения давление бустерного насоса  $P_B$  может быть выше 0,1 бар на модуль в контуре или сегменте, то есть  $P_B > n \times 0,1$  бар, или  $P_B$  может быть выше 0,2 бар, или выше 0,3 бар, или выше 0,4 бар, или выше 0,5 бар, или выше 0,6 бар, или выше 0,9 бар, или выше 1,0 бар на модуль в контуре или сегменте. Предпочтительное давление бустерного насоса будет зависеть от приложения, то есть от того, для какого процесса разделения используется этот способ.

В соответствии с любым вариантом осуществления второго аспекта настоящего изобретения давление пермеата каждого модуля  $P_{perm}$  меньше или равно давлению на выпуске модуля  $P_{OUT}$ , то есть  $P_{perm} \leq P_{OUT}$ , или, например,  $P_{perm} \leq P_{OUT} + 0,5$  бар.

В соответствии с любым вариантом осуществления второго аспекта настоящего изобретения подаваемая текучая среда может быть текучей средой в молочной промышленности, или в промышленности молочных ингредиентов, или в производстве жидких пищевых продуктов, которые требуют точного и одновременного управления величинами TMP и поперечного потока, в частности подаваемая текучая среда может быть подаваемым потоком для разделения белков, разделения жиров, фракционирования белков в молочной промышленности, или в промышленности молочных ингредиентов, или в производстве жидких пищевых продуктов, и обычно подаваемая текучая среда может быть

- сывороткой в молочной промышленности и в промышленности молочных ингредиентов, или
- сывороткой WPC в молочной промышленности и в промышленности молочных ингредиентов, или
- обезжиренным молоком в молочной промышленности и в промышленности

молочных ингредиентов, или

- обезжиренным молоком МРС в молочной промышленности и в промышленности

молочных ингредиентов, или

- сырым цельным молоком в молочной промышленности и в промышленности

молочных ингредиентов, или

- цельным молоком в молочной промышленности и в промышленности молочных ингредиентов, или

- пермеатами для микрофльтрации в молочной промышленности и в промышленности молочных ингредиентов, или

- овощными (зелеными) белковыми растворами в производстве жидких пищевых продуктов, или

- рыбными белковыми растворами в производстве жидких пищевых продуктов, или

- мясными белковыми растворами в производстве жидких пищевых продуктов, или

- пермеатами для микрофльтрации в производстве жидких пищевых продуктов.

### **КРАТКОЕ ОПИСАНИЕ ЧЕРТЕЖЕЙ**

Фиг. 1 иллюстрирует один мембранный модуль предшествующего уровня техники с противотоком в одном мембранном элементе;

Фиг. 2 показывает один вариант осуществления мембранного модуля устройства в соответствии с настоящим изобретением;

Фиг. 3 показывает один вариант осуществления устройства в соответствии с настоящим изобретением, содержащего сегмент, имеющий четыре последовательных мембранных модуля и циркуляционный контур для ретентата;

Фиг. 4 показывает один вариант осуществления блока фльтрации устройства в соответствии с настоящим изобретением, содержащего секцию, имеющую четыре сегмента и имеющую матрицу из 16 мембранных модулей;

Фиг. 5 показывает один вариант осуществления блока фльтрации устройства в соответствии с настоящим изобретением, содержащего 2 секции, имеющие матрицу из 28 мембранных модулей;

Фиг. 6 показывает один вариант осуществления блока фльтрации устройства в соответствии с настоящим изобретением, содержащего 1 секцию, имеющую матрицу из 32 мембранных модулей;

Фиг. 7 показывает один вариант осуществления блока фльтрации устройства в соответствии с настоящим изобретением, содержащего 1 секцию, имеющую 16 мембранных модулей;

Фиг. 8 иллюстрирует процесс, выполняемый в устройстве предшествующего уровня техники, содержащем 10 мембранных модулей. Это устройство содержит один контур с 10 модулями, каждый из которых содержит 1 элемент, причем эти 10 модулей гидравлически соединены параллельно на стороне подаваемой текучей среды/ретентата.

Фиг. 9 иллюстрирует процесс, выполняемый в устройстве предшествующего уровня техники, содержащем 1 мембранный модуль. Это устройство содержит один

контур с 1 модулем, содержащим 10 элементов.

Фиг. 10 иллюстрирует процесс, выполняемый в устройстве в соответствии с настоящим изобретением, содержащем 10 мембранных модулей. Это устройство содержит один контур с 1 сегментом/секцией с 10 модулями, каждый из которых содержит 1 элемент, причем эти 10 модулей гидравлически соединены последовательно на стороне подаваемой текучей среды/ретентата.

Во всем тексте настоящей заявки идентичные или подобные элементы различных вариантов осуществления обозначаются одинаковыми ссылочными цифрами.

### **ПОДРОБНОЕ ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ**

Фиг. 1 показывает один вариант осуществления мембранного модуля предшествующего уровня техники, который используется в промышленности в настоящее время.

Мембранный модуль 1 предшествующего уровня техники, показанный на Фиг. 1, содержит корпус, в котором располагаются два мембранных элемента: первый мембранный элемент 4a и второй мембранный элемент 4b. Мембранные элементы 4a и 4b являются спирально намотанными мембранами, которые могут использоваться для микрофильтрации или ультрафильтрации. Подаваемый поток или ретентат течет через мембранные элементы 4a и 4b в направлении слева направо, то есть от впуска 2 для подаваемого потока к выпуску 3 для подаваемого потока, пермеат проходит через мембранные элементы 4a и 4b и попадает в центральную трубку 5a или 5b, либо пермеат входит в первую центральную трубку 5a, имеющую выпуск 6a для пермеата, или во вторую центральную трубку 5b, имеющую выпуск 6b для пермеата. Если пермеат попадает в первую центральную трубку 5a, он течет в направлении справа налево, то есть противотоком к потоку подаваемого потока или ретентата в первом мембранном элементе 4a, а если пермеат попадает во вторую центральную трубку 5b, он течет в направлении слева направо, то есть прямотоком к потоку подаваемого потока или ретентата во втором мембранном элементе 4b. Каждая центральная трубка 5a и 5b для пермеата снабжается клапаном 9a и 9b для регулирования противодействия и, возможно, датчиком 10a и 10b давления, который может использоваться для управления давлением в трубке для пермеата и, следовательно, для управления значением TMP в каждом мембранном элементе. АТД, соответственно 8 и 7b, располагается по меньшей мере на выпуске для подаваемого потока каждого мембранного элемента 4a и 4b, АТД 7a может также располагаться на выпуске для пермеата первого мембранного элемента 4a. АТД 8, расположенное на выпуске для подаваемого потока первого мембранного элемента 4a, не является стандартным АТД, поскольку оно не имеет центрального отверстия, центральное отверстие закрыто для того, чтобы предотвратить попадание пермеата, получаемого из первого мембранного элемента 4a, в центральную трубку 5b второго мембранного элемента 4b.

В соответствии с мембранным модулем предшествующего уровня техники каждый мембранный элемент снабжается средствами регулирования давления, в отличие от

настоящего изобретения, где каждый мембранный модуль, независимо от количества мембранных элементов внутри каждого корпуса, содержит единственную трубку или центральное отверстие для пермеата и единственное выпуск для пермеата, и поэтому также единственное средство для регулирования давления на выпуске трубки или центрального отверстия для пермеата.

Полная установка или устройство, содержащее мембранный модуль (модули) предшествующего уровня техники, обычно будет содержать циркуляционный насос, прокачивающий подаваемая текучая среда через множество параллельно расположенных мембранных модулей предшествующего уровня техники, то есть каждый мембранный модуль питается непосредственно от насоса, и пермеат, вытекающий из каждой мембраны каждого мембранного модуля, собирается в общий поток, как проиллюстрировано на Фиг. 5 в патентном документе WO 2015/135545 для двух мембранных модулей.

Кроме того, поскольку в первом мембранном элементе 4a пермеат течет противотоком к потоку подаваемой текучей среды, пермеат будет сталкиваться с возрастающим давлением и увеличивающимся входящим потоком по мере того, как поток пермеата приближается к впуску 2 для подаваемого потока и выпуску 6a для пермеата. Эта особенность вызывает риск возникновения неопределенного режима потока (возможный застойный участок 11) в центральной трубе 5a, ближайшей к центральному АТД 8, либо во время производства, либо во время очистки. Это крайне нежелательно, если устройство используется для разделения пищевых ингредиентов.

Кроме того, необходимо использовать нестандартный компонент в виде АТД 8, блокирующий транспортировку пермеата между мембранными элементами 4a и 4b, в отличие от стандартной работы, когда АТД позволяет транспортировать пермеат через центральное отверстие АТД.

Настоящее изобретение относится к устройству для мембранной фильтрации с поперечным потоком, работающему при низком TMP, которое содержит один или более сегментов, каждый из которых состоит из множества  $n$  мембранных модулей: 2, 3, 4, ...,  $n$ . Мембранные модули в одном сегменте последовательно соединяются на стороне подачи подаваемой текучей среды или ретентата, то есть один сегмент имеет один впуск для подаваемой текучей среды, прокачиваемого через все мембранные модули сегмента, тогда как множество сегментов могут соединяться параллельно, то есть каждый сегмент может иметь отдельный впуск для подаваемой текучей среды, или последовательно. Устройство содержит циркуляционный насос, прокачивающий подаваемый поток или ретентат через один или более сегментов  $n$  мембранных модулей контура. Одиночный циркуляционный насос может прокачивать подаваемый поток или ретентат через сегмент, содержащий множество мембранных модулей, например два мембранных модуля или больше, например 4, или 8, или 16, или 32 мембранных модуля, или через все мембранные модули устройства. Максимальное количество  $n_{\max}$  мембранных модулей в контуре определяется способностью циркуляционного насоса поддерживать соответствующее давление во всех мембранных модулях, а также способностью поддерживать желаемое значение TMP. Для

увеличения производительности один циркуляционный насос может быть заменен множеством циркуляционных насосов.

Мембранный модуль, расположенный сразу после циркуляционного насоса в контуре, называется первым мембранным модулем 1а.

Варианты осуществления одного мембранного модуля 1 по настоящему изобретению показаны на Фиг. 2А и 2В. Вариант осуществления мембранного модуля, показанный на Фиг. 2А, не имеет второго впуска для жидкости, тогда как вариант осуществления мембранного модуля, показанный на Фиг. 2В, имеет второй выпуск для жидкости.

Каждый мембранный модуль 1 будет обычно содержать только один или два мембранных элемента 4, возможно вплоть до 4 или до 6 мембранных элементов во время операции микрофильтрации или ультрафильтрации.

Каждый мембранный модуль 1 имеет один выпуск 2 для подаваемой текучей среды, направляющее подаваемая текучая среда во входную распределительную камеру 2а, и выходную распределительную камеру 3а, из которой подаваемая текучая среда направляется через один выпуск 3 для подаваемой текучей среды, один выпуск для пермеата 6 и средство 9 управления противодавлением, выполненное с возможностью управления давлением на выпуске для пермеата 6. Каждый мембранный модуль 1 может также содержать датчик давления 10, который может использоваться для управления давлением на выпуске 6 пермеата, например обеспечивая процедуру автоматического регулирования, поддерживающую постоянное давление на выпуске или постоянное TMP в мембранном модуле. Кроме того, сторона подаваемого потока мембранного модуля 1 может быть опционально снабжена датчиком 12 давления либо во входной распределительной камере 2а, либо в выходной распределительной камере 3а для более точного управления TMP, присутствие датчика 12 давления увеличивает вероятность поддержания постоянного TMP в мембранном модуле.

Каждый мембранный элемент 4 может иметь центральную трубку или отверстие 5, выполненное с возможностью сбора пермеата и направления его к выпуску для пермеата 6, пермеат может течь в центральное отверстие 5 по всей длине отверстия 5, и отверстие 5 будет закрыто на конце, обращенном к входной распределительной камере 2а, чтобы предотвратить попадание неотфильтрованного ретентата в отверстие 5. Центральное отверстие 5 обеспечивается, например, при использовании в качестве мембранного элемента 4 спирально намотанной мембраны. Выпуск для пермеата 6 располагается на том же самом конце мембранного модуля 1, что и выпуск 3 для подаваемой текучей среды, обеспечивая проток подаваемой текучей среды и пермеата по всей длине мембранного элемента 4 и мембранного модуля.

Опционально одиночный мембранный модуль 1 в соответствии с настоящим изобретением может содержать второй выпуск 24, как показано на Фиг. 2В, которое может использоваться для добавления промывной жидкости, например воды, или буфера диафильтрации в мембранный модуль 1. Второй выпуск 24 может направлять жидкость во

входную распределительную камеру 2а или в трубопровод, заканчивающийся у впуска 2 для жидкости. Мембранный модуль 1, содержащий второй выпуск 24, может опционально содержать средство 25 регулирования расхода, например в форме клапана, управляющего потоком через второй выпуск 24. Кроме того, мембранный модуль 1, содержащий второй выпуск 24, может опционально содержать датчик 26 потока, который может обеспечивать автоматический контроль потока в мембранный модуль 1.

Хотя мембранный модуль 1 содержит второй выпуск 24, жидкость может не входить в мембранный модуль 1 через это второй выпуск 24. Поток жидкости через второй выпуск 24 может быть непрерывным или временным, или может вообще отсутствовать во время некоторых операций.

Фиг. 3 раскрывают часть устройства, содержащую сегмент с четырьмя мембранными модулями 1а, 1б, 1с, 1д. Выпуск 3 для подаваемой текучей среды первого мембранного модуля 1а соединяется с впуском 2 для подаваемой текучей среды второго мембранного модуля 1б, и если имеется дополнительный мембранный модуль (модули) 1с, 1д, выпуск 3 для подаваемой текучей среды предыдущего мембранного модуля (n-1) соединяется с впуском 2 для подаваемой текучей среды следующего мембранного модуля (n), а для последнего мембранного модуля (n) выпуск 3 для подаваемой текучей среды соединяется с впуском 2 для подаваемой текучей среды первого мембранного модуля 1а, обычно посредством циркуляционного насоса 13.

Устройство содержит блок 19 хранения для подаваемой текучей среды или ретентата, состоящий из одного или более резервуаров или контейнеров, которые могут обеспечивать непрерывный поток подаваемого потока или ретентата, или смеси подаваемого потока и ретентата в мембранные модули. Насос 20, например, вместе с не показанным устройством управления, таким как преобразователь частоты или клапан, может управлять впуском ретентата или подаваемой текучей среды в поток жидкости, рециркулирующий через мембранные модули 1а-1д.

Контур рециркуляции ретентата может быть снабжен выпуском 21 для ретентата, которое может регулироваться клапаном 22. Выпуск для ретентата может располагаться перед впуском для нового ретентата, поступающего из блока 19 хранения. Однако если контур, показанный на Фиг. 3, является первым контуром в последовательности контуров фильтрации, обеспечивающих дальнейшее снижение содержания материала в циркулирующей жидкости, тогда контур может быть снабжен выпуском 23, направляющим часть циркулирующей жидкости во второй контур, в результате чего может быть сформировано вплоть до 16 или 20 контуров. Если часть циркулирующей жидкости направляется во второй контур, то контур, показанный на Фиг. 3, обычно не будет иметь выпуска 21 для ретентата. Контур, показанный на Фиг. 3, может быть первым контуром в последовательности контуров, каждый из которых содержит выпуск 23, направляющее циркулирующую жидкость в следующий контур, в этом случае обычно только последний контур в последовательности будет снабжен выпуском 21 для ретентата.

То есть мембранные модули 1a, 1b, 1c, 1d последовательно соединяются на стороне жидкости мембранных модулей 1a, 1b, 1c, 1d, то есть один и тот же поток жидкости входит во все мембранные модули, хотя количество для каждого мембранного модуля уменьшается на количество выходящего пермеата. Пермеат удаляется из каждого мембранного модуля 1 и может собираться в объединенном потоке пермеата. Мембранные модули 1a, 1b, 1c, 1d образуют сегмент в контуре, через который подаваемый поток или ретентат могут непрерывно прокачиваться циркуляционным насосом 13 до тех пор, пока желаемое количество пермеата не будет удалено из мембранных модулей через выпуски 6 для пермеата.

Поскольку можно контролировать давление в каждом мембранном модуле, можно преодолевать статическое давление, и, следовательно, можно спроектировать матрицу, состоящую из нескольких сегментов мембранных модулей 1 в двух измерениях, т.е. нет необходимости располагать мембранные модули 1 на одном и том же уровне, вместо этого мембранные модули 1, последовательно соединенные на стороне подаваемого потока или ретентата, могут располагаться друг над другом, обеспечивая проходящие в вертикальном направлении сегменты. Традиционно матрицы мембранных модулей размещаются рядом друг с другом, то есть на одном уровне, чтобы статическое давление не влияло на TMP и, следовательно, на процесс фильтрации.

Кроме того, поскольку пермеат удаляется из конца трубки 5 для пермеата, имеющей самое низкое давление на стороне подаваемого потока или ретентата, риск появления мертвых карманов во время фильтрации или очистки оборудования устраняется.

Фиг. 4 раскрывает один вариант осуществления устройства в соответствии с настоящим изобретением, содержащего матрицу из 16 мембранных модулей ( $n=16$ ).

Этот вариант осуществления содержит 4 сегмента A, B, C, D из четырех мембранных модулей 1, расположенных друг около друга, и каждый сегмент содержит четыре мембранных модуля 1a, 1b, 1c, 1d, расположенных друг над другом. Соединения между мембранными модулями сегмента, содержащего 4 мембранных модуля, могут выглядеть, как показано на Фиг. 3. В варианте осуществления, показанном на Фиг. 4, четыре сегмента являются идентичными, однако, поскольку пермеат отбирается из подаваемой текучей среды или ретентата на каждом уровне, количество мембранных модулей или количество мембранных элементов на верхнем уровне может быть уменьшено.

В предшествующем уровне техники сегменты мембранных модулей могут быть последовательно соединены на стороне подаваемой текучей среды, но в этом случае последовательно соединенные мембранные модули обычно располагаются на одном и том же вертикальном уровне, то есть последовательно соединенные мембранные модули размещаются друг около друга, особенно если потребность в постоянном и/или низком TMP является высокой. Кроме того, сегмент обычно может содержать только несколько мембранных модулей, например максимум два мембранных модуля.

В показанном варианте осуществления настоящего изобретения мембранные модули 1a, 1b, 1c, 1d в каждом сегменте помещаются друг над другом и последовательно соединяются на стороне подаваемого потока мембранного модуля, то есть подаваемая текучая среда или ретентат, выходящий из последнего мембранного модуля 1d, также входит в первый мембранный модуль 1a сегмента. В четыре сегмента, каждый из которых содержит выровненные по вертикали мембранные модули, подаваемая текучая среда или ретентат подается из общей подающей трубы 14a, обычно с помощью одного насоса или насосной системы.

При использовании насоса постоянного давления статическое давление  $p_{s1}$  в подающей трубе 14a может поддерживаться постоянным.

Из подающей трубы 14a подаваемая текучая среда течет в каждый из первых мембранных модулей 1a в каждом из сегментов A, B, C и D, а затем проходит через следующие мембранные модули 1b, 1c и 1d. В каждом сегменте подаваемая текучая среда или ретентат собирается в выходной трубе 16 для подаваемого потока, из которой подаваемая текучая среда или ретентат обычно рециркулирует в подающую трубу 14a устройства фильтрации с помощью не показанного циркуляционного насоса. Для поддержания непрерывного процесса поток новой подаваемой текучей среды обычно добавляется в контур циркуляции подаваемой текучей среды между выходной трубой 16 и подающей трубой 14a. Кроме того, поток подаваемой текучей среды или ретентата может быть удален из рециркулирующего потока, либо в качестве продукта, либо во второй контур фильтрации, чтобы поддерживать желаемый выход продукта.

Пермеат, вытекающий из выпусков для пермеата каждого мембранного модуля одного уровня, собирается в выходных трубах 15a, 15b, 15c и 15d для пермеата, то есть первый мембранный модуль 1a каждого сегмента A, B, C и D имеет общую выходную трубу 15a для пермеата, второй мембранный модуль 1b каждого сегмента A, B, C и D имеет общую выходную трубу 15b для пермеата, третий мембранный модуль 1c каждого сегмента A, B, C и D имеет общую выходную трубу 15c для пермеата, и четвертый мембранный модуль 1d каждого сегмента A, B, C и D имеет общую выходную трубу 15d для пермеата. Датчик 10 давления устанавливается в каждую выходную трубу 15a, 15b, 15c и 15d для пермеата после последнего выпуска для пермеата, поскольку мембранные модули 1 каждого уровня a, b, c или d располагаются на одной и той же высоте, и поскольку выходные трубы 15 для пермеата являются горизонтальными, давление принимается постоянным по всей длине каждой выходной трубы для пермеата, и поэтому один общий датчик 10 давления и один общий обратный клапан для каждой выходной трубы для пермеата могут обеспечить надлежащее управление давлением в каждом мембранном модуле.

Как правило, количество мембранных модулей 1, вертикально выровненных в сегменте, может составлять 2-16, обычно 2-12, например 2-8, а количество сегментов из вертикально выровненных мембранных модулей может составлять 1-32, например 2-32 или 4-16. Оптимальное количество мембранных модулей по вертикали, а также

оптимальное количество наборов вертикально выровненных мембранных модулей будет зависеть от мощности насоса и площади, доступной для фильтрационной установки.

Фиг. 5 раскрывает один вариант осуществления устройства в соответствии с настоящим изобретением, содержащего двойную матрицу из 16+12 мембранных модулей. Этот вариант осуществления может содержать те же самые элементы, что и варианты осуществления, показанные на Фиг. 2 и 3.

Этот вариант осуществления содержит первую секцию из 4 сегментов А, В, С, D из четырех мембранных модулей 1, расположенных рядом друг с другом, где каждый сегмент содержит четыре мембранных модуля 1a, 1b, 1c, 1d, как и вариант осуществления, показанный на Фиг. 4. Для увеличения производительности устройства по сравнению с устройством, показанным на Фиг. 4, вторая секция, содержащая 3 вертикально расположенных сегмента Е, F, G из четырех мембранных модулей 1a, 1b, 1c, 1d каждый была помещена поверх первой секции.

Первая или нижняя секция этого варианта осуществления содержит те же самые элементы, что и вариант осуществления, показанный на Фиг. 4, однако выпуск для подаваемого потока варианта осуществления, показанный на Фиг. 4, заменен трубопроводом 14b, имеющим четыре впуска, получающие подаваемая текучая среда из каждого из сегментов А, В, С и D нижней секции, и три выпуска, распределяющие подаваемая текучая среда по трем сегментам Е, F и G верхней секции.

Фиг. 6 раскрывает один вариант осуществления устройства в соответствии с настоящим изобретением, содержащего одну матрицу из 32 мембранных модулей.

Этот вариант осуществления содержит одну секцию из 4 сегментов А, В, С, D из восьми мембранных модулей 1 каждый, расположенных рядом друг с другом, где каждый сегмент содержит восемь мембранных модулей 1a, 1b, 1c, 1d, 1e, 1f, 1g, 1h. Этот вариант осуществления может содержать те же самые элементы, что и варианты осуществления, показанные на Фиг. 2 и 3.

Для того, чтобы обеспечить оптимизированный поток подаваемой текучей среды в мембранные модули, расположенные сверху или в верхней половине сегментов, подача подаваемой текучей среды может распределяться непосредственно по мембранным модулям, расположенным сверху или в верхней половине сегментов, например посредством подающей трубы 14c. Поток к подающей трубе 14c могут управлять датчик 17 потока и клапан 18. Подача подаваемой текучей среды в подающую трубу 14c может распределяться с помощью того же насоса или насосной системы, который подает подаваемая текучая среда к первому мембранному модулю 1a каждого сегмента А, В, С и D.

Фиг. 7 раскрывает один вариант осуществления устройства в соответствии с настоящим изобретением, содержащего матрицу из 16 мембранных модулей ( $n=16$ ).

Этот вариант осуществления, как и вариант осуществления, показанный на Фиг. 4, содержит четыре сегмента А, В, С, D, и каждый сегмент А, В, С и D содержит четыре мембранных модуля 1a, 1b, 1c, 1d. Соединения между мембранными модулями одного

сегмента могут выглядеть, как показано на Фиг. 3.

В варианте осуществления, показанном на Фиг. 7, четыре сегмента являются идентичными, пермеат отбирается из подаваемой текучей среды или ретентата из выпуска 6 для пермеата каждого мембранного модуля и собирается в один поток на каждом уровне мембранных модулей a, b, c и d, и каждый мембранный модуль содержит второй выпуск 24 на конце подачи подаваемого потока в мембранный модуль.

В показанном варианте осуществления мембранные модули 1a, 1b, 1c, 1d каждого сегмента помещаются друг над другом, где мембранные модули 1a являются самыми нижними, а мембранные модули 1d находятся сверху. Мембранные модули внутри сегмента А, В, С и D последовательно соединяются на стороне подаваемого потока мембранных модулей, то есть подаваемая текучая среда или ретентат, выходящее из последнего мембранного модуля 1d, может закачиваться в первый мембранный модуль 1a того же самого сегмента или в общий контейнер подаваемого потока, принимающий рециркулирующий поток подаваемого потока или ретентата из всех четырех сегментов.

Каждый из четырех сегментов А, В, С, D содержит вертикально выровненные мембранные модули, которые могут снабжаться подаваемым потоком текучей среды или ретентатом из общей подающей трубы 14a, которая может питаться с помощью одного насоса или насосной системы.

Кроме того, каждый мембранный модуль на каждом уровне 1a, 1b, 1c или 1d может питаться вторичной жидкостью через общую подающую трубу для каждого уровня 27a, 27b, 27c или 27d. Каждая из общих подающих труб для вторичной жидкости 27a, 27b, 27c или 27d может содержать средства управления впуском, например содержащие входной клапан 25a, 25b, 25c и 25d для каждого уровня (25b и 25d не показаны на Фиг. 7, поскольку они находятся за устройством), например в комбинации с датчиком потока 26a, 26b, 26c, 26d (26b и 26d не показаны на Фиг. 7, поскольку они находятся за устройством). В показанном варианте осуществления все уровни содержат общий выпуск для вторичной текучей среды, однако необязательно питать все уровни вторичной жидкостью, то есть некоторые уровни могут не снабжаться вторичной жидкостью. Например, первый и последний уровень мембранных модулей могут не снабжаться вторичной жидкостью, в варианте осуществления, показанном на Фиг. 7, это соответствует первому уровню (1a) и четвертому уровню (1d).

При использовании насосной системы постоянного давления статическое давление  $p_{s1}$  в подающей трубе 14a может поддерживаться постоянным.

Из подающей трубы 14a подаваемая текучая среда течет в каждый из первых мембранных модулей 1a, то есть на первый уровень a, в каждом из сегментов А, В, С и D, а затем проходит через следующие мембранные модули 1b, 1c и 1d. Из последнего мембранного модуля 1d каждого сегмента подаваемая текучая среда или ретентат собирается в выходной трубе 16 для подаваемого потока, из которой подаваемая текучая среда или ретентат обычно рециркулирует в подающую трубу 14a устройства фильтрации с помощью не показанного циркуляционного насоса. Для поддержания непрерывного

процесса поток нового подаваемой текучей среды может добавляться в контур циркуляции подаваемой текучей среды между выходной трубой 16 и подающей трубой 14а. Кроме того, поток подаваемой текучей среды или ретентата может быть удален из рециркулирующего потока, либо в качестве продукта, либо во второй контур фильтрации, чтобы поддерживать желаемый выход продукта.

Пермеат, вытекающий из выпусков для пермеата каждого мембранного модуля одного уровня, собирается в выходных трубах 15а, 15b, 15с и 15d для пермеата, то есть первый мембранный модуль 1а каждого сегмента А, В, С и D имеет общую выходную трубу 15а для пермеата, второй мембранный модуль 1b каждого сегмента А, В, С и D имеет общую выходную трубу 15b для пермеата, третий мембранный модуль 1с каждого сегмента А, В, С и D имеет общую выходную трубу 15с для пермеата, и четвертый мембранный модуль 1d каждого сегмента А, В, С и D имеет общую выходную трубу 15d для пермеата. По сравнению с вариантом осуществления, показанным на Фиг. 4, где вторичная жидкость не добавляется, количество пермеата будет увеличиваться, поскольку большая часть вторичной жидкости обычно проходит через фильтр и попадает во фракцию пермеата.

Датчик 10 давления устанавливается в каждую выходную трубу 15а, 15b, 15с и 15d для пермеата после последнего выпуска для пермеата, поскольку мембранные модули 1 каждого уровня а, b, с или d располагаются на одной и той же высоте, и поскольку выходные трубы 15 для пермеата являются горизонтальными, давление принимается постоянным по всей длине каждой выходной трубы для пермеата, и поэтому один общий датчик 10 давления и один общий обратный клапан для каждой выходной трубы для пермеата могут обеспечить надлежащее управление давлением в каждом мембранном модуле.

Датчик давления 12 устанавливается в выходной распределительной камере 3а в каждом мембранном модуле или на каждом уровне, то есть а, b, с, d, ... в секции, чтобы улучшить возможность управления значением TMP на каждом уровне, и тем самым управлять процессом разделения.

Как правило, количество мембранных модулей 1, вертикально выровненных в сегменте, может составлять 2-16, обычно 2-12, например 2-8, а количество сегментов из вертикально выровненных мембранных модулей может составлять 1-32, например 2-32 или 4-16. Оптимальное количество мембранных модулей по вертикали, а также оптимальное количество наборов вертикально выровненных мембранных модулей будет зависеть от мощности насоса и площади, доступной для фильтрационной установки.

Обычно устройство в соответствии с настоящим изобретением может содержать одну или более матриц мембранных модулей. Каждая матрица содержит один или более сегментов вертикально смещенных и/или выровненных мембранных модулей, которые последовательно соединяются по подаваемому потоку текучей среды, то есть подаваемая текучая среда, которое входит в первый мембранный модуль, течет через все мембранные модули сегмента и будет либо удалено как подаваемая текучая среда из выпуска

последнего мембранного модуля сегмента, либо удалено как пермеат из выпусков для пермеата одного из мембранных модулей, содержащихся в сегменте. Если матрица содержит более одного сегмента, подаваемая текучая среда может распределяться параллельно по сегментам через общую подающую трубу, соединенную с источником подаваемой текучей среды и насосом постоянного давления, прокачивающего подаваемую текучую среду в подающую трубу и через сегменты мембранных модулей. Если устройство содержит более одной матрицы мембранных модулей, каждая матрица может упоминаться как *секция*, и вторая или последующие секции могут располагаться поверх первой или нижней секции, подаваемая текучая среда, вытекающее из первой или нижней секции, может подаваться во вторую или верхнюю секцию через трубопровод, имеющий несколько впусков, соответствующих количеству сегментов в нижней секции, и несколько выпусков, соответствующих количеству сегментов в верхней секции. Если сегмент содержит более 2, 3 или 4 мембранных модулей, смещенных и/или выровненных в вертикальном направлении, где самый нижний мембранный модуль считается первым мембранным модулем, то подаваемая текучая среда может добавляться в третий, или четвертый, или пятый мембранный модуль, соответственно, например через подающую трубу, которая может распределять подаваемую текучую среду больше чем к одному сегменту мембранных модулей. Кроме того, ряд мембранных модулей на одном и том же вертикальном уровне, питаемых одним и тем же насосом или насосной системой, может иметь выпуск для пермеата, подающее пермеат в общую выходную трубу для пермеата, которая снабжена общим датчиком давления и обратным клапаном.

#### **Описание способа фильтрации жидкости**

Устройство по настоящему изобретению предназначено для использования главным образом в производстве пищевых продуктов, поскольку оно обеспечивает высокий санитарный уровень за счет устранения застойных зон в структуре устройства.

Кроме того, поскольку это устройство использует только стандартные компоненты, оно является более дешевым и менее сложным, чем устройство, использующее нестандартные компоненты.

Устройство и способ в соответствии с настоящим изобретением являются особенно подходящими для микрофильтрации, или ультрафильтрации, сталкивающейся с теми же самыми проблемами, что и микрофильтрация. Микрофильтрация, а также некоторые процессы ультрафильтрации, работают при очень низком значении TMP, и трудно оптимизировать поперечный поток при поддержании постоянно низкого TMP в последовательности связанных мембранных элементов, независимо от того, устанавливаются ли эти мембранные элементы в единственный мембранный модуль или в серию мембранных модулей. Давление на впуске подаваемой текучей среды определяется настройками насоса, а давлением на стороне пермеата мембранного модуля можно управлять путем расположения клапана для регулирования противодавления на выпуске для пермеата. В соответствии с настоящим изобретением давление в серии мембранных

модулей, через которые подаваемая текучая среда прокачивается в контуре, адаптировано к снижению давления, возникающему в подаваемом потоке текучей среды, когда расстояние между мембранным модулем и насосом увеличивается в направлении потока подаваемой текучей среды.

В целом настоящее изобретение относится к способу фильтрации жидкости в устройстве для мембранной фильтрации, содержащему следующие стадии:

а) Некоторое количество подаваемой текучей среды, от которого отделяется пермеат, непрерывно прокачивается через контур, содержащий множество мембранных модулей, каждый из которых снабжен одним впуском и одним выпуском для подаваемой текучей среды/ретентата и пермеата соответственно, причем выпуск для подаваемой текучей среды/ретентата располагается на противоположном конце мембранного модуля по сравнению с выпусками для соответственно подаваемой текучей среды/ретентата и пермеата, гарантируя, что потоки подаваемой текучей среды/ретентата и пермеата движутся прямооток по всей длине мембраны в каждом мембранном модуле. Это приводит к четко определенному поведению потока внутри мембранного модуля без появления застойной области в центральной трубке мембраны.

б) образовавшийся пермеат непрерывно отводится из каждого мембранного модуля через выпуск для пермеата,

с) давлением пермеата на выпуске для пермеата каждого мембранного модуля управляют путем поддержания TMP внутри желаемого диапазона, опционально давление также измеряется на впуске подаваемого потока мембранного модуля,

д) опционально для получения оптимизированного разделения количество мембранных модулей, через которые прокачивается подаваемая текучая среда, варьируется либо при проектировании процесса разделения, либо во время самого процесса разделения.

Во время микрофильтрации или ультрафильтрации значение TMP может находиться в диапазоне 0,02-12 бар, например 0,07-10 бар, или 0,2-8 бар, или 0,3-2 бар.

Способ по настоящему изобретению может использоваться в связи с операциями мембранной фильтрации в молочной промышленности. Например, подаваемая текучая среда может быть жидкостью в молочной промышленности и в промышленности молочных ингредиентов, требующих точного и одновременного управления значением TMP и поперечного потока для получения результата, в частности отделения белков, отделения жиров, отделения микроорганизмов и фракционирования белка на

- сырную сыворотку
- сырную сыворотку WPC
- обезжиренное молоко
- обезжиренное молоко MPC
- сырое цельное молоко
- цельное молоко
- пермеаты микрофильтрации

Кроме того, способ по настоящему изобретению может использоваться в связи с операциями мембранной фильтрации в жидкости в

- производстве жидких пищевых продуктов или
- производстве жидких напитков или
- медико-биологической промышленности,

требующих точного и одновременного контроля TMP и поперечного потока для получения результата в

- разделении белков или
- разделении жиров или
- разделении микроорганизмов или
- фракционировании белков или
- разделении спиртов

на

- овощные (сырые) растворы или
- мясные растворы или
- рыбные растворы или
- растворы для напитков или
- пермеаты микрофильтрации.

Фиг. 8 иллюстрирует процесс, выполняемый в устройстве предшествующего уровня техники, содержащем 10 мембранных модулей 1a, 1b, ..., 1j. Это устройство содержит один контур, содержащий 10 модулей, каждый из которых содержит 1 мембранный элемент, причем эти 10 модулей параллельно соединены на стороне подаваемой текучей среды/ретентата. Подаваемая текучая среда/ретентат циркулирует в контуре с помощью рециркуляционного насоса 13, обеспечивающего давление  $P_B$  бустерного насоса.

Эта конструкция в соответствии с предшествующим уровнем техники является преобладающим способом достижения минимально возможного значения TMP на мембранный элемент одновременно с максимально возможным поперечным потоком.

В этом примере процесса значение  $dP$ /элемент устанавливается равным 0,5 бар, а значение  $p_{perm}$  - традиционно 0 бар.

$Q_{CROSSFLOW}$  представляет собой объемный поток ( $m^3/час$ ) в контуре после циркуляционного насоса 13, объемный поток после модулей является более низким, поскольку пермеат удаляется из модулей, и дополнительное подаваемый поток добавляется в контур насосом 20 подаваемого потока.

Мембранные модули организуются в параллельную структуру, получающую подаваемая текучая среда/ретентат при одном и том же давлении  $P_{IN}$ . Давление  $P_{BL}$  основной линии, обеспечиваемое насосом 20 подаваемого потока этой системы, устанавливаются равным 0,3 бар, чтобы минимизировать значение TMP. Давление на впуске каждого мембранного модуля является одним и тем же для всех 10 мембранных модулей, то есть давление на впуске  $P_{IN}$  является суммой давления основной линии  $P_{BL}$  и

давления  $P_B$  бустерного насоса, которое в примере составляет  $0,3+0,5=0,8$  бар.

Этой системой трудно управлять, потому что на нее могут влиять различия в статическом напоре, то есть различия в географической высоте могут влиять на желаемое низкое и однородное значение TMP для каждого мембранного элемента. Кроме того, на систему влияет давление  $P_{BL}$  основной линии, которое должно быть в достаточной степени высоким, чтобы избежать разрушительной кавитации в циркуляционном насосе (насосах), что в некоторых случаях может оказывать отрицательный эффект на значение TMP, но также и в достаточной степени низким, чтобы получить желаемое низкое значение TMP.

Поток  $Q_{CROSSFLOW}$  через бустерный насос или рециркуляционный насос 13 является высоким, поскольку рециркуляционный насос 13 подает равные количества жидкости ко всем 10 мембранным модулям 1a-1j. Высокий поток через рециркуляционный насос означает, что установка имеет относительно высокое потребление энергии, и поэтому затраты на эксплуатацию этого устройства являются относительно высокими.

Таблица 1

Q <sub>CROSSFLOW</sub> с коэффициентом 1000 Фиг. 8					
Модуль	$P_{in}$	$P_{out}$	$P_{perm}$	TMP	
1a	0,8	0,3	0	0,55	$= (0,8+0,3)/2-0$
1b	0,8	0,3	0	0,55	$= (0,8+0,3)/2-0$
1c	0,8	0,3	0	0,55	$= (0,8+0,3)/2-0$
1d	0,8	0,3	0	0,55	$= (0,8+0,3)/2-0$
1e	0,8	0,3	0	0,55	$= (0,8+0,3)/2-0$
1f	0,8	0,3	0	0,55	$= (0,8+0,3)/2-0$
1g	0,8	0,3	0	0,55	$= (0,8+0,3)/2-0$
1h	0,8	0,3	0	0,55	$= (0,8+0,3)/2-0$
1i	0,8	0,3	0	0,55	$= (0,8+0,3)/2-0$
1j	0,8	0,3	0	0,55	$= (0,8+0,3)/2-0$

Фиг. 9 иллюстрирует процесс, выполняемый в устройстве предшествующего уровня техники, содержащем 1 мембранный модуль. Это устройство содержит один контур с 1 модулем, и этот 1 модуль содержит 10 мембранных элементов. Модуль имеет один выпуск для пермеата, через который удаляется пермеат, отделенный во всех 10 мембранных элементах одного мембранного корпуса.

Внутри модуля мембранные элементы организуются в последовательную структуру, получающую подаваемая текучая среда/ретентат при различных давлениях, соответствующих значениям  $dP/элемент$ . Применена нумерация 1a, 1b, ..., 1j, хотя этот вариант осуществления содержит только один модуль в соответствии с определением модуля в данном описании, чтобы проиллюстрировать, что количество мембранных элементов такое же, как и в вариантах осуществления, показанных на Фиг. 8 и Фиг. 10.

В этом примере процесса значение  $dP/элемент$  устанавливается равным 0,5 бар, а значение  $p_{perm}$  - традиционно 0 бар. Давление  $P_{BL}$  основной линии, обеспечиваемое насосом 20 подаваемого потока этой системы, устанавливаются равным 0,3 бар, чтобы минимизировать значение TMP. Давление в мембранном модуле складывается из

давления  $P_{BL}$  основной линии и давления  $P_B$  бустерного насоса, и составляет в примере  $0,3+5=5,3$  бар.

Как явствует из приведенной ниже Таблицы 2, для устройства этой конфигурации или аналогичной конфигурации с меньшим количеством мембранных элементов невозможно поддерживать одинаковое и низкое значение TMP на мембранный элемент, однако коэффициент  $Q_{CROSSFLOW}$  составляет 100, что в 10 раз меньше, чем для варианта осуществления, показанного на Фиг. 8. Как показано в нижеприведенной Таблице 2, согласно этому варианту осуществления невозможно получить постоянное и низкое значение TMP, если количество мембранных элементов в модуле равно двум или больше, и если бы вариант осуществления вместо 10 мембранных элементов содержал 2 мембранных элемента, то значение TMP было бы как и для 1i и 1j.

Таблица 2

Q <sub>CROSSFLOW</sub> с коэффициентом 100 Фиг. 9					
Модуль	P <sub>in</sub>	P <sub>out</sub>	P <sub>perm</sub>	TMP	
1a	5,3	4,8	0	5,05	= (5,3+4,8)/2-0
1b	4,8	4,3	0	4,55	= (4,8+4,3)/2-0
1c	4,3	3,8	0	4,05	= (4,3+3,8)/2-0
1d	3,8	3,3	0	3,55	= (3,8+3,3)/2-0
1e	3,3	2,8	0	3,05	= (3,3+2,8)/2-0
1f	2,8	2,3	0	2,55	= (2,8+2,3)/2-0
1g	2,3	1,8	0	2,05	= (2,8+1,8)/2-0
1h	1,8	1,3	0	1,55	= (1,8+1,3)/2-0
1i	1,3	0,8	0	1,05	= (1,3+0,8)/2-0
1j	0,8	0,3	0	0,55	= (0,8+0,3)/2-0

В подавляющем большинстве процессов фильтрации, требующих низкого значения TMP, система, показанная на Фиг. 9, не будет работать должным образом из-за быстрого загрязнения поверхностей мембраны и, в то же самое время, изменения характеристик мембраны в сторону более плотной мембраны, удерживающей вещества, которые во время операции фильтрации должны проходить через мембрану в пермеат.

Фиг. 10 иллюстрирует процесс, выполняемый в устройстве в соответствии с настоящим изобретением, содержащем 10 мембранных модулей. Это устройство содержит один контур, содержащий 1 сегмент или секцию с 10 модулями, каждый из которых содержит 1 мембранный элемент, причем эти 10 модулей гидравлически соединены последовательно на стороне подаваемой текучей среды/ретентата. Модули устройства, показанного на Фиг. 10, соответствуют сегментации одного модуля, показанного на Фиг. 9, и эта сегментация или расщепление одного модуля на последовательность модулей, каждый из которых включает в себя один мембранный элемент, позволяет выполнять отдельное управление каждым мембранным элементом, и устройство, показанное на Фиг. 10, может преодолеть проблемы устройств, показанных на Фиг. 8 и Фиг. 9.

В примере процесса, показанном на Фиг. 10, потеря давления  $dP$  на мембранных модулях устанавливается равной 0,5 бар.

Разница давлений между подаваемым потоком текучей среды/ретентатом и пермеатом на выпускном конце мембранного модуля устанавливается равной 0,1 бар.

Давление  $P_{BL}$  основной линии, обеспечиваемое насосом 20 подаваемого потока, устанавливается равным 1 бар. Давление  $P_{BL}$  основной линии - это давление, при котором подаваемая текучая среда направляется к циркулирующему потоку подаваемой текучей среды или ретентата, и есть предел того, насколько низким это давление может быть, из-за риска кавитации в циркуляционном насосе (насосах), и это лучше подходит для коммерчески доступных насосов, чем очень низкое давление при необходимой объемной производительности.

Циркуляционный насос 13 увеличивает или повышает давление  $P_B$  на 5 бар. Обычно давление, обеспечиваемое циркуляционным насосом, определяется необходимым значением  $dP$ /элемент и количеством последовательно и параллельно соединенных мембранных модулей/элементов, используемыми мембранами и т.д. ( $p_{out,1j}=P_{BL}$ )

Давлением пермеата  $P_{perm}$  управляют для каждого модуля, устанавливая тем самым желаемое значение TMP для каждого мембранного элемента в каждом модуле. С помощью этого способа можно поддерживать низкое и постоянное значение TMP в каждом мембранном модуле с приемлемыми затратами.

Для того, чтобы получить желаемый поток и проникновение через мембранные элементы в течение длительного времени, необходимо поддерживать подходящий для применения (высокий или низкий) поперечный поток, который представляет собой поток вдоль поверхности мембраны со стороны ретентата. Этот поперечный поток минимизирует накопление материала на поверхности мембраны. Поперечный поток через каждый мембранный модуль 1a, 1b, ..., 1j соответствует потоку рециркулирующей жидкости минус пермеат, отведенный из предшествующих мембранных модулей, плюс возможная добавленная диафильтрационная вода.

Таблица 3

Q <sub>CROSSFLOW</sub> с коэффициентом 100 Фиг. 10					
Модуль	$P_{in}$	$P_{out}$	$P_{perm}$	TMP	
1a	6,0	5,5	5,4	0,35	= (6,0+5,5)/2-5,4
1b	5,5	5,0	4,9	0,35	= (5,5+5,0)/2-4,9
1c	5,0	4,5	4,4	0,35	= (5,0+4,5)/2-4,4
1d	4,5	4,0	3,9	0,35	= (4,5+4,0)/2-3,9
1e	4,0	3,5	3,4	0,35	= (4,0+3,5)/2-3,4
1f	3,5	3,0	2,9	0,35	= (3,5+3,0)/2-2,9
1g	3,0	2,5	2,4	0,35	= (3,0+2,5)/2-2,4
1h	2,5	2,0	1,9	0,35	= (2,5+2,0)/2-1,9
1i	2,0	1,5	1,4	0,35	= (2,0+1,5)/2-1,4
1j	1,5	1,0	0,9	0,35	= (1,5+1,0)/2-0,9

Таблица 3 показывает эффект настоящего изобретения с точки зрения возможности обеспечения

- Очень низкого и равного TMP в каждом мембранном элементе
- Энергосбережения; коэффициент Q<sub>CROSSFLOW</sub> 100 вместо 1000 на Фиг. 8, способ

предшествующего уровня техники, Таблица 1.

<b>Ссылочная позиция</b>	<b>Описание</b>
1, 1a, 1b, 1c, 1d, ..., 1n	Мембранный модуль
2, 2a	Впуск для подаваемого потока/ретентата, входная распределительная камера
3, 3a	Выпуск для подаваемого потока/ретентата, выходная распределительная камера
4, 4a, 4b	Мембранный элемент
5	Центральная трубка или отверстие мембранного элемента
6	Выпуск для пермеата
7, 7a, 7b	Стандартное АТД
8	Нестандартное АТД предшествующего уровня техники
9, 9a, 9b	Обратный клапан на выпуске для пермеата
10	Датчик давления на выпуске для пермеата
11	Мертвый карман предшествующего уровня техники
12	Датчик давления на впуске для подаваемой текучей среды
13	Рециркуляционный насос подаваемой текучей среды/ретентата
14a, 14b, 14c	подающая труба для сегмента, содержащего множество мембранных модулей
15a, 15b, 15c, ..., 15h	Выходные трубы для пермеата
16	Выходная труба для подаваемого потока
17	Датчик потока
18	Клапан управления подаваемым потоком
19	Блок хранения
20	Насос подаваемого потока
21	Выпуск для ретентата
22	Выходной клапан ретентата
23	Выпуск для подаваемой текучей среды/ретентата к следующему или вторичному контуру
24	Второй впуск
25, 25a, 25b, 26c, 26d	Средства регулирования расхода
26, 26a, 26b, 26c, 26d	Датчик потока
27, 27a, 27b, 27c, 27d	Общая труба подачи вторичной текучей среды для двух или более сегментов

## ФОРМУЛА ИЗОБРЕТЕНИЯ

1. Устройство для мембранной фильтрации с поперечным потоком, содержащее множество  $n$  мембранных модулей (2,...,  $n$ ) и насос, где мембранный модуль (1), расположенный непосредственно ниже по потоку от насоса, называется первым мембранным модулем (1a),

- каждый мембранный модуль (1) содержит по меньшей мере один мембранный элемент (4), один впуск (2) для подаваемой текучей среды и один выпуск (3) для подаваемой текучей среды, один выпуск для пермеата (6) и средство (9) управления противодавлением, такое как клапан, выполненный с возможностью управления давлением и/или потоком на выпуске пермеата (6),

- каждый мембранный элемент (4) имеет центральное отверстие (5), выполненное с возможностью сбора пермеата и направления его к выпуску для пермеата (6), расположенному на том же самом конце мембранного модуля (1), что и выпуск (3) для подаваемой текучей среды, обеспечивая прямоток подаваемой текучей среды и пермеата по всей длине каждого мембранного модуля (1),

отличающееся тем, что выпуск (3) для подаваемой текучей среды первого мембранного модуля (1a) соединен с впуском (2) для подаваемой текучей среды второго мембранного модуля (1b), и если имеется дополнительный мембранный модуль (модули), выпуск (3) для подаваемой текучей среды предыдущего мембранного модуля ( $n-1$ ) соединен с впуском (2) для подаваемой текучей среды следующего мембранного модуля ( $n$ ), а для последнего мембранного модуля ( $n$ ) выпуск (3) для подаваемой текучей среды соединен с впуском (2) для подаваемой текучей среды первого мембранного модуля (1a).

2. Устройство по п. 1, в котором каждый мембранный модуль (1) содержит максимум четыре или например шесть мембранных элементов, причем обычно каждый мембранный модуль содержит один или например два или три мембранных элемента (4).

3. Устройство по любому из предшествующих пп., в котором  $n \geq 2$ , или  $n \geq 4$ , или  $n \geq 8$ , или  $2 \leq n \leq 40$ , или  $2 \leq n \leq 36$ , или  $4 \leq n \leq 32$ .

4. Устройство по любому из предшествующих пп., в котором АТД, позволяющее протекание пермеата через центральное отверстие АТД, располагается между мембранными элементами, если в одном мембранном модуле используется более одного мембранного элемента.

5. Устройство по любому из предшествующих пп., в котором по меньшей мере один из мембранных модулей установлен над по меньшей мере одним из других мембранных модулей, то есть подаваемая текучая среда прокачивается вверх при прохождении от одного мембранного модуля к следующему мембранному модулю.

6. Устройство по любому из предшествующих пп., в котором множество мембранных модулей расположено слоями из 2, или 3, или 4 или более друг над другом, то есть подаваемая текучая среда прокачивается вверх при прохождении через множество мембранных модулей.

7. Устройство по любому из предшествующих пп., в котором по меньшей мере

один мембранный модуль (модули), опционально 2, 3, 4 или более, или все мембранные модули содержат второй впуск (24) для вторичной текучей среды, такой как промывочная текучая среда или буфер диафильтрации, которая добавляется к потоку ретентата или подаваемому потоку.

8. Устройство по любому из предшествующих пп., в котором множество мембранных модулей расположено сегментами по 2, или 3, или 4 или больше друг над другом, то есть подаваемая текучая среда прокачивается вверх при прохождении через множество мембранных модулей, и по меньшей мере один слой мембранных модулей, опционально 2, 3, 4 или более, или все слои, каждый содержат второй впуск (24) для вторичной текучей среды, такой как промывочная жидкость или буфер диафильтрации, которая добавляется к подаваемому потоку или ретентата, и опционально содержит общую подающую трубу (27a, 27b, 27c, 27d) для всех мембранных модулей на одном уровне.

9. Способ фильтрации жидкости в устройстве для мембранной фильтрации с поперечным потоком, содержащий следующие стадии:

а) Количество подаваемой текучей среды непрерывно прокачивается с давлением  $P_B$  через контур, содержащий множество из  $n$  последовательно соединенных мембранных модулей, причем подаваемая текучая среда и поток пермеата текут прямолинейно через каждый из  $n$  мембранных модулей,

б) получаемый пермеат непрерывно отводится из каждого мембранного модуля через выпуск для пермеата,

с) давлением пермеата на выпуске для пермеата каждого мембранного модуля управляют путем поддержания TMP в желаемом диапазоне, опционально давление также измеряется на впускном конце для подаваемого потока и/или на выпускном конце для подаваемого потока мембранного модуля,

д) опционально для получения желаемого разделения количество  $n$  мембранных модулей, через которые протекает подаваемая текучая среда, может варьироваться либо при проектировании процесса разделения, либо во время самого процесса разделения, то есть количество активных мембранных модулей может варьироваться до или во время работы.

10. Способ по п. 9, в котором вторичная текучая среда, такая как буфер диафильтрации, добавляется к по меньшей мере одному из  $n$  мембранных модулей, опционально вторичная текучая среда, такая как буфер диафильтрации, добавляется ко множеству мембранных модулей, опционально вторичная текучая среда, такая как буфер диафильтрации, добавляется ко множеству сегментов мембранных модулей на одном или 2 или 3 или 4 или более уровнях, или на всех уровнях.

11. Способ по п. 9 или 10, в котором давление  $p_1$  на выпуске первого мембранного модуля (1a) является более высоким, чем давление  $p_2$  на выпуске второго мембранного модуля (1b), и аналогично для следующих мембранных модулей, то есть  $p_1 > p_2 > p_3 > \dots > P_n$ .

12. Способ по п. 9 или 10 или 11, в котором давление на впуске первого мембранного модуля находится в диапазоне 0,05-35 бар, например 0,1-25 бар, или 0,5-10 бар, или 2-4 бар, и/или TMP для каждого мембранного модуля находится в диапазоне 0,02-12 бар, например 0,07-10 бар, или 0,2-8 бар, или 0,2-2 бар, или 0,2-1,0 бар.

13. Способ по любому из пп. 9-12, в котором давление основной линии  $P_{BL}$ , то есть давление, с которым подаваемая текучая среда закачивается в контур, составляет более 0,2 бар, или более 0,3 бар, или более 0,5 бар, или более 0,9 бар, или более 1,0 бар.

14. Способ по любому из пп. 9-13, в котором давление бустерного насоса  $P_B$  составляет более 0,1 бар на модуль в контуре или сегменте, то есть  $P_B > n \times 0,1$  бар, или  $P_B$  составляет более 0,2 бар, или более 0,3 бар, или более 0,4 бар, или более 0,5 бар, или более 0,6 бар, или более 0,9 бар, или более 1,0 бар на модуль в контуре или сегменте.

15. Способ по любому из пп. 9-14, в котором подаваемая текучая среда является текучей средой в молочной промышленности, или в промышленности молочных ингредиентов, или в производстве жидких пищевых продуктов, которые требуют точного и одновременного управления величинами TMP и поперечного потока, в частности подаваемая текучая среда может быть подаваемым потоком для разделения белков, разделения жиров, фракционирования белков, разделения спиртов или разделения микроорганизмов в молочной промышленности, или в промышленности молочных ингредиентов, в производстве жидких пищевых продуктов, производстве жидких напитков или в медико-биологической промышленности, и обычно подаваемая текучая среда является

- сывороткой в молочной промышленности и в промышленности молочных ингредиентов, или

- сывороткой WPC в молочной промышленности и в промышленности молочных ингредиентов, или

- обезжиренным молоком в молочной промышленности и в промышленности молочных ингредиентов, или

- обезжиренным молоком MPC в молочной промышленности и в промышленности молочных ингредиентов, или

- сырым цельным молоком в молочной промышленности и в промышленности молочных ингредиентов, или

- цельным молоком в молочной промышленности и в промышленности молочных ингредиентов, или

- пермеатами для микрофльтрации в молочной промышленности и в промышленности молочных ингредиентов, или

- овощными (сырыми) белковыми растворами в производстве жидких пищевых продуктов, или

- рыбными белковыми растворами в производстве жидких пищевых продуктов, или

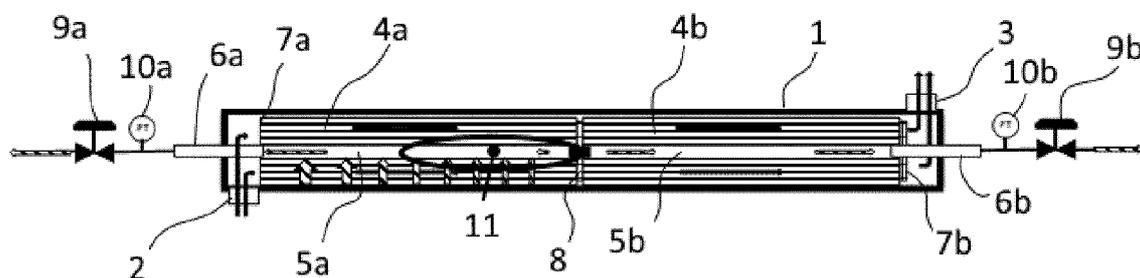
- мясными белковыми растворами в производстве жидких пищевых продуктов, или

- пермеатами для микрофльтрации в производстве жидких пищевых продуктов,

или

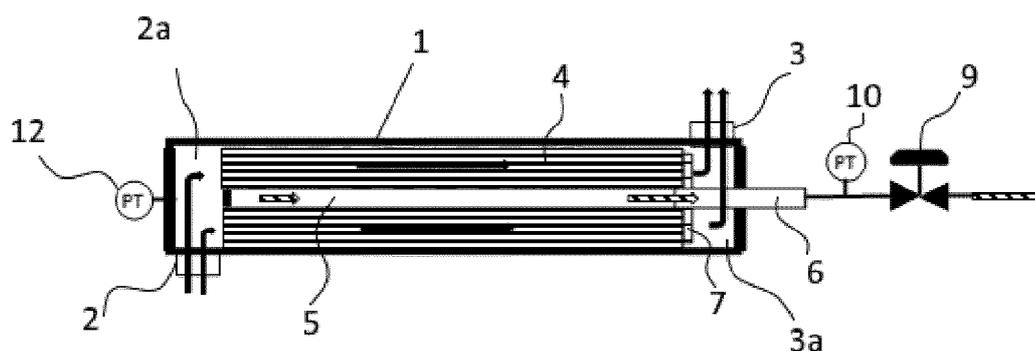
- растворами для напитков.

По доверенности

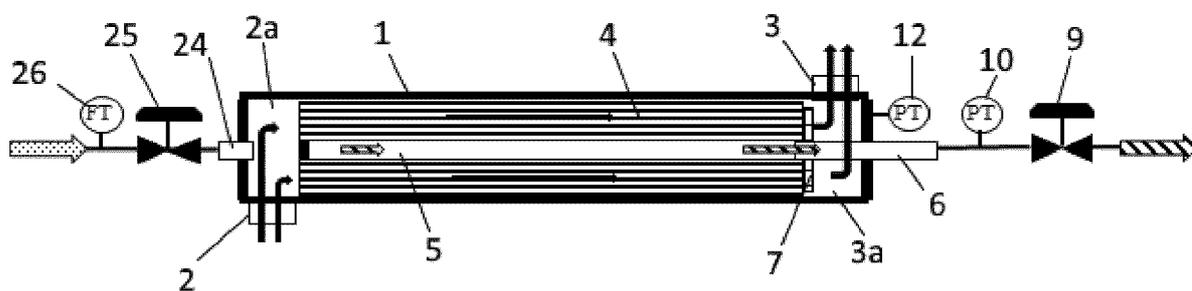


ФИГ. 1

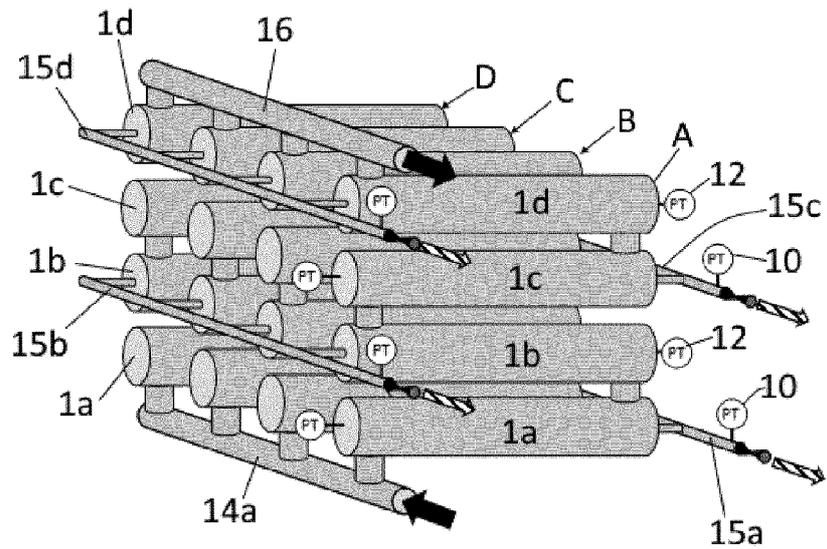
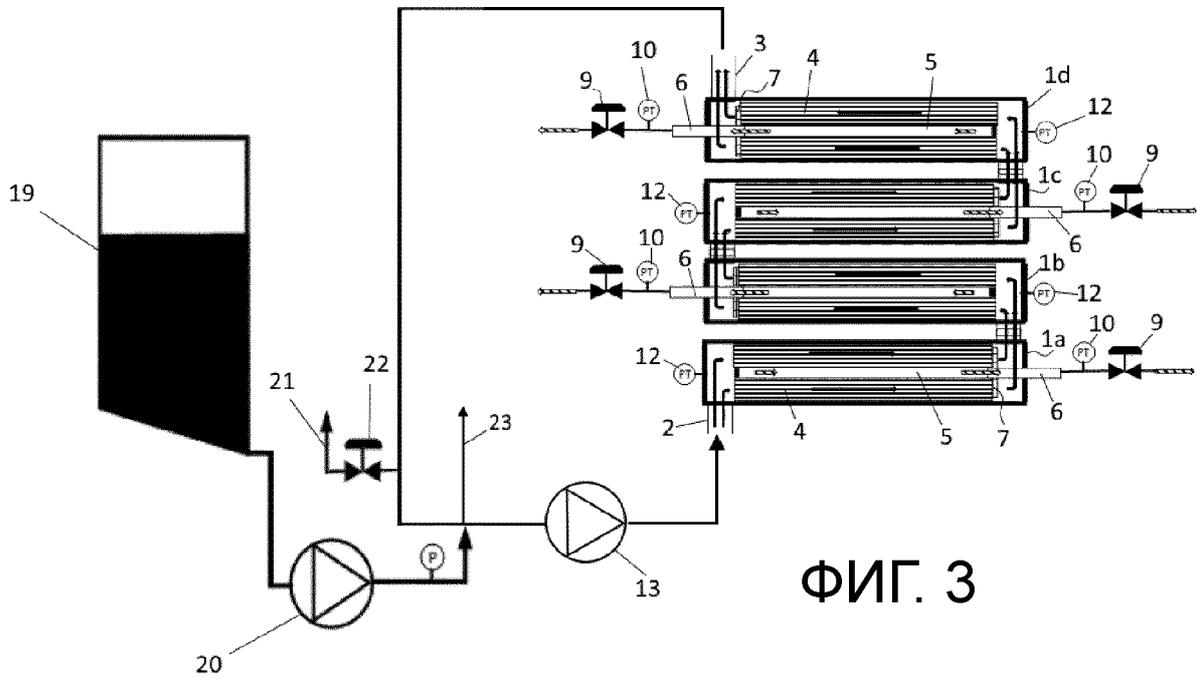
Предшествующий уровень техники

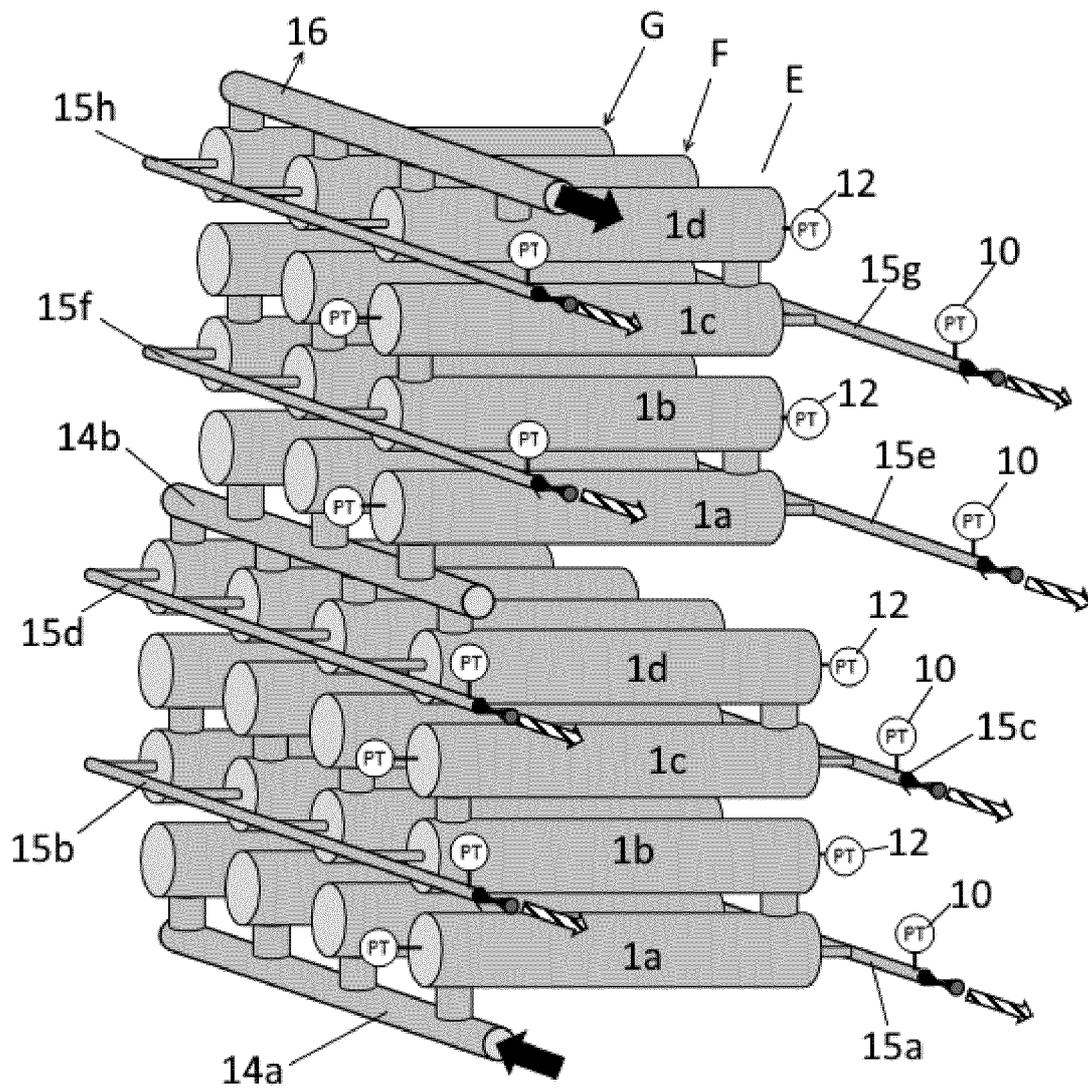


ФИГ. 2А

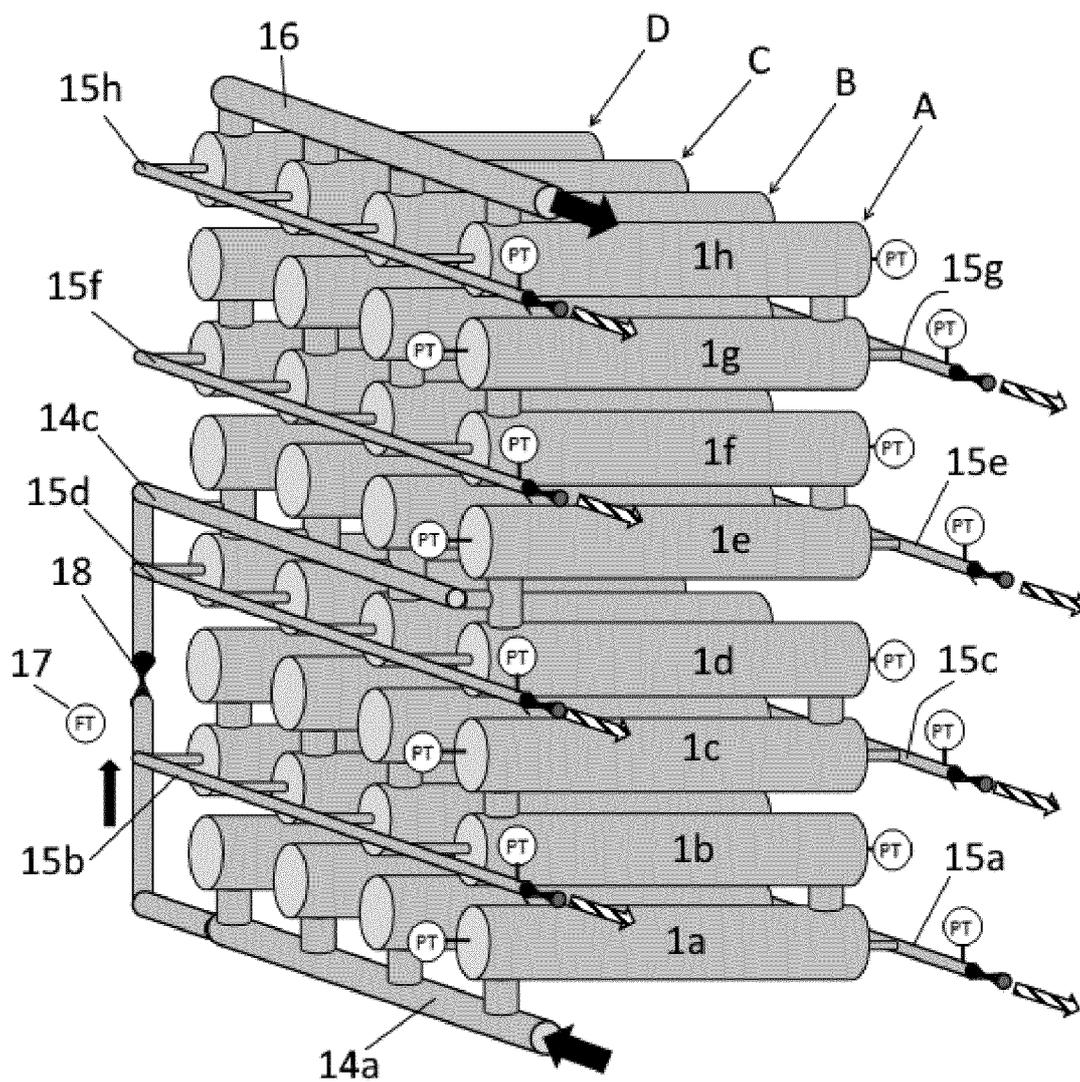


ФИГ. 2В

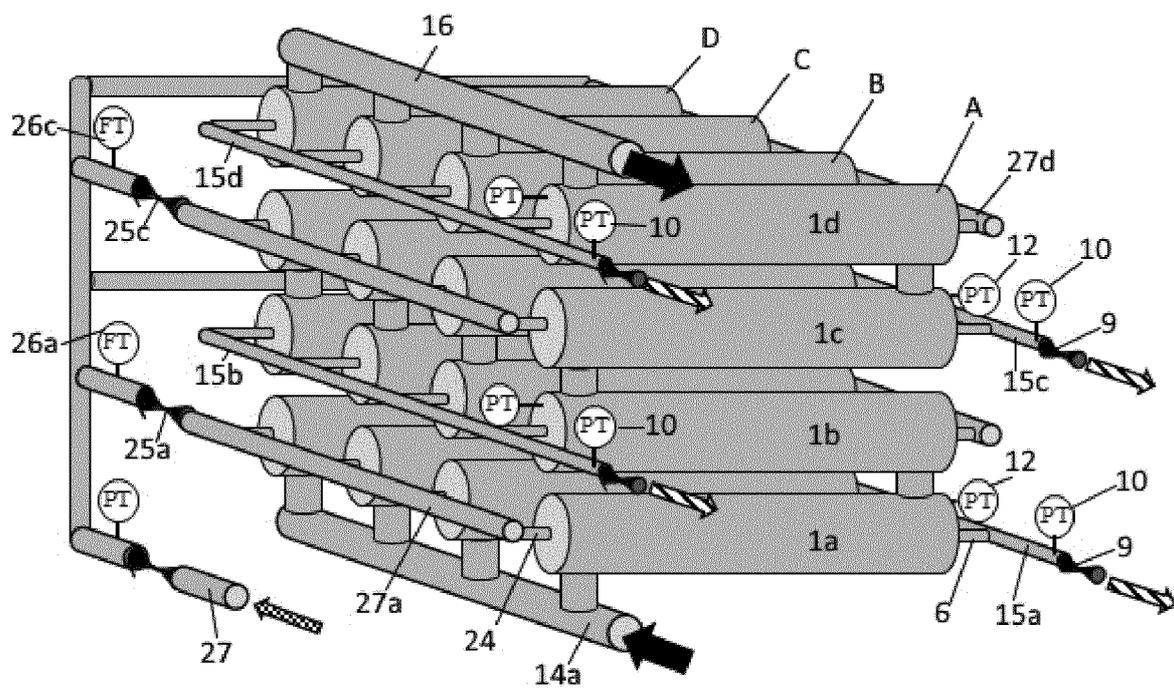




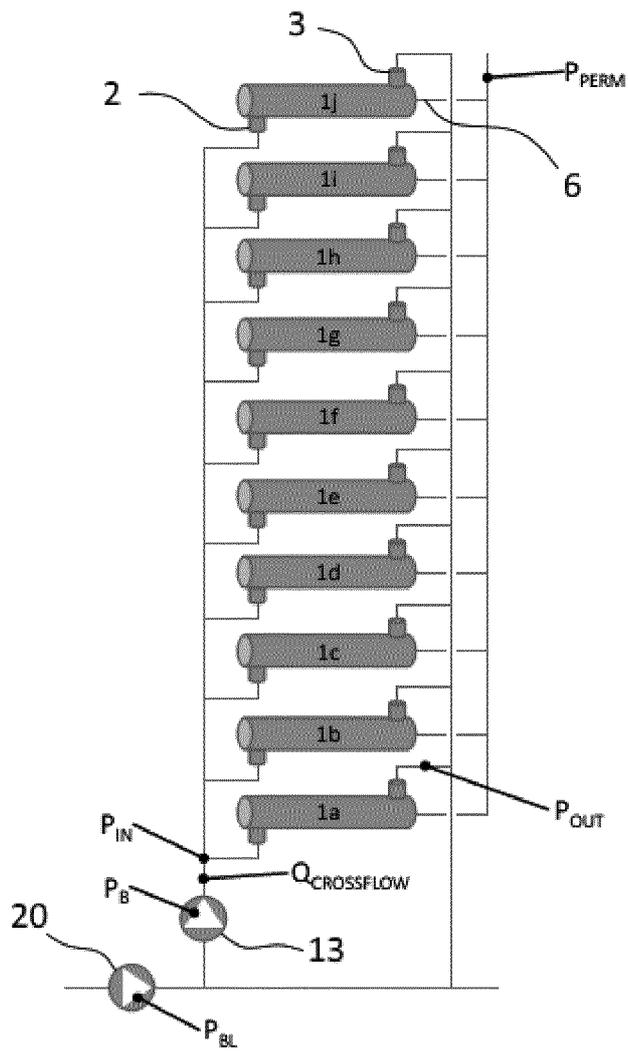
ФИГ. 5



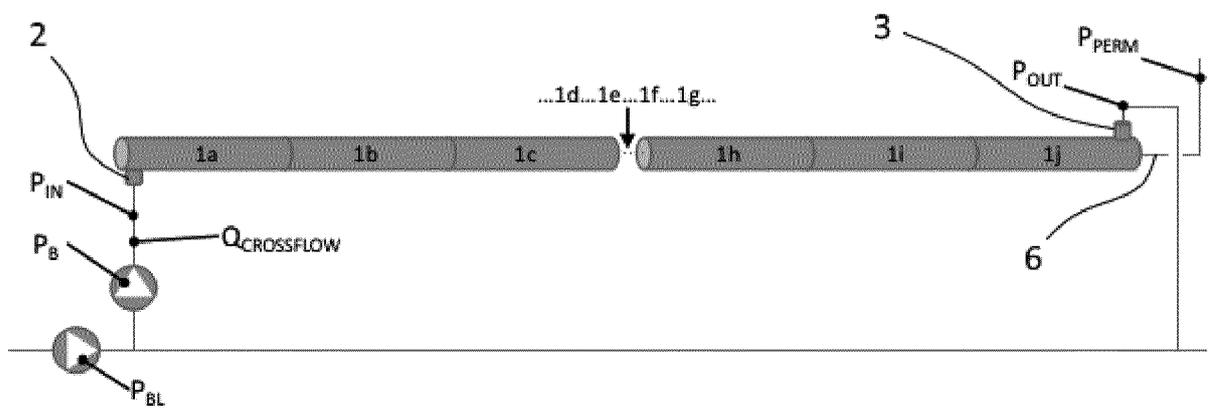
ФИГ. 6



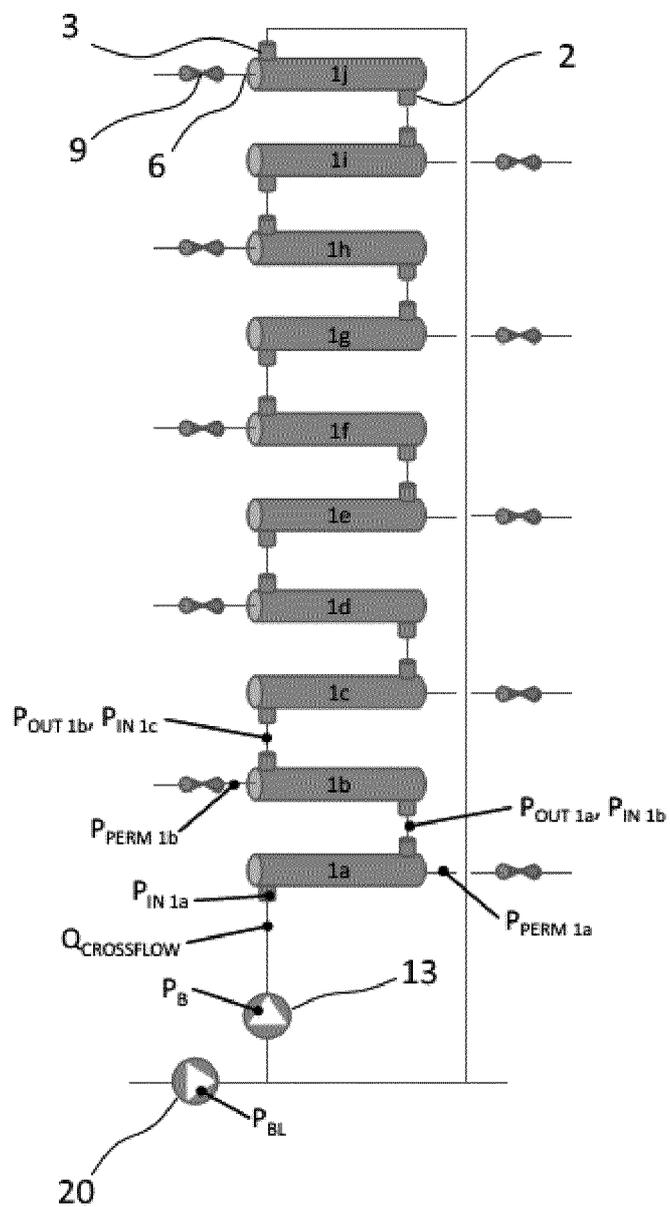
ФИГ. 7



ФИГ. 8



ФИГ. 9



ФИГ. 10