

# ОБРАБОТКА ВОДЫ НА АЭС

**ЛЕКЦИЯ №1**

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

# ОБЩАЯ ИНФОРМАЦИЯ

2

• Количество кредитов	6
• Общее количество часов	216
• Лекции	32
• Практические занятия	16
• Лабораторные занятия	32
• Самостоятельная работа	136
• Вид промежуточной аттестации	экзамен

# СОДЕРЖАНИЕ КУРСА

3

- **ЛК:** «Придешь, узнаешь, поймешь»
- **ПР:** «Придешь, узнаешь, посчитаешь»
- **ЛБ:** «Прочитаешь, посмотришь, сделаешь»

*ИЛИ*

- **ЛК:** 16 занятий теоретического курса
- **ПР:** 8 занятий - Расчет ВПУ
- **ЛБ:** 16 занятий = 3 ЛБ + защита + ДЗ

# РЕЙТИНГ

4

ВИД	БАЛЛЫ
• Лекции (контрольные работы)	20
Лабораторные занятия:	
• №1 - 10 баллов	
• №2 - 10 баллов	35
• №3 - 10 баллов	
• ДЗ (Презентация, Реферат и тд.) - 5 баллов	
Практические занятия	25
Допуск к аттестации	Min - 35 / Max - 80
Экзамен	Min - 12 / Max - 20
Итого	Min - 55 / Max - 100

# ЛИТЕРАТУРА

5

1. Копылов А.С., Лавыгин В.М., Очков В.Ф. Водоподготовка в энергетике: учебное пособие для вузов. - М.: Издательский дом МЭИ, 2006. - 309 с.
2. Маргулова Т.Х., Мартынова О.И. Водные режимы тепловых и атомных электростанций: учебник для вузов. - М.: Высшая школа, 1981. - 320 с.



- Расчет водоподготовительной установки : методические указания для выполнения индивидуального домашнего задания по дисциплинам «Технология подготовки воды», «Водоподготовка», «Обработка воды на АЭС» для студентов IV курса, обучающихся по направлениям 14.05.02 «Атомные станции: проектирование, эксплуатация и инжиниринг», 13.03.01 «Теплоэнергетика и теплотехника», 13.03.03 «Энергетическое машиностроение» [Электронный ресурс] / Национальный исследовательский Томский политехнический университет ; сост. **Е. С. Воронцова ; Т. С. Тайлашева ; К. В. Буваков.** — 1 компьютерный файл (pdf; 1.2 МВ). — Томск: Изд-во ТПУ, 2018. — Заглавие с титульного экрана. — Электронная версия печатной публикации. — Доступ из корпоративной сети ТПУ. Схема доступа: <http://www.lib.tpu.ru/fulltext2/m/2018/m044.pdf>
- **Любимова Л.Л., Заворин А.С., Макеев А.А.** Технология подготовки воды для контуров котлов, парогенераторов, реакторов и систем их обеспечения: Учебное пособие. - Томск: Изд. ТПУ, 2009. - 293 с.

- **ГОСТ 26841-86.** Водно-химический режим атомных электростанций с кипящими реакторами большой мощности. Нормы качества водного теплоносителя основного контура и контура системы управления и защиты, средства их обеспечения.
- **СТО 1.1.1.07.003.0818-2010.** Водно-химический режим второго контура атомных электростанций с реакторами ВВЭР-1000. Нормы качества теплоносителя и средства их обеспечения.
- **СТО 1.1.1.07.003.0368-2011.** Входной и эксплуатационный контроль ионитов на атомных электростанциях. Методики выполнения измерений.
- **СТО 1.1.1.02.013.0715-2009.** Водно-химический режим основного технологического контура и вспомогательных систем атомных электростанций с реактором РБМК-1000. Нормы качества рабочей среды и средства их обеспечения.
- **СТО 1.1.1.002.05.0004-2012.** Водно-химический режим первого контура энергоблоков атомных электростанций с реакторами ВВЭР-1000. Нормы качества теплоносителя и средства их обеспечения.

# ТЕМА 0. ВВЕДЕНИЕ

8



# ВОДА В ЭНЕРГЕТИКЕ

9

## Основные требования к теплоносителю:

1. Малая коррозионная агрессивность.
2. Высокая теплоемкость и теплопроводность.
3. Малая вязкость.
4. Малое сечение захвата тепловых нейтронов.
5. Химическая, температурная и радиационная стойкость.
6. Слабая активация.
7. Негорючесть, нетоксичность, взрывобезопасность.
8. Низкая стоимость.

# ВОДА В ЭНЕРГЕТИКЕ

10

## Достоинства природной воды как теплоносителя :

- Дешевизна и распространенность в природе.
- Малая вязкость.
- Высокая теплоемкость.
- Относительная простота и освоенность приготовления.
- Негорючесть, нетоксичность, взрывобезопасность.
- Хорошие теплопередающие свойства.

## Недостатки воды как теплоносителя :

- Высокое сечение захвата тепловых нейтронов.
- Радиоллиз - разложение под действием ионизирующих излучений.
- Относительно высокая активация.
- Коррозионная агрессивность.
- Низкая температура кипения.

# ВОДА В ЭНЕРГЕТИКЕ

11

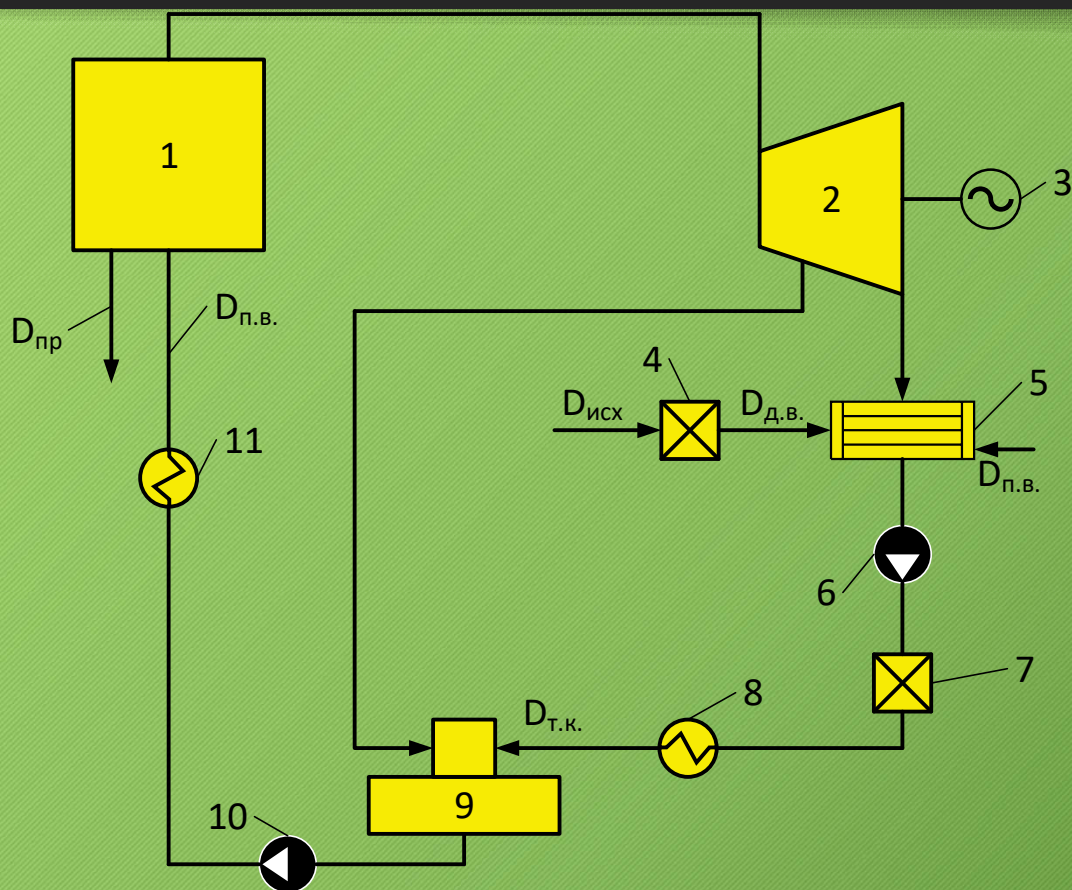
## ТРЕБУЕТСЯ:

- Для заполнения и подпитки контуров АЭС,
- Для паровых котлов, испарителей, паропреобразователей, тепловых сетей с открытой или закрытой системой горячего водоснабжения (включая водогрейные котлы),
- Как охлаждающая среда конденсаторов пара турбин,
- Для биологической защиты,
- Для собственных нужд ВПУ,
- Является теплоносителем, охлаждающей средой и технологическим сырьем для получения пара.



# ТЕПЛОВАЯ СХЕМА КЭС

13



- 1 - котел, кипящий реактор; парогенератор;
- 2 - конденсационная турбина;
- 3 - электрогенератор;
- 4 - водоподготовительная установка (ВПУ);
- 5 - конденсатор турбины;
- 6 - конденсатный насос;
- 7 - блочная обессоливающая установка (БОУ);
- 8 - ПНД;
- 9 - деаэратор;
- 10 - питательный насос;
- 11 - ПВД

# ПОТОКИ ВОДЫ

14

- **Природная (техническая) вода ( $D_{исх}$ )** - используется в качестве исходного сырья на водоподготовительной установке, а также для других целей на ТЭС и АЭС
- **Добавочная вода ( $D_{д.в.}$ )** - направляется в контур для восполнения потерь пара и конденсата после обработки с применением физико-химических методов очистки
- **Турбинный конденсат ( $D_{т.к.}$ )**, содержащий незначительное количество растворенных и взвешенных примесей, — основная составляющая питательной воды
- **Возвратный конденсат ( $D_{в.к.}$ )** от внешних потребителей пара используется после очистки от внесенных загрязнений. Он является составной частью питательной воды
- **Питательная вода ( $D_{п.в.}$ )**, подаваемая в котлы, парогенераторы или реакторы для замещения испарившейся воды в этих агрегатах, представляет собой главным образом смесь турбинного и возвратного конденсата, добавочной воды, а также конденсата регенеративных подогревателей
- **Котловая вода, вода парогенератора ( $D_{к.в.}$ )** — вода, находящаяся в элементах указанных агрегатов
- **Продувочная вода ( $D_{п.р.}$ )** — выводимая из котла, парогенератора или реактора вода на очистку или в дренаж для поддержания в испаряемой (котловой) воде заданной концентрации примесей
- **Охлаждающая или циркуляционная вода ( $D_{о.в.}$ )** используется в конденсаторах паровых турбин для конденсации отработавшего пара
- **Подпиточная вода ( $D_{в.п.}$ )** подается в тепловые сети для восполнения потерь циркулирующей в них воды

# ЗАГРЯЗНЕНИЯ

15

ИСТОЧНИК ЗАГРЯЗНЕНИЙ	ХАРАКТЕРИСТИКА
Добавочная вода	В зависимости от схемы очистки может содержать в различных концентрациях соли натрия и аммония, кремниевую кислоту, соединения железа, органические вещества, растворенные газы
Присосы охлаждающей воды	Все примеси природных вод в количестве, соответствующем удельному значению присоса
Коррозия конструкционных материалов	Оксиды и ионы железа, меди, алюминия, цинка, никеля, хрома и других элементов
Возвратный конденсат от внешних потребителей пара на ТЭЦ	Оксиды железа, нефтепродукты, ионы кальция и магния, специфические загрязнения, определяемые типом пароиспользующего предприятия
Неплотности тепловыделяющих элементов АЭС и радиационно-химические реакции в теплоносителе	Радионуклиды различных типов, аммиак, пероксид водорода

# ТЕМА 1. ПРИМЕСИ ПРИРОДНЫХ ВОД

16



# ПРИМЕСИ ПРИРОДНЫХ ВОД

17

В соответствии с основными звеньями круговорота воды в природе *различают* :

- *атмосферную (дождь, туман, снег)*

- *поверхностную (реки, озера, пруды, болота),*
- *грунтовую (артезианские скважины),*
- *морскую (моря, океаны).*

Выпадающая на земную поверхность из атмосферы, является наиболее чистой природной водой, но и она содержит, кроме газов (кислорода, азота, углекислоты), органические и неорганические вещества, количество и состав которых зависят от характера атмосферы.

Эти воды содержат то или иное количество растворимых и нерастворимых механических примесей. Просачиваясь через верхние слои почвы, вода освобождается от механических примесей, но одновременно обогащается солями, газами и органическими веществами, представляющими собой продукты разложения растительных и животных организмов.

# ПРИМЕСИ ПРИРОДНЫХ ВОД

18

## ПРИРОДНЫЕ ВОДЫ КЛАССИФИЦИРУЮТСЯ:

### *По химическому составу*

- минеральные - растворенные в воде содержащиеся в атмосфере газы  $N_2$ ,  $O_2$ ,  $CO_2$ , а также газы, вносимые сточными водами, различные соли, кислоты, основания.
- органические - гумусовые вещества в виде гуминовых кислот, коллоидных соединений фульвокислот, истинно растворенные фульвокислоты.

### *По степени дисперсности*

- грубодисперсные с размером частиц  $> 100$  нм (мкм);
- коллоиднодисперсные с размером частиц от 1 до 100 нм;
- истинно-растворенные (ионно- или молекулярнодисперсные) с размером частиц  $< 1$  нм.

# ПРИМЕСИ ПРИРОДНЫХ ВОД

19

**Грубодисперсные примеси** обуславливают мутность природных вод, являются механическими примесями, состоящими из песка, глины и других частиц минерального и органического происхождения. Эти загрязнения характеризуются весовым количеством, содержащимся в единице объема воды ( $\text{мг/дм}^3$ ,  $\text{г/дм}^3$ ). Удаление грубодисперсных примесей является первой технологической операцией обработки воды.

**Коллоиднодисперсные** присутствуют в воде вещества как органического так и минерального происхождения. Органические вещества в виде гуминовых кислот окрашивают воду в желтый цвет и вызывают помутнение воды. Из неорганических веществ в коллоидном состоянии присутствуют в воде соединения **железа, кремния и алюминия**.

Коллоидные примеси затрудняют работу паровых котлов, повышая склонность котловой воды к вспениванию. Поэтому их необходимо удалить из воды при ее обработке.

**Истинно-растворенные** - растворенные в воде соли, кислоты, щелочи и газы.

В природных водах присутствуют следующие наиболее распространенные ионы:

$\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{HSiO}_3^-$ . Ионы  $\text{CO}_3^{2-}$ ,  $\text{H}^+$ ,  $\text{OH}^-$ ,  $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{NO}_2^-$ ,  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{Fe}^{2+}$ ,  $\text{Cu}^{2+}$  и другие содержатся в природных водах в незначительных количествах

# ПРИМЕСИ ПРИРОДНЫХ ВОД

20

## ГЛАВНЫЕ КАТИОНЫ И АНИОНЫ

Механизм поступления примесей в природную воду формирует постоянство важнейших ионов, содержащихся в различных водотоках и водоемах

	Катион	Анион	Концентрация, мг/кг
I	$\text{Na}^+$ , $\text{K}^+$ , $\text{Ca}^{2+}$ , $\text{Mg}^{2+}$	$\text{HCO}_3^-$ , $\text{Cl}^-$ , $\text{SO}_4^{2-}$	От нескольких единиц до десятков тысяч
II	$\text{NH}_4^+$ , $\text{Fe}^{2+}$ , $\text{Mn}^{2+}$	$\text{HSiO}_3^-$ , $\text{F}^-$ , $\text{NO}_3^{2-}$ , $\text{CO}_3^{2-}$	От десятых долей до единиц
III	$\text{Ni}^{2+}$ , $\text{Cu}^{2+}$ , $\text{Zn}^{2+}$ , $\text{Al}^{3+}$	$\text{HS}^-$ , $\text{I}^-$ , $\text{NO}_2^-$ , $\text{H}_2\text{PO}_4^-$	Менее десятых долей

# ПРИМЕСИ ПРИРОДНЫХ ВОД

21

## ХАРАКТЕРИСТИКИ ИОНИЗИРОВАННЫХ ПРИМЕСЕЙ ВОДЫ

### 1. $\text{Na}^+$ , $\text{K}^+$

Ионы натрия и калия - группа устойчивых примесей, не образуют труднорастворимых солей, концентрация этих щелочных металлов с увеличением минерализации воды возрастает. Их основные соли  $\text{NaCl}$ ,  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ , щелочные  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ,  $\text{NaHCO}_3$ ,  $\text{NaOH}$ . Щелочные компоненты очень опасны, от них обязательно нужно избавиться.

### 2. $\text{Ca}^{2+}$ , $\text{Mg}^{2+}$

Ионы  $\text{Ca}^{2+}$  в маломинерализованных водах по количеству занимают первое место. Жесткость воды определяется только концентрацией двух катионов  $\text{Ca}^{2+}$  и  $\text{Mg}^{2+}$ . Ионы  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$  являются основными накипеобразователями.  $\text{CaCO}_3$ ,  $\text{MgSO}_4$ ,  $\text{CaCO}_3$ ,  $\text{MgCO}_3$ ,  $\text{Mg}(\text{OH})_2$  - основные соли. С ростом минерализации природных вод относительное содержание ионов  $\text{Ca}^{2+}$  уменьшается, т.к.  $\text{CaCO}_3$  и  $\text{MgCO}_3$  при увеличении их концентрации из-за испарения воды переходят в твердую фазу вследствие их малой растворимости.

**Na 11**  
22,98977

Natrium  
Натрий

**K 19**  
39,0983

Kalium  
Калий

**Ca 20**  
40,078

Calcium  
Кальций

**Mg 12**  
24,30

Magnesium  
Магний

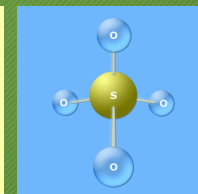
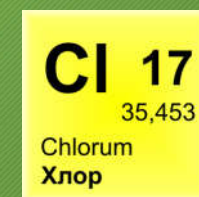
# ПРИМЕСИ ПРИРОДНЫХ ВОД

22

## ХАРАКТЕРИСТИКИ ИОНИЗИРОВАННЫХ ПРИМЕСЕЙ ВОДЫ

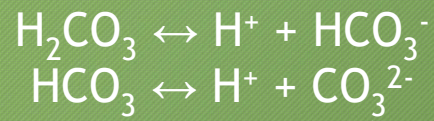
### 3. Ионы $\text{Cl}^-$ и $\text{SO}_4^{2-}$

Ионы  $\text{Cl}^-$  и  $\text{SO}_4^{2-}$  относятся к числу устойчивых примесей и не образуют труднорастворимых примесей и не подвергаются гидролизу. Распространены повсеместно.

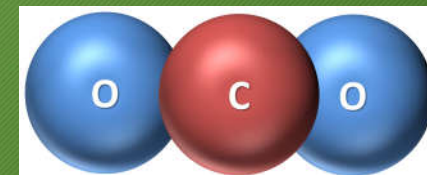


### 4. Анионы угольной кислоты

Угольная кислота является двухосновной и имеет две ступени диссоциации:



В природных водах, кроме так называемой «свободной» углекислоты, находящейся в них в виде растворенного углекислого газа  $\text{CO}_2$ , и недиссоциированных молекул угольной кислоты  $\text{H}_2\text{CO}_3$  содержатся бикарбонатные ионы  $\text{HCO}_3^-$ , а в некоторых случаях карбонатные ионы  $\text{CO}_3^{2-}$ .



# ПРИМЕСИ ПРИРОДНЫХ ВОД

23

## ХАРАКТЕРИСТИКИ ИОНИЗИРОВАННЫХ ПРИМЕСЕЙ ВОДЫ

Все формы этой кислоты находятся в  $\text{H}_2\text{O}$  в кинетическом равновесии:



Из уравнения следует, что для поддержания в растворе определенной концентрации  $\text{HCO}_3^-$  требуется, чтобы в воде присутствовало соответствующее этой концентрации количество «свободной» равновесной углекислоты  $\text{CO}_2$ .

А) Если фактически содержащееся в воде количество свободной углекислоты больше «равновесной концентрации», то избыток ее будет способен вызывать растворение  $\text{CaCO}_3$  при контакте воды, с известняками, доломитами и бетонными сооружениями. Таковую воду называют «агрессивной».



Б) При недостатке  $\text{CO}_2$  по сравнению с равновесной концентрацией будет наблюдаться распад части бикарбонатных ионов, т.е. сдвиг равновесия вправо. Это приведет к образованию дополнительного количества карбонатных ионов  $\text{CO}_3^{2-}$ , которые реагируют с катионами  $\text{Ca}^{2+}$ .



Такая вода называется **нестабильной** в отношении образования карбонатов кальция.

# ПРИМЕСИ ПРИРОДНЫХ ВОД

24

## ХАРАКТЕРИСТИКИ ИОНИЗИРОВАННЫХ ПРИМЕСЕЙ ВОДЫ

### 5. Ионы соединения азота

Встречаются в природной воде в виде ионов аммония  $\text{NH}_4^+$ , нитритных ионов  $\text{NO}_2^-$ , и нитратных ионов  $\text{NO}_3^-$ . Основным источником этих ионов являются продукты распада различных сложных органических веществ.

Ионы аммония  $\text{NH}_4^+$  попадают со сложными промышленными водами. При достаточном количестве кислорода и особого вида бактерий ионы аммония окисляются в нитритные и нитратные ионы.

**N** 7  
14,0067  
Nitrogenium  
Азот

### 6. $\text{FeO}$ и $\text{Fe}_2\text{O}_3$ или $\text{Fe}^{2+}$ и $\text{Fe}^{3+}$

Встречается в виде двухвалентного (закисного)  $\text{FeO}$ , трехвалентного (окисного)  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  железа. Эти соединения могут быть в истинно растворенном состоянии, в виде коллоидов и суспензий. Концентрация  $\text{Fe}^{2+}$  и  $\text{Fe}^{3+}$  в исходной воде может увеличиться в процессе транспортировки ее по стальным и чугунным трубам в результате загрязнения воды продуктами коррозии.

**26 Fe**  
55,847  
Ferrum  
Железо



# ПРИМЕСИ ПРИРОДНЫХ ВОД

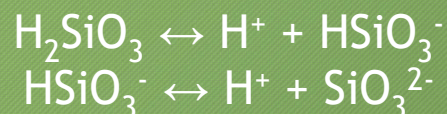
25

## ХАРАКТЕРИСТИКИ ИОНИЗИРОВАННЫХ ПРИМЕСЕЙ ВОДЫ

### 7. Соединения кремния $\text{SiO}_2$ и $\text{HSiO}_3^-$

Кремниевый ангидрид способен присоединять разные количества молекул воды, образуя различные кислоты с общей формулой  $m\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ .

Кремниевая кислота является двухосновной и имеет две степени диссоциации:



Растворимость кремниевой кислоты в природных водах зависит от ряда факторов и в первую очередь от ионного состава воды и величины pH.

