

ОБРАБОТКА ВОДЫ НА АЭС

ЛЕКЦИЯ №7

Тайлашева Татьяна Сергеевна
Доцент НОЦ И.Н. Бутакова ИШЭ ТПУ

ТЕМА 4. МЕТОДЫ ОБЕССОЛИВАНИЯ И ОПРЕСНЕНИЯ ВОДЫ

2

ГРУППЫ МЕТОДОВ

3

↓
Без изменения агрегатного
состояния

- Ионный обмен
- Мембранные технологии
- Электродиализ

↓
С изменением агрегатного
состояния

- Дистилляция
- Газогидратный метод
- Вымораживание

Выбор метода обессоливания, прежде всего, обусловлен качеством исходной воды, требованиями к качеству обработанной воды, производительностью установки и технико-экономическими расчетами.

ТЕМА 4. Часть 2. МЕТОДЫ ОБЕССОЛИВАНИЯ И ОПРЕСНЕНИЯ ВОДЫ

4

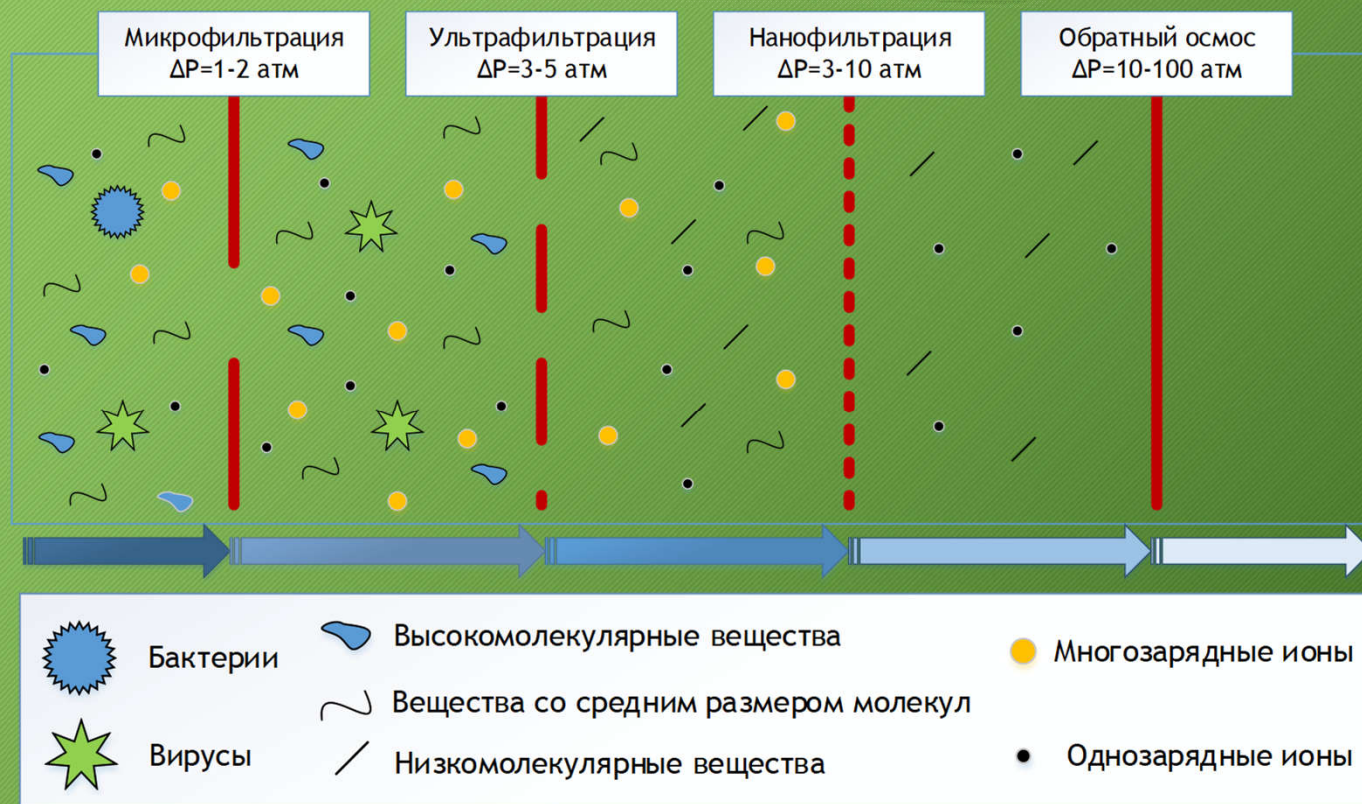
МЕМБРАННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

5

Размер задерживаемых частиц определяется структурой мембраны, то есть размером ее пор.

По размерам задерживаемых частиц мембранные процессы классифицируются на следующие типы:

- микрофльтрационные мембраны,
- ультрафльтрационные мембраны,
- нанофльтрационные мембраны,
- обратноосмотические мембраны.



МЕМБРАННЫЕ ПРОЦЕССЫ

6

Микрофилтрационные мембраны (с размером пор **0,1 - 1,0 мкм**, рабочее давление от 0,01 до 0,2 МПа) задерживают мелкие взвеси и коллоидные частицы, определяемые как мутность.

Ультрафилтрационные мембраны (с размером пор от **0,01 до 0,1 мкм**, рабочее давление 0,2-1,0 МПа) удаляют крупные органические молекулы (молекулярный вес больше 10 000 г/моль), коллоидные частицы, бактерии и вирусы, не задерживая при этом растворенные соли.

Нанофилтрационные мембраны (с размером пор от **0,001 до 0,01 мкм**, рабочее давление 0,5-8,0 МПа) задерживают органические соединения с молекулярной массой выше 300 г/моль и пропускают 15-90 % солей в зависимости от структуры мембраны.

Обратноосмотические мембраны (с размером пор менее **0,001 мкм**, рабочее давление 0,5-8,0 МПа) содержат самые узкие поры и потому являются самыми селективными. Они задерживают все бактерии и вирусы, большую часть растворенных солей и органических веществ (в том числе железо и гумусовые соединения, придающие воде цветность, и патогенные вещества). В среднем обратноосмотические мембраны задерживают 97-99% всех растворенных веществ.

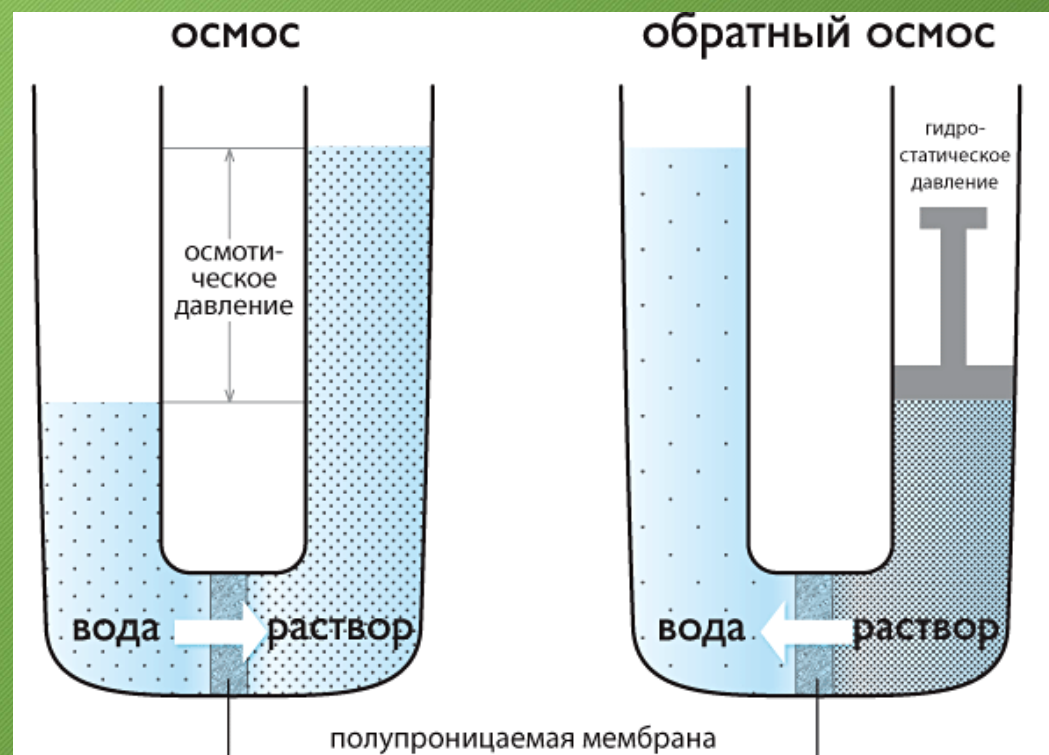
ТЕХНОЛОГИЯ ОБРАТНОГО ОСМОСА

7

«Обратный осмос» показывает обратимость естественного (прямого) осмоса, характеризующегося самопроизвольным переходом растворителя через полупроницаемую мембрану в раствор.

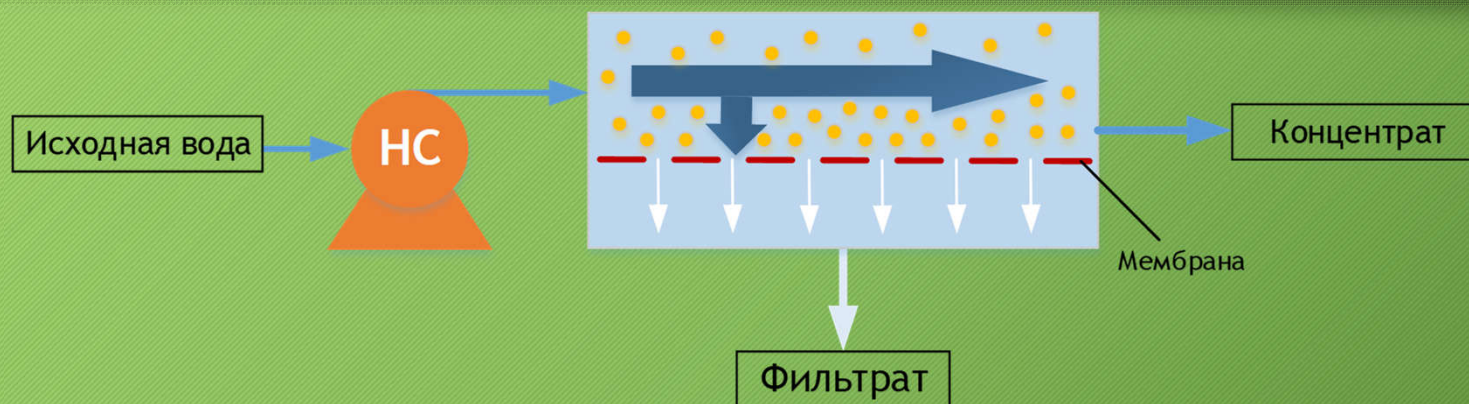
Если чистую воду и водный раствор какого-либо неорганического вещества поместить в два отсека по обе стороны полупроницаемой мембраны, способной пропускать только молекулы воды, то в такой системе будет наблюдаться следующее.

Из-за разности давления (концентрации) молекул H_2O в разных отсеках происходит переход молекул воды в объем с их меньшей концентрацией, т.е. в отсек солевого раствора, объем которого постепенно увеличивается, раствор разбавляется, разность давлений уменьшается, тормозя дальнейший перенос молекул H_2O . В состоянии равновесия уровни в обеих частях ячейки не будут изменяться, а установившееся гидростатическое давление определяется как осмотическое давление раствора.



МЕМБРАННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

8



Принцип мембранных процессов - пропуск исходной воды через полупроницаемую мембрану.

Под влиянием приложенного **давления** молекулы воды и некоторые растворенные вещества (размер которых меньше диаметра пор мембраны) **проникают через мембрану**, тогда как остальные примеси **задерживаются**.

В результате прохождения через мембрану **исходная вода** разделяется на два потока: **фильтрат** (очищенная вода) и **концентрат** (сконцентрированный раствор примесей). Фильтрат подается потребителю, а концентрат сливается в дренаж.

ХАРАКТЕРИСТИКИ

9

<i>Мембранный процесс</i>	<i>Размер пор, мкм</i>	<i>Рабочее давление, бар</i>	<i>Мембранные элементы</i>	
			<i>Материал</i>	<i>Конфигурация</i>
Микрофльтрация	0,02-4,0	<2	Полипропилен, ПВХДФ, лавсан, фторопласт, керамика	Рулонные, полые волокна, трубчатые
Ультрафльтрация	0,02-0,2	1-10	Полипропилен, акрилонитрил, ПВХДФ, полисульфон, керамика	Рулонные, полволоконные, трубчатые
Нанофльтрация	0,001-0,01	5-35	Ацетат целлюлозы, ароматические полиамиды (полисульфон), керамика*	Рулонные, полволоконные, трубчатые
Обратный осмос	0,0001-0,001	10-70	Ацетат целлюлозы, ароматические полиамиды	Рулонные, полволоконные, плоскорамные

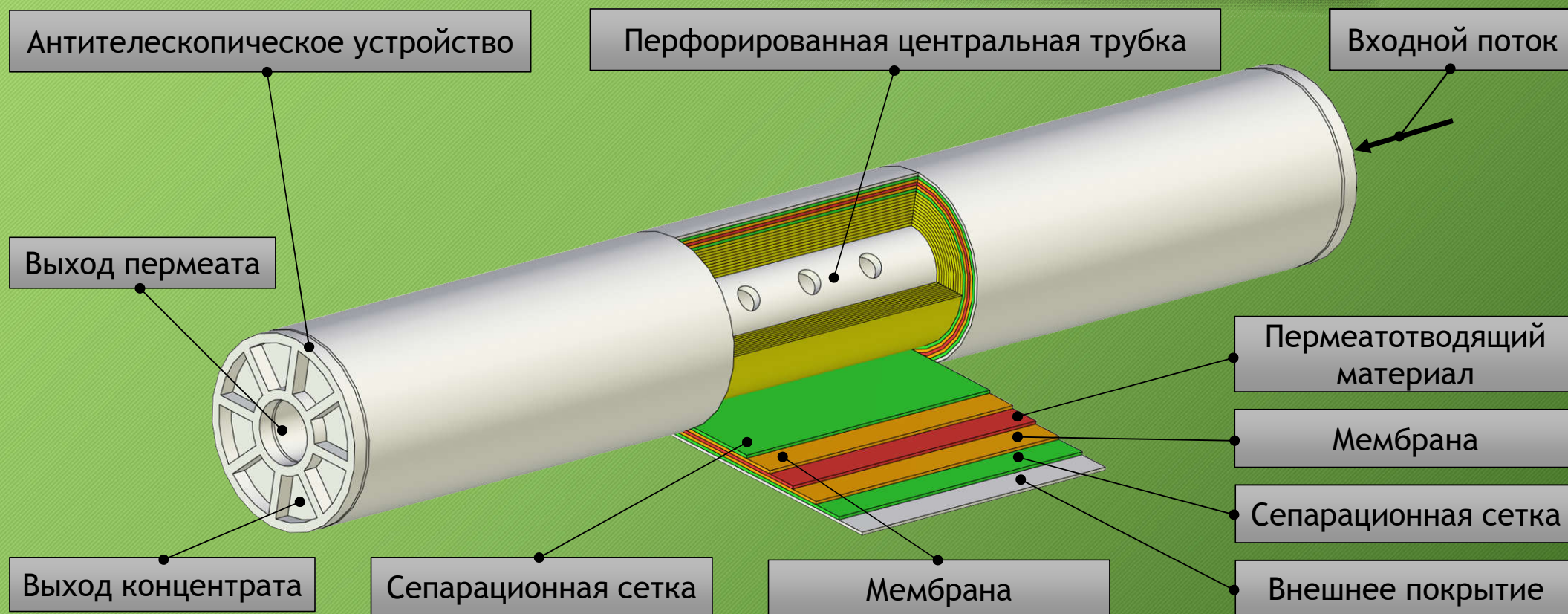
ПРЕИМУЩЕСТВА И НЕДОСТАТКИ

10

- + Селективность (степень извлечения загрязняющих веществ) - до 99,9 %;
 - + Уникальное качество очищенной воды;
 - + Удаление низкомолекулярных гуминовых соединений;
 - + Универсальность - эффективное извлечение смеси загрязняющих веществ;
 - + Отсутствие вторичного загрязнения воды;
 - + Низкие затраты электроэнергии при использовании насосов бустерного типа;
 - + Удобство транспортировки и монтажа с использованием высоконадежных полипропиленовых труб и трубозапорной арматуры;
 - + Длительный срок службы системы при периодической обратной промывке мембран;
 - + Простота и надежность в эксплуатации. Автоматизированный режим работы установок;
 - + Высокая рентабельность;
 - + Высокая экологическая безопасность.
-
- Дороговизна;
 - Высокие эксплуатационные затраты;
 - Большие расходы на химические реагенты;
 - Значительные затраты на ремонт и обслуживание оборудования.

СТРОЕНИЕ ОБРАТНООСМАТИЧЕСКОЙ МЕМБРАНЫ

11



ТЕХНОЛОГИЯ ОБРАТНОГО ОСМОСА

12

Проницаемость мембран $G = V_{\phi} / (F \cdot t)$, $\text{дм}^3 / (\text{м}^2 \cdot \text{сут})$

выражается количеством фильтрата V_{ϕ} , получаемого с единицы поверхности мембраны F в единицу времени t

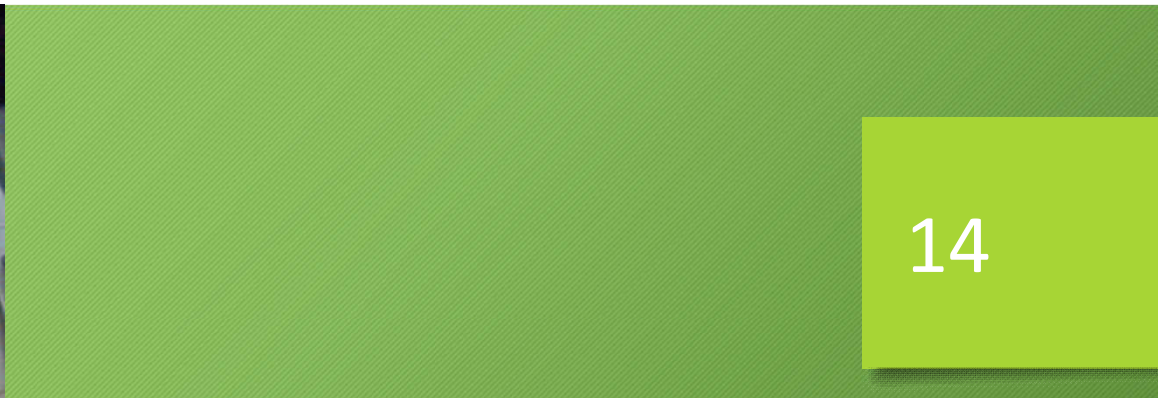
Проницаемость зависит от состава обрабатываемого раствора, внешнего давления и типа мембраны.

Селективность мембран φ в процессе разделения:

$$\varphi = (C_1 - C_2) 100 / C_1, \%$$

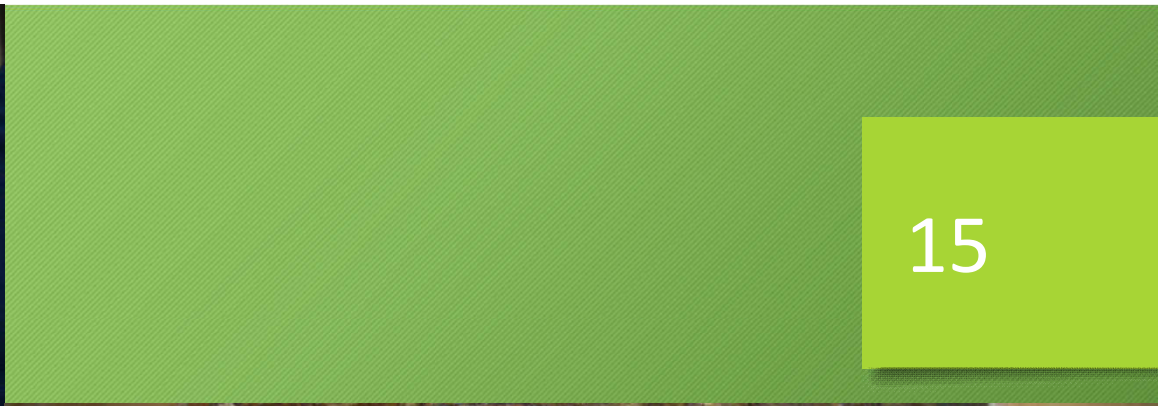
где C_1 и C_2 - концентрации растворенного вещества соответственно в обрабатываемой и обработанной водах.





14





ЭЛЕКТРОДЕИОНИЗАЦИЯ

16

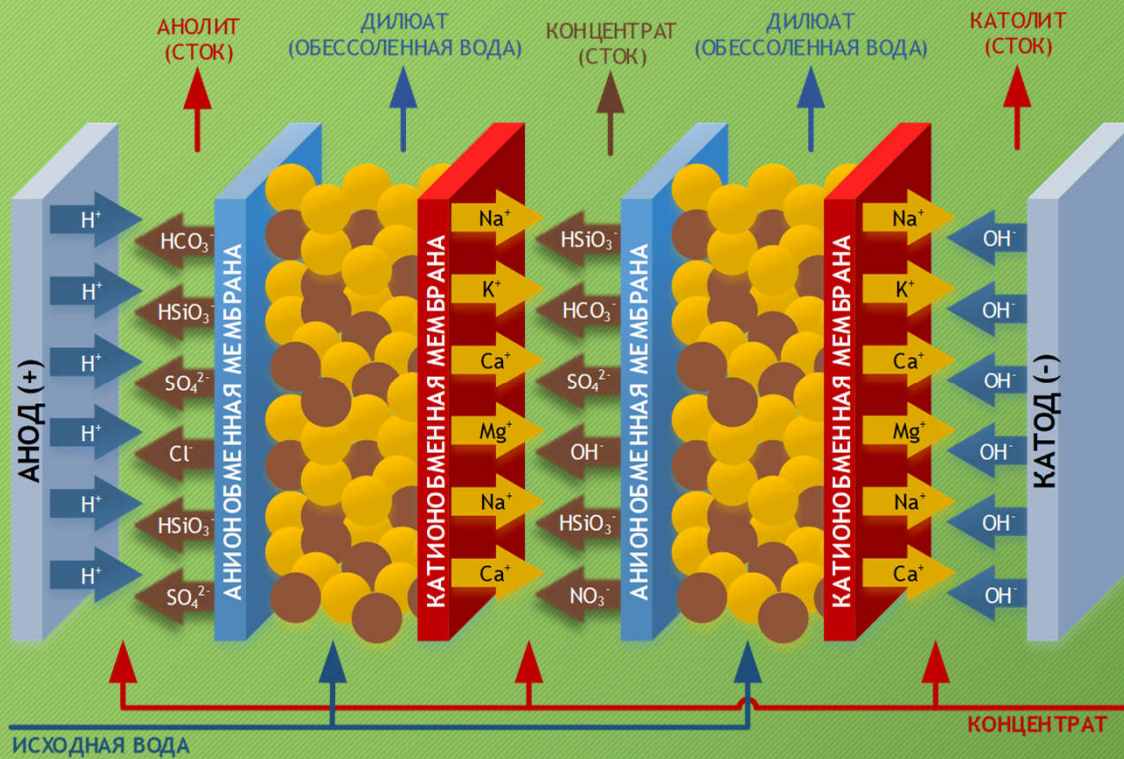
Электродеионизация - это процесс непрерывной деминерализации воды с использованием ионообменных смол, ионоселективных мембран и постоянного электрического поля.

Основной движущей силой процесса электродеионизации является **разность потенциалов** постоянного электрического поля по обе стороны мембранного канала, образованного катионообменной и анионообменной мембранной, заполненного ионообменной смолой.

Именно разность потенциалов обеспечивает **перенос растворенных ионов** из потока воды через ионоселективные мембраны и непрерывную регенерацию ионита.

ОСНОВНЫЕ ПРОЦЕССЫ

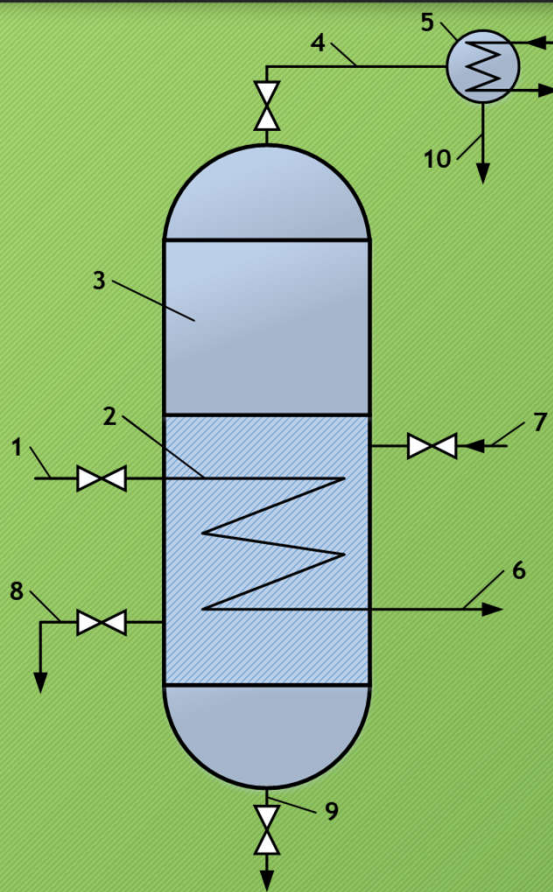
17



1. **Ионный обмен**, при котором растворенные в исходной воде ионы, проходя через слои ионообменных смол, адсорбируются на анионите/катионите, в соответствии с условиями термодинамического равновесия и массопереноса;
2. **Непрерывный отвод ионов** через слои ионита и ионоселективные мембраны в зону концентрата;
3. **Непрерывная регенерация** ионита ионами водорода и гидроксидов, полученными в результате электролиза молекул воды под воздействием постоянного тока.

ДИСТИЛЛЯЦИЯ (ТЕРМИЧЕСКОЕ ОБЕССОЛИВАНИЕ)

18



- ❖ В основе термической подготовки воды положен принцип концентрации примесей имеющихся в воде в процессе парообразования.
- ❖ Добавочной водой при этом является конденсат получаемого пара.
- ❖ Аппараты, в которых происходит процесс парообразования с концентрацией примесей, называются испарителями.

Рисунок - Схема простейшей испарительной установки:

- 1 - подвод первичного пара; 2 - греющая секция; 3 - корпус испарителя;
- 4 - отвод вторичного пара; 5 - конденсатор; 6 - отвод конденсата;
- 7 - подвод питательной воды; 8 - продувка; 9 - опорожнение;
- 10 - отвод дистиллята

ИСПАРИТЕЛИ

19

ПОВЕРХНОСТНОГО ТИПА

Парообразование с концентрацией примесей может происходить в трубной системе (греющей секции)

Питательная вода - химически обработанная (умягченная) и деаэрированная вода:

- методом двухступенчатого Na-катионирования с предварительным известкованием и коагуляцией
- H-Na-катионирования.

МГНОВЕННОГО ВСКИПАНИЯ

Парообразование происходит в объеме при вскипании воды за счет снижения (мгновенного) ее давления

Питательная вода - вода с добавлением мелкодисперсных примесей природного мела или строительного гипса.

Последние играют роль *затравки* для осаждения примесей из воды при кипении ее в объеме.

ИСПАРИТЕЛИ

20



ПОВЕРХНОСТНОГО ТИПА

Для нагрева воды и получения пара из питательной воды в испаритель подводится пар одного из отборов турбины (первичный пар). Получаемый в испарителе пар называют вторичным.

При использовании испарителя для получения **добавочной воды цикла** вторичный пар отводится в **теплообменник** (конденсатор испарителя), где он конденсируется и затем поступает в цикл.

При работе испарителя для **отпуска промышленным потребителям** вторичный пар отводится **потребителю**. Поддержание заданной концентрации примесей в упариваемой питательной воде осуществляется за счет продувки.

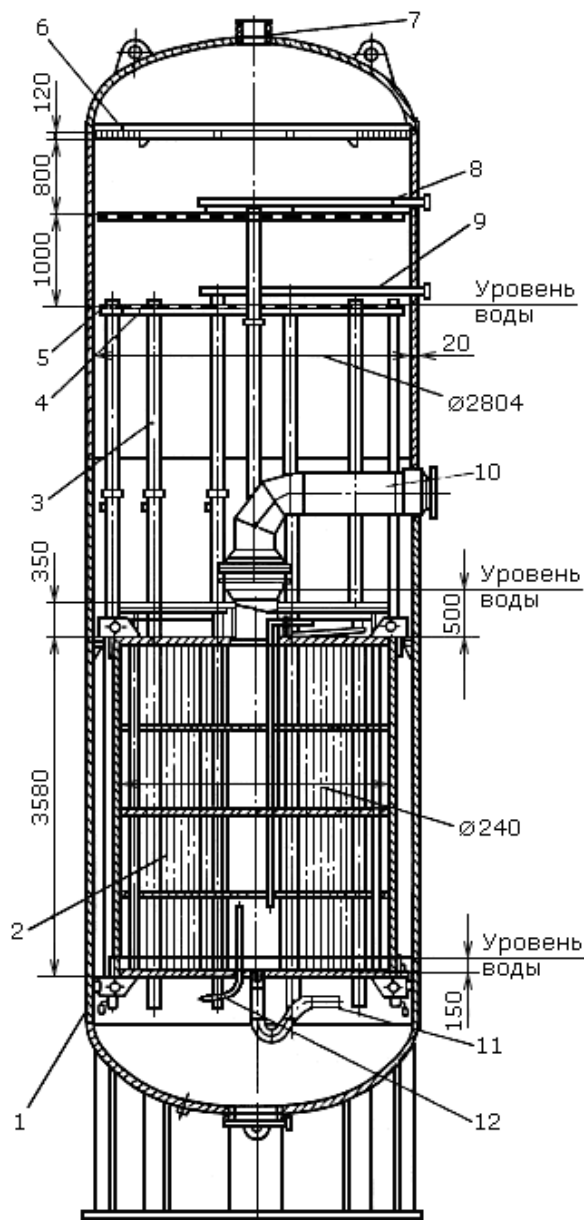


МГНОВЕННОГО ВСКИПАНИЯ

Образование вторичного пара происходит при поступлении в объем воды, температура которой выше температуры насыщения, соответствующей давлению в этом объеме.

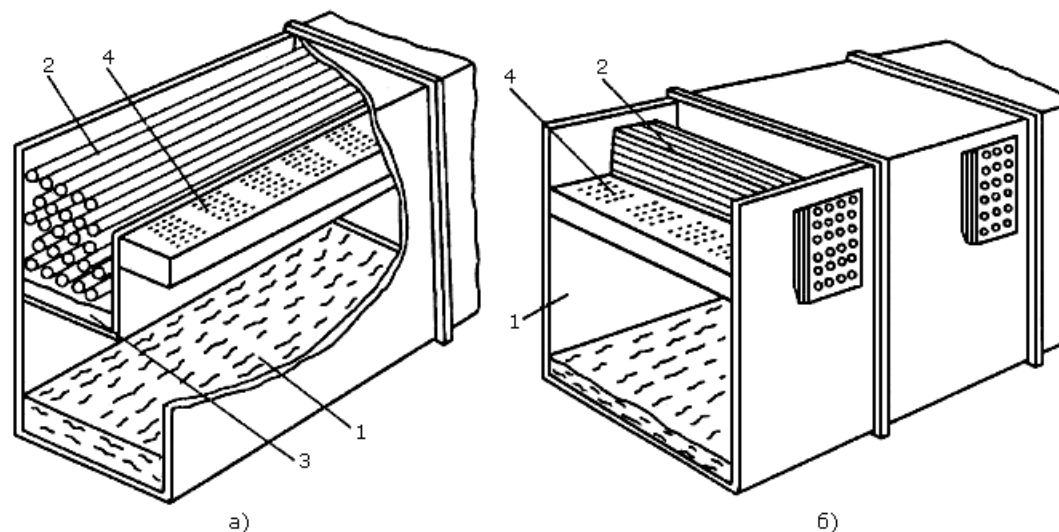
Вторичный пар из объема, в котором происходит расширение воды с его образованием, конденсируется в конденсаторе (конденсаторе испарителя).

В многоступенчатых испарителях мгновенного вскипания неиспарившаяся в объеме первой ступени вода поступает в объем второй ступени и т.д. При этом давление в объемах расширения последовательно снижается.



Конструкция испарителя поверхностного типа:

1 - корпус; 2 - греющая секция; 3 - опускная труба; 4 - дырчатый паропромывочный лист; 5 - перелив; 6 - жалюзийный сепаратор; 7 - отвод вторичного пара; 8 - подвод конденсата на паропромывочный лист; 9 - подвод питательной воды; 10 - подвод греющего пара; 11 - отвод конденсата греющего пара; 12 - отвод неконденсирующихся газов



Конструкция камер многоступенчатых испарительных установок:

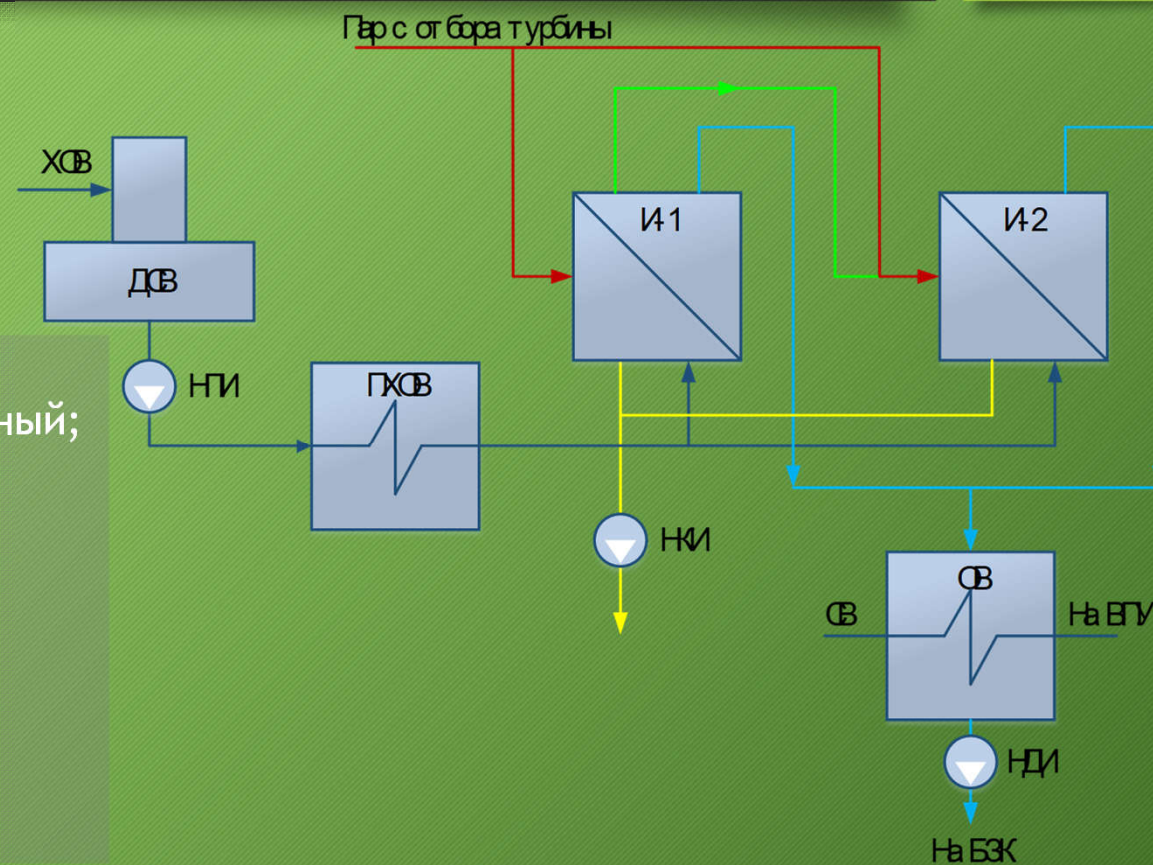
а) с продольным расположением конденсаторов; б) с поперечным расположением конденсаторов; 1 - камера испарения; 2 - трубки конденсатора; 3 - сборник дистиллята; 4 - сепаратор

ИСПАРИТЕЛИ ПОВЕРХНОСТНОГО ТИПА

22

- ОДНОСТУПЕНЧАТЫЕ
- МНОГОСТУПЕНЧАТЫЕ

ХОВ - химически очищенная вода;
ДСВ - деаэратор струйно-барботажный вакуумный;
НПИ - насос питания испарителей;
ПХОВ - подогреватель ХОВ;
И - испаритель;
НКИ - насос конденсата испарителей;
ОВ - охладитель вторичного пара;
НДИ - насос дистиллята испарителей;
БЗК - бак запаса конденсата
СВ - сырая вода



ПРИМЕНЕНИЕ

23

ТЭЦ

- МИУ с ИПТ - для отпуска пара промышленным потребителям. При этом в цикле ТЭЦ полностью сохраняется рабочее тело, и восполняются внутренние потери пара и конденсата.
- МИУ с ИМВ - для опреснения морской воды.

АЭС

- для подготовки добавочной воды;
- в системе спецводоочистки для очистки продувочной воды первого контура;
- радиоактивных вод бассейнов выдержки твэлов;
- сбросных вод;
- вод санпропускника;
- для генерации пара, который используется для уплотнения турбины и как рабочее тело эжекторных установок (на одноконтурных АЭС).

* Во всех этих случаях в испарительных установках вода освобождается от растворенных в ней радиоактивных твердых веществ.

** Для очистки радиоактивных промывочных вод, вод бассейнов выдержки и прочих активных сбросных вод применяют ОИУ.

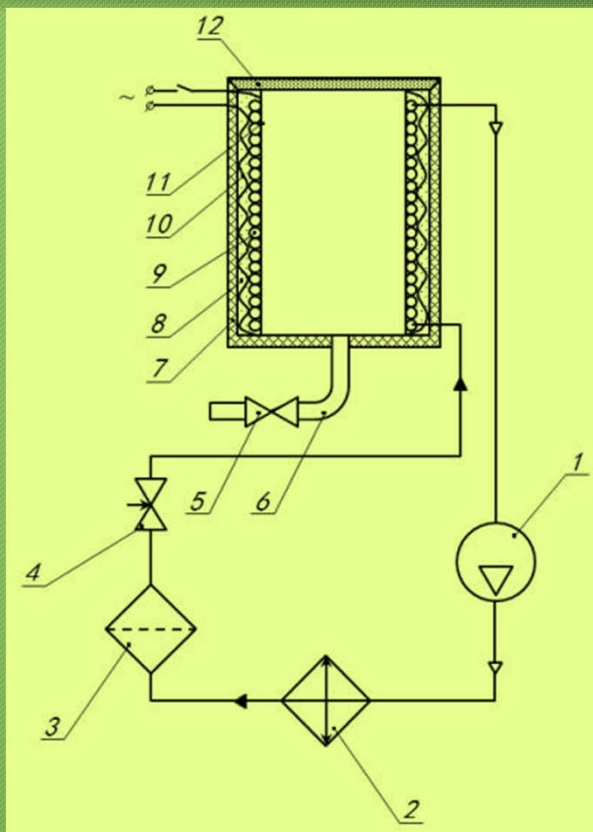
*** Для очистки продувочных вод первого контура применяют обычно МИУ.

ВЫМОРАЖИВАНИЕ

24

Данный метод **основан** на том, что в естественных природных условиях **лед**, образующийся из морской воды, является **пресным**, т.к. образование кристаллов льда при температуре ниже температуры замерзания происходит только из молекул воды (явление криоскопии).

Замораживание морской воды проводят в кристаллизаторах в условиях непосредственного контакта охлаждаемого раствора с хладагентом - газообразным или жидким.



КРИСТАЛЛИЗАТОР ЕМКОСТНОГО ТИПА*

- 1 - дроссельное устройство,
- 2 - фильтр-осушитель,
- 3 - конденсатор,
- 4 - компрессор,
- 5 - запорный вентиль,
- 6 - сливной трубопровод,
- 7 - цилиндрическая емкость 1,
- 8 - хладагент,
- 9 - испаритель-змеевик,
- 10 - термоэлектронагреватель
- 11 - цилиндрическая емкость 2,
- 12 - крышка.

*ФГБОУ ВПО «Кемеровский технологический институт пищевой промышленности», Россия

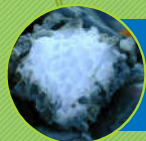
ГАЗОГИДРАТНЫЙ МЕТОД

25

Газогидратный метод основан на способности углеводородных газов при определенном давлении и температуре создавать с участием воды соединения клатратного типа (газогидраты).



Обработка замороженной соленой воды гидрат образующим газом (вторичный хладагент)



Формирование кристаллов газогидратов



Отделение кристаллов от рассола



Плавка кристаллов, получение пресной воды

Углеводородные газы: пропан, циклопропан, бутан, изобутан, этилен, фреон-31, фреон-40 и др.

Общая формула газогидрата $M \cdot nH_2O$
(M – молекула гидратобразующего газа).

В зависимости от природы газа и условий проведения процесса, газогидраты образуются из 46 молекул воды и 6 или 8 молекул газа.

ГАЗОГИДРАТЫ-НОВЫЙ ЭНЕРГОРЕСУРС?