

ОБРАБОТКА ВОДЫ НА АЭС

ЛЕКЦИЯ №2

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

ТЕМА 2. ПОКАЗАТЕЛИ КАЧЕСТВА ВОДЫ

2

ПРИМЕСИ В КОНТУРНЫХ ВОДАХ

3

Происхождение	Характеристика
Естественные	Примеси природных вод, попадающие в контур через неплотности трубок конденсаторов с недостаточно очищенной добавочной водой (соли, кремниевая кислота, органические соединения)
Образующиеся в самом контуре	Продукты коррозии всех конструкционных материалов контуров (оксиды и их гидраты, продукты деления ядерного топлива - радиоактивные изотопы йода, цезия, стронция, благородных газов и т.д.)
Специально вводимые реагенты для коррекции водного режима	Корректирующие реагенты (в соответствии с механизмом их воздействия на свойства растворов): <ol style="list-style-type: none">1. Связывающие накипеобразующие ионы;2. Связывающие накипе- и шламообразующие примеси;3. Регулирующие реакцию среды (значения pH) с целью снижения ее коррозионной активности;4. Соединения элементов, ядра которых используются для регулирования мощности реакторов;5. Регулирующие окислительно-восстановительное равновесие;6. Пленкообразующие реагенты и реагенты, оказывающие влияние на поверхностное натяжение в двухфазной области вода-пар;7. Высокомолекулярные органические антинакипины и стабилизаторы коллоидных частиц твердой фазы солей и продуктов коррозии.

ПОКАЗАТЕЛИ КАЧЕСТВА ВОДЫ

4

ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ ПРИРОДНЫХ ВОД

- Концентрация ГДП (взвешенные вещества);
- Концентрация ионов Na, K, Ca, Mg, Fe, NH₄, HCO₃, Cl, SO₄, NO₃, NO₂;
- Показатель pH
- Удельная проводимость;
- Технологические показатели.

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ

- Жесткость;
- Щелочность;
- Сухой остаток;
- Окисляемость (органические вещества);
- Концентрация коррозионно-активных газов;
- и др.



ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ

5

Содержание грубодисперсных (взвешенных) примесей веществ

выражается в мг/кг и определяют фильтрованием 1 л пробы воды через бумажный фильтр, который затем высушивают при $t=105-110^{\circ}\text{C}$ до постоянной массы.

Этот способ точен, но трудоемок, поэтому часто используют косвенный метод определения взвешенных веществ по прозрачности и мутности воды.



ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ

6

Прозрачность

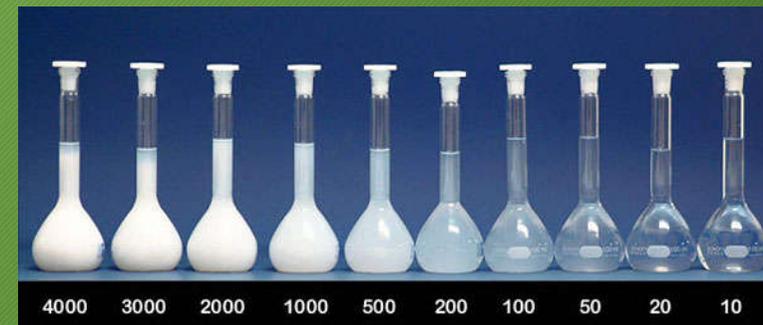
определяется с помощью методов шрифта и креста.

По шрифту: используют стеклянный цилиндр высотой 30 см, под дно которого подложен определенный шрифт. Столб воды в см, через который еще можно прочесть текст и определяет прозрачность воды.

По кресту: трубка длиной 350 см, диаметром 3 см, на дно помещается бумажный круг с крестом, имеющим ширину линий 1 мм.



Мутность воды, пропорциональную содержанию в воде взвешенных частиц, определяют, сравнивая анализируемую пробу с определенным эталоном мутности.



ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ

7

Концентрация основных ионов-примесей определяется методами химического анализа и выражают в мг/дм³ или мг-экв/дм³.

Правильность определения концентраций катионов и анионов, т.е. солей, образованных эквивалентным количеством ионов, проверяют на основании **закона электронейтральности** по уравнению

$$\sum C_{\text{кат}} = \sum C_{\text{ан}}$$

или

$$\frac{C_{Ca^{2+}}}{20,04} + \frac{C_{Mg^{2+}}}{12,16} + \frac{C_{Na^+}}{23,00} + \frac{C_{K^+}}{39,16} = \frac{C_{HCO_3^-}}{61,02} + \frac{C_{Cl^-}}{35,46} + \frac{C_{SO_4^{2-}}}{48,03} + \frac{C_{NO_3^-}}{62,01}$$

т.е. $\frac{\text{массовые концентрации ионов}}{\text{эквивалентные массы}}$

При этом погрешность должна быть **не более 1%**

ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ

8

Показатель концентрации водородных ионов (рН) воды характеризует реакцию воды (кислая, щелочная, нейтральная) и учитывается при всех видах обработки воды.

Водородные H^+ и гидроксильные OH^- ионы появляются в воде в результате ее диссоциации:



Водородные ионы могут появиться в растворах также в результате диссоциации кислот, например: $HCl \leftrightarrow H^+ + Cl^-$

Гидроксильные ионы в результате диссоциации щелочей, например: $NaOH \leftrightarrow Na^+ + OH^-$

В химически чистой воде при $t=23^\circ C$ концентрации и равны 10^{-7} г·ион/кг и характеризуют нейтральную реакцию жидкости. В кислой среде $>10^{-7}>$, а в щелочной $<10^{-7}<$.

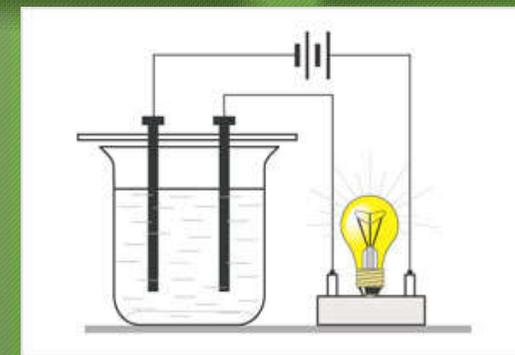
Реакцию раствора удобнее выражать показателями рН и рОН, каждый из которых является отрицательным логарифмом концентрации соответствующего иона: $-lgC_H = 7$

В нейтральной среде $pH = 7 = pOH$. Кислая среда характеризуется неравенством $pH < 7 < pOH$, а щелочная - неравенством $pH > 7 > pOH$.

ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ

9

Удельная электрическая проводимость, См/см - характеризуется электрической проводимостью слоя воды, находящегося между двумя противоположными гранями куба с ребром, равным 10^{-2} м.



Указывает на суммарную концентрацию ионно-дисперсных примесей.

Зависит от температуры, концентрации и типа электролита, степени его диссоциации и скорости движения ионов.

Измеряется методами кондуктометрии.

Удельная электропроводимость воды, не содержащей примесей, при $25\text{ }^{\circ}\text{C}$ составляет $0,063\text{ мкСм/см}$ и определяется переносом в электрическом поле только ионов H^+ и OH^- .

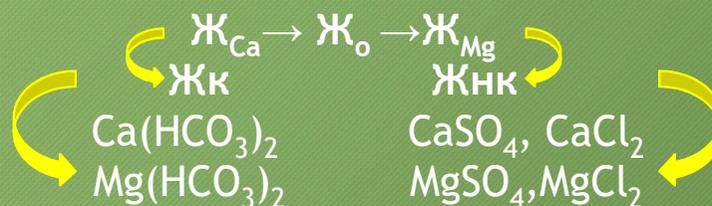
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ

10

Жесткость - суммарная концентрация ионов кальция и магния, выражаемая в мг-экв/дм³, при малых значениях - в мкг-экв/дм³.

По преобладающему катиону общая жесткость подразделяется на *кальциевую* J_{Ca} и *магниевую* J_{Mg} .

Общая жесткость воды подразделяется на **карбонатную** и **некарбонатную**.



Карбонатная жесткость (Жк) обусловлена присутствием в воде бикарбонатов кальция и магния.

Некарбонатная жесткость воды (Жнк) обусловлена наличием в воде хлоридов, сульфатов и других некарбонатных солей кальция и магния: CaCl₂, MgCl₂, CaSO₄, CaSiO₃, MgSiO₃ и др.

В природных водах, у которых концентрация HCO₃⁻ больше общей жесткости, в мг-экв/дм³: $J_k = J_o$, $J_{нк} = 0$

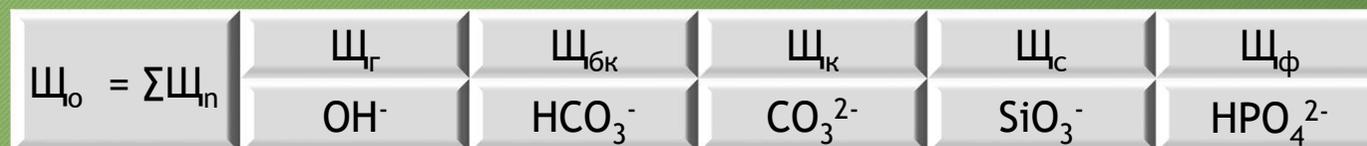
Жесткие воды образуют плотные отложения на теплопередающих поверхностях.

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ

11

Щелочность, мг-экв/дм³ - показатель, определяющий содержание в воде гидроксильных ионов OH^- и анионов слабых кислот HCO_3^- , CO_3^{2-} , PO_4^{3-} , SiO_3^{2-} и др. связанных с катионами Na^+ , K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , которые при диссоциации образуют более сильные щелочи и придают раствору щелочной характер.

Характер анионов слабых кислот, обуславливающих общую щелочность, подразделяет ее на *гидратную* (OH^-), *гидрокарбонатную* (HCO_3^-), *карбонатную* (CO_3^{2-}), *силикатную* ($HSiO_3$, SiO_3^{2-}) и *фосфатную* ($H_2PO_4^-$, HPO_4^{2-} , PO_4^{3-})



Общая щелочность определяется титрованием пробы воды соляной кислотой в присутствии сначала фенолфталеина (Ф), затем метилоранжа (М). Такое титрование позволяет наиболее точно определить наличие отдельных компонентов общей щелочности воды.

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ

12



Сухой остаток, мг/дм^3 - суммарное количество растворенных в воде нелетучих органических и коллоидных веществ.

Определяется путем выпаривания предварительно профильтрованной пробы воды и последующего высушивания остатка при $t = 110 \text{ C}^\circ$ до постоянного веса.

В сухой остаток не входят взвешенные вещества, растворенные в воде газы и летучие вещества.

Сухой остаток позволяет косвенно судить о **солесодержании** воды, т.е. о сумме всех катионов и анионов воде за исключением ионов H^+ и OH^- .



Концентрацию органических примесей более точно определяют добавлением сильных окислителей. Расход окислителя, необходимого для окисления органических примесей, содержащихся в 1 л воды называют **окисляемостью**.

В качестве окислителя применяют перманганат калия или бихромат калия, различая соответственно **перманганатную и бихроматную окисляемость**.

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ

13

Категория вод	Вид вод	Минерализация		Плотность, г/см ³	Соленость, °Be
		г/кг	г/л		
Пресные	Ультрапресные	До 0,1	До 0,1	1,0	–
	Пресные	0,1–0,5	0,1–0,5	1,0–1,0001	0,02
	Умеренно пресные	0,5–1,0	0,5–1,0	1,0001–1,0005	0,02–0,08
Переходные (солончатые)	Слабосолончатые	1–3	1–3	1,0005–1,0015	0,08–0,25
	Солончатые	3–5	3–5	1,0015–1,0025	0,25–0,40
	Сильносолончатые	5,0–10	5,0–10,1	1,0025–1,0055	0,4–0,8
Соленые	Слабосоленые	10–25	10,1–25,4	1,0055–1,0155	0,8–2,2
	Соленые	25–35	25,4–36,0	1,0155–1,025	2,2–3,4
Переходные	Крепосоленые	35–50	36–52	1,025–1,035	3,4–4,8
Рассолы	Слабые	50–75	52–79	1,035–1,055	4,8–7,4
	Средние	75–135	79–150	1,055–1,105	7,4–13,4
	Крепкие	135–270	150–330	1,105–1,225	13,4–26,5
	Весьма крепкие	270–370	330–500	1,225–1,350	26,5–37,0
	Сверхкрепкие	>370	>500	>1,350	>37,0

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ

14

Концентрация растворенных газов в воде зависит от множества факторов:

- природы газа, температуры воды,
- степени минерализации воды,
- парциального давления газа над водой,
- рН воды и т.п.

Это во многих случаях существенно затрудняет их аналитическое определение в технологических процессах и требует специальных методов анализа.

Концентрация CO_2 в природной воде существенно зависит от степени углекислотного равновесия и составляет примерно $0,5 \text{ мг/дм}^3$ ($10^{-5} \text{ моль/дм}^3$) при температуре 293 К . Концентрация O_2 в значительной степени зависит от содержания в воде органических веществ и температуры. При увеличении температуры от 273 до 308 К концентрация кислорода в чистой воде уменьшается от $14,6$ до $6,5 \text{ мг/дм}^3$.

КЛАССИФИКАЦИЯ ВОДЫ

15

По величине общей жесткости

Наименование	Концентрация
Жесткость малая	$< 1,5$ мг-экв/дм ³
Средняя	$1,5 \div 3,0$ мг-экв/дм ³
Повышенная	$3,0 \div 6,0$ мг-экв/дм ³
Высокая	$6,0 \div 12,0$ мг-экв/дм ³
Очень высокая	> 12 мг-экв/дм ³

Солесодержанию

Наименование	Концентрация
Пресная	Солесодержание до 1 г/дм ³
Солоноватая	$1-10$ г/дм ³
Соленая	Более 10 г/дм ³

Преобладающему аниону

Наименование	Соединения
Гидрокарбонатные	$\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$, $\text{Mg}(\text{HCO}_3)_2$, NaHCO_3
Хлоридные	CaCl_2 , MgCl_2 , NaCl
Сульфатные	CaSO_4 , MgSO_4 , Na_2SO_4



- **Стандарты** качества природной воды и воды для коммунально-бытовых и разных производственных потребителей
- **Нормативы** качества воды для систем хозяйственно-питьевого, коммунально-бытового и промышленного водоснабжения и воды водоемов и водотоков
- **Нормативы** качества воды для систем теплоснабжения, горячего водоснабжения, паровых и водогрейных котлов
- **Правила** промышленной безопасности опасных производственных объектов, на которых используется оборудование, работающее под избыточным давлением
- **Правила** устройства и безопасной эксплуатации паровых и водогрейных котлов
- и другие

НОРМЫ КАЧЕСТВА

17

АЭС с РБМК	АЭС с ВВЭР	
ГОСТ 26841-86	СТО 1.1.1.02.005.0004-2012, СТО 1.1.1.07.003.0818-2010	
Показатели качества		
<ul style="list-style-type: none">• Нормируемые• Контролируемые	<ul style="list-style-type: none">• Нормируемые → допустимые значения• Диагностические → контрольные уровни	
<ul style="list-style-type: none">➤ На стадии проектирования➤ Эксплуатации➤ В переходный период➤ Заполнения подпиточной воды➤ Охлаждения контура СУЗ	<i>Первый контур</i>	<i>Второй контур</i>
	<ul style="list-style-type: none">➤ При работе э/б на мощности $>50\% N_{\text{ном}}$➤ На мощности $30\% < N_{\text{ном}} < 50\%$➤ В «горячем состоянии», мощности $< 30\% N_{\text{ном}}$➤ В «холодном состоянии» и др.➤ Подпиточной воды и воды вспомогательных систем	<ul style="list-style-type: none">➤ При работе на мощности $>50\% N_{\text{ном}}$➤ На мощности $< 50\% N_{\text{ном}}$➤ В зависимости от ВХР

НОРМЫ КАЧЕСТВА ТЕПЛОНОСИТЕЛЯ

при работе энергоблока на мощность $>50\% N_{\text{нам}}$

18

Нормируемые показатели

Наименование показателя	Диапазон допустимых значений	Отклонения от допустимых значений		
		Первый уровень	Второй уровень	Третий уровень
Концентрация хлорид иона, мг/дм ³	не более 0,1	-	свыше 0,1 до 0,2	свыше 0,2
Концентрация растворенного кислорода, мг/дм ³	не более 0,005	свыше 0,005 до 0,02	свыше 0,02 до 0,1	свыше 0,1

Диагностические показатели

Наименование показателя	Контрольные значения
Удельная электрическая проводимость, мкСм/см	от 20 до 200
Концентрация аммиака, мг/дм ³ , не менее	5,0
Концентрация железа, мг/дм ³ , не более	0,05
Концентрация натрий иона, мг/дм ³ , не более	0,2
и тд.

ВЫБОР ИСТОЧНИКА И ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ ВОДОПОДГОТОВКИ

19

Выбор источника

Для приготовления добавочной и подпиточной воды на ТЭС и АЭС применяют:

- **воды** поверхностных источников;
- **воды** артезианских скважин;
- **воды** прямоточных и циркуляционных систем охлаждения конденсаторов турбин;
- очищенные сточные **воды** электростанций;
- продувочные **воды** котлов для термических методов водоподготовки

ВЫБОР ИСТОЧНИКА И ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ ВОДОПОДГОТОВКИ

20

При проектировании ВПУ оценивают и определяют:

- источник водоснабжения;
- производительность ВПУ для компенсации потерь в основном цикле;
- производительность ВПУ для подпитки теплосети;
- принципиальную схему ВПУ;
- технологические расчеты;
- чертежи развернутой схемы ВПУ и компоновки оборудования;
- технико-экономические расчетные обоснования принятых решений и т.п.

ВЫБОР ИСТОЧНИКА И ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ ВОДОПОДГОТОВКИ

21

Расчетная производительность ВПУ складывается из четырех основных составляющих:

- восполнение различных стационарных потерь и создания запаса обработанной воды – **3%** от суммарной номинальной производительности основного оборудования;
- восполнение потерь с продувочной водой парогенераторов (барабанных котлов) – **0,5 ... 2%** их производительности;
- восполнение потерь пара на разогрев мазута (используемого как основное или резервное топливо) – производительность ВПУ увеличивается на **0,15 т** на каждую тонну мазута;
- восполнение потерь пара и конденсата, отдаваемого на производство, с **25%** запасом на расчетный не возвращаемый объем конденсата.