

# Основные показатели качества воды. Характеристика примесей природной воды. Коррозия теплоэнергетического оборудования.

Преподаватель:  
Лапутько Марина Львовна

ПАО «ТГК-1» - ведущий производитель электрической и тепловой энергии в Северо-Западном регионе России, вторая в стране по величине установленной электрической мощности. Объединяет электростанции в четырех субъектах РФ: Санкт-Петербурге, Республике Карелия, Ленинградской и Мурманской областях от Балтики до Баренцева моря.

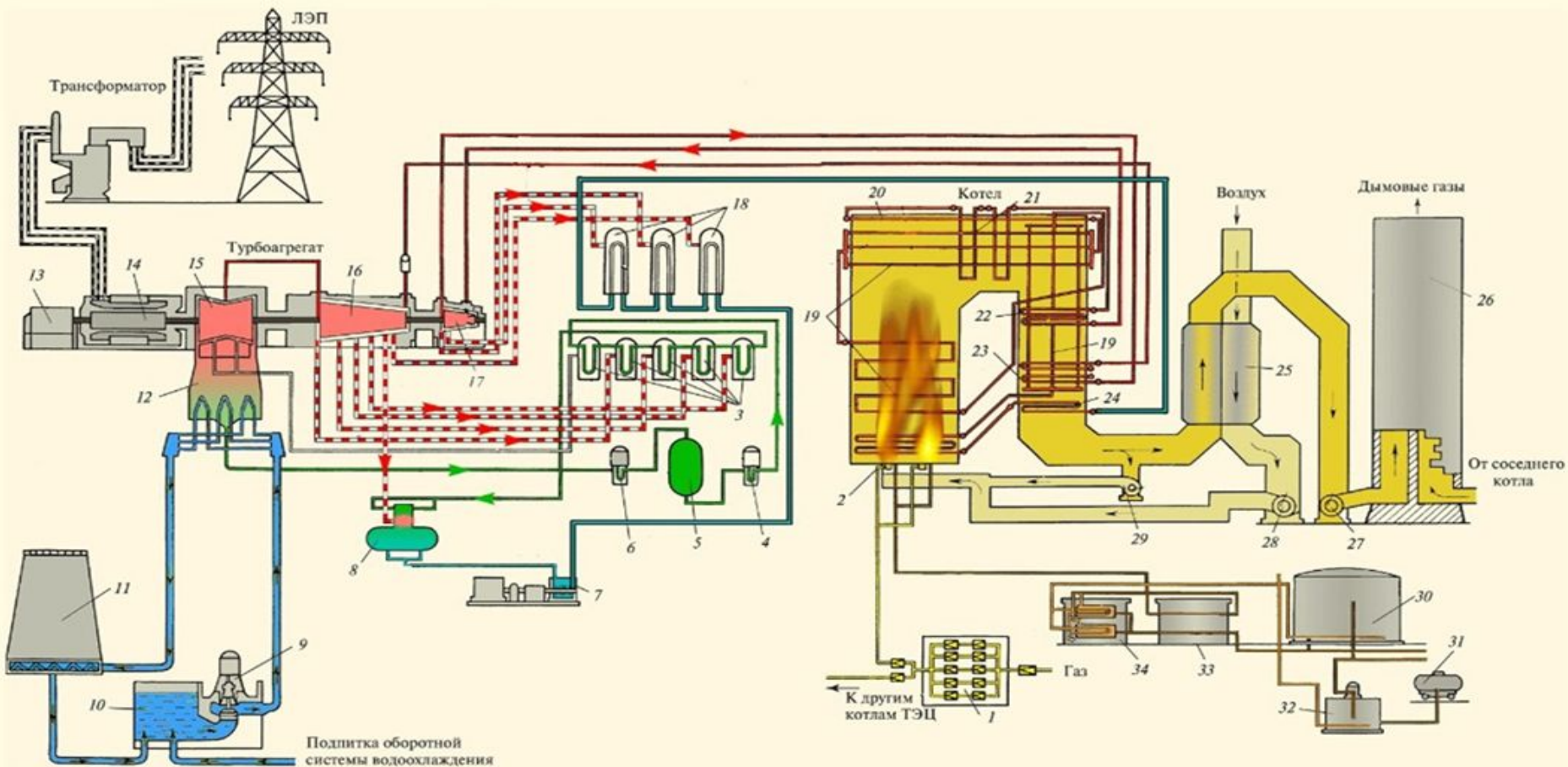
**53 электростанции:**

- ✓ 13 ТЭЦ (суммарная электрическая мощность – 4000 МВт);
- ✓ 40 ГЭС (суммарная электрическая мощность – 3000 МВт)

В состав ПАО «ТГК-1» входят Невский, Кольский и Карельский филиалы. Выработанная электроэнергия прежде всего поставляется на внутренний оптовый рынок, а также частично экспортируется в Финляндию и Норвегию.

№	ТЭЦ	Уст. Мощность МВт/ Гкал/час	Котлы/ турбины/ блоки	Водо- грейные котлы	Водоподготовка	Модернизация
1.	Центральная (1-3) 1999 г.- объединение 494 человек	55 / 1340	17/4/-/-	8	осветление – 2-ст. На- катионирование/	В конце 2016 г. ввод 2ПГУ 100 МВт
2.	Правобережная (5) 2006 г. 479 человека ( ТЭЦ «Красный Октябрь» 1922 – 2010)	630 / 1283	3/1/1/1	8	коагуляция (во флотаторах) - осветление - 2-ст. обессоливание/	1ЭБ-180 МВт ПГУ 450 МВт
3.	Василеостровская (7) 1932 г. 330 человек	135 / 1213	6/3/-/-	6	коагуляция (в осветлителях) - осветление - 2-ст. На- катионирование /230 т/час	
4.	Первомайская (14) 1957 г. 433 человек	524 /1419	3/3/-/2	6	коагуляция (прямоточная) - осветление - 2-ст. обессоливание/300 т/час	2012 2 ПГУ-180
5.	Автовская (15) 1956 г. 375 человек	321 /1849	8/7/-/-	7	коагуляция (в осветлителях) - осветление - 2-ст. обессоливание/ 180 т/час	

№	ТЭЦ	Уст. Мощность МВт/ Гкал/час	Котлы/ турбины/ блоки	Водо- грейные котлы	Водоподготовка	Модернизация
6.	Выборгская (17) 1954 г. 284 человек	250 /1056	6/4/-/-	5	коагуляция (в осветлителях) - осветление - 2-ст. обессоливание/ 220т/час	
7.	Северная (21) 1975 г. 333 человек	500 / 1188	9/ 5 /5/- 5ЭБ -100МВт	2	коагуляция (в осветлителях) - осветление - 2-ст. обессоливание/ 100 т/час	
8.	Южная (22) 1978 г. 613 человек	1207 /2352	3ЭБ -250МВт ПГУ -450 МВт	6	коагуляция (прямоточная) - осветление - 3-ст. обессоливание/ 130 т/час	ЭБ-250 МВт ПГУ-450
9.	Петрозаводская ТЭЦ 1976 г. 374 человека	280 / 689	3/3/-	2	Двухступенчатое обессоливание с предварительной коагуляцией	
10.	Апатитская ТЭЦ 1959 г. 717 человек	230 / 535	8/6/-	-		
11.	Мурманская ТЭЦ 1934 г. 663 человека	12 / 1122	10/2/-	8		



**Химический состав природных вод – совокупность растворенных в природных водах минеральных и органических веществ в ионном, молекулярном, взвешенном и коллоидном состояниях.**

**В природных водах растворены почти все известные на Земле химические элементы, из 87 стабильных химических элементов, установленных в земной коре, в настоящее время в природных водах обнаружены около 80. При повышении чувствительности аналитических методов, очевидно, будут установлены и остальные.**

Характер примесей	Размер примесей	Название растворов
Грубодисперсные, или взвешенные вещества	более 0,1 мкм	<b>Суспензии</b>
Коллоидно-дисперсные	От 0,1 до 0,001 мкм (1нм)	<b>Золи</b>
Ионно - или молекулярно-дисперсные	менее 1нм	<b>Истинные растворы</b>

**Грубодисперсные, или взвешенные вещества, (суспензии) (самые крупные примеси) с размером частиц более 0.1 мкм. В природной воде это могут быть примеси песка, ила, растительных остатков и т.п. Длительно оставаясь во взвешенном состоянии, грубодисперсные примеси обуславливают мутность воды.**

**Чем больше размер частиц грубодисперсных примесей, тем быстрее устанавливается седиментационное равновесие и тем легче выделяются они из воды при отстаивании или фильтровании. Так, скорость отстаивания частиц песка и ила размерами 100 и 20 мкм составляет в неподвижной воде при 10°С соответственно около 7 и 0.4 мм/с.**



**Коллоидно-дисперсные или золи (промежуточные между взвешенными и растворенными) с размером частиц от 0,1 до 0,001 мкм (1нм);**

**Коллоидные примеси представляют собой агломераты из большого числа молекул с наличием поверхности раздела между твердой фазой и водой. Коллоидные частицы не выделяются из воды под действием силы тяжести, не задерживаются обычными фильтрующими материалами (песком, фильтровальной бумагой). Коллоидные растворы обладают способностью светорассеяния, поэтому являются мутноватыми растворами с легкой опалесценцией.**

**Ионно- или молекулярно-дисперсные (истинно-растворенные) - это примеси, распределенные в воде в виде отдельных ионов, молекул. Размер растворенных в воде частиц при этом менее 1нм. К таким примесям относятся подавляющее большинство растворенных в воде солей.**

**Если капельку природной воды нанести на стекло и подождать, пока она испарится, то на месте капли будут видны белые разводы - это кристаллизуются растворимые в воде соли. Содержание солей в природных водах различается в тысячи раз. Например, в литре дождевой воды содержатся единицы, максимум десятки миллиграммов солей.**

Степень минерализации	Кол-во растворенных солей, мг/дм <sup>3</sup>	Характеристика
Низкая минерализация	до 200 мг/дм <sup>3</sup>	ультрапресная вода
Средняя	200 до 500 мг/дм <sup>3</sup>	пресная
Повышенная	500 до 1000 мг/дм <sup>3</sup>	соленоватая
Высокая	1.0 - 3.0 г/дм <sup>3</sup>	соленая
	3 - 10 г/дм <sup>3</sup>	
	10 - 35 г/дм <sup>3</sup>	повышенной солености
	> 35 г/дм <sup>3</sup>	рассол

С минерализацией воды тесно связано понятие электропроводимости (или электропроводности). Минеральную часть воды составляют заряженные ионы:  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{HCO}_3^-$ . Электропроводимость - это численное выражение способности водного раствора проводить электрический ток. Электрическая проводимость природной воды зависит в основном от концентрации растворенных минеральных солей и температуры. Присутствие других ионов, например,  $\text{Fe}^{3+}$ ,  $\text{Fe}^{2+}$ ,  $\text{Mn}^{2+}$ ,  $\text{Al}^{3+}$ ,  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{HPO}_4^{2-}$ ,  $\text{H}_2\text{PO}_4^-$  не сильно влияет на электропроводность, если эти ионы не содержатся в природной воде в значительных количествах.

Анионы природной воды	Катионы природной воды	Возможные формы солей
<u>гидрокарбонат <math>\text{HCO}_3^-</math></u> хлорид $\text{Cl}^-$ сульфат $\text{SO}_4^{2-}$	<u>кальций <math>\text{Ca}^{2+}</math></u> магний $\text{Mg}^{2+}$ натрий $\text{Na}^+$ и калий $\text{K}^+$	$\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ ; $\text{CaCl}_2$ $\text{NaCl}$ ; $\text{Na}_2\text{SO}_4$ ; $\text{NaHCO}_3$ $\text{KCl}$ ; $\text{K}_2\text{SO}_4$ ; $\text{KHCO}_3$

Сумма катионов кальция и магния называется общей жесткостью воды.

Жесткость карбонатная (или временная) - двууглекислые соли кальция и магния - 70-80% от общей жесткости.

Жесткость некарбонатная (или постоянная) - сульфаты, хлориды, нитраты кальция и магния.

При нагревании или кипячении воды бикарбонаты переходят в нерастворимые карбонаты, выпадают в осадок, при этом жесткость воды уменьшается:



Вода разных природных источников имеет весьма различную жесткость.

Речная вода, за некоторыми исключениями, обладает относительно небольшой жесткостью.

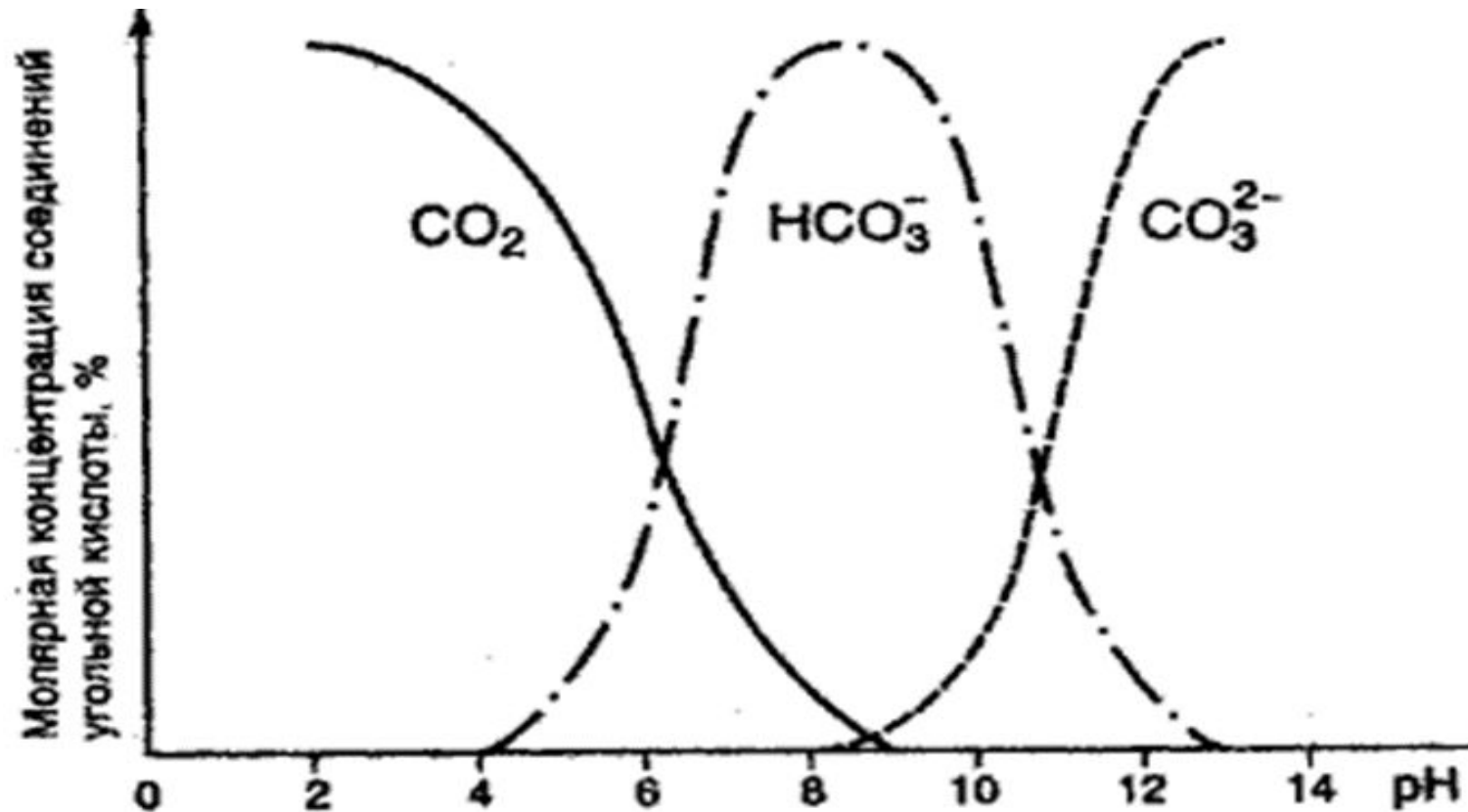
Вода Волги имеет жесткость 4,5— 6 мг-экв /дм<sup>3</sup>,  
вода Москвы-реки - в течение года от 2 до 5 мг-экв/дм<sup>3</sup>,  
вода Невы - около 0,7, вода Онеги – менее 0,5мг-экв/дм<sup>3</sup> .

Вместе с тем вода рек, прорезающих толщу известковых и гипсовых пород, часто отличается весьма большой жесткостью.

Жесткость речной воды обычно меняется в течение года, снижаясь до минимального значения в период паводков.

Воды подземных источников в большинстве случаев имеют более значительную жесткость, чем поверхностные воды.

# Соотношение форм угольной кислоты в воде при различных значениях pH





Практически все наши ТЭЦ закачивают техническую воду непосредственно из Невы или из Турухтанного ковша Финского залива, Северная ТЭЦ получает ее по водоводам от Северной водопроводной станций Водоканала, где она забирается из Невы и проходит механическую очистку.

Река Нева представляет короткий проток, соединяющий Ладожское озеро с Финским заливом. Расстояние от истока реки до устья по прямой составляет 45 км, общая длина реки - 74 км. Ширина реки составляет от 400 до 600 метров, наибольшая ширина - 1250 м (на Ивановских порогах). Средняя глубина в пределах 8 – 11 метров, а наибольшая - 24 метра.

Качество и состав воды Невы зависит в первую очередь от состава воды Ладожского озера, из которого она вытекает.

На территории Ленинградской области протекает около 340 рек длиной более 10 км. В Неву впадает примерно 26 небольших рек и речек.

Озера занимают около 14% площади бассейна р. Нева. Наиболее значительными водоемами являются Ладожское и Онежское озера, относящиеся к крупнейшим озерам страны.

Почти пятая часть территории (около 17%) представлена болотами.

Территориальные поверхностные воды оцениваются как маломинерализованные. Грунтовые воды, всегда богатые минеральными солями, имеют небольшой удельный вес в питании реки Невы. Поверхностные же воды, снеговые и дождевые, являющиеся главным источником питания Невы, бедны солями, так как почвы бассейна за многие тысячи лет хорошо промыты частыми дождями и обильными тальми водами. Кроме того, значительная часть поверхности бассейна сложена трудноразмываемыми кристаллическими породами. Минерализация речных вод на территории изменяется в годовом цикле преимущественно в пределах 30-450 мг/л (средняя -40-50), достигая максимальных значений в зимний период, когда основное питание речные системы получают из подземных водоносных горизонтов.

По ионному составу вода Невы относится к гидрокарбонатному классу и группе кальция. Катионный состав в основном формируется за счет ионов кальция и магния. Величина жесткости характеризует невскую воду как «очень мягкую».

Содержание органических веществ в поверхностных водах региона в целом оценивается как повышенное: цветность 20-60 градусов, перманганатная окисляемость 8 - 22 мг/дм<sup>3</sup>, бихроматная окисляемость (ХПК) 20 – 45 мг/дм<sup>3</sup>, наблюдается естественная «загрязненность» речных вод по содержанию растворенных органических веществ. Наиболее характерно это явление для малых рек-притоков, имеющих значительную заболоченность водосборной площади.

Содержание соединений железа и кремния в поверхностных водах довольно значительно, что соответствует природным геохимическим условиям района. При этом максимальные концентрации железа в водах сильно заболоченных водосборов и болотных массивов могут достигать 1-6 мг/дм<sup>3</sup> за счет хорошо растворимых солей двухвалентного железа.

Содержание растворенного кислорода ( $O_2$ ) составляет преимущественно 4-8 мг/дм<sup>3</sup>, растворенной углекислоты ( $CO_2$ ) – 3-5 мг/дм<sup>3</sup>. Величина рН поверхностных вод колеблется в годовом цикле в пределах 6,5-7,5, что характеризует их как практически нейтральные.

# Средние показатели качества воды реки Нева

№ п/п	Наименование показателя	Усредненные данные НЛБВУ	Техническая вода на Северной ТЭЦ
1	Жесткость общ. мг-экв/дм <sup>3</sup>	0,4—0,8	0,8
2	Ca <sup>2+</sup>	3-6 мг/дм <sup>3</sup>	
3	Mg <sup>2+</sup>	4 —«-	
4	K <sup>+</sup> Na <sup>+</sup>	1,5-2,5 —«-	6
5	NH <sub>3</sub>	0,15—0,20 —«-	0,3
6	Перманганатная окисляемость	8 - 22 —«-	10
7	Бихроматная окисляемость (ХПК)	20—45 —«-	
8	Хлориды		7
9	Нитраты	0,1 - 0,3 —«-	0,1
10	Нитриты	0,004 - 0,05 —«-	0,01
11	Фосфаты	0,005-0,01—«-	
12	Цветность, град	20-60 град.	
13	Средняя минерализация	40 – 50 мг/дм <sup>3</sup>	80
14	pH	6,5-7,5 ед. pH	7
15	Растворенный кислород	4 – 8 мг/дм <sup>3</sup>	
16	Растворенная углекислота	3 – 5 —«-	2
17	Железо	0,1-1—«-	0,3
18	Кремнекислота	0,2—«-	0,9

п/п	№ Показатель	Прямоточные	Барабанные котлы
		котлы	в.д.
		Норма, не более	Норма, не более
1.	Ж общ. мкг-экв/дм <sup>3</sup>	0,2	1
2.	SiO <sub>2</sub> мкг/дм <sup>3</sup>	20	100
3.	Na мкг/дм <sup>3</sup>	15	80
4.	Уд. эл. пров.μ мкСм/см	0,5	2

Нарушение ПТЭ	Сроки устранения
Удельная электрическая проводимость пара – 0,5 мкСм/см Na - 10 мкг/дм <sup>3</sup>	72 часа
Удельная электрическая проводимость пара – 0,5-1,0 мкСм/см Na – 10-15 мкг/дм <sup>3</sup>	24 часа
Удельная электрическая проводимость пара – $\geq 1,0$ мкСм/см Na – $\geq 15$ мкг/дм <sup>3</sup> Снижение pH пара < 5,5	останов блока*

\* по решению технического руководителя ТЭЦ с уведомлением диспетчера энергосистемы

Главный конструкционный материал теплоэнергетического оборудования - сталь. Сталь — сплав (твёрдый раствор) железа с углеродом (и другими элементами). Углерод придаёт сплавам железа прочность и твёрдость, снижая пластичность и вязкость.

В сталь могут быть добавлены легирующие элементы, которые повышают прочность, коррозионную стойкость стали, снижают опасность хрупкого разрушения. В качестве легирующих добавок применяют хром, никель, медь, азот (в химически связанном состоянии), ванадий и другие.

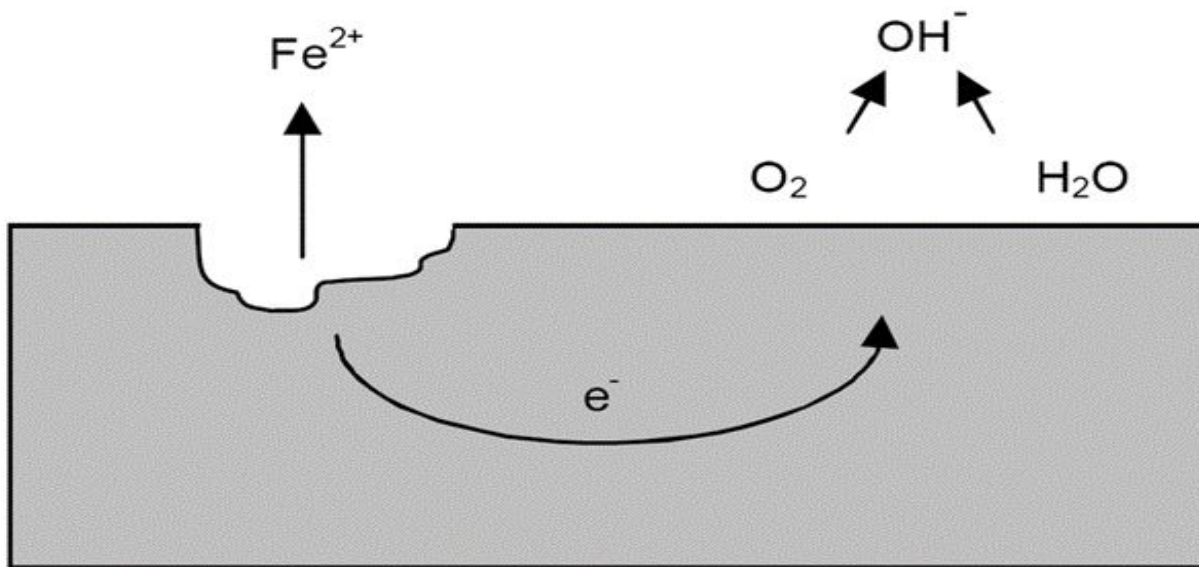
Легированную сталь по степени легирования разделяют на: низколегированную (легирующих элементов до 2,5 %), среднелегированную (от 2,5 до 10 %), высоколегированную (от 10 до 50 %). Основное оборудование котлов выполнено из низколегированной стали, оборудование турбин – из высоколегированной.

Нержавеющая сталь – легированная сталь с низким содержанием углерода и не менее 12% хрома. Нержавеющие стали устойчивы к коррозии благодаря полностью покрывающей поверхность оксидной пленке, богатой хромом и никелем.

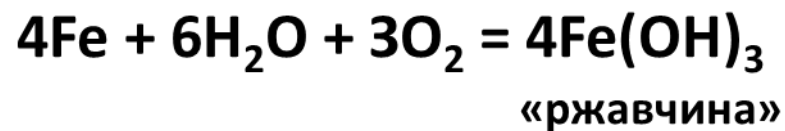


Коррозия безвозвратно разрушает металл, превращая его в труху: из всего, произведенного в мире железа, 10% полностью разрушится в этот же год. Ситуация с российским металлом выглядит примерно так — весь металл, выплавленный за год в каждой шестой доменной печи нашей страны, становится ржавой трухой еще до конца года.





Кислородная коррозия железа в воде описывается суммарным уравнением:



По характеру воздействия на металл коррозия может быть сплошной, язвенной (питтинговой), точечной, подшламовой и т.д., в зависимости от условий протекания процесса.

Длительное воздействие на металл сильных щелочей может привести к щелочному охрупчиванию металла.

В самом худшем варианте развития коррозии толщина металла труб уменьшается до критических пределов, при которых возникают свищи, разрывы труб, что приводит к выходу из строя оборудования и требует больших затрат на его восстановление. Скорость коррозии, как и всякой химической реакции, очень сильно зависит от температуры. Повышение температуры на 100 градусов может увеличить скорость коррозии на несколько порядков.

На скорость коррозии влияет и содержание кислорода в воде, контактирующей с металлом.





**а) защитная оксидная пленка**



**б) сплошная язвенная коррозия**

Коррозия стали в паровых котлах, протекающая под действием водяного пара, сводится, в основном, к следующей реакции:



Можно считать, что внутренняя поверхность труб котла покрыта тонкой пленкой оксида железа, т.е. происходит пассивация поверхности металла. Во время эксплуатации котла эта пленка непрерывно разрушается и снова образуется, при этом выделяется водород. Разрушению оксидной пленки способствует наличие в воде растворенной углекислоты.

Температура, при которой может протекать коррозионный процесс, колеблется от температуры помещения, где находится стоящий котел, до температуры кипения насыщенных растворов при работе котла, достигающей иногда 700°. При таких температурах, значительном избыточном давлении и высокой скорости теплопередачи от стенок котла к пароводяной среде скорость коррозии существенно возрастает.

Образующиеся внутритрубные отложения котлов имеют смешанный состав, в основном представленный оксидами железа, которые накапливаются в воде и затем выпадают на трубах большей частью от эрозионного разрушения оксидной пленки с поверхности металла труб. Кроме оксидов железа в отложениях присутствуют медь и цинк, которые вымываются из латунных трубок теплообменников, соли жесткости – кальций и магний, особенно много их при частых нарушениях режимов (присосах охлаждающей воды в конденсаторах и бойлерах), фосфаты (при избыточном фосфатировании), кремнекислота и т.д.

По характеру отложений они бывают плотными и рыхлыми. Плотный слой отложений – как правило «приваривается» к стенке трубы, а рыхлый легко отслаивается и снова осаждается, постепенно превращаясь в плотный.

По нормам РД 153-34.1-37.306-2001 (Методические указания по контролю состояния основного оборудования тепловых электрических станций, определение количества и химического состава отложений) лимитируется предельное количество отложений экранных труб, при достижении которого котлы должны подвергаться химической очистке.

# Предельные количества отложений на огневой поверхности экранных труб ( г/м<sup>2</sup>)

Тип парогенератора	Топливо			
	Жидкое и газообразное	Твердое и жидкое	Уголь	Торф, щепы и прочее
<b>Барабанные котлы:</b>				
давление до 4 МПа	800	800	1000	1200
от 4 до 10 МПа	600	600	800	1000
от 10 до 15,5 МПа	400	400	600	800
<b>Прямоточные котлы:</b>				
докритического давления	300	300	400	-
сверхкритического давления	200	250	300	-
ГАВР или ГВР	Для рыхлого слоя			
НКВР или КАВР	70	70	120	-
	Общая загрязненность			
	250	300	400	-
<b>Водогрейные котлы</b>	800-1000			



№ п/п	Состав отложений в пересчете на	Условные обозначения	Результат анализа в весовых процентах
1.	Окись кремния	$\text{SiO}_2$	2,8
2.	Окись алюминия	$\text{Al}_2\text{O}_3$	отсутствие
3.	Окись железа	$\text{Fe}_2\text{O}_3$	41,9
4.	Окись кальция	$\text{CaO}$	11,2
5.	Окись магния	$\text{MgO}$	
6.	Окись меди	$\text{CuO}$	23,2
7.	Окись цинка	$\text{ZnO}$	9,5
8.	Фосфорный ангидрид	$\text{P}_2\text{O}_5$	10,3
9.	Серный ангидрид	$\text{SO}_3$	следы
10.	Потери при прокаливании	П.п.п.	-0,99

Большое количество отложений образуется на внутренних поверхностях трубок теплообменников, где охлаждающая среда имеет большое солесодержание, т.е. трубках конденсаторов (циркуляционная вода) и трубках бойлеров (теплосетевая вода).

Очистка конденсаторных и бойлерных трубок от отложений производится механическим высоконапорным гидравлическим способом с помощью машины типа Атюмат. Применяются также резиновые шарики с водой под давлением или металлические пруты.



## СПАСИБО ЗА ВНИМАНИЕ

Лапутько Марина Львовна

Преподаватель Учебного центра ПАО «ТГК-1»

Тел.: 8-921-422-92-30