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

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

РД 34.22.501-87

СПО
СОЮЗТЕХЭНЕРГО
Москва 1989

gost.e-ecolog.ru

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

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

Р А З Р А Б О Т А Н О предприятием "Южтехэнерго" Производственного объединения по наладке, совершенствованию технологии и эксплуатации электростанций и сетей "Союзтехэнерго"

И С П О Л Н И Т Е Л И В.Н.КОЗИН, Ю.И.ЛАЗАРЕНКО, Н.Т.НАТАЛИК, Б.А.ШИМАНСКИЙ

У Т В Е Р Ж Д Е Н О Главным научно-техническим управлением энергетики и электрификации 28.I2.87 г.

Заместитель начальника А.П.БЕРСЕНЕВ

© СПО Союзтехэнерго, 1989.

УДК 621.175.004.55

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 утрачивают силу "Руководящие указания по предотвращению образования минеральных и органических отложений в конденсаторах турбин и их очистке" (М.: СЦНТИ ОРГРЭС, 1975).

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

I. ОБЩАЯ ЧАСТЬ

I.I. 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:

I) 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.

I.7. Способы предотвращения накипеобразования в конденсаторах турбин в системах оборотного 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.I. Схема системы оборотного водоснабжения показана на рис.I.

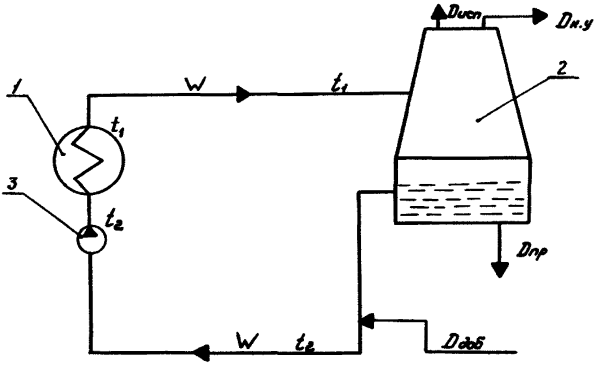


Рис.I. Схема оборотной системы охлаждения:
I - конденсатор; 2 - искусственный охладитель (градирня или брызгальный бассейн); 3 - циркуляционный насос

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, м³/ч

$$D_{доб} = D_{исп} + D_{к.у} + D_{пр} = \frac{W}{100}(P_1 + P_2 + P_3), \qquad (I)$$

где W – расход охлаждающей (оборотной) воды, $м^3/ч$;

p_1, p_2, p_3 – соответственно потери воды на испарение, капельный унос и продувку, % расхода охлаждающей воды;

$(p_1+p_2+p_3)=p$ – расход добавочной воды, % расхода охлаждающей воды.

2.2. Потери воды из системы за счет испарения p_1 (% расхода воды) определяются согласно СНиП 2.04.02-84 (М.: Стройиздат, 1985) по формуле

$$p_1 = \Delta t K, \qquad (2)$$

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.1.

Таблица 1

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) (p_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 p_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 p_2 и продувкой p_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

$$N^{доб} \cdot \frac{p_1+p_2+p_3}{p_2+p_3} = N^{об}, \qquad (3)$$

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

Таблица 2

Тип охладителя	Потери воды из системы в результате капельного уноса P_2, %
Брызгальные бассейны производительностью, м³/ч:	
до 500 вкл.	2,0-3,0
св.500 до 5000 вкл.	I,5-2,0
св.5000	0,75-I,0
Башенные градирни без водоуловительных устройств	0,5-I,0
Башенные градирни с водоуловительными устройствами	0,0I-0,05
Вентиляторные градирни с водоуловительными устройствами	0,I-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

$$\varphi = \frac{P_1+P_2+P_3}{P_2+P_3} = \frac{D_{исп}+D_{к.у}+D_{пр}}{D_{к.у}+D_{пр}} = \frac{D_{доб}}{D_{доб}-D_{исп}} . \qquad (4)$$

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

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

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 $Ж_{пр}$ 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 $Ж^{об}_{к.макс}$ (мг-экв/кг), определяемой по формуле (3), которая примет вид

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

где $Ж^{доб}_{к}$ - карбонатная жесткость добавочной воды, мг-экв/кг.

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

Если

$$Ж^{об}_{к.макс} = Ж^{об}_{к} \,(или\ Ж_{пр}) \,, \qquad (7)$$

то накипеобразование в системе не происходит.

Если

$$Ж^{об}_{к.макс} > Ж^{об}_{к} \,(или\ Ж_{пр}) \,, \qquad (8)$$

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 .

$$\psi = \frac{Ж_к^{об}}{Ж_к^{доб}} \quad . \qquad (9)$$

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°С имеет следующее выражение:

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

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

t - максимальная температура нагрева воды в системе, °С (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.

Таблица 3

Тип отложений	Состав отложений, %				
	Общие потери при прокаливании (ППП)	$CaO+MgO$	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-I0	5-I0	I5-20	3-I5
Смешанные	30-50	20-35	5-I0	I-I0	I-I0
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

$$CaCO_3 \rightarrow CaO + CO_2 .$$

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

$$ППП_{CO_2} = 0{,}79\,CaO \qquad (II)$$

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

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

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 щупола с резиновым наконечником.

3.I0. Микробиологический анализ проб следует производить сразу после их отбора. При невозможности выполнения анализа производится фиксирование проб 40%-ным формалином из расчета 0,I% объема пробы или спиртом. Фиксированные пробы передаются для анализа в биологическую лабораторию.

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

3.I2. 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.I3. 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.I4. 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.I5. Для предотвращения образования в конденсаторах турбин отложений органического и наносного характера необходимо предусматривать шариковую очистку конденсаторов или хлорирование охлаждающей воды.

3.I6. При образовании в конденсаторах турбин смешанных отложений (органического и карбонатного характера) следует предусматривать комплекс мероприятий по обработке воды (пп.3.I3, 3.I5).

3.I7. 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.I8. 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 прикрепленных 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.I0, 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.I. Продувка оборотной системы охлаждения

4.I.I. 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.I.2. Продувка P_3 (процент расхода охлаждающей воды) определяется по формуле

$$P_3 = \frac{P_1 \, Ж_к^{доб}}{Ж_{пр} - Ж_к^{доб}} - P_2 \quad . \qquad (I3)$$

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

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

$$Ca(HCO_3)_2 + H_2SO_4 \rightarrow CaSO_4 + 2H_2O + 2CO_2 .$$

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 ($Ж_0^{доб}$), которое после упаривания воды не превысит предельно допустимую карбонатную жесткость охлаждающей воды при подкислении ($Ж_{пр.п}$).

4.2.4. Остаточная карбонатная жесткость добавочной воды после подкисления $Ж_0^{доб}$ равна, мг-экв/кг:

$$Ж_0^{доб} = \frac{Ж_{пр.п}}{\varphi} . \qquad (I4)$$

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

муле (I0) за счет повышения постоянной жесткости добавочной воды при вводе кислоты. Некарбонатная жесткость добавка при подкислении $Ж^{доб}_{нк.п}$ будет равна, мг-экв/кг:

$$Ж^{доб}_{нк.п} = Ж^{доб}_{общ} - Ж^{доб}_{о} = Ж^{доб}_{общ} - \frac{Ж_{пр.п}}{\varphi}, \qquad (I5)$$

где $Ж^{доб}_{общ}$ - общая жесткость добавочной воды, мг-экв/кг.

Формула (I0) при подкислении принимает вид

$$2{,}8Ж_{пр.п} = 8 + \frac{Ок}{3} - \frac{t - 40^{\circ}C}{5{,}5 - \frac{Ок}{7}} - \frac{2{,}8\left(Ж^{доб}_{общ} - \frac{Ж_{пр.п}}{\varphi}\right)}{6 - \frac{Ок}{7} + \left(\frac{t - 40^{\circ}C}{10}\right)^3}. \qquad (I6)$$

4.2.6. Доза серной кислоты $д_{H_2SO_4}$, необходимая для обработки воды, определяется по формуле, кг/м^3:

$$д_{H_2SO_4} = \frac{49}{K}\left(Ж^{доб}_{к} - Ж^{доб}_{о}\right)10^{-3}, \qquad (I7)$$

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 ($G_ч^{H_2SO_4}$) составит, кг/ч:

$$G_ч^{H_2SO_4} = д_{H_2SO_4} D_{доб}. \qquad (I8)$$

4.2.8. В результате подкисления концентрация бикарбонатов в охлаждающей воде может быть снижена до сколь угодно малого значения, обеспечивающего отсутствие накипеобразования в системе. Однако при значительном снижении концентрации бикарбонатов вода может быть перекислена кислотой, что вызовет интенсификацию коррозии оборудования. Во избежание перекисления "Правилами технической эксплуатации электрических станций и сетей" (М.: Энергия, I977) ограничена остаточная карбонатная жесткость добавочной воды, которая должна быть не менее 0,5-I,0 мг-экв/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:

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

2) находим предельно допустимую карбонатную жесткость при подкислении по формуле (I6);

3) находим коэффициент упаривания воды в системе по формуле

$$\varphi = \frac{Ж_{пр.п}}{Ж_{о}^{доб}} ; \qquad (I9)$$

4) определяем продувку (p_3) по формуле (4) или по формуле (I3), куда вместо $Ж_{к}^{доб}$ подставляем $Ж_{о}^{доб}$, вместо $Ж_{пр}$ подставляем $Ж_{пр.п}$.

4.2.I0. 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.II-85).

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

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

$$\left[SO_4^{2-}\right]_п^{об} = \left\{\left[SO_4^{2-}\right]^{доб} + \left(Ж_к^{доб} - Ж_о^{доб}\right)48\right\}\varphi , \qquad (20)$$

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

4.2.II. 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 ПАК$_{CaSO_4}$ (г-ион/кг)^2 меньше произведения раствори-

мости сульфата кальция $ПР_{CaSO_4}$, принимаемого при температуре 26-60°С равным $4 \cdot 10^{-5}$ (г-ион/кг)^2.

$$ПАК_{CaSO_4} = (f_2)^2 [Ca^{2+}] [SO_4^{2-}] \varphi^2 < ПР_{CaSO_4}, \qquad (2I)$$

где $(f_2)^2$ - коэффициент активности двухвалентных ионов, зависящий от ионной силы раствора или сухого остатка оборотной воды (рис.2);

$[Ca^{2+}]$ - концентрация кальция в добавочной воде, г-ион/кг;

$[SO_4^{2-}]$ - содержание сульфат-ионов в добавочной воде с учетом увеличения их концентрации при подкислении, г-ион/кг.

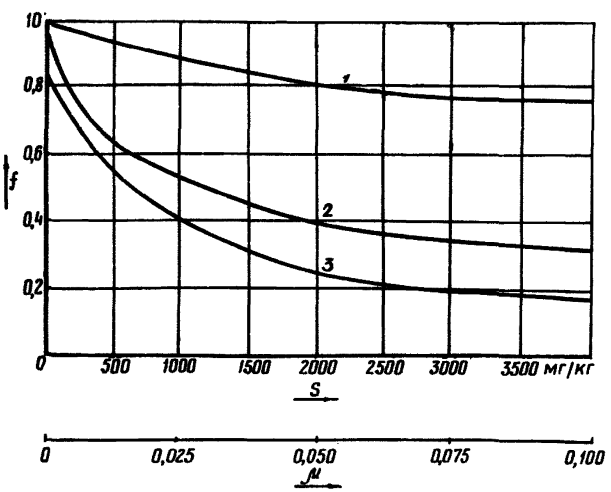


Рис.2. Зависимость коэффициента активности (f) от ионной силы раствора (μ) или сухого остатка воды (S) при температуре 30°С:

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

4.2.I2. Подкисление воды рекомендуется проводить 75%-ной серной кислотой как более дешевой и удобной в эксплуатации, особенно зимой: температура ее застывания минус 30°С, что позволяет в зимнее время перекачивать ее по неутепленным трубопроводам. Менее удобно купоросное масло, так как при температуре минус 8°С 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.I3. Важным условием обработки серной кислотой является обеспечение точной дозировки, так как при передозировании может интенсифицироваться коррозия труб и теплообменных аппаратов.

4.2.I4. Подкислительная установка (рис.3) состоит из двух баков-хранилищ, расходного бака, дозаторного устройства и ершового 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-

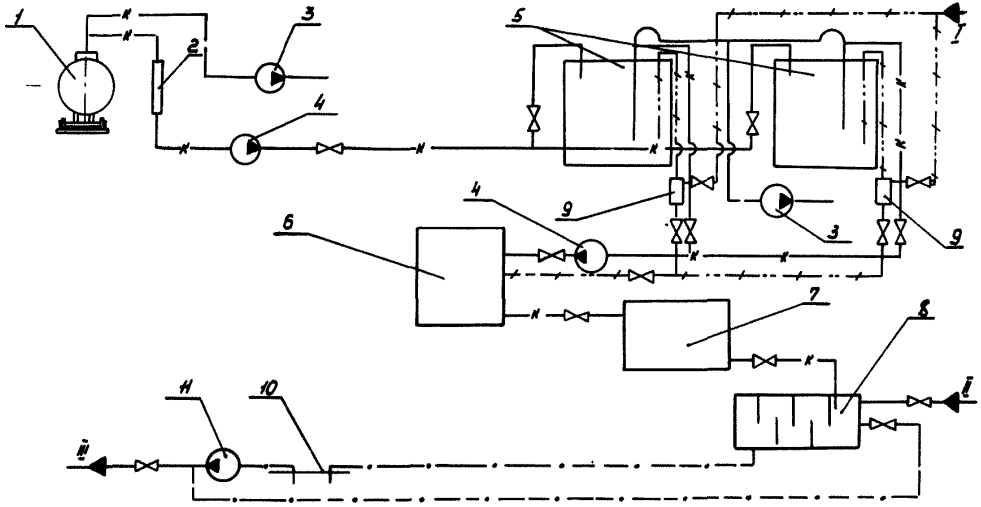


Рис.3. Схема подкислительной установки:

I - 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; I0 - 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 раздельных потоков (рис.4,5).

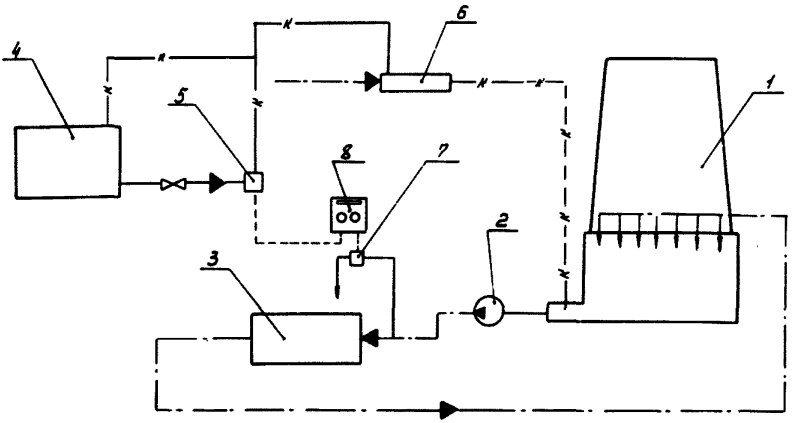


Рис.4. Схема подкисления циркуляционной воды с автоматическим регулированием значения pH:

I - градирня; 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.I5. 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.

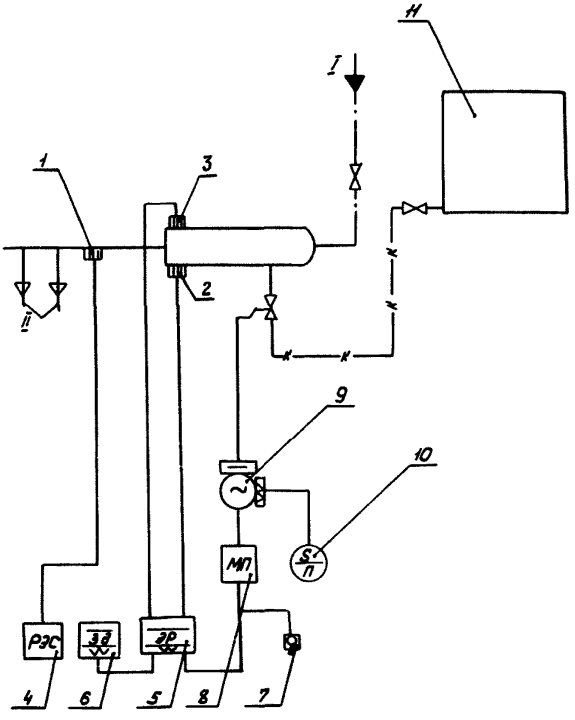


Рис.5. Схема автоматического регулирования дозировки кислоты электронным прибором по сигналу электрической проводимости при подкислении циркуляционной воды:

I - датчик регистратора; 2 - датчик электропроводимости кислой воды; 3 - датчик электропроводимости исходной воды; 4 - регистратор КСМ-056 от РЭС-106; 5 - электронный регулирующий прибор "Каскад-2"; 6 - задатчик ЗУ-05 или ЗУ-11; 7 - переключатель управления ПМОФ45; 8 - усилитель У22; 9 - исполнительный механизм МЭО; 10 - указатель положения М42101; II - бак серной кислоты;
I - исходная вода; II - в циркуляционную систему

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 $\varphi Ж_0^{доб}$ (максимально возможной карбонатной жесткости оборотной воды при подкислении) с фактической ($Ж_к^{об}$) и предельно допустимой ($Ж_{пр.п}$) карбонатными жесткостями оборотной воды.

Если $\varphi Ж_0^{доб} = Ж_к^{об} = Ж_{пр.п}$, то обработка ведется правильно.

Если $\varphi Ж_0^{доб} = Ж_к^{об} < Ж_{пр.п}$, то расход кислоты завышен. Следует выяснить причины и уменьшить расход кислоты.

Если $\varphi Ж_0^{доб} > Ж_к^{об}$, то в системе идет процесс накипеобразования. Следует, установив причину, увеличить расход кислоты.

Остаточная карбонатная (после подкисления) жесткость добавочной воды ($Ж_0^{доб}$) определяется химическим анализом. Если это невозможно, то она определяется расчетом по расходу серной кислоты, мг-экв/кг:

$$Ж_0^{доб} = Ж_к^{доб} - \frac{G_ч^{H_2SO_4} K}{D_{доб}\, 49}\, 10^3 . \qquad (22)$$

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

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

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, ОЭДФК.

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 I,5–2,0 мг/кг.

4.3.I.2. Предельная карбонатная жесткость воды, стабилизируемая полифосфатами ($Ж_{пр.ф}$), 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

$$P_3 = \frac{P_1 Ж_к^{доб}}{(5,0 \div 5,5) - Ж_к^{доб}} - P_2 . \qquad (23)$$

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

4.3.I.4. Доза вводимого фосфата ($д_ф$) при заданной концентрации P_2O_5 в воде I,5 мг/кг и с учетом восполнения убыли в связи с образованием малорастворимых соединений составляет, кг/м^3:

$$д_ф = \left[\frac{150}{K} + \frac{40W}{V(P_1+P_2+P_3)}\right] \cdot 10^{-3}, \qquad (24)$$

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

V – объем системы охлаждения, м^3.

Расход фосфата ($G_ч^ф$) составляет, кг/ч:

$$G_ч^ф = д_ф D_{доб} . \qquad (25)$$

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 определилась 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 (вместимость 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 упаривания 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-

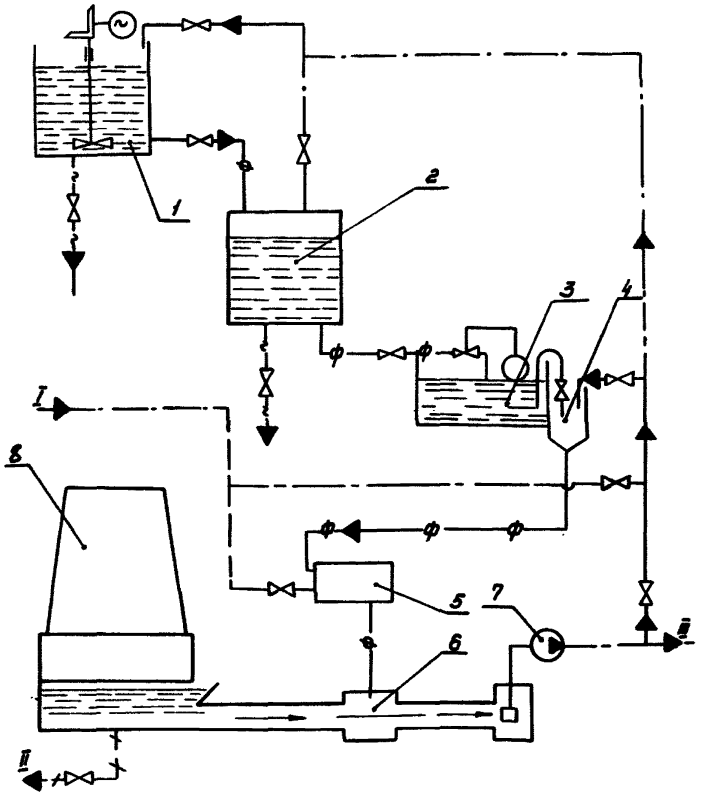


Рис.6. Схема фосфатирования охлаждающей воды:

I - бак с мешалкой для растворения фосфата; 2 - расходный бак слабого фосфатного раствора; 3 - дозирующий бачок с поплавковым клапаном; 4 - сифон дозатора с регулирующим винтовым зажимом; 5 - ершовый смеситель; 6 - колодец оборотной системы; 7 - циркуляционный насос; 8 - искусственный охладитель воды;
I - добавочная вода; II - продувочная вода; III - охлаждающая вода

4.3.2. Обработка воды оксиэтилидендифосфоновой кислотой (ОЭДФК)

Метод обработки воды ОЭДФК описан в "Руководящих указаниях по стабилизационной обработке охлаждающей воды в оборотных системах охлаждения с градирнями оксиэтилидендифосфоновой кислотой" (М.: СПО Союзтехэнерго, 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 ($Ж_{пр}$ 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

$$\varphi = \frac{Ж_{пр.\,ОЭДФК}}{Ж_{к}^{доб}}. \qquad (26)$$

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

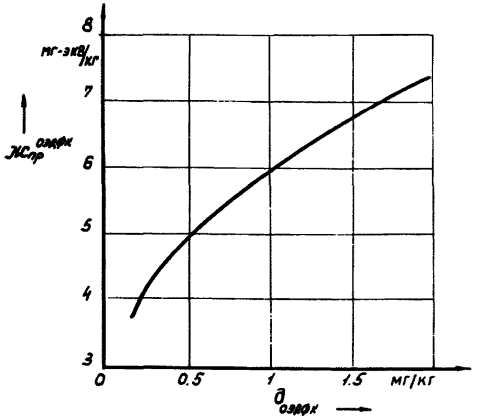


Рис.7. Зависимость требуемой дозировки ОЭДФК ($д_{ОЭДФК}$) от карбонатной жесткости циркуляционной воды

Так как снижение продувки и подпитки требует увеличения концентрации ОЭДФК, 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 ОЭДФК при обработке выполняется в следующем порядке:

- по заданному предельно допустимому значению карбонатной жесткости ($Ж_{пр.}$ ОЭДФК) определяется требуемая концентрация ОЭДФК в воде ($q_{ОЭДФК}$) (см.рис.7);
- во всей оборотной воде создается заданная концентрация ОЭДФК. Количество реагента ($G^{ОЭДФК}$) определяется по формуле, кг:

$$G^{ОЭДФК} = 2Vq_{ОЭДФК} \cdot 10^{-3}; \qquad (27)$$

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

ОЭДФК ($G_ч^{ОЭДФК}$) составит, кг/ч:

$$G_ч^{ОЭДФК} = \frac{D_{доб} q_{ОЭДФК}}{\varphi} \cdot 10^{-3}. \qquad (28)$$

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

$$G_{сут}^{ОЭДФК} = G_ч^{ОЭДФК} \cdot 24 = \frac{D_{доб} q_{ОЭДФК}}{41,7\varphi} \quad . \qquad (29)$$

4.3.2.6. ОЭДФК 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 $C_{р-р}$ рассчитывается по формуле, %:

$$C_{р-р} = \frac{q_{ОЭДФК} D_{доб}}{10 \cdot a \cdot \varphi} \quad , \qquad (30)$$

где a - подача насоса-дозатора, л/ч.

4.3.2.7. При обработке воды ОЭДФК 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 ОЭДФК 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 ОЭДФК нецелесообразно, так как в этом случае реагент будет частично расходоваться на умягчение воды с образованием осадка в виде кальциевого комплекса ОЭДФК.

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

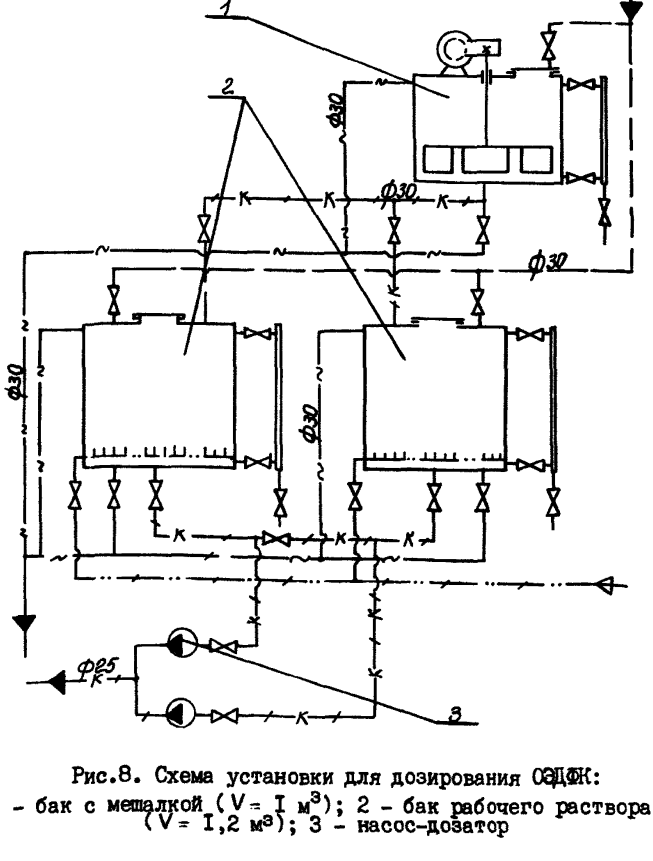


Рис.8. Схема установки для дозирования ОЭДФК:
I - бак с мешалкой (V = I м³); 2 - бак рабочего раствора (V = I,2 м³); 3 - насос-дозатор

$$G_{загр}^{оздфк} = 10 G_{сут}^{оздфк} . \qquad (3I)$$

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

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

4.3.2.II. Концентрированный раствор поступает в баки рабочего раствора объемом по I,2 м^3 каждый.

Для приготовления рабочего раствора необходимо подать I00 л концентрированного раствора (раствор поступает самотеком), довести объем до I,2 м^3 подачей конденсата и перемешать сжатым воздухом. Если $G_{загр}^{оздфк} > 200$ кг, то подается I000/τ л концентрированного раствора.

4.3.2.I2. 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 приготавливается свежий рабочий раствор.

4.3.2.I3. С учетом того, что концентрированные растворы ОЭДФК 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.I4. При обработке воды производится анализ циркуляционной воды на содержание ОЭДФК. В случае отклонения содержания ОЭДФК от заданного корректировка производится изменением подачи насоса-дозатора или количества загружаемого реагента (корректировка $G_{сут}^{оздфк}$).

4.3.2.I5. Эффективность обработки оценивается путем сравнения максимально возможной карбонатной жесткости оборотной воды $Ж_{к.макс}^{об} = \varphi Ж_к^{доб}$ с карбонатной жесткостью оборотной воды ($Ж_к^{об}$), определенной химическим анализом.

Выполнение условия $\Delta Ж_к = Ж_{к.макс}^{об} - Ж_к^{об} \leqslant 0{,}3$ мг-экв/кг свидетельствует об отсутствии накипеобразования в трубках конденсаторов.

Если $\Delta Ж > 0{,}3$ 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 ОЭДФК.

Наиболее экономически оправданной является комбинированная обработка с применением ОЭДФК.

4.4.2. Комбинированная обработка применяется в случае, если не подходят 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 ($Ж_{пр.комб}$) равна $Ж_{пр.ф}=5,0\div5,5$ мг-экв/кг.

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

4.4.5. При комбинированной обработке с применением ОЭДФК предельно допустимая карбонатная жесткость воды ($Ж_{пр.комб}$) равна $Ж_{пр.\ оэдфк}$. 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 $Ж_{пр.комб}$ согласно пп.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, ОЭДФК 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 ОЭДФК.

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 ОЭДФК.

4.5.4. При известковании в воде происходят следующие процессы:

- связывается растворенная в воде углекислота

$$2CO_2 + Ca(OH)_2 \rightarrow Ca(HCO_3)_2 ;$$

- устраняется кальциевая карбонатная жесткость

$$Ca(HCO_3)_2 + Ca(OH)_2 \rightarrow \underline{2CaCO_3} + 2H_2O ;$$

- устраняется магниевая карбонатная жесткость

$$Mg(HCO_3)_2 + 2Ca(OH)_2 \rightarrow \underline{CaCO_3} + Mg(OH)_2 + 2H_2O ;$$

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

$$MgSO_4 + Ca(OH)_2 \rightarrow \underline{Mg(OH)_2} + CaSO_4 ;$$

$$MgCl_2 + Ca(OH)_2 \rightarrow \underline{Mg(OH)_2} + CaCl_2 ;$$

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

$$2NaHCO_3 + Ca(OH)_2 \rightarrow \underline{CaCO_3} + Na_2CO_3 + 2H_2O .$$

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.I0). При этом минимальное количество сер-

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

$$2CaCO_3 + H_2SO_4 \rightarrow Ca(HCO_3)_2 + CaSO_4 .$$

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

Во избежание перекисления 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 ОЭДФК. Целесообразнее применение ОЭДФК как не подвергающегося гидролизу и не требующего поддержания определенного уровня продувки, предупреждающей зашламление системы.

Применение ОЭДФК 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 накипеобразования в системе охлаждения. Однако, как показывает практика, бикарбонатный режим из-за нестабильности воды на выходе из осветлителей поддерживать не удается 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 ОЭДФК.

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

$$д_{изв} = \left([CO_2]^{исх} + [HCO_3^-]^{исх} + [Mg^{2+}]^{исх} + \alpha\right) \frac{28}{10 C_{изв}}, \qquad (32)$$

где $[CO_2]^{исх}$, $[HCO_3^-]^{исх}$, $[Mg^{2+}]^{исх}$ – соответственно концентрации свободной углекислоты, бикарбонатов и магния в исходной воде, мг-экв/кг;

α – избыток извести, принимается в пределах 0,1–0,3 мг-экв/кг (при pH – 10 α = 0,1, при pH = 10,3, α = 0,3);

$C_{изв}$ – 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, мг-экв/кг

$$Щ_{общ}^{изв} = Ж_к^{изв} + \alpha, \qquad (33)$$

где $Ж_к^{изв}$ – карбонатная жесткость известкованной воды, равная 0,5–1,0 мг-экв/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 ($\partial^{изв}_{H_2SO_4}$), необходимая для нейтрализации остаточной гидратной щелочности известкованной воды (α) и для перевода карбонатной щелочности в бикарбонатную равна, мг-экв/кг

$$\partial^{изв}_{H_2SO_4} = 0{,}5Ж^{изв}_{к} + \alpha . \qquad (34)$$

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 ($Ж^{изв.п}_{к}$) составит, мг-экв/кг

$$Ж^{изв.п}_{к} = Ж^{изв}_{общ} - \partial^{изв}_{H_2SO_4} ; \qquad (35)$$

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

$$\left[SO_4^{2-}\right]^{изв} = \left[SO_4^{2-}\right]^{исх} + 48\,\partial^{изв}_{H_2SO_4} , \qquad (36)$$

где $\left[SO_4^{2-}\right]^{исх}$ – концентрация сульфатов в исходной воде в мг/кг;

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

при $A > 1$ $\left[Ca^{2+}\right]^{изв} = \left[Ca^{2+}\right]^{исх} - \left[HCO_3^-\right]^{исх} + Щ^{изв}_{общ} + Ж^{исх}_{нк}$; (37)

при $A \le 1$ $\left[Ca^{2+}\right]^{изв} = Щ^{изв}_{общ} + Ж^{исх}_{нк}$; (38)

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

при $A \ge 1$ $S^{изв} = S^{исх} - 50(Ж^{исх}_{к} - Ж^{изв}_{к}) + 8\left[Mg^{2+}\right]^{исх} + 68\alpha +$

$$+ 48\left(\partial^{изв}_{H_2SO_4} - \alpha\right) - 3{,}5\Delta O_к , \qquad (39)$$

где $S^{исх}$ - сухой остаток исходной воды, мг/кг;

$\Delta O_к$ - снижение окисляемости, составляющее 30-70% исходной окисляемости, мг/кг.

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

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

4.5.I4. Количество известкуемой добавочной воды, необходимое для предотвращения накипеобразования ($D_{изв}$) определяется по формуле, м³/ч

$$D_{изв}=\frac{\left(Ж_к^{доб}-\frac{Ж_{пр}}{\varphi}\right)D_{доб}}{Ж_к^{доб}-Ж_к^{изв.п}}, \quad (4I)$$

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

4.5.I5. Химический состав добавочной воды после обработки части ее известкованием будет равен:

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

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

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

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

- сульфаты $\left(\left[SO_4^{2-}\right]^{доб.изв}\right)$, мг-экв/кг

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

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

$$S^{доб.изв} = \frac{(D_{доб} - D_{изв}) S^{доб} + D_{изв} S^{изв}}{D_{доб}} . \quad (45)$$

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

$$S^{об} = S^{доб.изв} \varphi . \quad (46)$$

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.4.2.11, формула (21).

4.5.18. Концентрация сульфатов в оборотной воде $\left([SO_4^{2-}]^{об}\right)$, необходимая для определения агрессивности воды по отношению к бетонам гидросооружений (СНиП 2.03.11-85) определяется по формуле, мг/кг.

$$[SO_4^{2-}]^{об} = \frac{D_{доб}[SO_4^{2-}]^{доб} + 48 D_{изв} д_{H_2SO_4}^{изв}}{D_{доб}} \varphi . \quad (47)$$

4.5.19. Расход ОЭДФК для обработки рассчитывается согласно п.4.3.2.7; расходы извести $(G_ч^{изв})$ и серной кислоты ($G_ч^{H_2SO_4}$) определяются по формулам, кг/ч:

$$G_ч^{изв} = д_{изв} D_{изв} ; \quad (48)$$

$$G_ч^{H_2SO_4} = \frac{49}{K} д_{H_2SO_4}^{изв} D_{изв} \cdot 10^{-3} . \quad (49)$$

4.5.20. Контроль за правильностью обработки ведется аналогично контролю при обработке воды ОЭДФК (пп.4.3.2.16, 4.3.2.17). При этом вместо $Ж_к^{доб}$ подставляется $Ж_к^{доб.изв}$, определяемая химическим анализом или по формуле (42).

5. ПРЕДОТВРАЩЕНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ ОРГАНИЧЕСКИХ ОТЛОЖЕНИЙ ПУТЕМ ХЛОРИРОВАНИЯ ВОДЫ

5.I. 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 pH< 5 активный хлор почти полностью находится в растворе в молекулярной форме. При pH = 5÷9,2 в воде присутствует хлорноватистая кислота с некоторой примесью гипохлоритов. При 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 I5 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 (I-I,5 ч в сутки), в течение суток можно поочередно

провести 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 ($д_{хл}$).

5.7. Хлоропоглощаемость (ХП) - показатель, характеризующий расход хлора на разрушение и окисление микро- и макроорганизмов, органических и некоторых неорганических веществ, имеющихся 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 ($G^{хл}_{сут}$) определяется по формуле, кг

$$G^{хл}_{сут} = \frac{W' д_{хл} \tau_п}{60}, \qquad (50)$$

где W' - расход хлорируемой воды, $м^3/ч$;

$д_{хл}$ - доза вводимого хлора, $кг/м^3$;

τ - продолжительность каждого периода введения хлора, мин;

n - число периодов введения хлора в течение суток.

Таблица 4

Окисляемость, мг/кг	Доза хлора ($д_{хл} \cdot 10^{-3}$), кг/м³, при продолжительности пребывания воды в трубопроводах и конденсаторе, мин		
	I	2	4 и более
Менее I0	I,5	2,0	2,5
I0-I5	2,5	3,5	4,0
I5-20	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

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

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 I5 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, $м^3/сут$

$$G_{р-р}^{хл.изв} = \frac{G_{сут}^{хл}}{C_{хл}} , \qquad (52)$$

где $C_{хл}$ - концентрация активного хлора в рабочем растворе, кг/м^3 (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.

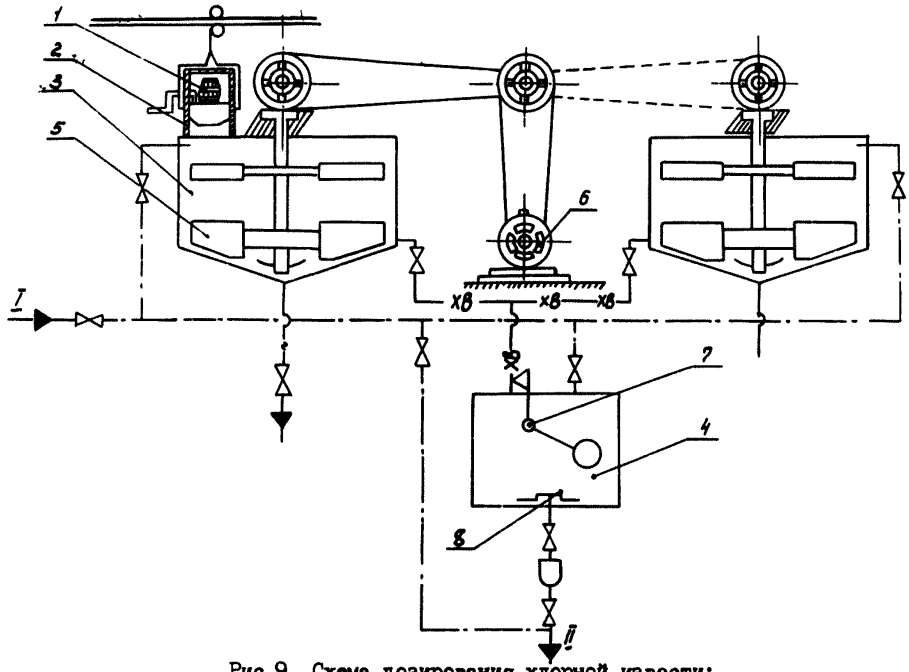


Рис.9. Схема дозирования хлорной извести:

I - 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

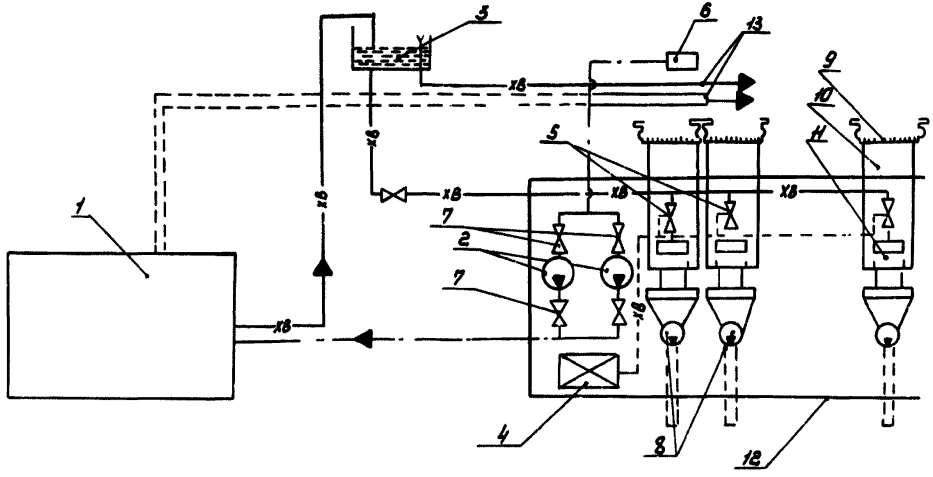


Рис.10. Схема дозирования жидкого хлора:

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.I. Химический способ

6.I.I. 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.I.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-I-Е в количестве 0,2-0,5% в промывочном растворе; смесь 0,I% КИ-I с 0,05% тиурама или 0,I% ОП7 (ОПI0, КИ-I) 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 (I00%-ного) на I кг накипи или синтетических жирных кислот (СЖК) фракции C_5-C_6 в количестве 0,I5-0,25% по объему. В качестве дополнительных ингибиторов могут быть использованы: тиосульфат натрия в количестве 4-5 г на I г-ион железа и меди; 0,3-0,5%-ный И-2-В или И-I-Е; тиомочевина с гидроксиламином по 2 г на I г-ион железа и меди; смесь катапина и тиурама в количествах соответственно 0,I и 0,05% в промывочном растворе; роданистый аммоний в количестве 0,I% в промывочном растворе; смесь роданистого аммония с тиомочевиной по 0,05% каждого компонента в промывочном растворе; смесь 0,I-0,2% КИ-I с 0,02% каптакса.

6.I.3. Количество реагентов, необходимое для химической очистки конденсаторов, рассчитывается по количеству имеющейся в нем накипи.

Количество накипи в конденсаторе А определяется по формуле, кг

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

где δ - средняя толщина отложений, мм;

F - внутренняя поверхность конденсаторных трубок, покрытая отложениями, $м^2$;

γ - плотность отложений (средняя плотность карбонатных отложений принимается равной 2000 $кг/м^3$), $кг/м^3$.

6.I.4. Количество ВК НМК, необходимое для химической очистки конденсатора $G_{ВК}$ рассчитывается по формуле, кг

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

где I,8 - количество I00%-ного ВК, необходимое для растворения I 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 I0).

6.I.5. Количество ВК, необходимое для гашения пены при очистке конденсатора соляной кислотой ($G'_{ВК}$), определяется по формуле, кг

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

где 0,35 - экспериментально определенное количество I00%-ного ВК, требующееся для гашения пены, образующейся при реакции I кг накипи с соляной кислотой, кг.

6.I.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_I) определяется следующим образом:

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

$$C'_{ВК} = \frac{G'_{ВК}\, C_{ВК}}{V}\, 10^{-3}, \qquad (56)$$

где V - объем промывочного контура, м^3;

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

По концентрации ВК в промывочном контуре ($C'_{ВК}$) из табл.5 находим количество растворившейся в I м^3 раствора накипи (B) в килограммах;

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

$$A_1 = B\,V\,. \qquad (57)$$

6.I.7. Необходимое количество соляной кислоты (G_{HCl}) для очистки конденсатора с добавкой ВК в качестве пеногасителя определяется по формуле, кг

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

где 0,73 - количество I00%-ной HCl , необходимое для растворения I 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_I.

6.I.8. В процессе химической очистки моющий раствор циркулирует по замкнутому контуру; буферный бак-насос-первый ход и второй ход конденсатора-буферный бак (рис.II). Кислота подается

Таблица 5

Концентрация ВК в моющем растворе, %	2	5	I0	I5	20	25	30
Количество накипи, растворившейся в I м^3 раствора ВК (B), кг	20,0	32,7	60,6	80,0	90,0	II5,0	I20,5

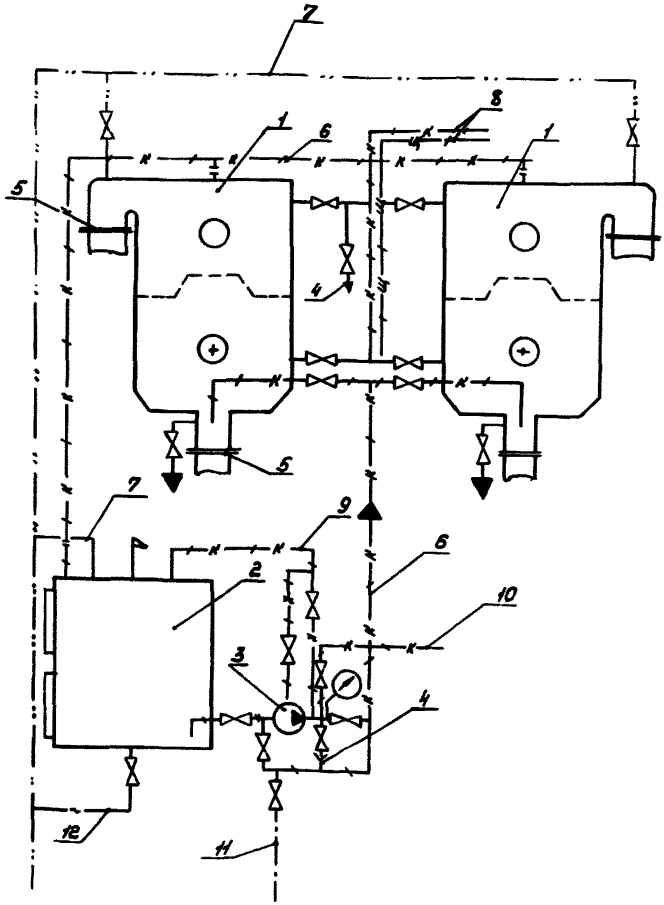


Рис.II. Схема химической очистки конденсаторов:

I - конденсатор; 2 - промежуточный бак (V = 20 м^3); 3 - насос 8НДВ или 6НДВ (400-500 м^3/ч); 4 - пробоотборник; 5 - заглушка; 6 - линия циркуляции кислотного раствора; 7 - линия отвода газов; 8 - линия подачи кислоты и щелочи; 9 - линия циркуляции промывочного раствора; I0 - линия сброса промывочного раствора; II - линия подачи технической воды; I2 - линия аварийного опорожнения бака

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

6.I.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 моющего раствора желательно осуществлять в течение I5-20 мин.

6.I.I0. Сбросной и напорные водоводы отключаются с помощью заглушек. При постоянно проводимых кислотных промывках можно применить быстросъемные заглушки (рис.I2). В водяной камере кон-

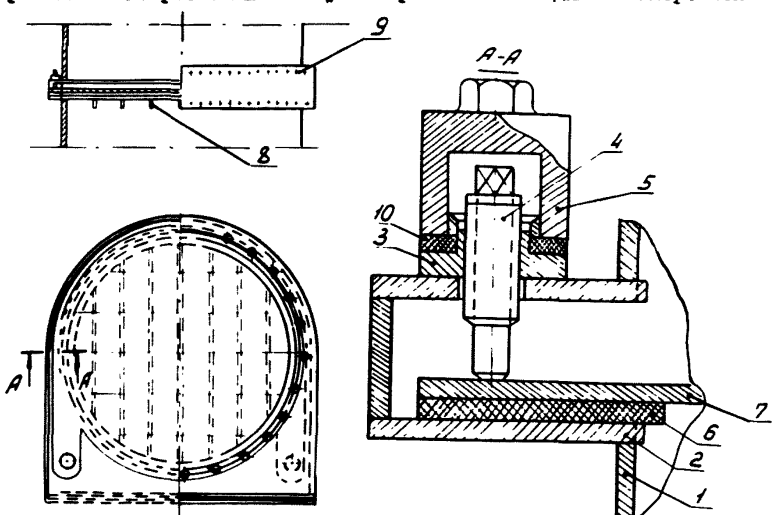


Рис.I2. Заглушка для отключения циркуляционного водовода:
I - отключенный циркуляционный водовод; 2 - корпус заглушки; 3 - специальная гайка; 4 - колпачковая гайка; 5 - болт; 6 - резиновая прокладка; 7 - заглушка; 8 - опорное ребро; 9 - крышка; I0 - паронитовая прокладка

денсатора устанавливается распределительный коллектор подачи кислоты и щелочи. Вместимость установленного буферного бака зависит от мощности турбогенератора и должна быть не менее: I0 м^3 при мощности до 25 МВт, I5-I7 м^3 при мощности 50-I00 МВт, 20-22 м^3 при мощности I50-200 МВт, 30-50 м^3 при мощности 300-800 МВт,

200 $м^3$ 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 НМК 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 $м^3/ч$.

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 вдвинута 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 подвергающихся 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 НМК 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.I. Способ термической очистки конденсаторов заключается в том, что при повышении температуры стенок конденсаторных трубок освобожденного от воды конденсатора до 50-55°С 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.I3).

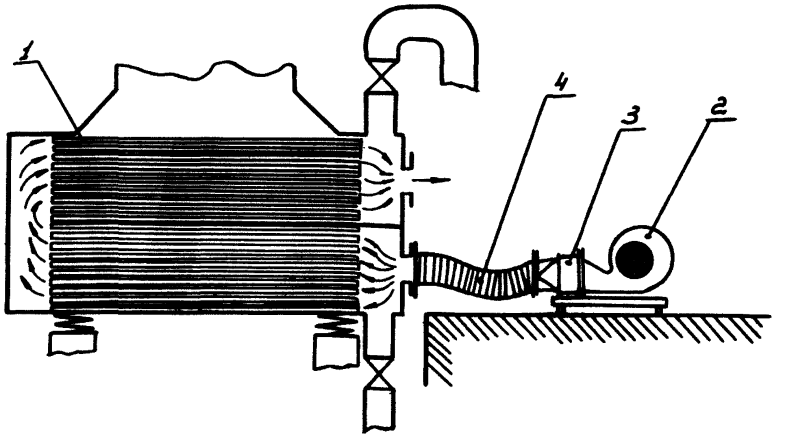


Рис.I3. Схема сушки в трубках конденсатора:
I - конденсатор турбины; 2 - вентилятор; 3 - калорифер; 4 - гибкий рукав

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°С. 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 люки 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 ссединяется с одним или двумя люками 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 люки 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-I50 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 I-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, золы, воздуха и т.д.

Наиболее часто при очистке конденсаторов применяются гидравлический шомпол и пистолет.

6.2.6. Гидравлический шомпол (рис.I4) 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 ерше. Штанга выполнена из двух трубок диаметрами I9xI,5 и I4x3 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-I,0 мм.

Для удаления отложений вода подается на ерш через отверстия

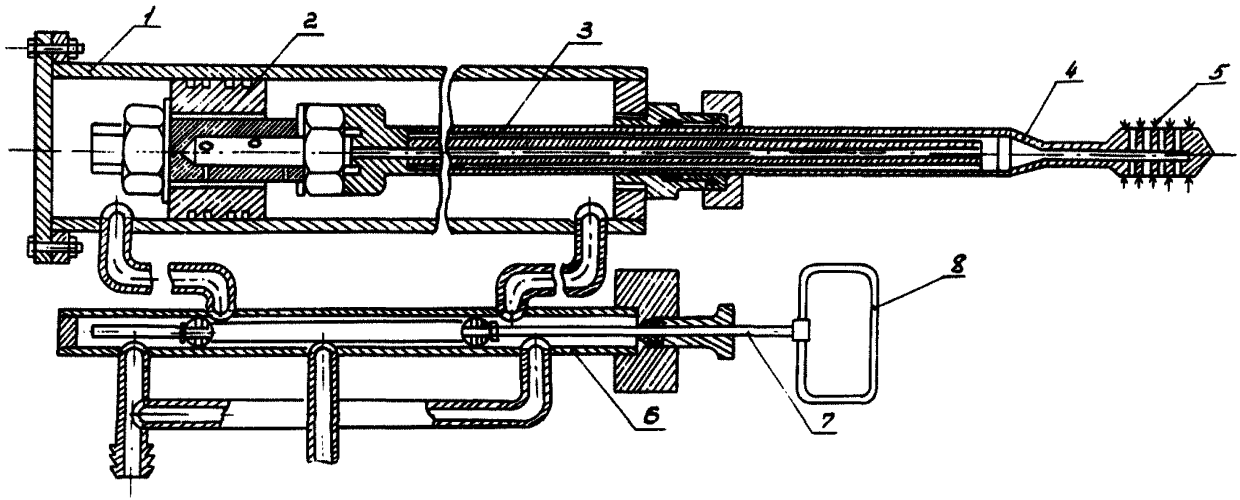


Рис.I4. Гидравлический шомпол для очистки трубок конденсатора:
I - цилиндр; 2 - поршень; 3 - штанга-шомпол; 4 - наконечник; 5 - ерш; 6 - золотник; 7 - шток; 8 - ручка

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 вверху и два внизу. Рабочей средой поршневого шомпола является техническая вода давлением 3–5 кгс/см^2 (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/см^2 (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 взрыхляет 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 "Атомат" фирмы Вома и Хаммельман. Они более производительны и эффективны, чем гидрошомпол и гидропистолет 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/см^2, поэтому она

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

6.3. Очистка конденсаторов эластичными шариками

6.3.I. Наиболее перспективным способом поддержания в чистоте поверхности охлаждения конденсаторов турбин является очистка трубок эластичными шариками из губчатой резины. Шарики диаметром на I,0-I,5 мм больше диаметра очищаемых трубок при прохождении по ним за счет плотного прилегания к стенкам препятствуют 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.I5.

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 устанав-

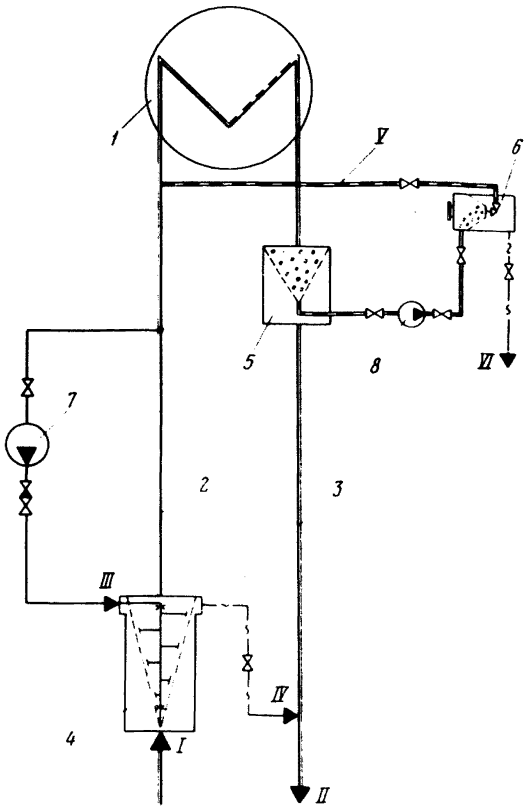


Рис.I5. Принципиальная схема системы шариковой очистки конденсатора:

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 отмывку фильтра П.О.; IУ - сброс загрязненной воды из ф.п.о.; У - контур циркуляции шариков; УI - 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 предочистки 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 предочистки в чистом состоянии около 600 кгс/м^2 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/м^2) 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 элиптических 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-

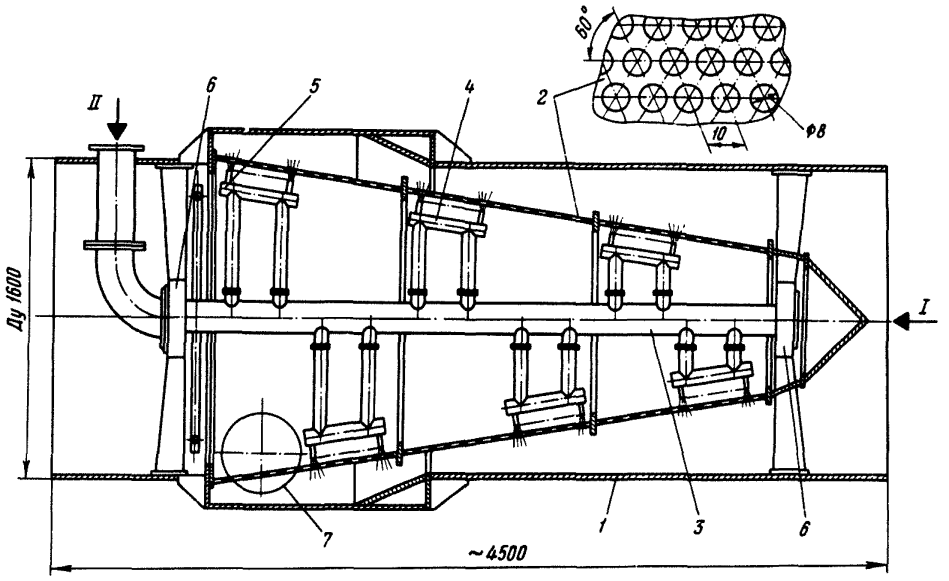
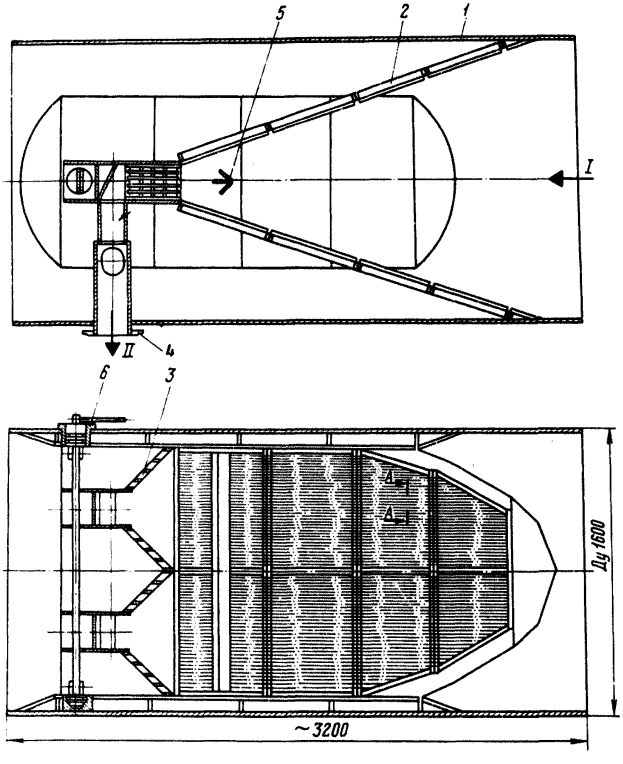


Рис.I6. Фильтр предварительной очистки:

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



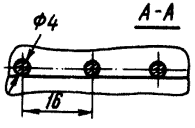


Рис.I7. Шарикоулавливающее устройство:
I - сливной циркуляционный водовод; 2 - полуэллипсные сетки верхнего ряда; 3 - сетки нижнего ряда; 4 - патрубок вывода шариков; 5 - турбулезирующее устройство; 6 - шибер-заслонка; I - выход циркуляционной воды после конденсатора; II - патрубок отвода шариков

ки ШУУ выполнено в виде односкатной плоской элиптической сетки, установленной в вертикальной плоскости в водоводе под углом около 25^0 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 I6 мм в первый по ходу воды секции до I2 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 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-I00 м^3/ч и давлением I5-30 мм вод.ст., имеющие спиральную камеру и открытое канальное колесо. Мощность, потребляемая НШО, - около I0 кВт.

При использовании водоструйных эжекторов для транспортировки шариков рабочая вода давлением 3,0-3,5 кгс/см^2 в количестве 45-60 м^3/ч может подаваться от специально устанавливаемого насоса (типа К-45/30 У2), от станционных 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.I8. Объем камеры рассчитан на единовременную загрузку до 2 тыс.шариков диаметром 28 мм. В вертикально расположенном цилиндре размещена коническая сетка с отвер-

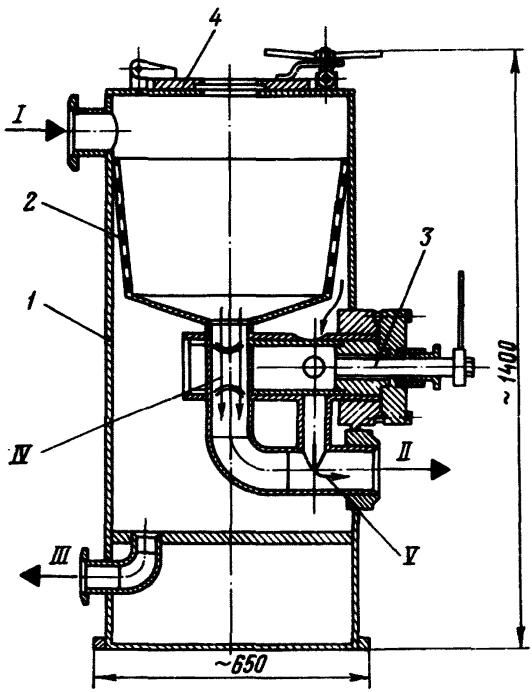


Рис.I8. Загрузочная камера:

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; IУ - положение пробкового крана при циркуляции шариков; У - подход воды при отлове шариков

стиями диаметром I0 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 СШО являются эластичные шарики из губчатой резины, предназначенные для очистки труб. Наружный диаметр их на I-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. Шарики должны отвечать следующим требованиям:

- иметь сферообразную 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 (СэЭИ) 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 поясом. 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 СКБ ВТИ им.Дзержинского или Львовским филиалом ЦКБ Союзэнергоремонта.

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 СКБ ВТИ или Львовским филиалом ЦКБ Союзэнергоремонта.

Приложение I
Рекомендуемое

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.I. 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. $Ж^{доб}_{общ}$ мг-экв/кг	-"-	-	4,0
I.5. $Ж^{доб}_{к}$ мг-экв/кг	-"-	-	3,2
I.6. $Ж^{доб}_{нк}$ мг-экв/кг	-"-	-	0,8
I.7. $[Ca^{2+}]^{доб}$ мг/кг	-"-	-	62
I.8. $[Mg^{2+}]^{доб}$ мг/кг	Исходные данные	-	II
I.9. $[Cl^-]^{доб}$ мг/кг	-"-	-	40
I.I0. $[SO_4^{2-}]^{доб}$ мг/кг	-"-	-	I72
I.II. Ок мг/кг	-"-	-	8,0
I.I2. $S^{доб}$ мг/кг (сухой остаток),	-"-	-	500
I.I3. Максимальная температура нагрева воды, ^oC	-"-	-	40
I.I4. Δt ^oC	-"-	-	I0
I.I5. ПДК $_{SO_4^{2-}}$ мг/кг	-"-	-	400

	2. Определение накипеобразующей способности охлаждающей воды		
2.I. К (при t воздуха 40°С)	Табл.I	-	0,I6
2.2. P_1 % W	Формула (2)	I0·0,I6	I,6
2.3. P_2 % W	Табл.2	Башенные градирни	0,5
2.4. P_3 % W	Из формулы (I) ($P_3 \geq P - P_1 - P_2$)	4 - I,6 - 0,5	I,9
2.5. φ	Формула (4)	$\frac{I,6+0,5+I,9}{0,5+I,9}$	I,67 ≈ I,7
2.6. $Ж_{пр}$ мг-экв/кг	Формула (I0)	$\left(8+\frac{8}{3}-\frac{2,8\cdot0,8}{6-\frac{8}{7}}\right):2,8$	3,66 ≈ 3,7

Показатель	Способ вычисления	Вычисление	Результат
2.7. $Ж^{об}_{к.макс}$ мг-экв/кг	Формула (6)	3,2 · I,7	5,4
2.8. Накипеобразующая способность охлаждающей воды	Формулы (7), (8)	5,4 > 3,7	Вода накипеобразующая
3. Продувка системы			
3.I. P_3 % W	Формула (I3)	$\frac{I,6 \cdot 3,2}{3,7 - 3,2} - 0,5$	9,7
3.2. $D^{прод}_{доб}$ м³/ч	Формула (I)	$\frac{80000}{I00} \cdot (I,6+0,5+9,7)$	9440
3.3. $D^{доп}_{доб}$ м³/сезон (дополнительный расход добавочной воды за сезон, т.е. 92 сут)	$\left(D^{прод}_{доб} - D_{доб}\right) 24 \cdot 92$	(9440-3200)·92·24	I3777920
3.4. $Ц_в$, руб/I000 м³ (цена воды)	Принимаем	-	4,0
3.5. $З_в$ руб/сезон (затраты на дополнительный расход добавочной воды)	$Ц_в D^{доп}_{доб} \cdot I0^{-3}$	4 · I3777920 · $I0^{-3}$	55II2
4. Обработка воды серной кислотой			
4.I. $Ж_{пр.п}$ мг-экв/кг	Формула (I6)	$2,8Ж_{пр.п} = 8 + \frac{8}{3} - \frac{2,8 \cdot \left(4 - \frac{Ж_{пр.п}}{I,7}\right)}{6 - \frac{8}{7}}$	3,36 ≈ 3,4
4.2. $Ж^{доб}_{0}$ мг-экв/кг	Формула (I4)	$\frac{3,4}{I,7}$	2,0 По остаточной жесткости обработка проходит
4.3. $\left[SO_4^{2-}\right]^{об}_{п}$ мг/кг	Формула (20)	$\left[I72 + (3,2-2,0)x48\right] \cdot I,7$	392 По ПДК обработка проходит
4.4. Проверка стабильности гипса в оборотной воде			
4.4.I. $S^{об}$ (сухой остаток в оборотной воде, мг/кг)	Формула (3)	500 · I,7	850
4.4.2. f_2	Рис.2	-	0,48
4.4.3. ПАК$_{CaSO_4}$ (г-ион/кг)²	Формула (2I)	$0,48 \cdot \frac{62}{40 \cdot I000} \cdot \frac{I72}{40 \cdot I000} \cdot I,7^2 =$ $= 0,48^2 \cdot I,55 \cdot I0^{-3} \times$ $\times 2,4 \cdot I0^{-3} \cdot I,7^2$	$2,69 \cdot I0^{-6} <$ $< 4,5 \cdot I0^{-5}$ Гипс выпадать не будет

Показатель	Способ вычисления	Вычисление	Результат
4.5. $\partial_{H_2SO_4}$ кг/м³	Формула (I7) (75%-ная H_2SO_4)	$\frac{49}{3,75} \cdot (3,2-2,0) \times 10^{-3}$	$78,4 \cdot 10^{-3}$
4.6. $G_ч^{H_2SO_4}$ кг/ч	Формула (I8)	$78,4 \cdot 3200 \cdot 10^{-3}$	250,9
4.7. $G_{сут}^{H_2SO_4}$ кг	$G_ч^{H_2SO_4} \cdot 24$	250,9 · 24	602I
4.8. $G_{сезон}^{H_2SO_4}$ т	$G_{сут}^{H_2SO_4} \cdot 92 \cdot 10^{-3}$	$602I \cdot 92 \cdot 10^{-3}$	554
4.9. $Ц_{H_2SO_4}$ руб/т (цена серной кислоты)	Принимаем	–	30
4.I0. $З_{H_2SO_4}$ руб/сезон (затраты на реагент)	$З_{H_2SO_4} = Ц_{H_2SO_4} \times G_{сезон}^{H_2SO_4}$	30 · 554	I6620
4.II. Расчет варианта обработки с уменьшением остаточной карбонатной жесткости добавочной воды до $Ж_0^{доб}$ = I,0 мг-экв/кг			
4.II.I. $Ж_{пр.п}$ мг-экв/кг	Формула (I6)	$2,8 Ж_{пр.п} = 8 + \frac{8}{3} - \frac{2,8\,(4-I)}{6-\frac{8}{7}}$	3,2
4.II.2. φ	Из формулы (I4)	$\frac{3,2}{I,0}$	3,2
4.II.3. $P_з$ % W	Из формулы (4) или по формуле (I3), где $Ж_к^{доб} = Ж_0^{доб}$; $Ж_{пр} = Ж_{пр.п}$	$\frac{I,6+0,5+P_з}{0,5+P_з} = 3,2$ $\frac{I,6 \cdot I,0}{3,2-I,0} - 0,5$	0,23 0,23
4.II.4 $\left[SO_4^{2-}\right]_п^{об}$ мг-экв/кг	Формула (20)	$I72+(4-I) \cdot 48 \cdot 3,2$	I0II

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

5. Обработка воды гексаметафосфатом натрия ($Na\,PO_3)_6$

5.I. $Ж_{пр.ф}$ мг-экв/кг	Принимаем	–	5,5
5.2. $P_з$ % W	Формула (23)	$\frac{3,2 \cdot I,6}{5,5-3,2} - 0,5$	$I,73 \approx I,7$
5.3. $D_{доб}^{ф}$ м³/ч	Формула (I)	$\frac{80000}{I00} \cdot (I,6+0,5+I,5)$	3040
5.4. $\partial_ф$ кг/м³	Формула (24)	$\left[\frac{I50}{50} + \frac{40 \cdot 80000}{40000\,(I,6+0,5+I,5)}\right] \times I0^{-3}$	8,6
5.5. $G_ч^{ф}$ кг/ч	Формула (25)	$8,6 \cdot 2880 \cdot I0^{-3}$	24,8
5.6. $G_{сут}^{ф}$ кг	$24 \cdot G_ч^{ф}$	24,8 · 24	594
5.7. $G_{сезон}^{ф}$ т	$92 \cdot I0^{-3} G_{сут}^{ф}$	$594 \cdot 92 \cdot I0^{-3}$	54,7
5.8. $Ц_ф$ руб/т (цена гексаметафосфата натрия)	Принимаем	–	425
5.9. $З_ф$ руб/сезон (затраты на реагент)	$Ц_ф\, G_{сезон}^{ф}$	425 · 54,7	23247

Показатель	Способ вычисления	Вычисление	Результат
5.I0. $Э D_{доб}$ м³/сезон (экономия добавочной воды за счет снижения размера продувки с I,9 до I,5%)	$(D_{доб} - D^{ф}_{доб})$ х х 92 · 24	(3200-2880) · 92 · 24	706560
5.II. $Э З_{в}$ руб/сезон (экономия затрат на добавочную воду в связи со снижением расхода последней)	$Э З_{в} = Э D_{доб} Ц_{в} \cdot 10^{-3}$	$706560 \cdot 4 \cdot I0^{-3}$	2826
5.I2. $З_{обр}$ руб/сезон (затраты на обработку)	$З_{обр} = З_{ф} - Э З_{в}$	23247 - 2826	20421

6. Обработка воды ОЭДФК

Условие: предельно допустимая концентрация ОЭДФК в системе ($д_{оздфк}$) не более I,0 мг/кг

6.I. $Ж^{об}_{к.макс}$ мг-экв/кг	Формула (6)	3,2 · I,7	5,4
6.2. $Ж_{пр.оздфк}$ мг-экв/кг при $д_{оздфк}$ = I,0 мг/кг	Рис.7.	-	6,0

Необходимо рассмотреть два варианта обработки воды ОЭДФК:

I) с $Ж_{пр.оздфк} = Ж^{об}_{к.макс}$ = 5,4 мг-экв/кг;

2) с $Ж_{пр.оздфк}$ = 6,0 мг-экв/кг

Вариант I

6.3. $Ж_{пр.оздфк} = Ж^{об}_{к.макс}$ мг-экв/кг	Задаемся	-	5,4
6.4. $д_{оздфк}$ мг/кг	Рис.7	-	0,6
6.5. $G^{оздфк}$ кг	Формула (27)	$2 \cdot 40000 \cdot 0,6 \cdot I0^{-3}$	48
6.6. $G^{оздфк}_{ч}$ кг/ч	Формула (28)	$\frac{3200 \cdot 0,6}{I,7} \cdot I0^{-3}$	I,I3
6.7. $G^{оздфк}_{сут}$ кг	Формула (29)	I,I3 · 24	27,I2
6.8. $G^{оздфк}_{сезон}$ кг	$G^{оздфк}_{сут} \cdot 92 + G^{оздфк}$	27,I2 · 92 + 48	2543
6.9. $Ц_{оздфк}$ руб/кг (цена ОЭДФК)	Принимаем	-	7,0
6.I0. $З_{оздфк}$ руб/сезон (затраты на реагент)		7 · 2543	I780I

Вариант 2

6.II. $Ж_{пр.оздфк}$ мг-экв/кг	Рис.7 При $д_{оздфк}$ = = I,0 мг/кг	-	6,0
6.I2. $\varphi_{доп}$	Формула (26)	$\frac{6,0}{3,2}$	I,88 ≈ I,9
6.I3. $p^{оздфк}_{з}$ %W	Формула (I3) где $Ж_{пр} = Ж_{пр.оздфк}$	$\frac{I,6 \cdot 3,2}{6 - 3,2} - 0,5$	I,33 ≈ I,3

Показатель	Способ вычисления	Вычисление	Результат
6.I4. $D_{доб}^{оздфк}$ м³/ч	Формула (I)	$\frac{80000}{I00}$ (I,6 + 0,5 + I,3)	2720
6.I5. $G^{оздфк}$ кг	Формула (27)	2 · 40000 · I · $I0^{-3}$	80
6.I6. $G_{ч}^{оздфк}$ кг/ч	Формула (28)	$\frac{2720 \cdot I}{I,9} \cdot I0^{-3}$	I,43
6.I7. $G_{сут}^{оздфк}$ кг	Формула (29)	I,43 · 24	34,3
6.I8. $G_{сезон}^{оздфк}$ кг	$G_{сут}^{оздфк} \cdot 92 + G^{оздфк}$	34,3 · 92 + 80	3237
6.I9. $З_{оздфк}$ руб/сезон (затраты на реагент)	$Ц_{оздфк} G_{сезон}^{оздфк}$	7 · 3237	22659
6.20. $Э D_{доб}^{оздфк}$ м³/сезон (экономия добавочной воды за счет снижения продувки)	$(D_{доб} - D_{доб}^{оздфк}) 24 \cdot 92$	(3200-2720) · 24 · 92	I059840
6.2I. $Э З_{в}$ руб/сезон (экономия затрат на добавочную воду)	$Э З_{в} = Э D_{доб}^{оздфк} Ц_{в} \cdot 10^{-3}$	I059840 · 4 · $I0^{-3}$	4239
6.22. $З_{обр}$ руб/сезон (затраты на обработку)	$З_{оздфк} - Э З_{в}$	22659 - 4239	I8420

Экономически выгоднее обработку ОЭДФК 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 (55II2 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 (I-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 ОЭДФК не зашламляет систему, не увеличивает коррозионную агрессивность воды, реагент удобен в эксплуатации.

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

Пример 2.

Рассчитать 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. $D_{исп}$ $м^3/ч$	-"-	-	I280
4. $D_{ку}$ $м^3/ч$	-"-	-	20
5. $D_{пр}$ $м^3/ч$	-"-	-	400
6. $D_{доб}$ $м^3/ч$	-"-	-	I680
7. $[CO_2]^{доб}$ мг/кг	-"-	-	I,2
8. $Ж^{доб}_{общ}$ мг-экв/кг	-"-	-	4,0
9. $Ж^{доб}_{к}$ мг-экв/кг	-"-	-	3,2
I0. $Ж^{доб}_{нк}$ мг-экв/кг	-"-	-	0,8
II. $[Ca^{2+}]^{доб}$ мг-экв/кг	-"-	-	3,I
I2. $[Mg^{2+}]^{доб}$ мг-экв/кг	-"-	-	0,9

- 74 -

I3. $[Cl^-]^{доб}$ мг/кг	Исходные данные	-	40
I4. $[SO_4^{2-}]^{доб}$ мг/кг	-"-	-	72
I5. $S^{доб}$ мг/кг	-"-	-	3I2
I6. O_K мг/кг	-"-	-	8,0
I7. ПДК $_{SO_4^{2-}}$ мг/кг	-"-	-	400
I8. ПДК $_{оздфк}$ мг/кг	-"-	-	I,0
I9. φ	Формула (4)	$\frac{I700}{I700 - I280}$	4,047 ≃ 4,0
20. $Ж_{пр.оздфк}$ мг-экв/кг (при $д_{оздфк}$ = ПДК $_{оздфк}$ = I,0 мг/кг)	Рис.7	-	6,0
2I. $G^{оздфк}_{ч}$ кг/ч	Формула (28)	$\frac{I700 \cdot I}{4} \cdot I0^{-3}$	$425 \cdot I0^{-3}$
22. $pH^{узв}$	Задаемся	-	I0,2
23. α мг-экв/кг	-"-	-	0,2
24. $Ж^{узв}_{к}$ мг-экв/кг	-"-	-	0,6
25. $Ж^{узв}_{общ}$ мг-экв/кг	Формула (33)	0,6 + 0,2	0,8
26. $д^{узв}_{H_2SO_4}$ мг-экв/кг	Формула (34)	0,5 · 0,6 + 0,2	0,5

- 75 -

Показатель	Способ вычисления	Вычисление	Результат
27. $Ж_к^{изв.п}$ мг-экв/кг	Формула (35)	0,8 - 0,5	0,3
28. $D_{изв}$ м³/ч	Формула (4I)	$\frac{(3,2 - \frac{6,0}{4,0}) \cdot I680}{3,2 - 3,0}$	985
29. $[SO_4^{2-}]^{об}$ мг/кг	Формула (47)	$\frac{I680 \cdot 72 + 48 \cdot 985 \cdot 0,5}{I680} \times 4$	344 По ПДК обработка проходит
30. $[SO_4^{2-}]^{изв}$ мг/кг	Формула (36)	72 + 48 · 0,5	86
3I. $A = [Ca^{2+}]^{доб} / [HCO_3^-]^{доб}$	-	3,I : 3,2	0,97; A< I
32. $[Ca^{2+}]^{изв}$ мг-экв/кг	Формула (38)	0,8 + 0,8	I,6
33. $\Delta O_к$ мк/кг	Принимаем = 50% исходной	0,5 · 8	4
34. $S^{изв}$ мг/кг	Формула (40)	3I2-50 (3,I-0,6) - -42 (3,2-0,6) + 8·0,9 + +68·0,2 + 48 (0,5-0,2) - - 3,5·4	99

35. $Ж_к^{доб.изв}$ мг-экв/кг	Формула (42)	$\frac{(I680-985) \cdot 3,2 + 985 \cdot 0,3}{I680}$	I,5
36. $[Ca^{2+}]^{доб.изв}$ мг-экв/кг	Формула (43)	$\frac{(I680-985) \cdot 3,I + 985 \cdot I,6}{I680}$	2,2
37. $[SO_4^{2-}]^{доб.изв}$ мг/кг	Формула (44)	$\frac{(I680-985) \cdot 72 + 985 \cdot 86}{I680}$	80,2
38. $S^{доб.изв}$ мг/кг	Формула (45)	$\frac{(I680-985) \cdot 3I2 + 985 \cdot 99}{I680}$	I87
39. $S^{об}$ мг/кг	Формула (46)	I87 · 4	748
40. f_2 (по $S^{об}$ = 748)	Рис.2)	-	0,49
4I. ПАК$_{CaSO_4}$ (г-ион/кг)^2	Формула (2I)	$(0,49)^2 \cdot I,I \cdot I0^{-3} \cdot 3,5 \cdot I0^{-6} \times$ $\times 0,83 \cdot I0^{-3} \cdot (4)^2$	$4,5 \cdot I0^{-5}$
42. $д_{изв}$ кг/м³ (при $C_{изв}$ = 50%)	Формула (32)	$(\frac{I,2}{22} + 3,2 + 0,9 + 0,2) \times \frac{28}{I0 \cdot 50}$	0,24
43. $G_{изв}$ кг/ч	Формула (48)	0,24 · 985	236
44. $G_к^{H_2SO_4}$ кг/ч (при K = 0,75)	Формула (49)	$\frac{49}{0,75} \cdot 0,5 \cdot 985 \cdot I0^{-3}$	32,2

Приложение 2
Рекомендуемое

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

$$C = Щ_1 - Щ_2, \qquad (59)$$

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 С равен нулю. При положительных значениях С из раствора может выделяться карбонат кальция, т.е. вода накипеобразующая.

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

Во всех случаях значение щелочности воды после встряхивания с порошкообразным карбонатом кальция ($Щ_2$) является предельно допустимой карбонатной жесткостью данной воды.

С О Д Е Р Ж А Н И Е

I. Общая часть 4

2. Водный режим системы оборотного водоснабжения и определение накипеобразующей способности охлаждающей воды 5

3. Характеристика загрязнений конденсаторов турбин 9

4. Методы предотвращения загрязнения конденсаторов турбин карбонатными отложениями..... I3

5. Предотвращение образования органических отложений путем хлорирования воды 38

6. Очистка конденсаторов турбин от отложений..... 44

П р и л о ж е н и е I. Примеры расчета режимов обработки воды 64

П р и л о ж е н и е 2. Методика определения стабильности воды 78

Ответственный редактор Т.П.Леонова
Литературный редактор М.Г.Полоновская
Технический редактор Н.Д.Архипова
Корректор Л.Ф.Петрухина

Подписано к печати 06.05.89 Формат 60x84 I/I6
Печать офсетная Усл.печ.л.4,65.Уч.-изд.л.4,3 Тираж I250 экз.
Заказ №224/89 Издат. № 88723

Производственная служба передового опыта эксплуатации энергопредприятий Союзтехэнерго
I05023, Москва, Семеновский пер., д.I5

Участок оперативной полиграфии СПО Союзтехэнерго
I09432, Москва, 2-й Кожуховский проезд, д.29, строение 6

gost.e-ecolog.ru