

**МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ
ПО ПРЕДОТВРАЩЕНИЮ
ОБРАЗОВАНИЯ МИНЕРАЛЬНЫХ
И ОРГАНИЧЕСКИХ ОТЛОЖЕНИЙ
В КОНДЕНСАТОРАХ ТУРБИН
И ИХ ОЧИСТКЕ**

РД 34.22.501-87



СОЮСТЕХЭНЕРГО
Москва 1989

МИНИСТЕРСТВО ЭНЕРГЕТИКИ И ЭЛЕКТРОФИКАЦИИ СССР
ГЛАВНОЕ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ УПРАВЛЕНИЕ ЭНЕРГЕТИКИ И ЭЛЕКТРОФИКАЦИИ

**МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ
ПО ПРЕДОТВРАЩЕНИЮ
ОБРАЗОВАНИЯ МИНЕРАЛЬНЫХ
И ОРГАНИЧЕСКИХ ОТЛОЖЕНИЙ
В КОНДЕНСАТОРАХ ТУРБИН
И ИХ ОЧИСТКЕ**

РД 34.22.501-87

СЛУЖБА ПЕРЕДОВОГО ОПЫТА ПО "СОЮЗТЕХЭНЕРГО"
Москва **1989**

РАЗРАБОТАНО предприятием "Дзтехэнерго" Производственного объединения по наладке, совершенствованию технологии и эксплуатации электростанций и сетей "Совзтехэнерго"

ИСПОЛНИТЕЛИ В.Н.КОЗИН, Д.И.ЛАЗАРЕНКО, Н.Т.НАТАЛК,
Б.А.ШИМАНСКИЙ

УТВЕРЖДЕНО Главным научно-техническим управлением энергетики и электрификации 28.I2.87 г.

Заместитель начальника А.П.БЕРСЕНЕВ

**МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ
ПО ПРЕДОТВРАЩЕНИЮ
ОБРАЗОВАНИЯ МИНЕРАЛЬНЫХ
И ОРГАНИЧЕСКИХ ОТЛОЖЕНИЙ
В КОНДЕНСАТОРАХ ТУРБИН
И ИХ ОЧИСТКЕ**

РД 34.22.501-87

Срок действия установлен
с 01.01.88 г.
до 01.01.98 г.

Методические указания предназначены для оказания методической помощи эксплуатационному персоналу ТЭС, пуско-наладочных и проектных организаций в обеспечении нормальной работы конденсационной установки путем правильного выбора и внедрения способов предотвращения загрязнения конденсаторов турбин и их очистке.

С введением в действие настоящих МУ утрачивает силу "Руководящие указания по предотвращению образования минеральных и органических отложений в конденсаторах турбин и их очистке" (М.: ЦНТИ ОРГЭС, 1975).

Методические указания действуют совместно со следующими НТД: "Руководящие указания по стабилизационной обработке охлаждающей воды в оборотных системах охлаждения с градириями оксигелидендифосфоновой кислотой" (М.: СПО Совзтехэнерго, 1981), "Методические указания по водно-химическому режиму бессточных систем охлаждения" (М.: СПО Совзтехэнерго, 1985), "Методические указания по прогнозированию химического состава и накипесобразующих свойств охлаждающей воды электростанций" (готовится к изданию), "Нормы расхода химических реагентов для обработки циркуляционной воды на тепловых электростанциях" (М.: СПО Совзтехэнерго, 1983).

I. ОБЩАЯ ЧАСТЬ

I.1. Экономичность и надежность работы тепловых электростанций в значительной мере зависят от качества воды.

I.2. Используемые для охлаждения природные воды содержат растворенные коллоидные и грубодисперсные вещества, а также растительные и животные организмы. Попадая в систему технического водоснабжения, природная вода под действием специфических факторов изменяет свой физико-химический и биологический состав, что может привести к образованию отложений в конденсаторах турбин и на оросителях градирен.

I.3. Основными показателями качества охлаждающей воды, способствующими загрязнению внутренних поверхностей трубок конденсаторов турбин и оросителей градирен, являются:

1) склонность к выделению нерастворимых солей при нагреве воды в конденсаторе;

2) наличие микро- и макроорганизмов, способных поселяться и развиваться на поверхностях теплообмена;

3) наличие механических взвесей (шлама, ила, песка и т.п.), которые могут оседать, особенно в присутствии микроорганизмов, на поверхностях трубок конденсаторов.

I.4. Загрязнение конденсаторов турбин отложениями минерального и органического характера приводит к ухудшению вакуума в конденсаторах турбин и, как следствие, к значительному перерасходу топлива, а в ряде случаев - к ограничению мощности турбин. Отложение карбонатной накипи на оросителях градирен снижает охлаждающий эффект градирни и может привести к разрушению оросителей. Кроме того, образующиеся в конденсаторах турбин отложения интенсифицируют процессы коррозии металла трубок.

I.5. Для обеспечения чистоты поверхностей трубок конденсаторов турбин и других трактов технического водоснабжения необходимо внедрять в первую очередь мероприятия, предотвращающие накипеобразование.

I.6. В случае невозможности предотвращения образования отложений в конденсаторах турбин следует проводить их периодическую очистку химическим, термическим или механическим способом. Примеры расчета режимов обработки воды приведены в приложении I.

1.7. Способы предотвращения накипеобразования в конденсаторах турбин в системах обратного водоснабжения с водохранилищами-охладителями изложены в "Методических указаниях по прогнозированию химического состава и накипеобразующих свойств охлаждающей воды электростанций" (готовятся к изданию).

2. ВОДНЫЙ РЕЖИМ СИСТЕМЫ ОБОРОТНОГО ВОДОСНАБЖЕНИЯ И ОПРЕДЕЛЕНИЕ НАКИПЕОБРАЗУЮЩЕЙ СПОСОБНОСТИ ОХЛАЖДАЮЩЕЙ ВОДЫ

2.1. Схема системы обратного водоснабжения показана на рис.1.

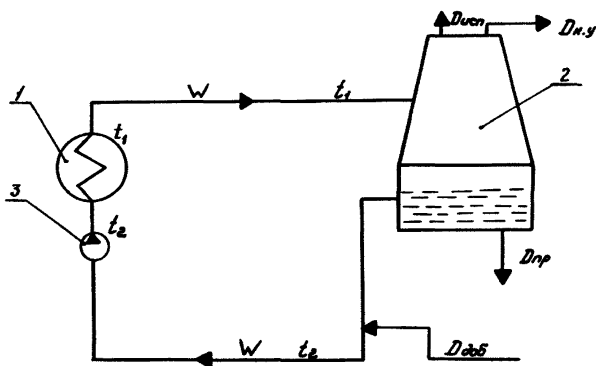


Рис.1. Схема обратной системы охлаждения:

1 - конденсатор; 2 - искусственный охладитель (градирня или брызгальный бассейн); 3 - циркуляционный насос

Потери воды на испарение в охладителе ($D_{исп}$), капельный унос ($D_{к.у}$) и продувку ($D_{пр}$) компенсируются добавочной водой ($D_{доб}$), расход которой определяется по формуле, $м^3/ч$

$$D_{доб} = D_{исп} + D_{к.у} + D_{пр} = \frac{W}{100} (\rho_1 + \rho_2 + \rho_3), \quad (I)$$

где W - расход охлаждающей (оборотной) воды, м³/ч;
 ρ_1, ρ_2, ρ_3 - соответственно потери воды на испарение,
 капельный унос и продувку, % расхода
 охлаждающей воды;
 $(\rho_1 + \rho_2 + \rho_3) = P$ - расход добавочной воды, % расхода охлажда-
 ющей воды.

2.2. Потери воды из системы за счет испарения ρ_1 (% расхода воды) определяются согласно СНиП 2.04.02-84 (М.: Стройиздат, 1985) по формуле

$$\rho_1 = \Delta t K, \quad (2)$$

где $\Delta t = t_1 - t_2$ - перепад температур в системе, °С;
 K - коэффициент, зависящий от температуры воздуха.

Для градирен и брызгальных бассейнов значение K приводится в табл. I.

Т а б л и ц а I

Температура воздуха, °С	0	10	20	30	40
K	0,1	0,12	0,14	0,15	0,16

2.3. Потери воды из системы охлаждения в результате капельного уноса (разбрызгивания) (ρ_2) зависят от конструкции охладителя и скорости ветра. Данные потерь (% расхода охлаждающей воды) согласно СНиП 2.04.02-84 (М.: Стройиздат, 1985) приводятся в табл. 2.

2.4. При работе оборотной системы вследствие испарения части воды ρ_1 происходит постепенное увеличение концентрации растворенных в воде солей (или ионов), но только до тех пор, пока количество выводимых из системы солей (или ионов) с капельным уносом ρ_2 и продувкой ρ_3 не станет равным количеству вводимых солей (или ионов) с добавочной водой. При наступлении такого равновесия, концентрация в оборотной воде соли (иона), не выпадающей в осадок $N^{об}$ (мг/кг или мг-экв/кг), будет равна

$$N^{доб} \cdot \frac{\rho_1 + \rho_2 + \rho_3}{\rho_2 + \rho_3} = N^{об}, \quad (3)$$

где $N^{доб}$ - концентрация соли (иона) в добавочной воде, мг/кг или мг-экв/кг.

Т а б л и ц а 2

Тип охладителя	Потери воды из системы в результате капельного уноса ρ_2 , %
Брызгальные бассейны производительностью, м ³ /ч:	
до 500 вкл.	2,0-3,0
св.500 до 5000 вкл.	1,5-2,0
св.5000	0,75-1,0
Башенные градирни без водоуловительных устройств	0,5-1,0
Башенные градирни с водоуловительными устройствами	0,01-0,05
Вентиляторные градирни с водоуловительными устройствами	0,1-0,2

2.5. Величина, показывающая во сколько раз концентрация не выпадающей в осадок соли (иона) в оборотной воде больше, чем в добавочной, названа коэффициентом упаривания воды в системе φ и равна

$$\varphi = \frac{\rho_1 + \rho_2 + \rho_3}{\rho_2 + \rho_3} = \frac{D_{исп} + D_{к.у} + D_{пр}}{D_{к.у} + D_{пр}} = \frac{D^{доб}}{D^{доб} - D_{исп}} \quad (4)$$

На действующих электростанциях коэффициент упаривания воды в системе с достаточной точностью определяется по соотношению концентрации заведомо не выпадающих в осадок хлор-ионов Cl^- в оборотной и добавочной воде

$$\varphi = \frac{[Cl^-]^{об}}{[Cl^-]^{доб}} \quad (5)$$

2.6. Температурные условия и режим работы системы охлаждения могут вызвать выпадение растворенных в охлаждающей воде солей. Выпадающие из раствора соли частично оседают на охлаждаемых поверхностях, а частично увлекаются потоком воды и оседают по всему тракту, омываемому водой.

2.7. Главной причиной образования накипи является бикарбонат кальция $Ca(HCO_3)_2$, который при небольшом нагревании воды и потере ею углекислоты легко разлагается и превращается в малорастворимый карбонат кальция $CaCO_3$, выпадающий в осадок.

2.8. Бикарбонат кальция в охлаждающей воде не распадается до достижения определенной концентрации, названной предельно допустимой карбонатной жесткостью $J_{пр}$ и зависящей от химического состава и температуры нагрева воды в системе.

2.9. При отсутствии распада бикарбонатов кальция карбонатная жесткость оборотной воды будет расти в соответствии с коэффициентом упаривания и достигнет максимально возможной карбонатной жесткости $J_{к.макс}^{об}$ (мг-эquiv/кг), определяемой по формуле (3), которая примет вид

$$J_{к}^{доб} \varphi = J_{к.макс}^{об} , \quad (6)$$

где $J_{к}^{доб}$ - карбонатная жесткость добавочной воды, мг-эquiv/кг.

2.10. Накипеобразующую способность охлаждающей воды в оборотной системе следует определять сравнением максимально возможной карбонатной жесткости с фактической ($J_{к}^{об}$), определенной химическим анализом в эксплуатируемых системах, и с предельно допустимой для проектируемых систем.

Если

$$J_{к.макс}^{об} = J_{к}^{об} \text{ (или } J_{пр} \text{)} , \quad (7)$$

то накипеобразование в системе не происходит.

Если

$$J_{к.макс}^{об} > J_{к}^{об} \text{ (или } J_{пр} \text{)} , \quad (8)$$

то в системе происходит распад бикарбонатов и образование накипи.

В эксплуатируемой оборотной системе охлаждения контроль за накипеобразованием ведется сравнением отношения хлор-ионов в

оборотной и добавочной воде (т.е. коэффициента упаривания φ) с отношением карбонатной жесткости в оборотной и добавочной воде ψ .

$$\psi = \frac{Ж_{к\text{ об}}}{Ж_{к\text{ доб}}} \quad (9)$$

Если $\varphi = \psi$, то накипеобразование отсутствует, если $\varphi > \psi$, то в системе идет процесс накипеобразования.

2. II. Предельно допустимая карбонатная жесткость охлаждающей воды ($Ж_{пр}$) для проектируемых электростанций может быть ориентировочно определена в миллиграмм-эквивалентах на килограмм по эмпирической формуле Г.Е.Крушеля, которая для природных вод с окисляемостью до 25 мг O_2 /кг при температуре 30-65°C имеет следующее выражение:

$$2,8Ж_{пр} = 8 + \frac{O_k}{3} - \frac{t-40^\circ C}{5,5 - \frac{O_k}{7}} - \frac{2,8Ж_{нк}}{6 - \frac{O_k}{7} + \left(\frac{t-40^\circ C}{10}\right)^3}, \quad (10)$$

где O_k - окисляемость воды (принимается равной окисляемости добавочной воды), мг/кг O_2 ;

t - максимальная температура нагрева воды в системе, °C (если $t < 40^\circ C$, следует принять $t = 40^\circ C$);

$Ж_{нк}$ - некарбонатная жесткость добавочной воды, мг-экв/кг.

2. I2. Для действующих ТЭС предельно допустимая карбонатная жесткость определяется экспериментально путем определения стабильности воды в соответствии с приложением 2. При этом предельно допустимая карбонатная жесткость равна щелочности воды после контакта с карбонатом кальция.

3. ХАРАКТЕРИСТИКА ЗАГРЯЗНЕНИЙ КОНДЕНСАТОРОВ ТУРБИН

3. I. В зависимости от физико-химических и биологических показателей охлаждающей воды отложения могут содержать:

- механические взвеси (ил, песок, детрит - отмершие тела мелких водных организмов и т.п.);

- химические соединения (в основном карбонат кальция);
- организмы, развивающиеся в теплообменных аппаратах (зооглейные и нитчатые бактерии и др.).

В большинстве случаев отложения в конденсаторах турбин содержат минеральные и органические вещества (смешанные отложения) с преобладанием какого-либо одного из них.

3.2. По преобладанию отдельных компонентов отложения могут быть условно квалифицированы следующим образом:

- карбонатные - с преобладанием соединений кальция в кристаллической форме в виде $CaCO_3$ и частично $Mg(OH)_2$ или $MgCO_3$;
- органические - с преобладанием органических соединений в виде живых водных микро- и макроорганизмов;
- смешанные - состоящие из микроорганизмов, соединений кальция, магния, железа, алюминия, кремнекислоты и др.;
- наносные - содержащие значительное количество окислов алюминия, кремнекислоты, железа и продуктов распада водных организмов.

3.3. Классификация отложений в конденсаторах приведена в табл.3.

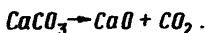
Т а б л и ц а 3

Тип отложений	Состав отложений, %				
	Общие потери при прокаливании (ПП)	$CaO + MgO$	SiO_2	$Al_2O_3 + Fe_2O_3$	$ZnO + CuO + SO_3$
Карбонатные	35-45	40-50	I-6	I-5	I-5
Органические	35-55	5-10	5-10	I5-20	3-15
Смешанные	30-50	20-35	5-10	I-10	I-10
Наносные	20-30	3-6	20-40	I5-30	3-5

3.4. Для определения способа борьбы с загрязнением конденсаторов турбин следует установить характер отложений путем проведения химического и микробиологического анализов.

3.5. Химическим анализом определяется органическая и минеральная часть отложений.

3.6. Органическая часть отложений ориентировочно определяется по разности потерь при прокаливании и содержания двуокиси углерода, эквивалентной фактическому содержанию окиси кальция в отложениях и найденной расчетно по реакции



По процентному содержанию CaO в отложениях вычисляют потери при прокаливании за счет улетучивания CO_2 ($ППП_{CO_2}$) в процентах

$$ППП_{CO_2} = 0,79 CaO \quad (II)$$

и определяют потери при прокаливании за счет сгорания органических веществ ($ППП_{орг}$) в процентах

$$ППП_{орг} = ППП_{общ} - ППП_{CO_2}. \quad (I2)$$

3.7. Определенная химическим анализом органическая часть отложений не дает основания судить о характере органических веществ (наличии в отложениях живых или отмерших водных организмов).

3.8. Для установления характера органических веществ необходимо провести микробиологический анализ, выполняемый в лабораториях санитарно-эпидемиологических станций или других организаций.

3.9. Пробы для микробиологического анализа отбирают с помощью шомпола с резиновым наконечником.

3.10. Микробиологический анализ проб следует производить сразу после их отбора. При невозможности выполнения анализа производится фиксирование проб 40%-ным формалином из расчета 0,1% объема пробы или спиртом. Фиксированные пробы передаются для анализа в биологическую лабораторию.

3.11. На основании результатов проведенных химических и биологических анализов устанавливается характер отложений в соответствии с п.3.3.

3.12. Способ обработки воды в целях предотвращения загрязнения конденсаторов турбин выбирается в зависимости от характера отложений, качества охлаждающей воды и условий работы системы охлаждения. Для этого кроме анализа отложений выполняется химический и биологический анализы воды. Определяется предельно

допустимая карбонатная жесткость и накипеобразующая способность охлаждающей воды во все сезоны года.

3.13. При склонности охлаждающей воды к накипеобразованию и карбонатном характере отложений необходимо предусматривать мероприятия по предотвращению накипеобразования в конденсаторах турбин.

К этим мероприятиям относятся: продувка систем водоснабжения, обработка воды серной кислотой, фосфатирование воды полифосфатами или оксиэтилидендифосфоновой кислотой ОЭДФК, комбинированная обработка (H_2SO_4 и фосфаты), известкование воды совместно с подкислением и фосфатированием.

3.14. При возможности предотвращения накипеобразования различными методами оптимальный вариант выбирается на основании технико-экономических расчетов с учетом влияния обработки на окружающую среду, ее простоты и удобства в эксплуатации.

3.15. Для предотвращения образования в конденсаторах турбин отложений органического и наносного характера необходимо предусматривать шариковую очистку конденсаторов или хлорирование охлаждающей воды.

3.16. При образовании в конденсаторах турбин смешанных отложений (органического и карбонатного характера) следует предусматривать комплекс мероприятий по обработке воды (п.3.13, 3.15).

3.17. В ряде случаев в конденсаторах турбин образуются наносные отложения, содержащие значительное количество окислов SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , т.е. песка, глины и продуктов коррозии.

Для предотвращения загрязнения конденсаторов турбин такими отложениями необходимо поддерживать на должном уровне эксплуатацию водоочистных сооружений на насосных станциях и периодически (по мере загрязнения) очищать чаши градирен и брызгальные бассейны от иловых отложений с использованием специального гидроэлеватора.

В отдельных случаях целесообразно предусмотреть (если это экономически оправдано) специальные отстойники или дополнительные водоочистные установки в соответствии со СНиП 2.04.02-84.

3.18. При невозможности или неэкономичности внедрения мероприятий по предотвращению загрязнения трубок конденсаторов

турбин минеральными и органическими отложениями предусматривается периодическая очистка конденсаторов:

химическим способом - от минеральных отложений плотно прикреплённых к поверхности;

механическим или термическим способом - от органических и наносных отложений.

4. МЕТОДЫ ПРЕДОТВРАЩЕНИЯ ЗАГРЯЗНЕНИЯ КОНДЕНСАТОРОВ ТУРБИН КАРБОНАТНЫМИ ОТЛОЖЕНИЯМИ

Сущность методов предотвращения накипеобразования в оборотных системах охлаждения заключается в соблюдении условия, обеспечивающего предотвращение выпадения карбоната кальция (п.2.10, формула (7)) путем воздействия на коэффициент упаривания воды в системе, карбонатную жесткость добавочной воды, предельно допустимую карбонатную жесткость циркуляционной воды или одновременно на часть или все эти показатели.

4.1. Продувка оборотной системы охлаждения

4.1.1. Сущность метода заключается в сбросе части оборотной воды из системы охлаждения к соответствующей подпитке ее свежей добавочной водой. Продувкой можно регулировать степень упаривания воды в системе и при соответствующей карбонатной жесткости добавочной воды обеспечить безнакипный режим.

4.1.2. Продувка P_3 (процент расхода охлаждающей воды) определяется по формуле

$$P_3 = \frac{P_1 J_K^{доб}}{J_{пр} - J_K^{доб}} - P_2 \quad (13)$$

4.1.3. Продувка эффективна при карбонатной жесткости воды источника подпитки ниже предельно допустимой карбонатной жесткости примерно в 1,3-1,5 раза. С ростом карбонатной жесткости добавочной воды продувка увеличивается.

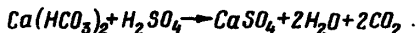
4.1.4. При карбонатной жесткости добавочной воды выше предельно допустимой продувка системы не только не предотвратит накипеобразование, а наоборот, сделает этот процесс более интенсивным, так как с добавочной водой будет внесено дополнительное количество накипеобразователей.

4.1.5. Применение продувки целесообразно лишь в том случае, если затраты на дополнительную подачу добавочной воды, включая ее стоимость, а также на увеличение размеров трубопроводов меньше затрат на химическую обработку воды.

4.1.6. Для возможности регулирования продувки (подпитки) оборотной системы на соответствующих трубопроводах необходимо предусмотреть установку расходомерных устройств и регулирующей арматуры.

4.2. Обработка воды серной кислотой

4.2.1. При обработке воды кислотой происходит перевод части карбонатной жесткости в постоянную по реакции



4.2.2. Обработку можно проводить как серной, так и соляной кислотой. Предпочтение отдается серной кислоте как менее дефицитной, более дешевой и не агрессивной в концентрированном виде к стали, что позволяет ее транспортировать, хранить и дозировать с помощью стальной аппаратуры.

4.2.3. Для предотвращения накипеобразования в системе необходимо серной кислотой уменьшить карбонатную жесткость добавочной воды до остаточного значения ($J_0^{\text{доб}}$), которое после упаривания воды не превысит предельно допустимую карбонатную жесткость охлаждающей воды при подкислении ($J_{\text{пр.п}}$).

4.2.4. Остаточная карбонатная жесткость добавочной воды после подкисления $J_0^{\text{доб}}$ равна, мг-экв/кг:

$$J_0^{\text{доб}} = \frac{J_{\text{пр.п}}}{\varphi}. \quad (14)$$

4.2.5. Предельно допустимая карбонатная жесткость охлаждающей воды при подкислении будет несколько ниже найденной по фор-

муле (10) за счет повышения постоянной жесткости добавочной воды при вводе кислоты. Некарбонатная жесткость добавка при подкислении $J_{нк.п}^{доб}$ будет равна, мг-эquiv/кг:

$$J_{нк.п}^{доб} = J_{общ}^{доб} - J_0^{доб} = J_{общ}^{доб} - \frac{J_{пр.п}}{\psi}, \quad (15)$$

где $J_{общ}^{доб}$ - общая жесткость добавочной воды, мг-эquiv/кг.

Формула (10) при подкислении принимает вид

$$2,8J_{пр.п} = 8 + \frac{0K}{3} - \frac{t-40^{\circ}C}{5,5 - \frac{0K}{7}} - \frac{2,8(J_{общ}^{доб} - \frac{J_{пр.п}}{\psi})}{6 - \frac{0K}{7} + \left(\frac{t-40^{\circ}C}{10}\right)^2}. \quad (16)$$

4.2.6. Доза серной кислоты $\bar{D}_{H_2SO_4}$, необходимая для обработки воды, определяется по формуле, кг/м³:

$$\bar{D}_{H_2SO_4} = \frac{49}{K} (J_K^{доб} - J_0^{доб}) 10^{-3}, \quad (17)$$

где 49 - эквивалент серной кислоты;

K - относительное содержание H_2SO_4 в технической серной кислоте (для купоросного масла $K = 0,925$, для башенной кислоты $K = 0,75$).

4.2.7. Расход серной кислоты ($G_{H_2SO_4}$) составит, кг/ч:

$$G_{H_2SO_4} = \bar{D}_{H_2SO_4} D_{доб}. \quad (18)$$

4.2.8. В результате подкисления концентрация бикарбонатов в охлаждающей воде может быть снижена до сколь угодно малого значения, обеспечивающего отсутствие накипобразования в системе. Однако при значительном снижении концентрации бикарбонатов вода может быть переокислена кислотой, что вызовет интенсификацию коррозии оборудования. Во избежание переокисления "Правилами технической эксплуатации электрических станций и сетей" (М.: Энергия, 1977) ограничена остаточная карбонатная жесткость добавочной воды, которая должна быть не менее 0,5-1,0 мг-эquiv/кг.

4.2.9. Продувка системы при подкислении увеличивает расход добавочной воды, одновременно увеличивая расход кислоты. Вследствие этого при подкислении следует уменьшать продувку системы. Минимальная продувка при подкислении определяется следующим расчетом:

1) задаемся остаточной карбонатной жесткостью добавка, равная 1,0 мг-экв/кг;

2) находим предельно допустимую карбонатную жесткость при подкислении по формуле (16);

3) находим коэффициент упаривания воды в системе по формуле

$$\varphi = \frac{Ж_{пр.п}}{Ж_0} ; \quad (19)$$

4) определяем продувку (P_3) по формуле (4) или по формуле (13), куда вместо $Ж_K^{\partial\partial\partial}$ подставляем $Ж_0^{\partial\partial\partial}$, вместо $Ж_{пр}$ подставляем $Ж_{пр.п}$.

4.2.10. При обработке воды серной кислотой вследствие увеличения концентрации сульфатов увеличивается коррозионная агрессивность воды по отношению к бетону гидросооружений. В зависимости от марки бетона существуют ограничения по концентрации сульфат-ионов в оборотной воде (СНиП 2.03.11-85).

В связи с этим необходимо контролировать концентрацию сульфатов в оборотной воде при подкислении.

Концентрация сульфат-ионов в оборотной воде при подкислении $[SO_4^{2-}]_n^{\partial\partial}$ определяется по формуле, мг/кг:

$$[SO_4^{2-}]_n^{\partial\partial} = \left\{ [SO_4^{2-}]^{\partial\partial\partial} + (Ж_K^{\partial\partial\partial} - Ж_0^{\partial\partial\partial}) 48 \right\} \varphi, \quad (20)$$

где $[SO_4^{2-}]^{\partial\partial\partial}$ - концентрация сульфатов в добавочной воде, мг/кг.

4.2.11. При обработке охлаждающей воды серной кислотой необходимо проверить, будет ли происходить в системе выпадение гипсовой накипи ($CaSO_4$).

Выпадение гипса из раствора не будет происходить, если произведение активных концентраций кальция и сульфат-ионов в оборотной воде ПAK $CaSO_4$ (г-ион/кг)² меньше произведения раствори-

мости сульфата кальция $\text{PP}_{\text{CaSO}_4}$, принимаемого при температуре 26-60°C равным $4 \cdot 10^{-5}$ (г-ион/кг)².

$$\text{ПАК}_{\text{CaSO}_4} = (f_2)^2 [\text{Ca}^{2+}] [\text{SO}_4^{2-}] \psi^2 < \text{PP}_{\text{CaSO}_4}, \quad (21)$$

где $(f_2)^2$ - коэффициент активности двухвалентных ионов, зависящий от ионной силы раствора или сухого остатка оборотной воды (рис.2);
 $[\text{Ca}^{2+}]$ - концентрация кальция в добавочной воде, г-ион/кг;
 $[\text{SO}_4^{2-}]$ - содержание сульфат-ионов в добавочной воде с учетом увеличения их концентрации при подкислении, г-ион/кг.

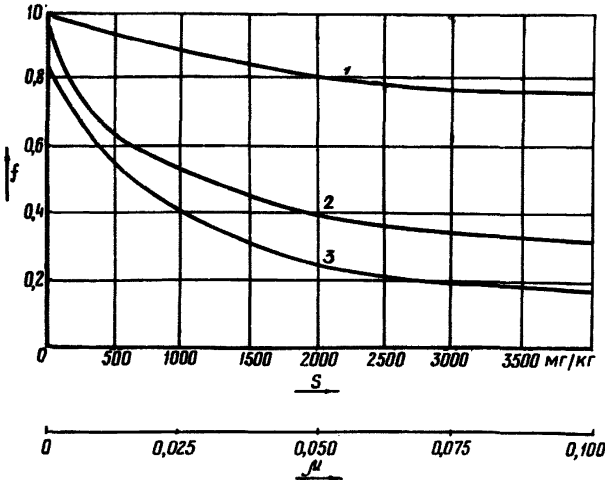


Рис.2. Зависимость коэффициента активности (f) от ионной силы раствора (μ) или сухого остатка воды (S) при температуре 30°C:

1 - для одновалентных ионов; 2 - для двухвалентных ионов; 3 - средний коэффициент активности для уравнения равновесия бикарбонатов

4.2.12. Подкисление воды рекомендуется проводить 75%-ной серной кислотой как более дешевой и удобной в эксплуатации, особенно зимой: температура ее застывания минус 30°C, что позволяет в зимнее время перекачивать ее по неутепленным трубопроводам. Менее удобно купоросное масло, так как при температуре минус 8°C из него выделяется твердый моногидрат, забивающий кислотопроводы. Дозировать серную кислоту лучше в концентрированном виде, так как в этом случае дозаторы могут быть выполнены из стали. При дозировании разбавленной кислоты элементы установки, соприкасающиеся с разбавленной кислотой, должны иметь кислотостойкие покрытия. Вводить серную кислоту целесообразно как в добавочную, так и в оборотную воду. Для удобства контроля и возможности автоматизации процесса предпочтительнее обрабатывать добавочную воду. На трубопроводе добавочной воды от места ввода кислоты до поступления подкисленной воды в циркуляционную систему следует предусмотреть кислотостойкую защиту и пробоотборные точки до и после ввода кислоты.

Ввод кислоты осуществляется с помощью устройств, обеспечивающих перемешивание ее с общим потоком воды (перфорированные трубы с установкой воздушного барботажа, ершовые смесители, перегородки и т.п.).

4.2.13. Важным условием обработки серной кислотой является обеспечение точной дозировки, так как при передозировании может интенсифицироваться коррозия труб и теплообменных аппаратов.

4.2.14. Подкислительная установка (рис.3) состоит из двух баков-хранилищ, расходного бака, дозаторного устройства и ершвого смесителя. Из баков-хранилищ в расходный бак серная кислота подается насосами или самотеком с помощью сифона, создаваемого за счет разности уровней. Для зарядки сифона необходимо использовать вакуум-насос либо предусмотреть подвод сжатого воздуха. Расчетное количество кислоты подается в ершовый смеситель, где происходит смешение ее с добавочной водой или с частью оборотной воды. Подкисленная вода поступает по защищенным от коррозии трубам в систему охлаждения. Дозирование кислоты можно осуществлять при помощи сифонного дозатора или насоса-дозатора, подающего кислоту пропорционально расходу добавочной воды.

Кроме того, может быть осуществлено автоматическое дози-

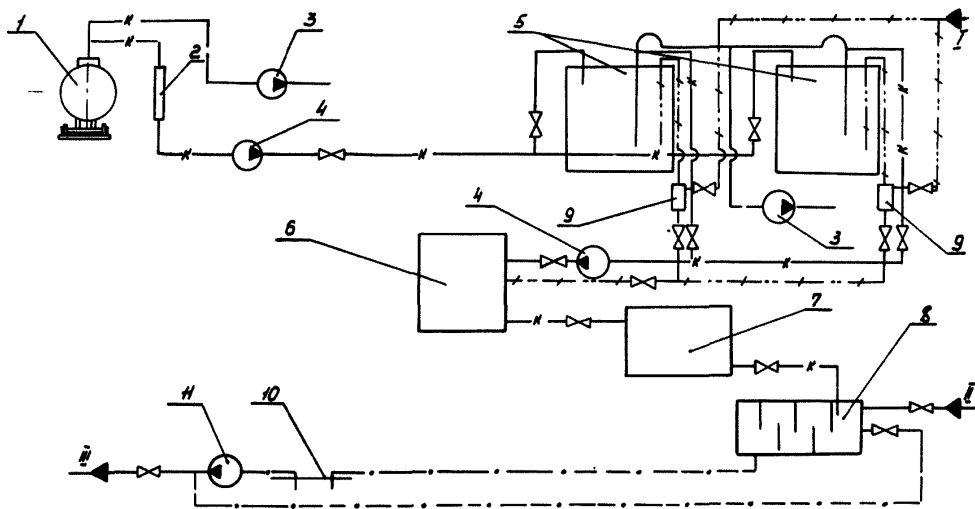


Рис.3. Схема подкислительной установки:

1 - цистерна с серной кислотой; 2 - разгрузчик кислоты; 3 - вакуум-насос; 4 - кислотный насос; 5 - бак для хранения серной кислоты; 6 - расходный бак; 7 - бачок-дозатор; 8 - ершовый смеситель; 9 - устройство для зарядки сифона; 10 - подводящий канал; II - циркуляционный насос;
 I - сжатый воздух; II - добавочная вода; III - охлаждающая вода

рование кислоты дозатором, обеспечивающим поддержание оптимального значения pH оборотной воды путем регулирования подачи кислоты в воду при отклонении значений pH от заданного, или электронным прибором типа "Каскад-2" по сигналу разности электрической проводимости воды до и после ввода кислоты из отдельных потоков (рис.4,5).

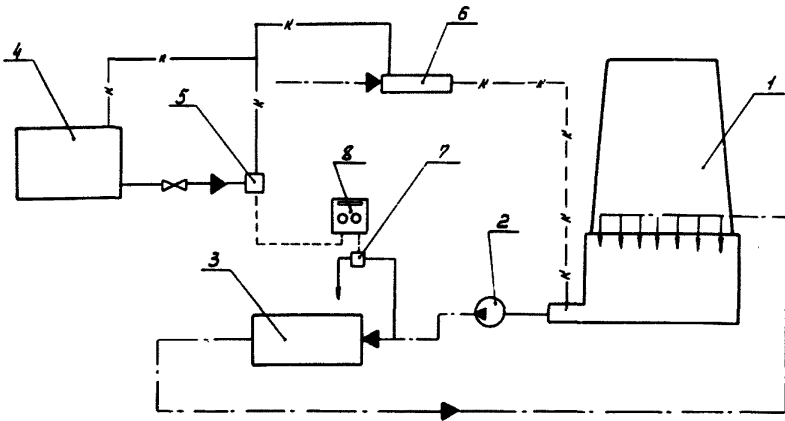


Рис.4. Схема подкисления циркуляционной воды с автоматическим регулированием значения pH:

1 - радиатор; 2 - циркуляционный насос; 3 - холодильник; 4 - бак для крепкой кислоты; 5 - кислотный насос с регулированием подачи в зависимости от значения pH воды; 6 - смеситель; 7 - датчик pH-метра; 8 - прибор для регистрации значения pH и передачи сигналов насосу

4.2.15. Расчеты производительности установки и элементов схемы производятся в отдельности для каждого конкретного случая в зависимости от химического состава и количества добавочной воды.

При расчете установки емкость баков-хранилищ серной кислоты необходимо выбирать из условия обеспечения месячной потребности в кислоте. Расходный бак должен обеспечивать двух-трехсуточный запас кислоты.

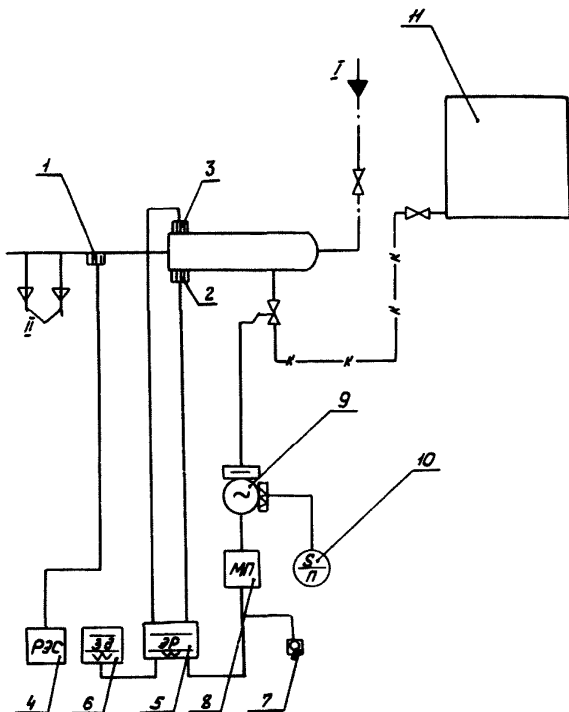


Рис.5. Схема автоматического регулирования дозировки кислоты электронным прибором по сигналу электрической проводимости при подкислении циркуляционной воды:

I - датчик регистратора; 2 - датчик электропроводимости кислой воды; 3 - датчик электропроводимости исходной воды; 4 - регистратор РСМ-056 от РС-106; 5 - электронный регулирующий прибор "Каскад-2"; 6 - задатчик ЗУ-05 или ЗУ-11; 7 - переключатель управления ИМО-45; 8 - усилитель У22; 9 - исполнительный механизм МЭО; 10 - указатель положения М42101;
I - исходная вода; II - бак серной кислоты;

Место расположения установки для обработки воды кислотой необходимо выбирать с учетом удобства ее обслуживания и ремонта, а также транспортировки и разгрузки серной кислоты.

4.2.16. В процессе эксплуатации правильность режима обработки контролируется сравнением произведения $\varphi J_{\text{O}}^{\text{доб}}$ (максимально возможной карбонатной жесткости оборотной воды при подкислении) с фактической ($J_{\text{K}}^{\text{об}}$) и предельно допустимой ($J_{\text{пр.п}}$) карбонатными жесткостями оборотной воды.

Если $\varphi J_{\text{O}}^{\text{доб}} = J_{\text{K}}^{\text{об}} = J_{\text{пр.п}}$, то обработка ведется правильно.

Если $\varphi J_{\text{O}}^{\text{доб}} = J_{\text{K}}^{\text{об}} < J_{\text{пр.п}}$, то расход кислоты завышен. Следует выяснить причины и уменьшить расход кислоты.

Если $\varphi J_{\text{O}}^{\text{доб}} > J_{\text{K}}^{\text{об}}$, то в системе идет процесс накипеобразования. Следует, установив причину, увеличить расход кислоты.

Остаточная карбонатная (после подкисления) жесткость добавочной воды ($J_{\text{O}}^{\text{доб}}$) определяется химическим анализом. Если это невозможно, то она определяется расчетом по расходу серной кислоты, мг-экв/кг:

$$J_{\text{O}}^{\text{доб}} = J_{\text{K}}^{\text{доб}} - \frac{G_4}{D_{\text{доб}}} \frac{H_2SO_4 K}{49} 10^3. \quad (22)$$

Предельно допустимая карбонатная жесткость оборотной воды при подкислении ($J_{\text{пр.п}}$) определяется экспериментально, путем определения стабильности воды.

Контроль за процессом накипеобразования в охлаждающей воде ведется по соотношению φ и ψ (см.п.2.10), где $\psi = \frac{J_{\text{обш}}^{\text{об}}}{J_{\text{обш}}}$.

4.3. Фосфатирование воды

Сущность метода заключается в добавлении к воде небольших количеств различных фосфатных соединений, тормозящих кристаллизацию карбоната кальция и стабилизирующих пересыщенные растворы бикарбоната кальция, т.е. тем самым повышающих предельно допустимую карбонатную жесткость охлаждающей воды.

Для стабилизации охлаждающей воды используется неорганические полифосфаты (гексаметафосфат натрия, триполифосфат натрия) и органические фосфаты, в частности, ОФЭК.

4.3.I. Обработка воды неорганическими полифосфатами

4.3.I.I. Для стабилизации бикарбонатов кальция полифосфатами достаточно поддерживать в охлаждающей воде концентрацию фосфатов (в пересчете на P_2O_5), равную 1,5-2,0 мг/кг.

4.3.I.2. Предельная карбонатная жесткость воды, стабилизируемая полифосфатами ($J_{пр.ф}$), составляет 5,0-5,5 мг-экв/кг.

4.3.I.3. Поддержание карбонатной жесткости охлаждающей воды, не превышающей предельную, стабилизируемую фосфатами, достигается путем продувки, ограничивающей коэффициент упаривания воды в системе.

Продувки при фосфатировании P_3 (% расхода охлаждающей воды) определяется по формуле

$$P_3 = \frac{P_1 J_K^{\partial об}}{(5,0 \div 5,5) \cdot J_K} - P_2 \quad (23)$$

При высокой карбонатной жесткости добавочной воды продувка увеличивается. В таких случаях предотвратить накишеобразование обработкой полифосфатами невозможно.

4.3.I.4. Доза вводимого фосфата ($\bar{d}_ф$) при заданной концентрации P_2O_5 в воде 1,5 мг/кг и с учетом восполнения убыли в связи с образованием малорастворимых соединений составляет, кг/м³:

$$\bar{d}_ф = \left[\frac{150}{K} + \frac{40W}{V(P_1 + P_2 + P_3)} \right] \cdot 10^3, \quad (24)$$

где K - содержание P_2O_5 в дозируемом реагенте гексаметафосфата и триполифосфата натрия $K = 50-55, \%$;

V - объем системы охлаждения, м³.

Расход фосфата ($G_ф^φ$) составляет, кг/ч:

$$G_ф^φ = \bar{d}_ф D_{\partial об}. \quad (25)$$

4.3.I.5. Фосфаты дозируются в растворенном виде. Фосфатный раствор подается непосредственно в циркуляционную или добавоч-

ную воду. Для приготовления фосфатного раствора и подачи его в систему охлаждения монтируется специальная установка (рис.6). В баке для растворения фосфатов готовится 5%-ный фосфатный раствор путем подачи небольшого количества добавочной воды. Для лучшего растворения фосфатов в холодной воде бак должен быть снабжен мешалкой. Приготовленный в баке концентрированный раствор фосфата поступает через поплавковый клапан в расходный бак и затем в дозатор. Из дозатора раствор по сифону подается в воронку, где он разбавляется 30-50-кратным количеством добавочной или циркуляционной воды до концентрации 0,1-0,2%. Разведенный раствор подается в смеситель, где перемешивается с остальным потоком добавочной воды и стекает во всасывающий колодец циркуляционных насосов или бассейн градирни. Место ввода фосфатного раствора выбирается в зависимости от местных условий.

4.3.1.6. Если по химическому составу воды определена целесообразность фосфатирования ее, то по расходам продувки и добавочной воды проверяется возможность пропуска необходимого количества добавочной воды и сброса продувочной воды. При недостаточной пропускной способности подводящего и сбросного водоводов фосфатирование минеральными фосфатами невозможно.

4.3.1.7. Если вопрос обработки воды полифосфатами рассматривается на стадии проектирования ТЭС, то на основании расчетных данных о количестве продувочной и добавочной воды выбираются соответствующие диаметры водоводов.

4.3.1.8. Расчет производительности установки и отдельных ее элементов (местимость бака для растворения и дозирования фосфатного раствора, размеры смесителя и др.) выполняется в зависимости от дозы фосфатов и количества добавочной воды. Аппаратуру для приготовления и дозирования растворов следует выполнять с защитным антикоррозионным покрытием.

4.3.1.9. Режим обработки оборотной воды минеральными фосфатами контролируется сравнением показателей коэффициента умягчения воды в системе, определяемых по хлор-иону (φ) и карбонатной жесткости (ψ) (см.п.2.10). Если $\varphi = \psi$, то обработка воды фосфатами обеспечивает отсутствие накипеобразования. При $\varphi > \psi$ необходимо увеличить продувку, обеспечивающую поддержание в системе предельной стабилизируемой фосфатами карбонатной жест-

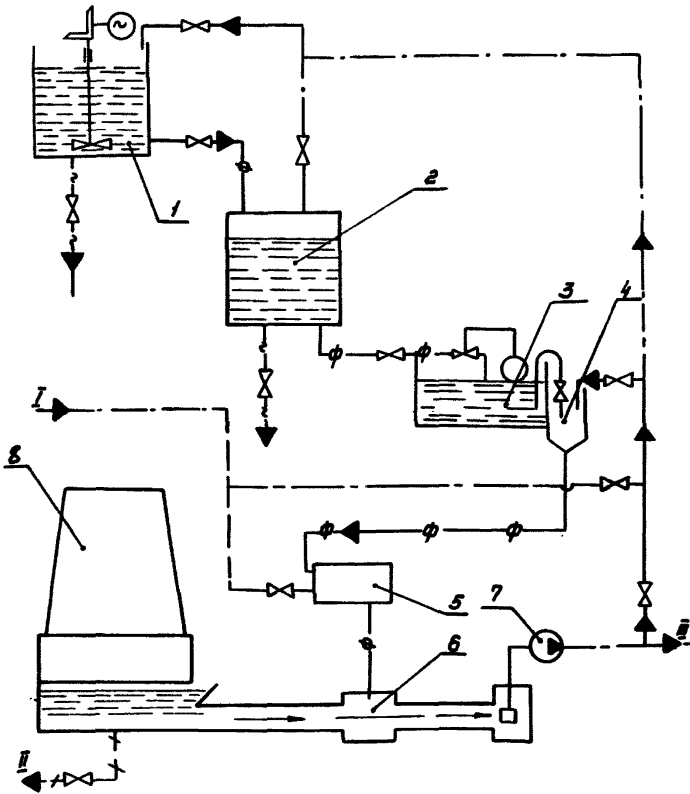


Рис.6. Схема фосфатирования охлаждающей воды:

1 - бак с мешалкой для растворения фосфата; 2 - расходный бак слабого фосфатного раствора; 3 - дозирующий ба-
чок с поплавковым клапаном; 4 - сифон дозатора с регули-
рующим винтовым зажимом; 5 - ершовый смеситель; 6 - ко-
лодец обратной системы; 7 - циркуляционный насос; 8 -
искусственный охладитель воды;
I - добавочная вода; II - продувочная вода; III - охлаж-
дающая вода

4.3.2. Обработка воды оксидилендифосфоновой кислотой (ОЭДФК)

Метод обработки воды ОЭДФК описан в "Руководящих указаниях по стабилизационной обработке охлаждающей воды в оборотных системах охлаждения с градирнями оксидилендифосфоновой кислотой" (М.: СПО Совзтехэнерго, 1981).

В настоящих Методических указаниях приводится сокращенное изложение упомянутых Руководящих указаний.

4.3.2.1. Обработка воды ОЭДФК позволяет поддерживать предельно допустимую карбонатную жесткость охлаждающей воды ($J_{пр}$ ОЭДФК) на уровне до 7,5 мг-экв/кг. В зависимости от значения предельной карбонатной жесткости концентрация ОЭДФК в воде составляет 0,25-2,0 мг/кг.

4.3.2.2. Требуемая концентрация ОЭДФК в оборотной воде ($q_{ОЭДФК}$) зависит от задаваемой предельно допустимой карбонатной жесткости и определяется по графику рис.7.

4.3.2.3. В связи с тем, что предельно допустимая концентрация (ПДК) ОЭДФК для водоемов санитарно-бытового водопользования составляет 2,0 мг/кг, для рыбохозяйственных водоемов 1,0 мг/кг, а для водоемов питьевого пользования 0,6 мг/кг, в зависимости от назначения водоема, принимающего продувочную воду системы, концентрация ОЭДФК в оборотной воде должна ограничиваться указанными ПДК. Соответственно с ограничением концентрации ОЭДФК ограничивается предельно допустимая карбонатная жесткость оборотной воды.

4.3.2.4. При обработке воды ОЭДФК допускается повышение коэффициента упаривания и соответственно уменьшение количества продувочной и добавочной воды. Допустимое значение коэффициента упаривания определяется по формуле

$$\varphi = \frac{J_{пр. ОЭДФК}}{J_k} \quad (26)$$

При этом расход продувки определяется по формуле (13) или исходя из формулы (4). Расход добавочной воды определяется по формуле (1).

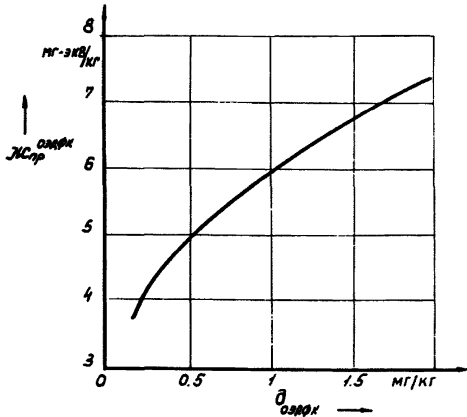


Рис.7. Зависимость требуемой дозировки ОЗДФК ($d_{\text{ОЗДФК}}$) от карбонатной жесткости циркуляционной воды

Так как снижение продуктивности и подпитки требует увеличения концентрации ОЗДФК, оптимальный режим подбирается на основании сравнения нескольких вариантов обработки воды по заданным (не более 7,5 мг-экв/кг) значениям предельной карбонатной жесткости оборотной воды.

4.3.2.5. Расчет расхода ОЗДФК при обработке выполняется в следующем порядке:

- по заданному предельно допустимому значению карбонатной жесткости ($Ж_{\text{пр. ОЗДФК}}$) определяется требуемая концентрация ОЗДФК в воде ($q_{\text{ОЗДФК}}$) (см.рис.7);

- во всей оборотной воде создается заданная концентрация ОЗДФК. Количество реагента ($G_{\text{ОЗДФК}}$) определяется по формуле, кг:

$$G_{\text{ОЗДФК}} = 2Vq_{\text{ОЗДФК}} \cdot 10^{-3}; \quad (27)$$

- в дальнейшем реагент вводится непрерывно для поддержания заданной концентрации. С учетом коэффициента упаривания расход

ОЗДФК ($G_{\text{ч}}^{\text{ОЗДФК}}$) составит, кг/ч:

$$G_{\text{ч}}^{\text{ОЗДФК}} = \frac{D_{\text{доб}} Q_{\text{ОЗДФК}}}{\varphi} \cdot 10^{-3} \quad (28)$$

Суточный расход реагента ($G_{\text{сут}}^{\text{ОЗДФК}}$) будет равен, кг:

$$G_{\text{сут}}^{\text{ОЗДФК}} = G_{\text{ч}}^{\text{ОЗДФК}} \cdot 24 = \frac{D_{\text{доб}} Q_{\text{ОЗДФК}}}{41,7\varphi} \quad (29)$$

4.3.2.6. ОЗДФК дозируется в циркуляционную систему в виде 0,1-10%-ного раствора в точку, где обеспечивается постоянный проток и последующее перемешивание со всем объемом воды.

Концентрация дозируемого рабочего раствора C_{p-p} рассчитывается по формуле, %:

$$C_{p-p} = \frac{Q_{\text{ОЗДФК}} D_{\text{доб}}}{10 \cdot a \cdot \varphi} \quad (30)$$

где a - подача насоса-дозатора, л/ч.

4.3.2.7. При обработке воды ОЗДФК необходимо наладить режим подпитки и продувки циркуляционной системы, исключающий резкие изменения расхода продувочной воды, что упростит поддержание заданной концентрации реагента.

4.3.2.8. Приготовление и дозирование раствора ОЗДФК производится с помощью установки, схема которой приведена на рис.8. (установка может изготавливаться по проекту УралВТИ, к которому прилагается инструкция по эксплуатации).

4.3.2.9. Порошкообразный реагент растворяется в баке-мешалке вместимостью 1 м^3 . Для приготовления концентрированного раствора необходимо наполовину заполнить бак-мешалку конденсатом, включить мешалку и засыпать через люк расчетное количество реагента. В процессе перемешивания довести объем раствора до 1 м^3 .

Применение технической воды для приготовления растворов ОЗДФК нецелесообразно, так как в этом случае реагент будет частично расходоваться на умягчение воды с образованием осадка в виде кальциевого комплекса ОЗДФК.

4.3.2.10. Концентрированный раствор готовится один раз в 10 сут. Количество загружаемой ОЗДФК определяется по формуле, кг:

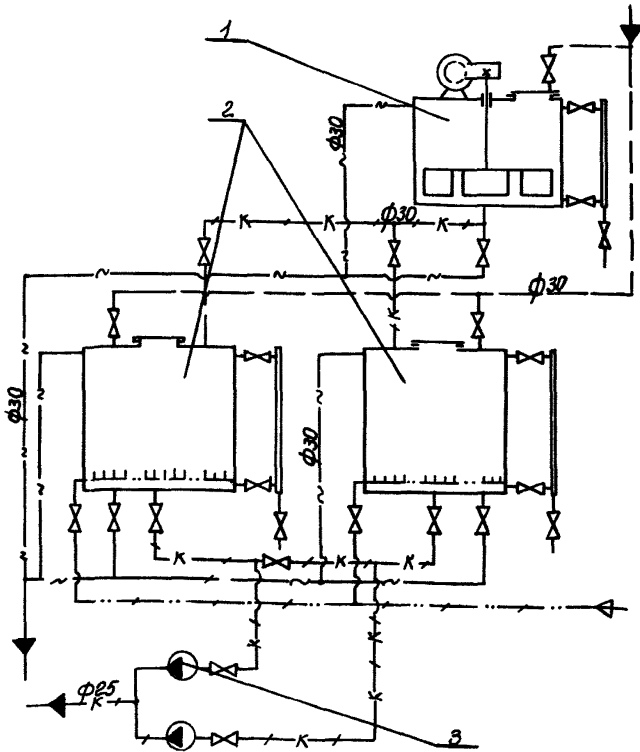


Рис.8. Схема установки для дозирования ОЗФК:
 1 - бак с мешалкой ($V = 1 \text{ м}^3$); 2 - бак рабочего раствора ($V = 1,2 \text{ м}^3$); 3 - насос-дозатор

$$G_{\text{загр}}^{\text{ОЗФК}} = 10 G_{\text{сут}}^{\text{ОЗФК}} \quad (31)$$

Если $G_{\text{загр}}^{\text{ОЗФК}} > 200 \text{ кг}$, необходимо готовить концентрированный раствор с периодичностью $\zeta \leq \frac{200}{G_{\text{сут}}^{\text{ОЗФК}}}$, при этом значение

(периодичность приготовления раствора в сутках) округляется до целого числа.

4.3.2.11. Концентрированный раствор поступает в баки рабочего раствора объемом по $1,2 \text{ м}^3$ каждый.

Для приготовления рабочего раствора необходимо подать 100 л концентрированного раствора (раствор поступает самотеком), довести объем до $1,2 \text{ м}^3$ подачей конденсата и перемешать скатым воздухом. Если $G_{\text{газр}}^{03\lambda\Phi\kappa} > 200 \text{ кг}$, то подается $1000/\text{Гл}$ концентрированного раствора.

4.3.2.12. Включается насос-дозатор, настроенный на подачу 50 л/ч и рабочий раствор из соответствующего бака подается в течение 24 ч в циркуляционную систему.

После опорожнения одного бака рабочего раствора включается в работу второй бак, а в первом готовится свежий рабочий раствор.

4.3.2.13. С учетом того, что концентрированные растворы ОАДЖ обладают коррозионно-агрессивными свойствами, установка выполняется из нержавеющей стали. Допускается изготовление баков из нелегированной стали с условием, что на внутренние поверхности будет нанесено коррозионно-стойкое защитное покрытие, например, эпоксидная шпатлевка.

4.3.2.14. При обработке воды производится анализ циркуляционной воды на содержание ОАДЖ. В случае отклонения содержания ОАДЖ от заданного корректировка производится изменением подачи насоса-дозатора или количества загружаемого реагента (корректировка $G_{\text{сут}}^{03\lambda\Phi\kappa}$).

4.3.2.15. Эффективность обработки оценивается путем сравнения максимально возможной карбонатной жесткости оборотной воды $J_{\text{к. макс}}^{\text{об}} = \varphi J_{\text{к}}^{\text{доб}}$ с карбонатной жесткостью оборотной воды ($J_{\text{к}}^{\text{об}}$), определенной химическим анализом.

Выполнение условия $\Delta J_{\text{к}} = J_{\text{к. макс}}^{\text{об}} - J_{\text{к}}^{\text{об}} \leq 0,3 \text{ мг-экв/кг}$ свидетельствует об отсутствии накипеобразования в трубах конденсаторов.

Если $\Delta J > 0,3 \text{ мг-экв/кг}$, возможно осаждение мелкокристаллического карбоната кальция на поверхности трубок конденсаторов в виде рыхлых отложений. В этом случае необходимо выяснить и устранить причины, вызвавшие нарушение режима обработки воды.

4.4. Комбинированная обработка воды

4.4.1. Сущность комбинированной обработки воды заключается в одновременном снижении количества бикарбонатов в воде с помощью серной кислоты и повышении предельно допустимой карбонатной жесткости с помощью неорганических полифосфатов или ОФДЖ.

Наиболее экономически оправданной является комбинированная обработка с применением ОФДЖ.

4.4.2. Комбинированная обработка применяется в случае, если не подходит подкисление или фосфатирование воды.

4.4.3. Комбинированная обработка позволяет сократить расход кислоты за счет повышения предельной карбонатной жесткости охлаждающей воды фосфатами. Дозированием серной кислоты снижают карбонатную жесткость добавочной воды до значения, которое после упаривания воды в системе охлаждения не превысит предельную карбонатную жесткость, стабилизируемую фосфатами.

4.4.4. При обработке воды серной кислотой и полифосфатами предельно допустимая карбонатная жесткость охлаждающей воды ($J_{пр.комб}$) равна $J_{пр.ф} = 5,0 \pm 5,5$ мг-экв/кг.

Допустимое значение продувки и расход реагента определяются по формулам (23)-(25).

4.4.5. При комбинированной обработке с применением ОФДЖ предельно допустимая карбонатная жесткость воды ($J_{пр.комб}$) равна $J_{пр.ОФДЖ}$. Расчет режима фосфатирования ведется согласно п.4.3.2.

4.4.6. Расчет режима обработки воды серной кислотой ведется согласно п.4.2. При этом предельно допустимая карбонатная жесткость воды при подкислении принимается равной $J_{пр.комб}$ согласно п.4.4.4 и 4.4.5.

4.4.7. Контроль за режимом обработки воды комбинированным способом ведется аналогично контролю при обработке воды подкислением.

4.5. Известкование воды

4.5.1. Метод известкования воды применяется в случае, когда обработка воды серной кислотой, полифосфатами, ОФДЖ или совместное подкисление и фосфатирование не могут обеспечить

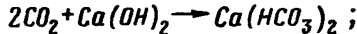
предотвращение накипеобразования в системе охлаждения.

4.5.2. Метод известкования является разновидностью комбинированной обработки. Известкование воды проводится совместно с подкислением воды серной кислотой и обработкой воды полифосфатами или ОАФЖ.

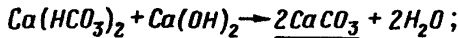
4.5.3. Сущность метода заключается в постоянном удалении из охлаждающей воды (независимо из добавочной или оборотной) определенного количества ионов HCO_3^- , позволяющем поддерживать карбонатную жесткость оборотной воды на уровне, стабилизируемом полифосфатами или ОАФЖ.

4.5.4. При известковании в воде происходят следующие процессы:

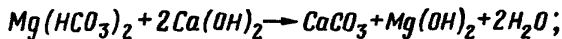
- связывается растворенная в воде углекислота



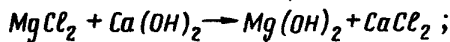
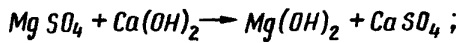
- устраняется кальциевая карбонатная жесткость



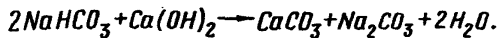
- устраняется магниевая карбонатная жесткость



- магниевые соли некарбонатной жесткости переводятся в малорастворимую гидроксид магния с образованием эквивалентного количества кальциевых солей сильных кислот

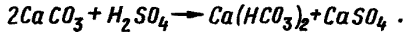


- в случае наличия в воде бикарбонатов натрия происходит образование осадка CaCO_3 и одновременно образуется карбонат натрия



4.5.5. При известковании обработка воды серной кислотой ограничена условиями возможности выпадения гипса в охлаждающей воде (см.п.4.2.II) и опасностью сульфатной коррозии бетонов гидросооружений (см.п.4.2.IO). При этом минимальное количество сер-

ной кислоты необходимо для нейтрализации остаточной гидратной щелочности известкованной воды и для перевода карбонатной щелочности в бикарбонатную по реакции



Без такой нейтрализации из-за больших значений pH при смешении известкованной воды с добавочной или оборотной будет выделяться кристаллический шлам карбоната кальция.

Во избежание переокисления известкованной воды необходимо автоматизировать подачу серной кислоты по заданному pH воды после ввода кислоты (в пределах 8,0-8,5).

4.5.6. В качестве стабилизирующего реагента могут применяться полифосфаты или ОФДЖ. Целесообразнее применение ОФДЖ как не подвергающегося гидролизу и не требующего поддержания определенного уровня продувки, предупреждающей зашламливание системы.

Применение ОФДЖ ограничено ПДК ее в водоемах, принимающих продувочную воду (см. п.4.3.2.5).

4.5.7. Применение коагулянтов при известковании не рекомендуется, так как использование их приводит к повышению солесодержания охлаждающей воды.

4.5.8. Известкование воды проводится с использованием флокулянта полиакриламида (ПАА). Доза флокулянта составляет 0,25-0,30 мг/кг в пересчете на 100%-ный продукт (содержание активного продукта (полимера) в поставляемом реагенте составляет 4-9%).

4.5.9. Расчет различных режимов обработки добавочной и оборотной воды известкованием, подкислением и фосфатированием приводится в "Методических указаниях по водно-химическому режиму бессточных систем охлаждения: МУ 34-70-095-85" (М.: СПО Союзтехэнерго, 1985).

В указанных Методических указаниях рекомендуется вести известкование воды в бикарбонатном режиме, т.е. при минимальном осаждении магния. Такой режим наиболее целесообразен для целей предотвращения накипобразования в системе охлаждения. Однако, как показывает практика, бикарбонатный режим из-за нестабильности воды на выходе из осветлителей поддерживать не удастся и известкование воды ведется практически в гидратном режиме, т.е. с почти полным осаждением магния при избытке извести 0,1-0,3 мг-экв/кг и pH = 10,0±10,3.

В связи с этим в настоящих Методических указаниях приводится ориентировочный расчет обработки части добавочной воды известкованием в гидратном режиме с последующей нейтрализацией карбонатов серной кислотой и применением в качестве стабилизирующего реагента ОФЦЖ.

4.5.10. Доза извести $d_{узв}$ при гидратном режиме известкования ($\text{кг}/\text{м}^3$) рассчитывается на связывание CO_2 , HCO_3^- , а также на полное осаждение магния:

$$d_{узв} = \left([\text{CO}_2]^{уск} + [\text{HCO}_3^-]^{уск} + [\text{Mg}^{2+}]^{уск} + \alpha \right) \frac{28}{10C_{узв}}, \quad (32)$$

где $[\text{CO}_2]^{уск}$, $[\text{HCO}_3^-]^{уск}$, $[\text{Mg}^{2+}]^{уск}$ - соответственно концентрации свободной углекислоты, бикарбонатов и магния в исходной воде, $\text{мг-экв}/\text{кг}$;

α - избыток извести, принимается в пределах $0,1-0,3 \text{ мг-экв}/\text{кг}$ (при $\text{pH} = 10$ $\alpha = 0,1$, при $\text{pH} = 10,3$, $\alpha = 0,3$);

$C_{узв}$ - содержание CaO в применяемой извести, %;

28 - эквивалентная масса CaO .

При этом следует отметить, что расчетная доза извести является ориентировочной и может быть использована для предварительного определения условий работы реагентного хозяйства и подачи реагента в осветлитель. Фактически требуемая доза должна быть откорректирована на основании результатов химического анализа известкованной воды в осветлитель и принята такой, при которой соблюдается желаемое значение остаточной щелочности известкованной воды.

4.5.11. Общая остаточная щелочность известкованной воды обусловлена ионами CO_3^{2-} и OH^- и будет примерно равна, $\text{мг-экв}/\text{кг}$

$$\text{Щ}_{общ}^{узв} = \text{Ж}_к^{узв} + \alpha, \quad (33)$$

где $\text{Ж}_к^{узв}$ - карбонатная жесткость известкованной воды, равная $0,5-1,0 \text{ мг-экв}/\text{кг}$.

Как правило, общая щелочность известкованной воды на выходе из механических фильтров в среднем составляет 0,8 мг-экв/кг. На долю гидратной щелочности приходится 0,2 мг-экв/кг.

4.5.12. Доза серной кислоты ($\partial_{H_2SO_4}^{u_3b}$), необходимая для нейтрализации остаточной гидратной щелочности известкованной воды (α) и для перевода карбонатной щелочности в бикарбонатную равна, мг-экв/кг

$$\partial_{H_2SO_4}^{u_3b} = 0,5Ж_K^{u_3b} + \alpha. \quad (34)$$

4.5.13. После известкования и нейтрализации карбонатов в исходной воде изменится карбонатная жесткость, сухой остаток, содержание кальция и сульфатов.

Концентрации этих компонентов в известкованной воде ориентировочно определяются по формулам:

- карбонатная жесткость известкованной воды после подкисления ($Ж_K^{u_3b.n}$) составит, мг-экв/кг

$$Ж_K^{u_3b.n} = Ж_{общ}^{u_3b} - \partial_{H_2SO_4}^{u_3b}; \quad (35)$$

- содержание сульфат-ионов в известкованной воде $[SO_4^{2-}]^{u_3b}$ определяется, мг-экв/кг

$$[SO_4^{2-}]^{u_3b} = [SO_4^{2-}]^{ucx} + 48\partial_{H_2SO_4}^{u_3b}, \quad (36)$$

где $[SO_4^{2-}]^{ucx}$ - концентрация сульфатов в исходной воде в мг/кг;

- концентрация кальция в известкованной воде $[Ca^{2+}]^{u_3b}$ зависит от соотношения $[Ca^{2+}]^{ucx}/[HCO_3^-]^{ucx} = A$ и определяется по формулам, мг-экв/кг:

$$\text{при } A > 1 [Ca^{2+}]^{u_3b} = [Ca^{2+}]^{ucx} - [HCO_3^-]^{ucx} + Щ_{общ}^{u_3b} + Ж_{нк}^{ucx}; \quad (37)$$

$$\text{при } A \leq 1 [Ca^{2+}]^{u_3b} = Щ_{общ}^{u_3b} + Ж_{нк}^{ucx}; \quad (38)$$

(S^{u_3b} сухой остаток известкованной воды после подкисления) также зависит от отношения A и будет равен, мг-экв/кг:

$$\begin{aligned} \text{при } A \geq 1 \quad S^{u_3b} = S^{ucx} - 50(Ж_K^{ucx} - Ж_K^{u_3b}) + 8[Mg^{2+}]^{ucx} + 68\alpha + \\ + 48(\partial_{H_2SO_4}^{u_3b} - \alpha) - 3,5\Delta O_K, \end{aligned} \quad (39)$$

где $S^{усх}$ - сухой остаток исходной воды, мг/кг;
 ΔO_K - снижение окисляемости, составляющее 30-70% исходной окисляемости, мг/кг.

Остальные компоненты, входящие в формулу, даны в мг-экв/кг;

$$\text{при } A < 1 \quad S^{узб} = S^{усх} - 50 \left([Ca^{2+}]^{усх} - Ж_K^{узб} \right) - 42 \left(Ж_K^{усх} - Ж_K^{узб} \right) + 8 [Mg^{2+}]^{усх} + 68 \alpha + 48 \left(\partial_{H_2SO_4}^{узб} - \alpha \right) - 3,5 \Delta O_K. \quad (40)$$

4.5.14. Количество известкуемой добавочной воды, необходимое для предотвращения накипобразования ($D_{узб}$) определяется по формуле, м³/ч

$$D_{узб} = \frac{(Ж_K^{доб} - \frac{Ж_{пр}}{\Psi}) D_{доб}}{Ж_K^{доб} - Ж_{К}^{узб.п}}, \quad (41)$$

где $Ж_{пр}$ - предельно допустимая карбонатная жесткость оборотной воды, стабилизируемая ОЦДЖ ($Ж_{пр} = Ж_{пр.ОЦДЖ}$).

4.5.15. Химический состав добавочной воды после обработки части ее известкованием будет равен:

- карбонатная жесткость ($Ж_K^{доб.узб}$), мг-экв/кг

$$Ж_K^{доб.узб} = \frac{(D_{доб} - D_{узб}) Ж_K^{доб} + D_{узб} Ж_K^{узб.п}}{D_{доб}}; \quad (42)$$

- кальций ($[Ca^{2+}]^{доб.узб}$), мг-экв/кг

$$[Ca^{2+}]^{доб.узб} = \frac{(D_{доб} - D_{узб}) [Ca^{2+}]^{доб} + D_{узб} [Ca^{2+}]^{узб}}{D_{доб}}; \quad (43)$$

- сульфаты ($[SO_4^{2-}]^{доб.узб}$), мг-экв/кг

$$[SO_4^{2-}]^{доб.узб} = \frac{(D_{доб} - D_{узб}) [SO_4^{2-}]^{доб} + D_{узб} [SO_4^{2-}]^{узб}}{D_{доб}}; \quad (44)$$

- сухой остаток ($S^{доб.узб}$), мг-экв/кг

$$S^{\partial \text{об.узб}} = \frac{(D_{\partial \text{об}} - D_{\text{узб}}) S^{\partial \text{об}} + D_{\text{узб}} S^{\text{узб}}}{D_{\partial \text{об}}} . \quad (45)$$

4.5.16. Сухой остаток оборотной воды ($S^{\partial \text{об}}$) определяется по формуле, мг/кг

$$S^{\partial \text{об}} = S^{\partial \text{об.узб}} \varphi . \quad (46)$$

4.5.17. По сухому остатку оборотной воды и содержанию кальция и сульфатов в добавочной воде после обработки части ее известкованием определяется условие невыпадения гипса согласно п.4.2.II, формула (2I).

4.5.18. Концентрация сульфатов в оборотной воде ($[SO_4^{2-}]^{\partial \text{об}}$), необходимая для определения агрессивности воды по отношению к бетонам гидросооружений (СНиП 2.03.II-85) определяется по формуле, мг/кг.

$$[SO_4^{2-}]^{\partial \text{об}} = \frac{D_{\partial \text{об}} [SO_4^{2-}]^{\partial \text{об}} + 48 D_{\text{узб}} \partial_{H_2SO_4}^{\text{узб}}}{D_{\partial \text{об}}} \varphi . \quad (47)$$

4.5.19. Расход ОЭДЖ для обработки рассчитывается согласно п.4.3.2.7; расходы извести ($G_4^{\text{узб}}$) и серной кислоты ($G_4^{H_2SO_4}$) определяются по формулам, кг/ч:

$$G_4^{\text{узб}} = \partial_{\text{узб}} D_{\text{узб}} ; \quad (48)$$

$$G_4^{H_2SO_4} = \frac{49}{K} \partial_{H_2SO_4}^{\text{узб}} D_{\text{узб}} \cdot 10^{-3} . \quad (49)$$

4.5.20. Контроль за правильностью обработки ведется аналогично контролю при обработке воды ОЭДЖ (п.4.3.2.I6, 4.3.2.I7). При этом вместо $J_K^{\partial \text{об}}$ подставляется $J_K^{\partial \text{об.узб}}$, определяемая химическим анализом или по формуле (42).

5. ПРЕДОТВРАЩЕНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ ОРГАНИЧЕСКИХ ОТЛОЖЕНИЙ ПУТЕМ ХЛОРИРОВАНИЯ ВОДЫ

5.1. Обработка охлаждающей воды хлором устраняет органическую часть отложений со стенок трубок теплообменников. Хлорирование может применяться как в оборотной, так и в прямоточной системах охлаждения.

5.2. Для хлорирования охлаждающей воды могут использоваться жидкий хлор, хлорная известь, гипохлориты, двуокись хлора и другие вещества, содержащие активный хлор.

5.3. При введении в воду хлор гидролизуется, образуя хлорноватистую и соляную кислоты. Степень гидролиза определяется активной реакцией среды. При $\text{pH} < 5$ активный хлор почти полностью находится в растворе в молекулярной форме. При $\text{pH} = 5,9,2$ в воде присутствует хлорноватистая кислота с некоторой примесью гипохлоритов. При $\text{pH} > 9,2$ активный хлор находится в растворе только в виде гипохлоритных ионов ClO^- . Главным бактерицидным соединением хлора в воде при значениях pH , обычных для охлаждающей воды, является недиссоциированная хлорноватистая кислота.

5.4. Для предотвращения образования органических отложений хлорирование воды следует вести периодически. Периодичность хлорирования и продолжительность подачи хлора зависят от интенсивности роста водных организмов на поверхностях теплообмена, химического состава охлаждающей воды, времени года, режима эксплуатации конденсаторов и других факторов и устанавливается экспериментально. В среднем интервалы между подачами хлора составляют от 2 до 24 ч и более, а продолжительность подачи хлора от 15 до 60 мин.

Наиболее часто встречающийся режим: периодичность 24 ч, продолжительность подачи хлора в воду 60 мин.

5.5. По санитарным и рыбохозяйственным нормам содержание активного хлора в открытом водоеме должно равняться нулю. В связи с этим на ТЭС следует хлорировать не всю охлаждающую воду одновременно, а лишь часть ее, поступающую на один или два конденсатора. При этом хлорированная вода смешивается с общим потоком сбрасываемой воды и содержание активного хлора в последней будет равно нулю. В связи с тем, что хлорирование ведется периодически (1-1,5 ч в сутки), в течение суток можно поочередно

привести хлорирование воды, поступающей на все конденсаторы ТЭС. Это дает возможность использовать для хлорирования охлаждающей воды даже на крупных ТЭС хлораторные установки небольшой производительности, работающие на жидком хлоре или хлорной извести. При этом хлорная вода подается в водоприемные камеры циркуляционных насосов при блочной схеме технического водоснабжения и в подводящий водовод непосредственно перед конденсатором при коллекторной схеме водоснабжения.

5.6. Основным показателем режима хлорирования является количество свободного хлора на выходе из конденсатора. Согласно ПТЭ, это количество не должно превышать 0,5 мг/кг. Исходя из этого экспериментально на основании данных хлоропоглощаемости подбирается доза вводимого хлора ($\bar{d}_{хл}$).

5.7. Хлоропоглощаемость (ХП) – показатель, характеризующий расход хлора на разрушение и окисление микро- и макроорганизмов, органических и некоторых неорганических веществ, имеющих в воде, и зависящий от ее химического состава, дозировки хлора, температуры воды и времени контакта воды с хлором.

5.8. Экспериментально доза хлора подбирается следующим образом.

В пробы охлаждающей воды вводят различные начальные дозы хлора и по истечении заданного времени контакта, равного времени прохождения воды от места ввода хлора до выхода из наиболее удаленного конденсатора (при блочной схеме водоснабжения), определяют концентрацию остаточного активного хлора. Доза хлора, при которой содержание остаточного активного хлора в пробах равно 0,5 мг/кг, принимается для хлорирования воды. Окончательно дозирование хлора отрабатывается в процессе пуска и наладки установки.

5.9. При отсутствии данных по хлоропоглощаемости воды для предварительных расчетов можно пользоваться ориентировочными данными по количеству вводимого хлора, приведенными в табл. 4.

5.10. Суточный расход хлора ($G_{сут}^{хл}$) определяется по формуле, кг

$$G_{сут}^{хл} = \frac{W' \bar{d}_{хл} \tau n}{60}, \quad (50)$$

где W' - расход хлорируемой воды, м³/ч;
 $\bar{d}_{хл}$ - доза вводимого хлора, кг/м³;
 T - продолжительность каждого периода введения хлора, мин;
 n - число периодов введения хлора в течение суток.

Т а б л и ц а 4

Окисляемость, мг/кг	Доза хлора ($\bar{d}_{хл} \cdot 10^{-3}$), кг/м ³ , при продолжительности пребывания воды в трубопроводах и конденсаторе, мин		
	1	2	4 и более
Менее 10	1,5	2,0	2,5
10-15	2,5	3,5	4,0
15-20	5,0	6,0	6,5

В случае применения хлорной извести при расчете следует учитывать в ней содержание активного хлора. При этом суточный расход хлорной извести ($G_{сут}^{хл.изв}$) будет равен, кг

$$G_{сут}^{хл.изв} = \frac{G_{сут}^{хл} \cdot 100}{K}, \quad (5I)$$

где K - содержание активного хлора в хлорной извести, %.

5.II. При применении хлорной извести приготовление рабочего раствора и его дозирование осуществляется следующим образом (рис.9).

Хлорная известь подается в бункер, откуда водой смывается в бак. В баке раствор перемешивается механической мешалкой в течение 15 мин, после чего образовавшаяся масса поступает в дозирующий бачок. Из дозирующего бачка заданный расход рабочего раствора подается в обрабатываемую воду.

Расход рабочего раствора хлорной извести ($G_{р-р}^{хл.изв}$) определяется по формуле, м³/сут

$$G_{p-p}^{хл.изб} = \frac{G_{сут}^{хл}}{C_{хл}}, \quad (52)$$

где $C_{хл}$ - концентрация активного хлора в рабочем растворе, кг/м³ (определяется анализом).

5.12. При хлорировании охлаждающей воды жидким хлором (рис.10) вода забирается из водоприемника насосной станции центробежным насосом и подается к зданию хлораторной установки в эжекторы и к смесителям хлораторов, где она смешивается с хлором. Из смесителей хлорная вода поступает на эжекторы и подается через бак аварийного выпуска, а в аварийных случаях через переливную воронку бака в обрабатываемую воду. Хлорная вода подается в воду через задвижки с электроприводами. Управление задвижками может быть автоматическим и ручным.

5.13. Оборудование, по которому хлорный раствор подается от хлораторной установки в хлорируемый поток охлаждающей воды, следует выполнять из хлороустойчивых материалов (резиновых шлангов, керамики, пластмассы и т.п.).

5.14. Производительность установки хлорирования рассчитывается с учетом максимально возможного ее использования на основании расхода охлаждающей воды, дозы хлора, периодичности и продолжительности хлорирования. В ряде случаев на ТЭС могут быть использованы (с соответствующей привязкой по месту) типовые проекты хлораторных установок. При неблочных схемах технического водоснабжения следует в типовых проектах хлораторных установок дополнительно предусматривать хлороустойчивый насос соответствующей производительности для подачи хлорной воды в водовод и перед каждым конденсатором в месте ввода хлорной воды установку смесителя.

Место расположения расходных складов устанавливается в каждом конкретном случае в соответствии с принятыми нормами.

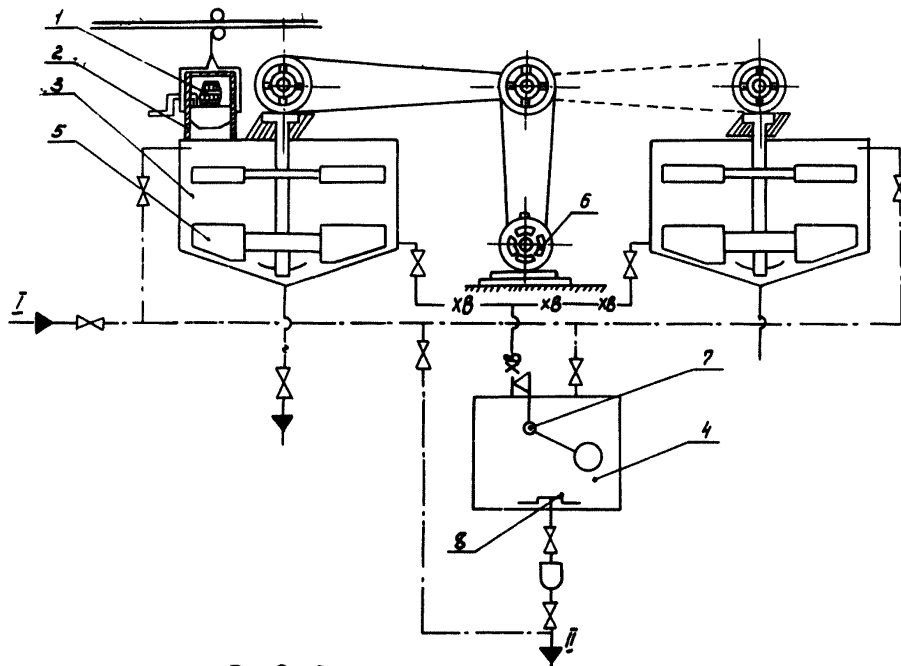


Рис.9. Схема дозирования хлорной извести:

- 1 - бочка с хлорной известью; 2 - подъемник; 3 - бак для разведения извести;
 4 - дозирующий бачок; 5 - мешалка; 6 - привод мешалки; 7 - поплавковый клапан;
 8 - дозирующая шайба;
 I - подвод воды; II - в циркуляционную систему

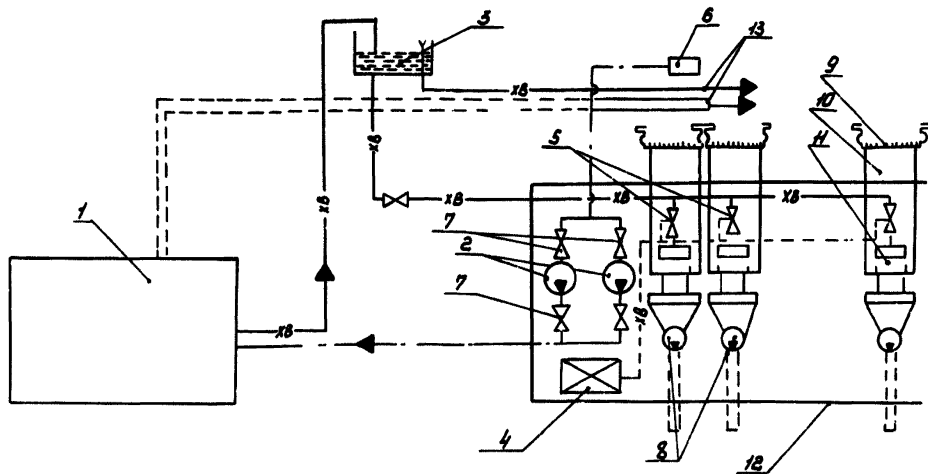


Рис.10. Схема дозирования жидкого хлора:

1 - здание хлораторной установки; 2 - центробежные насосы; 3 - бак аварийного выпуска хлорной воды; 4 - колонка автоматического распределения хлорной воды; 5 - вентили; 6 - приемный клапан; 7 - задвижки с ручным приводом (параллельные чугунные с выдвижным шпинделем); 8 - циркуляционные насосы; 9 - грубая решетка; 10 - камера вращающихся сеток; 11 - вращающиеся сетки; 12 - здание насосной станции; 13 - линии аварийного сброса жидкого хлора

6. ОЧИСТКА КОНДЕНСАТОРОВ ТУРБИН ОТ ОТЛОЖЕНИЙ

6.1. Химический способ

6.1.1. Химический способ очистки применяется, когда отложения на поверхности трубок конденсаторов турбин в основном состоят из карбонатов кальция и чаще всего плотно прикреплены к ней.

6.1.2. При химическом способе очистки большое внимание уделяется равномерному растворению отложений, достигаемому отсутствием пенообразования, и минимальной потере металла трубок.

Исходя из этого в настоящее время для очистки конденсаторов турбин могут быть рекомендованы следующие моющие вещества:

- водный конденсат низкомолекулярных органических кислот (ВК НМК), представляющий собой 25-35%-ную смесь муравьиной, уксусной, пропиновой, валериановой, масляной и капроновой кислот, а также концентрат низкомолекулярных кислот (К НМК), т.е. 75%-ная смесь этих кислот. ВК НМК и К НМК являются отходом производства синтетических жирных кислот. Очистка производится 5-7%-ным раствором с ингибиторами коррозии: И-2-В или И-1-Е в количестве 0,2-0,5% в промывочном растворе; смесь 0,1% КИ-1 с 0,05% тиурама или 0,1% ОП7 (ОПЮ, КИ-1) с 0,02% каптакса;

- техническая соляная кислота, ингибированная В-2 или ПБ-5, 2-5%-ная с добавкой для пеногашения водного конденсата из расчета 0,35 кг (100%-ного) на 1 кг накипи или синтетических жирных кислот (СЖК) фракции C_5-C_6 в количестве 0,15-0,25% по объему. В качестве дополнительных ингибиторов могут быть использованы: тиосульфат натрия в количестве 4-5 г на 1 г-ион железа и меди; 0,3-0,5%-ный И-2-В или И-1-Е; тиомочевина с гидроксиламином по 2 г на 1 г-ион железа и меди; смесь катапина и тиурама в количествах соответственно 0,1 и 0,05% в промывочном растворе; роданистый аммоний в количестве 0,1% в промывочном растворе; смесь роданистого аммония с тиомочевинной по 0,05% каждого компонента в промывочном растворе; смесь 0,1-0,2% КИ-1 с 0,02% каптакса.

6.1.3. Количество реагентов, необходимое для химической очистки конденсаторов, рассчитывается по количеству имеющейся в нем накипи.

Количество накипи в конденсаторе А определяется по формуле, кг

$$A = \frac{\delta F \gamma}{1000} , \quad (53)$$

где δ - средняя толщина отложений, мм;
 F - внутренняя поверхность конденсаторных трубок, покрытая отложениями, m^2 ;
 γ - плотность отложений (средняя плотность карбонатных отложений принимается равной $2000 \text{ кг}/m^3$), $кг}/m^3$.

6.1.4. Количество ВК НК, необходимое для химической очистки конденсатора $G_{ВК}$ рассчитывается по формуле, кг

$$G_{ВК} = \frac{A \cdot 1,8 \cdot 100}{C_{ВК}} , \quad (54)$$

где 1,8 - количество 100%-ного ВК, необходимое для растворения 1 кг карбонатной накипи (усредненное, экспериментально определенное значение), кг;
 $C_{ВК}$ - концентрация водного конденсата, используемого для химической очистки, % (обычно поставляется 25-35%-ный ВК; ориентировочно процентное содержание ВК в техническом продукте определяется делением кислотного числа его на 10).

6.1.5. Количество ВК, необходимое для гашения пены при очистке конденсатора соляной кислотой ($G'_{ВК}$), определяется по формуле, кг

$$G'_{ВК} = \frac{A \cdot 0,35 \cdot 100}{C_{ВК}} , \quad (55)$$

где 0,35 - экспериментально определенное количество 100%-ного ВК, требуемое для гашения пены, образующейся при реакции 1 кг накипи с соляной кислотой, кг.

6.1.6. Так как ВК является одновременно и пеногасителем и растворителем накипи, то часть накипи растворится в ВК, введенном для пеногашения. Количество растворившейся в пеногасителе накипи (A_1) определяется следующим образом:

- определяется процентная концентрация ВК в промывочном контуре ($C'_{ВК}$)

$$C'_{BK} = \frac{G_{BK} C_{BK}}{V} 10^{-3}, \quad (56)$$

где V - объем промывочного контура, m^3 ;

- в табл.5 приведены определенные экспериментальные данные растворения накипи в одном кубическом метре раствора ВК различной концентрации (δ).

По концентрации ВК в промывочном контуре (C'_{BK}) из табл.5 находим количество растворившейся в $1 m^3$ раствора накипи (δ) в килограммах;

- определяем количество накипи (A_1), растворившейся во введенном для пеногашения ВК, кг

$$A_1 = \delta V. \quad (57)$$

6.1.7. Необходимое количество соляной кислоты (G_{HCl}) для очистки конденсатора с добавкой ВК в качестве пеногасителя определяется по формуле, кг

$$G_{HCl} = \frac{(A - A_1) \cdot 0,73 \cdot 100}{C_{HCl}}, \quad (58)$$

где 0,73 - количество 100%-ной HCl, необходимое для растворения 1 кг карбонатной накипи, кг;

C_{HCl} - концентрация технической соляной кислоты, используемой для химической очистки, % (обычно поставляется 20-25%-ная HCl).

При применении для очистки конденсатора соляной кислоты с пеногасителем СЖК фракции C_5-C_6 расчет ее количества производится по формуле (58) без вычета значения A_1 .

6.1.8. В процессе химической очистки мощней раствор циркулирует по замкнутому контуру; буферный бак-насос-первый ход и второй ход конденсатора-буферный бак (рис.II). Кислота подается

Т а б л и ц а 5

Концентрация ВК в мощ- ном растворе, %	2	5	10	15	20	25	30
Количество накипи, растворившейся в $1 m^3$ раствора ВК (δ), кг	20,0	32,7	60,6	80,0	90,0	115,0	120,5

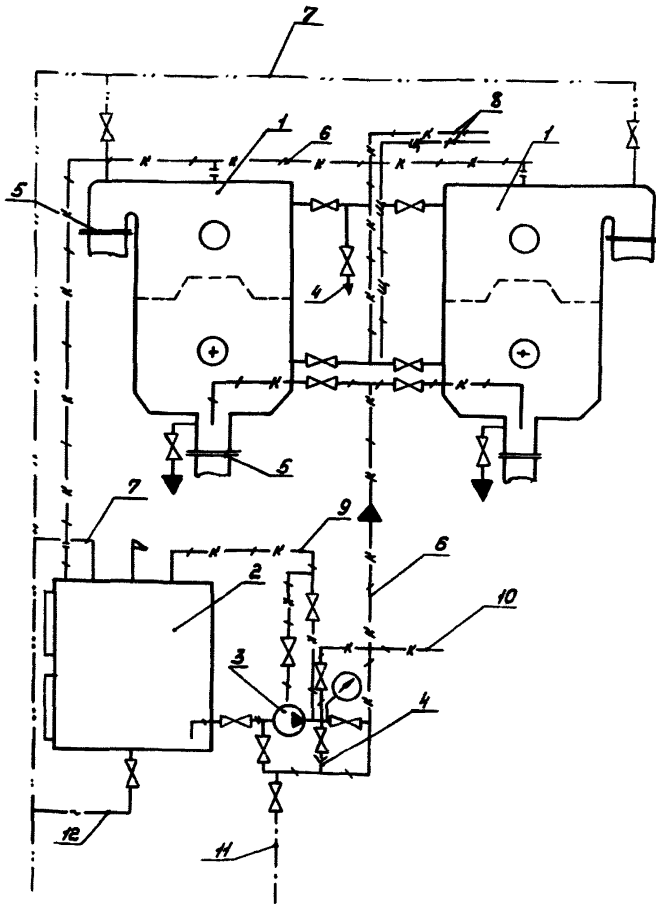


Рис. II. Схема химической очистки конденсаторов:

I - конденсатор; 2 - промежуточный бак ($V = 20 \text{ м}^3$);
3 - насос 8НДВ или 6НДВ ($400-500 \text{ м}^3/\text{ч}$); 4 - проб-
отборник; 5 - заглушка; 6 - линия циркуляции кислот-
ного раствора; 7 - линия отвода газов; 8 - линия по-
дачи кислоты и щелочи; 9 - линия циркуляции промь-
вочного раствора; 10 - линия сброса промывочного
раствора; II - линия подачи технической воды; 12 -
линия аварийного опорожнения бака

в водяную камеру после трубок первого хода или в буферный бак.

6.1.9. Установка для очистки может быть выполнена переносной или стационарной (исходя из местных условий) и соединяется с конденсатором турбины трубопроводами подачи реагентов, технической воды и сброса промывочных растворов.

Заполнение конденсатора водой и опорожнение его от мощного раствора желательно осуществлять в течение 15-20 мин.

6.1.10. Сбросной и напорные водоводы отключаются с помощью заглушек. При постоянно проводимых кислотных промывках можно применить быстросъемные заглушки (рис.12). В водяной камере кон-

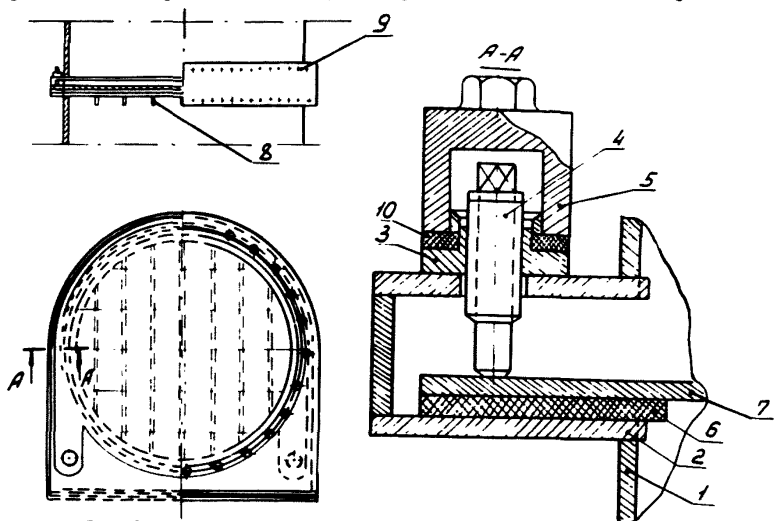


Рис.12. Заглушка для отключения циркуляционного водовода:

1 - отключенный циркуляционный водовод; 2 - корпус заглушки; 3 - специальная гайка; 4 - колпачковая гайка; 5 - болт; 6 - резиновая прокладка; 7 - заглушка; 8 - опорное ребро; 9 - крышка; 10 - паронитовая прокладка

денсатора устанавливается распределительный коллектор подачи кислоты и щелочи. Вместимость установленного буферного бака зависит от мощности турбогенератора и должна быть не менее: 10 м³ при мощности до 25 МВт, 15-17 м³ при мощности 50-100 МВт, 20-22 м³ при мощности 150-200 МВт, 30-50 м³ при мощности 300-800 МВт,

200 м³ при мощности 1000 МВт.

6.1.11. Подача насоса кислотной промывки выбирается из условия обеспечения скорости движения моющего раствора в трубках конденсатора примерно 0,1 м/с при очистке с помощью ВК НКМ и 0,01-0,05 м/с при промывке соляной кислотой с пеногасителями.

Напор, развиваемый промывочным насосом, должен быть не менее гидравлического сопротивления промывочного контура, но не более расчетного давления в конденсаторе. Во избежание превышения давления сверх допустимого значения в схеме очистки должен устанавливаться электроконтактный манометр, дающий сигнал на отключение насоса кислотной очистки.

Рекомендуются насосы типов 6НДВ, 8НДВ, 12НДВ с подачей 500-1200 м³/ч.

6.1.12. Промывочные растворы сбрасываются в специальную емкость для нейтрализации.

6.1.13. Отработанные промывочные растворы ВК, а также смеси его с соляной кислотой после нейтрализации соляной кислоты могут быть использованы для повышения экономичности работы системы пылеприготовления путем обработки ими угля перед размолом.

6.1.14. На электростанциях, работающих на мазуте и газе, отработанные растворы могут непосредственно сжигаться в топках котлов при условии полной нейтрализации соляной кислоты. В этом случае раствор должен подаваться в топку через специальную форсунку, расположенную ниже основных горелок на 1,5 м (при многоярусном расположении - ниже первого яруса). Во избежание попадания раствора на экранные трубы форсунка должна устанавливаться по центру топки (или полутопки - при наличии двухсветного экрана). Кроме того, форсунка должна быть выдвинута в топку примерно на 100 мм. Дополнительный подвод воздуха в топку не нужен. Форсунка и весь тракт подвода раствора к ней (включая насос) должны быть выполнены из материалов, не подвергавшихся коррозии.

Во избежание снижения экономичности работы котла расход отработанного раствора должен быть таким, чтобы дополнительное количество влаги не превышало 1% количества сжигаемого топлива. Дополнительный расход топлива в период сжигания раствора составит не более 0,1%.

6.1.15. При проектировании установок для химических очисток конденсаторов турбин от накипи ВК НКМ или смесью его с соляной

кислотой (с последующим сжиганием отработанного раствора в топках котлов) необходимо предусматривать емкости для приема отработанного раствора в количестве, соответствующем двум-трем объемам промывочного контура.

6.2. Термический и механические способы

6.2.1. Способ термической очистки конденсаторов заключается в том, что при повышении температуры стенок конденсаторных трубок освобожденного от воды конденсатора до $50-55^{\circ}\text{C}$ органические и илистые отложения высыхают, растрескиваются и отслаиваются от стенок трубок. Для ускорения процесса сушки и удаления отслоившихся отложений через трубки конденсатора с помощью вентилятора продувается воздух, обычно предварительно подогретый в калорифере (рис.13).

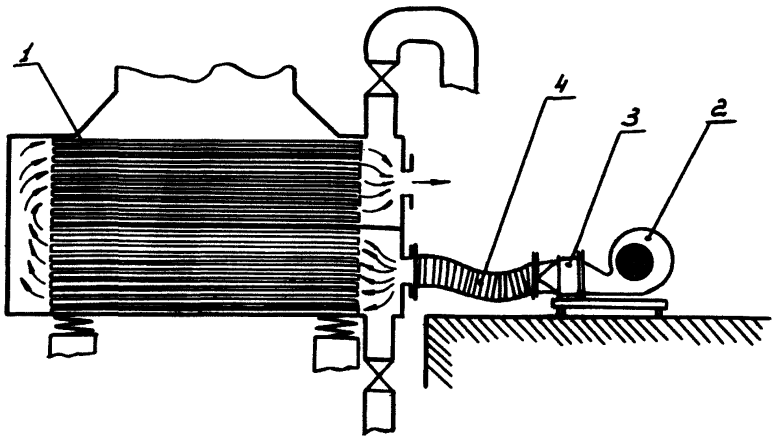


Рис.13. Схема сушки в трубках конденсатора:

1 - конденсатор турбины; 2 - вентилятор; 3 - калорифер; 4 - гибкий рукав

6.2.2. Очистка производится при поочередном отключении половин конденсатора по воде при одновременном снижении электрической нагрузки таким образом, чтобы температура в выхлопном патрубке не превышала 55°C. При этом в зимний период электрическая нагрузка равна или близка к номинальной, а летом составляет 75-80% номинальной. В очищаемую половину конденсатора прекращается подача воды. Вскрываются лжки со стороны входа и выхода воды, очищаются от мусора (щепы, рыбы, ракушек и т.п.) трубные доски, закрываются задвижки на линии отсоса воздуха. На площадке перед конденсатором устанавливается вентилятор, напорный патрубок которого соединяется с одним или двумя лжками крышки конденсатора со стороны подвода воды. Включается вентилятор и калорифер и через трубки конденсатора продувается подогретый воздух. Сушка трубок конденсаторов продолжается 4-8 ч, а при необходимости и более.

6.2.3. Продолжительность сушки определяется толщиной и характером отложений и температурой воздуха, поступающего в конденсатор. После окончания сушки закрываются лжки крышки конденсатора и он включается в работу. Отложения, вынесенные воздухом в водяные камеры, удаляются с водой при включении половины конденсатора в работу. Аналогично осуществляется термическая очистка второй половины конденсатора.

6.2.4. Разновидностью термической сушки является вакуумная сушка. Сущность метода заключается в том, что в водяном пространстве конденсатора создается вакуум на 40-150 мм вод.ст более глубокий, чем в паровом пространстве. В процессе сушки слой осадка уплотняется, разрывается на мелкие чешуйки и отслаивается. Процесс сушки происходит при параметрах, соответствующих кипению, отложения высыхают до влажности 3-5%. При включении конденсатора в работу чешуйки смываются циркуляционной водой.

Для проведения вакуумной сушки конденсатор оборудуется смесительным конденсатором, водоструйным эжектором, откачивающим насосом, а также запорной арматурой и системой измерений. На работающей с неполной нагрузкой турбине отключают подачу воды в одну половину конденсатора. Неконденсирующиеся газы и часть паров из водяного пространства откачивают водоструйным эжектором, а основную массу пара, выделяющуюся из отложений на трубках, конденсируют в смесительном конденсаторе, охлаждающую воду после

которого, а также протечки через запорные органы откачивают насосом.

Длительность вакуумной сушки одной половины конденсатора составляет 1-2 ч.

6.2.5. Механическая очистка конденсаторов производится щетинистыми ершами, укрепленными на длинных шомполах и приводимых в действие вручную или с помощью механических, электрических, гидравлических или пневматических устройств различного типа; резиновыми цилиндриками или поршеньками, проталкиваемыми через трубку шомполами; водой или воздухом под давлением с помощью пистолетов различной конструкции или других устройств; струей воды под большим давлением и в отдельных случаях с примесью песка, зола, воздуха и т.д.

Наиболее часто при очистке конденсаторов применяются гидравлический шомпол и пистолет.

6.2.6. Гидравлический шомпол (рис.14) состоит из цилиндра, внутренний диаметр которого 94 мм и длина 7000-9000 мм (в зависимости от длины трубок конденсатора), поршня с четырьмя уплотнительными кольцами и штанги шомпола для придания жесткости конструкции. Осевой ход поршня по штанге составляет 20 мм, что необходимо для регулирования подачи воды через штангу на ерш. Штанга выполнена из двух трубок диаметрами 19х1,5 и 14х3 мм, вставленных одна в другую таким образом, чтобы вода поступала на ерш из полости цилиндра через сквозные отверстия, расположенные в месте соединения поршня со штангой. Ход шомпола равняется длине конденсаторной трубки. Выход штанги из цилиндра уплотняется хлопчатобумажной набивкой.

В золотнике диаметром 40 мм и длиной 380 мм помещен шток с двумя поршнями, с помощью которых вручную регулируется подача и слив воды. Поршень приводится в движение путем попеременной подачи воды на одну и другую его стороны.

В корпусе золотника имеются симметрично расположенные по длине пять отверстий: центральное - для подачи воды из напорной линии, два верхних - для подачи и слива воды на поршень цилиндра и два нижних - для слива воды на канал. Ерш изготовлен из стальной проволоки диаметром 0,5-1,0 мм.

Для удаления отложений вода подается на ерш через отверстия

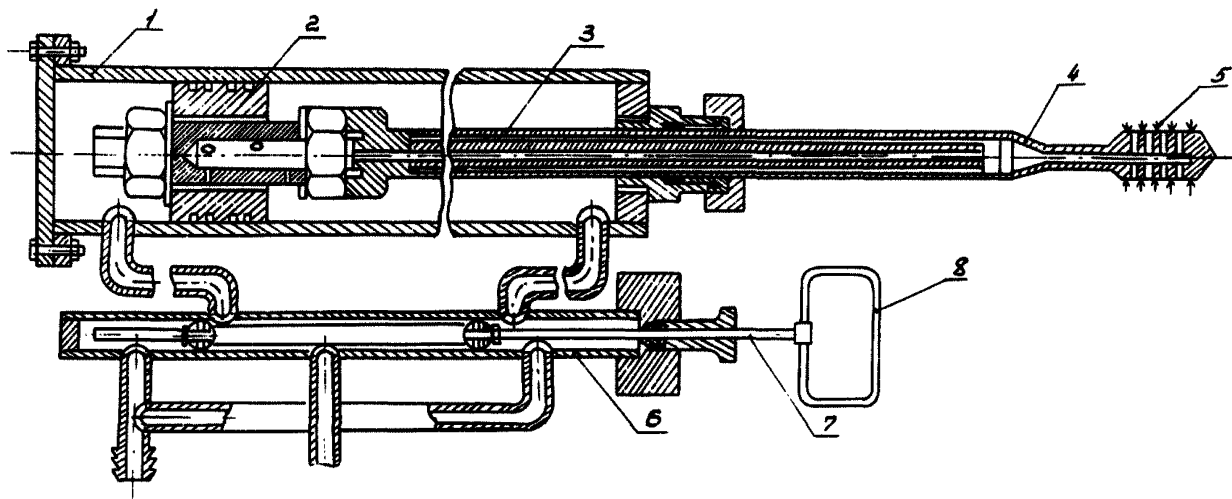


Рис. I4. Гидравлический шомпол для очистки трубок конденсатора:
 I - цилиндр; 2 - поршень; 3 - штанга-шомпол; 4 - наконечник; 5 - ерш; 6 - золотник; 7 - шток; 8 - ручка

в месте соединения ерша со штангой. При чистке трубок конденсатора поршневой шомпол подвешивается на металлическом тросе диаметром 10 мм таким образом, чтобы его можно было перемещать в вертикальном и горизонтальном направлениях.

Трубки конденсатора можно очищать сразу несколькими шомполами, например, два сверху и два внизу. Рабочей средой поршневого шомпола является техническая вода давлением 3-5 кгс/см² (0,3-0,5 МПа).

Для управления работой гидрошомпола применяют станок, позволяющий без подъема и передвижения чистить трубки в радиусе 300 мм.

6.2.7. Пистолет работает следующим образом. В трубки конденсатора вставляются стальные ерши (200-300 шт.) с резиновыми шайбами. С помощью гидравлического пистолета эти ерши прогоняются через трубки конденсаторов водой давлением 10-12 кгс/см² (1,0-1,2 МПа). При чистке трубок крышки конденсатора не снимаются, открываются только люки. Крышка конденсатора при этом служит упором для пистолета, на конце которого имеется маленький гидравлический домкрат, который при открытии крана для подачи воды расклинивает пистолет между крышкой конденсатора и трубной доской.

Вода прорывается через неплотности резиновых шайб на ерше и через ерш смачивает отложения на стенке трубки; ерш взрывает отложения, смешивая их с водой; резиновые шайбы полностью снимают отложения со стенок трубки и выносят их в заднюю камеру конденсатора. Вода, проталкивая ерш, окончательно промывает трубку. Когда кран пистолета закрывается, домкрат возвращается пружиной в исходное положение и пистолет переставляется на новую трубку.

6.2.8. Для механической очистки конденсаторов применяются высоконапорные установки типа "Атмат" фирмы Вома и Хаммельман. Они более производительны и эффективны, чем гидрошомпол и гидрорпистолет и могут очищать конденсаторы от плотной карбонатной накипи. Однако очистка конденсаторов от карбонатной накипи с помощью высоконапорной установки, как показал опыт применения, менее эффективна, чем химическая очистка.

Следует отметить, что очистка высоконапорной установкой ведется с давлением рабочей воды 400-500 кгс/см², поэтому она

проводится специально обученным персоналом, как правило, специализированных организаций, в частности, заводом "Котлоочистка".

6.3. Очистка конденсаторов эластичными шариками

6.3.1. Наиболее перспективным способом поддержания в чистоте поверхности охлаждения конденсаторов турбин является очистка трубок эластичными шариками из губчатой резины. Шарик диаметром на 1,0-1,5 мм больше диаметра очищаемых трубок при прохождении по ним за счет плотного прилегания к стенкам препятствует отложениям загрязнений любого характера. Применение шариковой очистки как профилактического средства поддержания в чистоте конденсаторных трубок позволяет избежать за весь период эксплуатации ухудшения вакуума в конденсаторе из-за загрязнений, а также исключить трудоемкие механическую или кислотную очистки конденсаторных трубок.

6.3.2. Особенностью систем шариковой очистки (СШО), применяемых в настоящее время на конденсаторах паротурбинных установок, является:

- использование эластичных шариков из губчатой резины;
- очистка воды, поступающей на конденсатор, от механических загрязнений в специально установленных фильтрах предварительной очистки.

6.3.3. Система шариковой очистки (СШО) состоит из фильтра предварительной очистки (ФП), очищающего воду от крупного мусора, насоса отмывки фильтра, шарикоулавливающего устройства (ШУУ) предназначенного для сбора и возвращения шариков в цикл, насоса для циркуляции шариков, загрузочной камеры для введения шариков в контур циркуляции, а также для сбора и удаления отработавших шариков, транспортных трубопроводов циркуляции шариков с электрифицированной арматурой и средств автоматизации системы. Принципиальная схема СШО показана на рис.15.

6.3.4. Фильтр предварительной очистки предназначен для удаления из охлаждающей воды крупноразмерного мусора, который, засоряя трубные доски, препятствует прохождению шариков через конденсаторные трубки. Фильтр предочистки осевого типа устанавли-

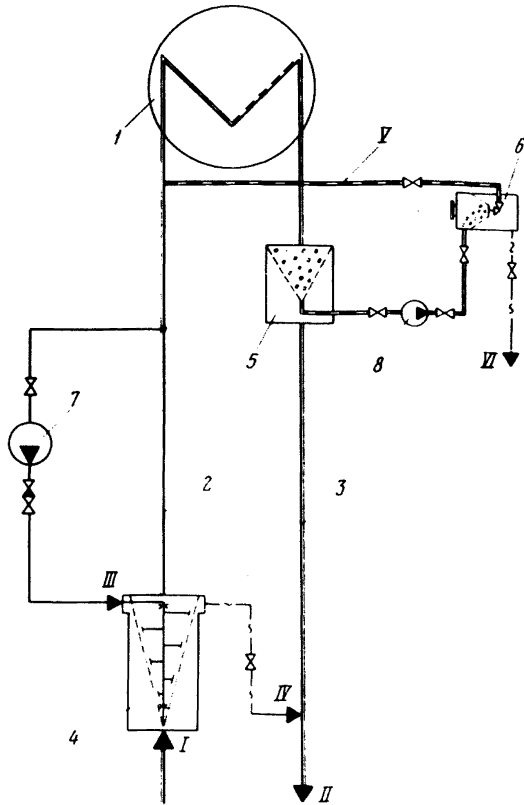


Рис.15. Принципиальная схема системы шариковой очистки конденсатора:

I - конденсатор; 2 и 3 - напорный и сливной циркуляционные водоводы; 4 - фильтр предварительной очистки; 5 - шарикоулавливающее устройство; 6 - загрузочная камера; 7 - насос промывки фильтра предварительной очистки; 8 - насос циркуляции шариков; I и II - подвод и слив циркуляционной воды; III - подача воды на отмычку фильтра П.О.; IV - сброс загрязненной воды из ф.п.о.; Y - контур циркуляции шариков; YI - опорожнение загрузочной камеры

ливается на горизонтальном участке напорного циркуляционного водовода. Фильтрующая поверхность образована конической сеткой, изготовленной из листового металла и имеющей отверстия диаметром 6-9 мм, расположенные с шагом 10 мм. Суммарное проходное сечение фильтра предпочитки в 2,5-3 раза превышает площадь поперечного сечения водовода.

Отмыв фильтра от загрязнений производится вращающимся сливным устройством коллекторного типа с соплами диаметром 6-8 мм, установленным внутри конуса сетки (рис.16). На отмывочные сопла подается вода с давлением 30-50 м вод.ст., которая образует локальный переток на сетке и при вращении сливного устройства смывает грязь по всему периметру фильтрующей сетки. Смытая с сетки грязь потоком воды выносится через трубопровод сброса загрязненной воды в сбросной циркуляционный водовод. Расход загрязненной воды при промывке фильтра не превышает 5-10% расхода охлаждающей воды по водоводу. Время промывки фильтра 3-5 мин. Конструкция фильтра позволяет производить отмывку фильтрующей сетки на работающем оборудовании.

Вращение сливного устройства может производиться с помощью гидравлического привода (по принципу сегнерова колеса) или осуществляться механическим приводом. Скорость вращения сливного устройства 6-14 об/мин. Гидравлическое сопротивление фильтра предпочитки в чистом состоянии около 600 кгс/м² при скорости воды в водоводе 2 м/с. Промывка фильтра производится автоматически. При увеличении перепада давления воды на фильтре сверх допустимого предела (1000-1200 кгс/м²) включается насос и вода подается на сливное устройство, одновременно открывается задвижка на трубопроводе сброса загрязненной воды.

6.3.5. Шарикоулавливающее устройство (ШУУ) предназначено для сбора шариков, прошедших конденсатор, и возвращения их посредством насоса шариковой очистки в напорный водовод перед конденсатором. Имеются разнообразные конструкции шарикоулавливающих сеток. Наибольшее распространение получило двухэтажное шарикоулавливающее устройство, верхние сетки которого, выполненные из двух плоских эллиптических сит, расположены У-образно с вершиной в центре водовода, а нижние сетки расположены в коробе, расположенном в центре водовода (рис.17). На ряде установок шариковой очист-

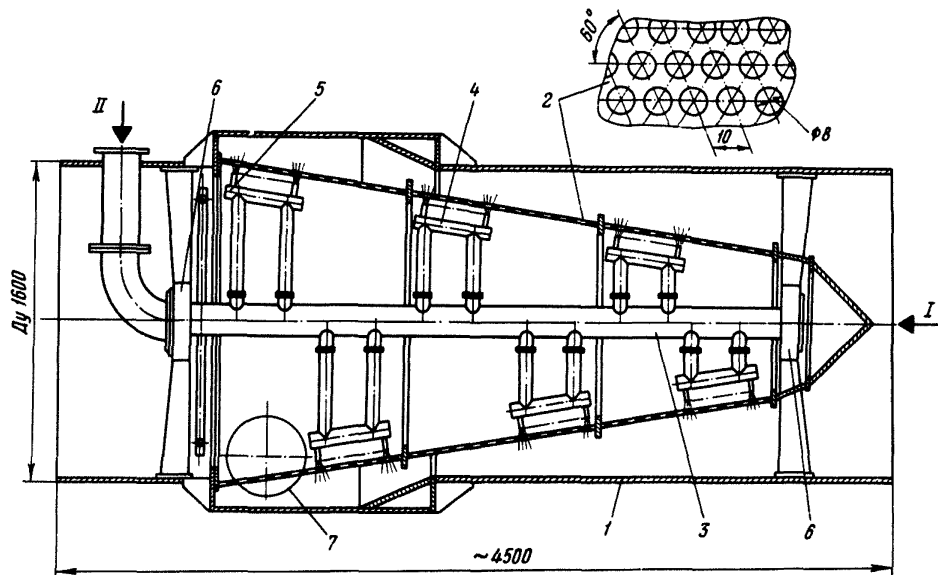


Рис.16. Фильтр предварительной очистки:

I - напорный водовод циркуляционной воды; 2 - фильтрующая сетка; 3 - вращающееся сливное устройство; 4 - коллектора с соплами; 5 - гидропривод сливного устройства с соплами; 6 - подшипники сливного устройства; 7 - патрубок отвода загрязненной воды; I - подвод циркуляционной воды; II - подвод воды на отмывочное устройство

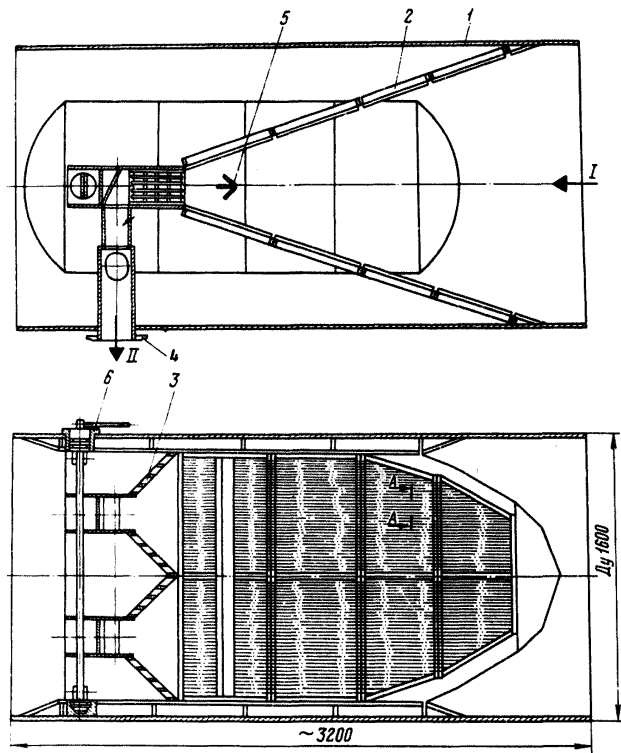


Рис. I7. Шарикоулавливающее устройство:

I - сливной циркуляционный водовод;
 2 - полуэллиптические сетки верхнего ряда;
 3 - сетки нижнего ряда; 4 - патрубок
 вывода шариков; 5 - турбулизирующее
 устройство; 6 - шибер-заслонка; I - вы-
 ход циркуляционной воды после конденса-
 тора; II - патрубок отвода шариков

ки ШУУ выполнено в виде односкатной плоской эллиптической сетки, установленной в вертикальной плоскости в водоводе под углом около 25° к его оси. Разработано шарикоулавливающее устройство с сеткой в виде двухскатной крышки, направленной навстречу потоку. По условиям монтажа на действующем оборудовании сетки набраны из нескольких секций, каждая из которых представляет собой раму с приваренными к ней стальными прутками диаметром 4 мм. Дистанционное расстояние между прутками изменяется с 16 мм в первый по ходу воды секции до 12 мм в секции выходного участка сетки. Для улучшения движения шариков к месту сбора в нижней части сеток устанавливаются козырьки, турбулизирующие поток воды. Все элементы шарикоулавливающего устройства изготавливаются из нержавеющей стали.

Главное требование к шарикоулавливающим устройствам - небольшое гидравлическое сопротивление, так как повышенный перепад давлений приводит к удерживанию шариков на полотне сетки и к уходу шариков через нее. Опытная эксплуатация отечественных СШО показывает, что перепад давлений на ШУУ не должен превышать $300-400 \text{ кгс/м}^2$ (мм вод.ст) при максимальных расходах охлаждающей воды на конденсатор.

6.3.6. Транспортировка шариков из ШУУ через загрузочную камеру в напорный водовод перед конденсатором производится насосом шариковой очистки (НШО) или водоструйным эжектором. В качестве НШО используются центробежные горизонтальные насосы типа СМС, СДС или СД с подачей $50-100 \text{ м}^3/\text{ч}$ и давлением 15-30 мм вод.ст., имеющие спиральную камеру и открытое канальное колесо. Мощность, потребляемая НШО, - около 10 кВт.

При использовании водоструйных эжекторов для транспортировки шариков рабочая вода давлением $3,0-3,5 \text{ кгс/см}^2$ в количестве $45-60 \text{ м}^3/\text{ч}$ может подаваться от специально устанавливаемого насоса (типа К-45/30 У2), от стационарных коллекторов технической воды или коллекторов насосов газоохладителей (в зимний период).

6.3.7. Загрузочная камера (ЗК) СШО предназначена для ввода шариков в контур циркуляции, сбора и выгрузки отработавших шариков из контура. Широкое применение получила конструкция загрузочной камеры, показанная на рис.18. Объем камеры рассчитан на одновременную загрузку до 2 тыс. шариков диаметром 28 мм. В вертикально расположенном цилиндре размещена коническая сетка с отвер-

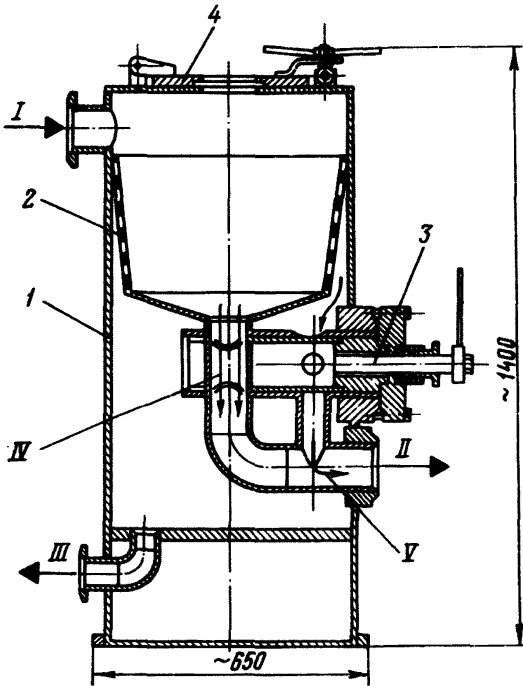


Рис. 18. Загрузочная камера:

I - корпус камеры; 2 - коническая перфорированная сетка; 3 - пробковый кран; 4 - загрузочный люк со смотровым окном; I и II - подвод и отвод воды с шариками; III - опорожнение камеры; IV - положение пробкового крана при циркуляции шариков; V - подход воды при отлове шариков

стями диаметром 10 мм. В верхней части ЗК расположен люк, через который загружаются шарики. В нижней части - патрубок отвода шариков с установленным на нем запорным краном пробкового типа. Полая пробка крана имеет два отверстия. В рабочем положении при циркуляции шариков одно из отверстий совпадает с отвер-

стием в днище конической сетки. Для сбора шариков в ЗК кран поворачивают на 90°, открывая слив воды из корпуса камеры и перекрывая выход воды с шариками из сетчатого конуса.

6.3.8. Важной составной частью ЦШО являются эластичные шарики из губчатой резины, предназначенные для очистки труб. Наружный диаметр их на 1-2 мм больше внутреннего диаметра очищаемых трубок. При прохождении через трубки шарики сжимаются, принимают цилиндрическую форму и за счет плотного прилегания к стенкам трубки очищают их по всей окружности сечения. Шарик должен отвечать следующим требованиям:

- иметь сферобразную форму необходимого диаметра;
- иметь пористую поверхность без раковин и крупных пор;
- хорошо насыщаться водой и при пропитке иметь отрицательную плавучесть;
- обладать высокой износостойкостью против механических повреждений и истирания.

В системах шариковой очистки на электростанциях Минэнерго СССР используются эластичные шарики, выпускаемые Свердловским заводом эбонитовых изделий (СзЭИ) Миннефтехимпрома СССР. Изготовление шариков организовано на оборудовании, приобретенном по лицензии у фирмы "Тапрогге" (ФРГ). Производительность технологической линии, которая введена в эксплуатацию в начале 1988 г., составляет 5 млн шариков в год.

Шарики выпускаются диаметрами 24, 25, 28 и 30 мм различной твердости: мягкие, нормальной твердости, твердые, повышенной твердости и сверхтвердые шарики. Часть шариков может выпускаться с корундовым пояском. Твердость шариков выбирается в зависимости от разности давления охлаждающей воды до и после конденсатора (гидравлического сопротивления), характера и интенсивности отложений, режимов работы оборудования и др.

6.3.9. При оснащении конденсатора системой шариковой очистки должны быть выполнены подготовительные мероприятия, повышающие надежность работы установки. В водяных камерах конденсаторов путем установки металлических листов и выгородок ликвидируются вихревые и застойные зоны, производится разделка концов конденсаторных трубок "под колокольчик", установка в поворотной камере между трубами первого и второго ходов порога высотой до 50 мм для равномерного распределения шариков по трубкам. На всех трубопро-

водах, подсоединенных к напорному и сливному водоводам, устанавливаются ограждающие решетки для предотвращения утечки шариков из контура циркуляции.

6.3.10. Перед вводом в эксплуатацию установки шариковой очистки необходимо выполнить предварительную очистку конденсаторных трубок. Очистка производится в зависимости от характера отложений способами, изложенными в пп.6.1 и 6.2 настоящих Методических указаний.

6.3.11. Эксплуатационное обслуживание СШО заключается в контроле за циркуляцией шариков, выгрузке отработавших и загрузке новых шариков, а также в наблюдении за нормальным функционированием автоматической системы отмывки фильтра предварительной очистки.

Замена шариков должна производиться после того, как их диаметр становится на 0,5 мм меньше внутреннего диаметра очищаемой трубки, так как эффективность очистки резко снижается. Количество шариков одноразовой загрузки составляет 8-10% количества трубок в конденсаторе. В зависимости от вида отложений в трубках, интенсивности загрязнения, химического состава циркуляционной воды шарики могут работать непрерывно или периодически 1-2 ч в смену, сутки и т.д.

6.3.12. К началу 1988 г. на ряде электростанций (Литовская, Лукомльская ГРЭС, ТЭЦ-22 Мосэнерго, ТЭЦ-5 Киевэнерго) находятся в опытно-промышленной эксплуатации отечественные системы шариковой очистки. Оборудование СШО изготовлено и смонтировано персоналом электростанции или на ремонтных предприятиях энергосистем по проектам, разработанным СБ ВТИ им.Дзержинского или Львовским филиалом ЦКБ Совзэнергоремонта.

Оснащение конденсаторов паротурбинных установок электростанций СШО должно производиться по двум направлениям:

- централизованным изготовлением оборудования установок шариковой очистки на Чебоксарском опытно-экспериментальном заводе "Энергозапчасть";

- изготовлением оборудования на электростанциях ремонтным персоналом или персоналом ремонтных предприятий энергосистем по проектным разработкам СБ ВТИ или Львовским филиалом ЦКБ Совзэнергоремонта.

ПРИМЕРЫ РАСЧЕТА РЕЖИМОВ ОБРАБОТКИ ВОДЫ

Расчеты выполняются для одного, летнего, сезона года.

Пример I.

Определить накипеобразующую способность охлаждающей воды и выбрать способ предотвращения накипеобразования в системе оборотного охлаждения с башенными градирнями проектируемой ТЭС.

Расчет режимов обработки

Показатель	Способ вычисления	Вычисление	Результат
------------	-------------------	------------	-----------

I. Исходные данные

I.1. W м ³ /ч	Исходные данные	-	80000
I.2. V м ³	То же	-	40000
I.3. $D_{доб}$ м ³ /ч	-"	-	3200
$D_{доб}$ %	-"	-	4,0
I.4. $Ж_{общ}^{доб}$ мг-экв/кг	-"	-	4,0
I.5. $Ж_K^{доб}$ мг-экв/кг	-"	-	3,2
I.6. $Ж_{НК}^{доб}$ мг-экв/кг	-"	-	0,8
I.7. $[Ca^{2+}]^{доб}$ мг/кг	-"	-	62

104

I.8. $[Mg^{2+}]^{доб}$ мг/кг	Исходные данные	-	II
I.9. $[Cl^-]^{доб}$ мг/кг	-"	-	40
I.10. $[SO_4^{2-}]^{доб}$ мг/кг	-"	-	172
I.11. $Ок$ мг/кг	-"	-	8,0
I.12. $S^{доб}$ (сухой остаток), мг/кг	-"	-	500
I.13. Максимальная температура нагрева воды, °C	-"	-	40
I.14. Δt °C	-"	-	10
I.15. ПДК SO_4^{2-} мг/кг	-"	-	400

2. Определение накипеобразующей способности охлаждающей воды

2.1. K (при t воздуха 40°C)	Табл. I	-	0,16
2.2. P_1 % W	Формула (2)	$10 \cdot 0,16$	1,6
2.3. P_2 % W	Табл. 2	Башенные градирни	0,5
2.4. P_3 % W	Из формулы (I) ($P_3 = P - P_1 - P_2$)	$4 - 1,6 - 0,5$	1,9
2.5. φ	Формула (4)	$\frac{1,6 + 0,5 + 1,9}{0,5 + 1,9}$	$1,67 \approx 1,7$
2.6. $Ж_{пр}$ мг-экв/кг	Формула (10)	$(8 + \frac{8}{3} - \frac{2,8 \cdot 0,8}{6 - \frac{8}{7}}) : 2,8$	$3,66 \approx 3,7$

105

Продолжение приложения I

Показатель	Способ вычисления	Вычисление	Результат
2.7. $J_{к. макс}^{об}$ мг-экв/кг	Формула (6)	$3,2 \cdot 1,7$	5,4
2.8. Накипобразующая способность охлаждающей воды	Формулы (7), (8)	$5,4 > 3,7$	Вода накипобразующая

3. Продувка системы

3.1. P_3 % W	Формула (13)	$\frac{1,6 \cdot 3,2}{3,7 - 3,2} - 0,5$	9,7
3.2. $D_{доб}^{прод}$ м ³ /ч	Формула (1)	$\frac{80000}{100} \cdot (1,6+0,5+9,7)$	9440
3.3. $D_{доб}^{доп}$ м ³ /сезон (дополнительный расход добавочной воды за сезон, т.е. 92 сут)	$(D_{доб}^{прод} - D_{доб}) 24 \cdot 92$	$(9440 - 3200) \cdot 92 \cdot 24$	13777920
3.4. C_8 , руб/1000 м ³ (цена воды)	Принимаем	-	4,0
3.5. Z_8 руб/сезон (затраты на дополнительный расход добавочной воды)	$C_8 D_{доб}^{доп} \cdot 10^{-3}$	$4 \cdot 13777920 \cdot 10^{-3}$	55112

4. Обработка воды серной кислотой

4.1. $J_{пр.п}$ мг-экв/кг	Формула (16)	$2,8 J_{пр.п} = 8 + \frac{8}{3} - \frac{2,8 \cdot (4 - \frac{J_{пр.п}}{1,7})}{6 - \frac{8}{7}}$	3,36 ≈ 3,4
4.2. $J_0^{доб}$ мг-экв/кг	Формула (14)	$\frac{3,4}{1,7}$	2,0 По остаточной жесткости обработки проходит
4.3. $[SO_4^{2-}]_n^{об}$ мг/кг	Формула (20)	$[172 + (3,2 - 2,0) \cdot 48] \cdot 1,7$	392 По ЦК обработки проходит
4.4. Проверка стабильности гипса в оборотной воде			
4.4.1. $S^{об}$ (сухой остаток в оборотной воде, мг/кг)	Формула (3)	$500 \cdot 1,7$	850
4.4.2. f_2	Рис.2	-	0,48
4.4.3. ПМК $CaSO_4$ (г-ион/кг) ²	Формула (21)	$0,48 \cdot \frac{62}{40 \cdot 1000} \cdot \frac{172}{40 \cdot 1000} \cdot 1,7^2 = 2,69 \cdot 10^{-6} < 4,5 \cdot 10^{-5}$ $= 0,48^2 \cdot 1,55 \cdot 10^{-3} \cdot 2,4 \cdot 10^{-3} \cdot 1,7^2$	Гипс выпадать не будет

Показатель	Способ вычисления	Вычисление	Результат
4.5. $\bar{\alpha}_{H_2SO_4}$ кг/м ³	Формула (17) (75%-ная H_2SO_4)	$\frac{49}{0,75} \cdot (3,2-2,0) \times 10^{-3}$	$78,4 \cdot 10^{-3}$
4.6. $\bar{G}_4^{H_2SO_4}$ кг/ч	Формула (18)	$78,4 \cdot 3200 \cdot 10^{-3}$	250,9
4.7. $\bar{G}_{сут}^{H_2SO_4}$ кг	$\bar{G}_4^{H_2SO_4} \cdot 24$	$250,9 \cdot 24$	6021
4.8. $\bar{G}_{сезон}^{H_2SO_4}$ т	$\bar{G}_{сут}^{H_2SO_4} \cdot 92 \cdot 10^{-3}$	$6021 \cdot 92 \cdot 10^{-3}$	554
4.9. $\bar{U}_{H_2SO_4}$ руб/т (цена серной кислоты)	Принимаем	-	30
4.10. $\bar{Z}_{H_2SO_4}$ руб/сезон (затраты на реагент)	$\bar{Z}_{H_2SO_4} = \bar{U}_{H_2SO_4} \times \bar{G}_{сезон}^{H_2SO_4}$	$30 \cdot 554$	16620
4.11. Расчет варианта обработки с уменьшением остаточной карбонатной жесткости добавочной воды до $J_0^{доб} = 1,0$ мг-экв/кг			
4.11.1. $J_{пр.п}$ мг-экв/кг	Формула (16)	$2,8 J_{пр.п} = e + \frac{8}{3} - \frac{2,8(4-I)}{6 - \frac{e}{7}}$	3,2
4.11.2. φ	Из формулы (14)	$\frac{3,2}{1,0}$	3,2
4.11.3. P_3 % W	Из формулы (4) или по формуле (13), где	$\frac{1,6+0,5+P_3}{0,5+P_3} = 3,2$	0,23

4.11.4. $[SO_4^{2-}]_п^{об}$ мг-экв/кг	$J_k^{доб} = J_0^{доб}$; $J_{пр} = J_{пр.п}$ Формула (20)	$\frac{1,6 \cdot 1,0}{3,2 - 1,0} - 0,5$ $172 + (4-I) \cdot 48 \cdot 3,2$	0,23 1011
--	--	---	--------------

По ЦК сульфатов для бетона (ЦК $SO_4^{2-} = 400$ мг/кг) вариант обработки не проходит

б. Обработка воды гексаметафосфатом натрия ($NaPO_3$) б

5.1. $J_{пр.ф}$ мг-экв/кг	Принимаем	-	5,5
5.2. P_3 % W	Формула (23)	$\frac{3,2 \cdot 1,6}{5,5 - 3,2} - 0,5$	$1,73 \approx 1,7$
5.3. $D_{доб}^{\varphi}$ м ³ /ч	Формула (1)	$\frac{80000}{100} \cdot (1,6+0,5+1,5)$	3040
5.4. $\bar{\alpha}_f$ кг/м ³	Формула (24)	$\left[\frac{150 + \frac{40 \cdot 80000}{40000(1,6+0,5+1,5)}}{50} \right] \times 10^{-3}$	8,6
5.5. \bar{G}_4^{φ} кг/ч	Формула (25)	$8,6 \cdot 2880 \cdot 10^{-3}$	24,8
5.6. $\bar{G}_{сут}^{\varphi}$ кг	$24 \cdot \bar{G}_4^{\varphi}$	$24,8 \cdot 24$	594
5.7. $\bar{G}_{сезон}^{\varphi}$ т	$92 \cdot 10^{-3} \bar{G}_{сут}^{\varphi}$	$594 \cdot 92 \cdot 10^{-3}$	54,7
5.8. \bar{U}_f руб/т (цена гексаметафосфата натрия)	Принимаем	-	425
5.9. \bar{Z}_f руб/сезон (затраты на реагент)	$\bar{U}_f \bar{G}_{сезон}^{\varphi}$	$425 \cdot 54,7$	23247

Показатель	Способ вычисления	Вычисление	Результат
5.10. $\Delta D_{доб}$ м ³ /сезон (экономия добавочной воды за счет снижения размера продувки с 1,9 до 1,5%)	$(D_{доб} - D_{доб}^{\phi}) \times 92 \cdot 24$	$(3200 - 2880) \cdot 92 \cdot 24$	706560
5.11. ΔZ_{β} руб/сезон (экономия затрат на добавочную воду в связи со снижением расхода последней)	$\Delta Z_{\beta} = \Delta D_{доб} \cdot c_{\beta} \cdot 10^{-3}$	$706560 \cdot 4 \cdot 10^{-3}$	2826
5.12. $Z_{обр}$ руб/сезон (затраты на обработку)	$Z_{обр} = Z_{\phi} - \Delta Z_{\beta}$	$23247 - 2826$	20421

6. Обработка воды ОЦФК

Условие: предельно допустимая концентрация ОЦФК в системе ($\bar{d}_{ОЦФК}$) не более 1,0 мг/кг

6.1. $J_{к. макс}^{об}$ мг-экв/кг	Формула (6)	$3,2 \cdot 1,7$	5,4
6.2. $J_{пр. ОЦФК}$ мг-экв/кг при $\bar{d}_{ОЦФК} = 1,0$ мг/кг	Рис.7.	-	6,0

Необходимо рассмотреть два варианта обработки воды ОЦФК:

- 1) с $J_{пр. ОЦФК} = J_{к. макс}^{об} = 5,4$ мг-экв/кг;
- 2) с $J_{пр. ОЦФК} = 6,0$ мг-экв/кг

В а р и а н т 1

6.3. $J_{пр. ОЦФК} = J_{к. макс}^{об}$ мг-экв/кг	Задаем	-	5,4
6.4. $\bar{d}_{ОЦФК}$ мг/кг	Рис.7	-	0,6
6.5. $G^{ОЦФК}$ кг	Формула (27)	$2 \cdot 40000 \cdot 0,6 \cdot 10^{-3}$	48
6.6. $G_{ч}^{ОЦФК}$ кг/ч	Формула (28)	$\frac{3200 \cdot 0,6}{1,7} \cdot 10^{-3}$	1,13
6.7. $G_{сут}^{ОЦФК}$ кг	Формула (29)	$1,13 \cdot 24$	27,12
6.8. $G_{сезон}^{ОЦФК}$ кг	$G_{сут}^{ОЦФК} \cdot 92 + G^{ОЦФК}$	$27,12 \cdot 92 + 48$	2543
6.9. $c_{ОЦФК}$ руб/кг (цена ОЦФК)	Принимаем	-	7,0
6.10. $Z_{ОЦФК}$ руб/сезон (затраты на реагент)		$7 \cdot 2543$	17801

В а р и а н т 2

6.11. $J_{пр. ОЦФК}$ мг-экв/кг	Рис.7 При $\bar{d}_{ОЦФК} = 1,0$ мг/кг	-	6,0
6.12. $\psi_{доп}$	Формула (26)	$\frac{6,0}{3,2}$	$1,88 \approx 1,9$
6.13. $P_3^{ОЦФК}$ %W	Формула (13) где $J_{пр} = J_{пр. ОЦФК}$	$\frac{1,6 \cdot 3,2}{6 - 3,2} - 0,5$	$1,33 \approx 1,3$

О к о н ч а н и е п р и л о ж е н и я I

Показатель	Способ вычисления	Вычисление	Результат
6.14. $D_{доб}^{OЗДФК}$ м ³ /ч	Формула (1)	$\frac{80000}{100} (1,6 + 0,5 + 1,3)$	2720
6.15. $G^{OЗДФК}$ кг	Формула (27)	$2 \cdot 40000 \cdot I \cdot 10^{-3}$	80
6.16. $G_{ч}^{OЗДФК}$ кг/ч	Формула (28)	$\frac{2720 \cdot I}{1,9} \cdot 10^{-3}$	1,43
6.17. $G_{сут}^{OЗДФК}$ кг	Формула (29)	$1,43 \cdot 24$	34,3
6.18. $G_{сезон}^{OЗДФК}$ кг	$G_{сут}^{OЗДФК} \cdot 92 + G^{OЗДФК}$	$34,3 \cdot 92 + 80$	3237
6.19. $Z_{OЗДФК}$ руб/сезон (затраты на реагент)	$Ц_{OЗДФК} G_{сезон}^{OЗДФК}$	$7 \cdot 3237$	22659
6.20. $Z D_{доб}^{OЗДФК}$ м ³ /сезон (экономия добавочной воды за счет снижения продувки)	$(D_{доб} - D_{доб}^{OЗДФК}) \cdot 24 \cdot 92$	$(3200 - 2720) \cdot 24 \cdot 92$	1059840
6.21. $ZЗв$ руб/сезон (экономия затрат на добавочную воду)	$ZЗв = Z D_{доб}^{OЗДФК} Ц_{в} \cdot 10^{-3}$	$1059840 \cdot 4 \cdot 10^{-3}$	4239
6.22. $Zобр$ руб/сезон (затраты на обработку)	$Z_{OЗДФК} - ZЗв$	$22659 - 4239$	18420

Экономически выгоднее обработку ОАДЖ проводить по первому варианту, т.е. без снижения размера продувки и повышения предельно допустимой карбонатной жесткости до максимально возможного значения в данных условиях, т.е. до 6,0 мг-экв/кг.

Из приведенных расчетов видно, что продувка системы более чем в два раза дороже (55112 руб/сезон без учета затрат на увеличение диаметров трубопроводов и перекачку дополнительного количества добавочной воды), чем обработка воды химическими реагентами.

Следовательно, в данном случае следует применить химическую обработку воды.

Стоимость сооружения установок для химической обработки при всех способах примерно одинакова и в расчетах не учитывалась. Так как затраты на реагенты отличаются незначительно (1-2 тыс. руб/сезон), то выбор способа обработки следует вести исходя из влияния его на окружающую среду, удобства и простоты в эксплуатации.

Обработка воды серной кислотой интенсифицирует коррозионную агрессивность воды.

Обработка полифосфатами может привести к зашламлению системы при нарушении режима, а также может вызывать интенсификацию развития водных организмов и растений (ортофосфаты являются питательной средой для них).

Обработка ОАДЖ не зашламляет систему, не увеличивает коррозионную агрессивность воды, реагент удобен в эксплуатации.

Следовательно, в данном случае предпочтение следует отдать обработке воды ОАДЖ.

1
1

Пример 2.

Расчитать режим обработки добавочной воды известкованием с нейтрализацией карбонатов и применением ОЭДФК в системе оборотного водоснабжения с башенными градирнями, оборудованными водоуловителями.

Расчет режима обработки

Показатель	Способ вычисления	Вычисление	Результат
I. W м ³ /ч	Исходные данные	-	80000
2. V м ³	"-	-	40000
3. $D_{Усп}$ м ³ /ч	"-	-	1280
4. $D_{Ку}$ м ³ /ч	"-	-	20
5. $D_{Пр}$ м ³ /ч	"-	-	400
6. $D_{доб}$ м ³ /ч	"-	-	1680
7. $[CO_2]^{доб}$ мг/кг	"-	-	1,2
8. $Ж_{общ}^{доб}$ мг-экв/кг	"-	-	4,0
9. $Ж_{к}^{доб}$ мг-экв/кг	"-	-	3,2
10. $Ж_{нк}^{доб}$ мг-экв/кг	"-	-	0,8
11. $[Ca^{2+}]^{доб}$ мг-экв/кг	"-	-	3,1
12. $[Mg^{2+}]^{доб}$ мг-экв/кг	"-	-	0,9
13. $[Cl^-]^{доб}$ мг/кг	Исходные данные	-	40
14. $[SO_4^{2-}]^{доб}$ мг/кг	"-	-	72
15. $S^{доб}$ мг/кг	"-	-	312
16. OK мг/кг	"-	-	8,0
17. $ЦК_{SO_4^{2-}}$ мг/кг	"-	-	400
18. $ЦК_{OЭДФК}$ мг/кг	"-	-	1,0
19. φ	Формула (4)	$\frac{1700}{1700 - 1280}$	4,047 ≈ 4,0
20. $Ж_{пр. OЭДФК}$ мг-экв/кг (при $\sigma_{OЭДФК} = ЦК_{OЭДФК} = 1,0$ мг/кг)	Рис. 7	-	6,0
21. $G_{ч}^{OЭДФК}$ кг/ч	Формула (28)	$\frac{1700 \cdot I}{4} \cdot 10^{-3}$	425 · 10 ⁻³
22. $pH^{узб}$	Задаемься	-	10,2
23. α мг-экв/кг	"-	-	0,2
24. $Ж_{к}^{узб}$ мг-экв/кг	"-	-	0,6
25. $Ж_{общ}^{узб}$ мг-экв/кг	Формула (33)	0,6 + 0,2	0,8
26. $\sigma_{H_2SO_4}^{узб}$ мг-экв/кг	Формула (34)	0,5 · 0,6 + 0,2	0,5

Показатель	Способ вычисления	Вычисление	Результат
27. $J_K^{uj\delta}$ мг-экв/кг	Формула (35)	0,8 - 0,5	0,3
28. $D_{uj\delta}$ м ³ /ч	Формула (4I)	$(3,2 - \frac{6,0}{4,0}) \cdot 1680$ 3,2 - 3,0	985
29. $[SO_4^{2-}]^{об}$ мг/кг	Формула (47)	$\frac{1680 \cdot 72 + 48 \cdot 985 \cdot 0,5}{1680} \times 4$	344 По ПДК обработка проходит
30. $[SO_4^{2-}]^{uj\delta}$ мг/кг	Формула (36)	72 + 48 · 0,5	86
3I. $A = [Ca^{2+}]^{об} / [HCO_3^-]^{об}$	-	3,1 : 3,2	0,97; A < I
32. $[Ca^{2+}]^{uj\delta}$ мг-экв/кг	Формула (38)	0,8 + 0,8	I,6
33. ΔOk мк/кг	Принимаем = 50% исходной	0,5 · 8	4
34. $S^{uj\delta}$ мг/кг	Формула (40)	3I2-50 (3,1-0,6) - -42 (3,2-0,6) + 8·0,9 + +68·0,2 + 48 (0,5-0,2) - - 3,5·4	99
35. $J_K^{об.uj\delta}$ мг-экв/кг	Формула (42)	$\frac{(1680-985) \cdot 3,2 + 985 \cdot 0,3}{1680}$	I,5
36. $[Ca^{2+}]^{об.uj\delta}$ мг-экв/кг	Формула (43)	$\frac{(1680-985) \cdot 3,1 + 985 \cdot I,6}{1680}$	2,2
37. $[SO_4^{2-}]^{об.uj\delta}$ мг/кг	Формула (44)	$\frac{(1680-985) \cdot 72 + 985 \cdot 86}{1680}$	80,2
38. $S^{об.uj\delta}$ мг/кг	Формула (45)	$\frac{(1680-985) \cdot 3I2 + 985 \cdot 99}{1680}$	I87
39. $S^{об}$ мг/кг	Формула (46)	I87 · 4	748
40. f_2 (по $S^{об} = 748$)	Рис.2)	-	0,49
4I. ПДК $CaSO_4$ (г-ион/кг) ²	Формула (2I)	$(0,49)^2 \cdot I,1 \cdot 10^{-3} \cdot 3,5 \cdot 10^{-6} \times$ $\times 0,83 \cdot 10^{-3} \cdot (4)^2$	$4,5 \cdot 10^{-5}$
42. $\bar{\sigma}_{uj\delta}$ кг/м ³ (при $C_{uj\delta} = 50\%$)	Формула (32)	$\frac{I,2}{22} + 3,2 + 0,9 + 0,2) \times \frac{28}{10 \cdot 50}$	0,24
43. $G_{uj\delta}$ кг/ч	Формула (48)	0,24 · 985	236
44. $G_4^{H_2SO_4}$ кг/ч (при $K = 0,75$)	Формула (49)	$\frac{49}{0,75} \cdot 0,5 \cdot 985 \cdot 10^{-3}$	32,2

76

77

МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ СТАБИЛЬНОСТИ ВОДЫ

Пробу воды объемом не менее 2 л доставляют в лабораторию в стеклянной посуде, заполненной до пробки.

Определение следует выполнять, по возможности, немедленно, но не позднее, чем через 2 ч после отбора пробы. Если вода содержит взвешенные вещества, пробу отстаивают в течение 1-2 ч. Отбирают 100 мл исследуемой воды в коническую колбу и определяют щелочность воды ($Щ_1$).

Затем в стеклянный сосуд вместимостью 400-500 мл всыпают 30 г порошкообразного карбоната кальция, заполняют сосуд до пробки исследуемой водой, плотно закрывают, устанавливают на платформу встряхивающего аппарата и в течение 3 ч встряхивают при 100-150 качаниях платформы в минуту.

Если необходимо оценить стабильность воды при нагревании, ее нагревают до нужной температуры в заполненной доверху колбе, закрытой пробкой с небольшим отверстием. Затем подогретую воду переливают в термос вместимостью 0,5 л или сосуд, покрытый термоизоляцией, добавляют 30 г карбоната кальция и 3-4 раза встряхивают.

По окончании встряхивания снимают сосуд со встряхивающего аппарата и оставляют в покое на 1 ч для осаждения порошка карбоната кальция.

После осветления воду фильтруют через воронку со стеклянным фильтром, сбрасывают первые 50 мл воды и отбирают 100 мл фильтрованной воды для определения щелочности ($Щ_2$).

Показатель стабильности (C) равен

$$C = Щ_1 - Щ_2, \quad (59)$$

где $Щ_1$ - щелочность исходной воды, мг-экв/кг;

$Щ_2$ - щелочность воды после встряхивания с порошкообразным карбонатом кальция, мг-экв/кг.

Вода считается стабильной, т.е. не накипеобразующей, если показатель стабильности C равен нулю. При положительных значениях C из раствора может выделяться карбонат кальция, т.е. вода накипеобразующая.

При отрицательных значениях S вода не обладает накипеобразующей способностью, она содержит агрессивную уголекислоту, стимулирующую коррозию металлов, а в определенных условиях и бетонов.

Во всех случаях значение щелочности воды после встряхивания с порошкообразным карбонатом кальция ($Ш_2$) является предельно допустимой карбонатной жесткостью данной воды.
