

Справочный документ по применению наилучших доступных технических методов к промышленным системам охлаждения, декабрь 2001 г.

XII.2 Системы охлаждения электростанции: принципы и основные сведения

Электростанции работают в соответствии с известным циклом Карно. Источник тепла, котёл, даёт энергию, требуемую для испарения воды. Источник холода, конденсатор, конденсирует пар, поступающий из турбины низкого давления.

Одной из основных характеристик электростанции с технической и экономической точек зрения является её **удельный расход**, иными словами, количество тепла, необходимое для производства одного кВт·ч электроэнергии. Это удельное потребление является результатом баланса теплового цикла (таблица 1).

Таблица XII.1: Пример упрощённого баланса теплового цикла для типовой современной станции

Преобразование энергии	Энергия (кДж)	(%)	КПД (%)
Энергия горения	9 000	100	100
Потери в парогенераторе	1 050	- 11.7	88,3
"Потери" в конденсаторе	4 200	- 46.5	41,8
Подогрев питательной воды	(2 000)	(22.2)	(рекуперация)
Потери в турбогенераторе	65	- 0.75	41,05
Энергоснабжение вспомогательного оборудования	65	- 0.75	40,3
Потери в главном трансформаторе	25	- 0.2	40,1
Общий КПД объекта			40,1

Наличие источника холода является основным соображением. В системах охлаждения не всегда можно использовать воду, забираемую непосредственно из реки, моря или озера, может использоваться система рециркуляции с градирней. Как показывает баланс теплового цикла, для каждого генерируемого кВт·ч должно производиться 4200 кДж. Кроме того, эта энергия не может быть использована из-за низкой эксергии.

Новые системы генерации, особенно с комбинированным циклом (или газопаровые турбины), позволяют достигать более высоких КПД, превышающих даже 55%.

Система охлаждения, служащая для отвода этой энергии, как правило, является циркуляционной системой. Внутри конденсатных трубок содержится холодная вода, забираемая из реки, моря или озера. Подогрев и расход этой воды зависят от установленной мощности (таблица 2).

Таблица XII.2: Взаимосвязь между установленной мощностью и параметрами охлаждения (значения приводятся в качестве примеров и зависят от типа циркуляционной системы, температуры окружающего воздуха, температуры охлаждающей воды)

Номинальная мощность установки, МВт	Расход циркулирующей воды, м ³ /с	Подогрев воды в конденсаторе, К
125	3 – 5	7 – 12
250	6 – 10	7 – 12
600	14 – 24	7 – 12

Кроме того, на каждой установке имеется вспомогательная водная система охлаждения: охладители уплотняющего масла генератора, охладители компрессора и др.

Замкнутые системы охлаждения, в которые подается опреснённая вода, представляют собой системы для охладителей охлаждающей воды статора генератора; водородных охладителей генератора и др.

В зависимости от установки расход охлаждающей воды в этой системе охлаждения **вспомогательного оборудования** составляет обычно приблизительно 4-8% расхода циркулирующей воды.

XII.3 Возможное воздействие на окружающую среду систем охлаждения

Выбросы тепла у источника холода касаются главным образом двух компонентов принимающей окружающей среды: воздуха и воды. Однако на самом деле, даже если происходит сброс в водную среду, основное количество теплоты поступает в атмосферу. Действительно, вода постепенно передает полученное тепло различными природными процессами: испарением, проводимостью, излучением. По экономическим соображениям первоочередное внимание уделяется воде.

До определения того, какие технические методы можно признать ВАТ для систем охлаждения, как представляется, желательно проанализировать вредное воздействие на природную среду, определить его характер и величину и оценить его, иными словами, решить, остаётся ли оно допустимым или нет.

XII.3.1 Выбросы тепла в атмосферу

Независимо от типа системы охлаждения, всё тепло, подаваемое к источнику холода, переносится в атмосферу. Это осуществляется в особом порядке в случае градирен, конденсаторов с воздушным охлаждением и сухих градирен. В случае прямоточных систем охлаждения на реке, озере или море тепло переносится по поверхности принимающего водоёма на большую площадь и с определённым запаздыванием, в зависимости от местной ситуации.

На электростанциях, охлаждаемых **прямоточной системой** (рисунок XII.1, раздел XII.11), перекачиваемая вода, как правило, подогревается до 7-12 К при работе установок на их проектную мощность. Сбрасываемая охлаждающая вода постепенно охлаждается, перемешиваясь с принимающей водой. После этого тепло переносится в атмосферу тремя традиционными процессами: испарением (35-45% выбрасываемой энергии), излучением с поверхности воды (25-35%) и проводимостью с воздухом (20-30%). В зависимости от местной ситуации температура на выходе может ограничиваться местным органом власти.

Перенос энергии испарением представляет собой расход пара на уровне 20 кг/с на 100 МВт_т. Учитывая быстрое охлаждение воды вниз по течению от точки сброса, единственные атмосферные явления, которые, вероятно, изменятся – это частота возникновения и

продолжительность тумана испарения на территории поблизости от выброса, разница температур на которой значительна, а протяжённость которой ограничена.

Следует отметить, что, при прочих равных условиях, температура образования и исчезновения пара испарения выше над солёной водой, чем над мягкой водой. Следовательно, это обстоятельство благоприятно для электростанций, расположенных в устьях и у морского побережья.

На электростанциях, оборудованных **влажными градирнями** (рисунок XII.2, раздел XII.11), всё происходит так, как если бы тепло выбрасывалось непосредственно в атмосферу. На практике применяется два метода эксплуатации:

- прямоточное охлаждение с градирней (рисунок XII.3, раздел XII.11) и
- рециркуляционное охлаждение (рисунок XII.4, раздел XII.11).

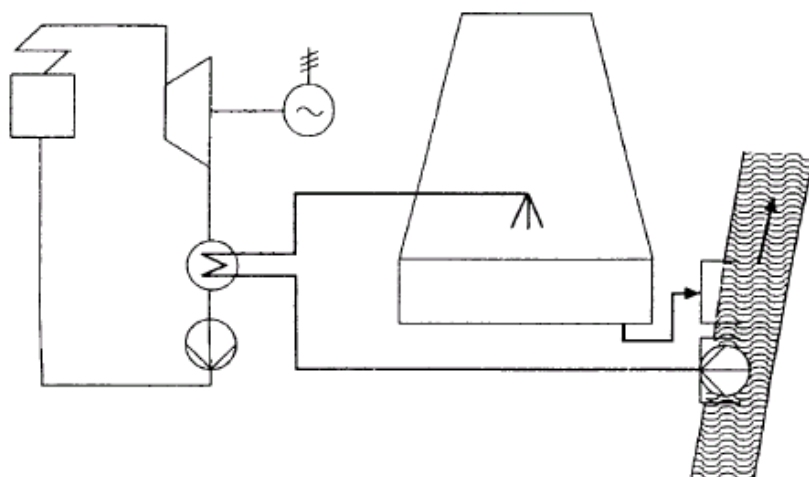


Figure XII.3: Once - through cooling with cooling tower

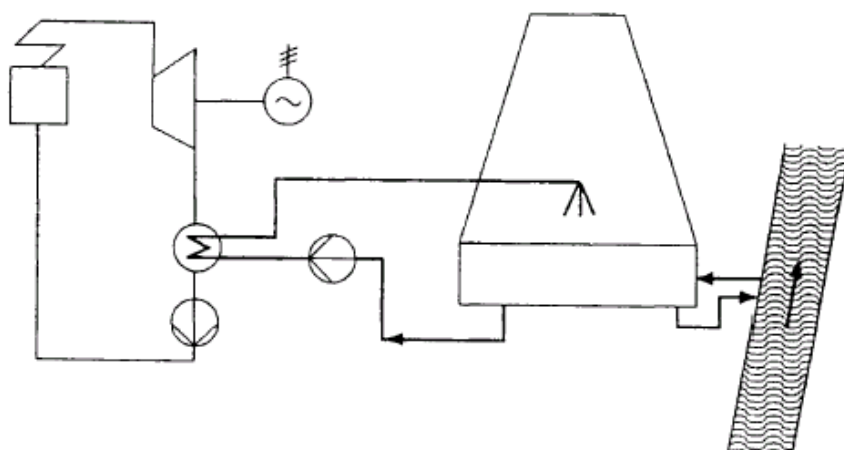


Figure XII.4: Recirculating cooling

Выброс происходит концентрированно на небольшой территории. Влажные градирни переносят в атмосферу около 70% остаточного тепла в форме скрытого тепла (влажного пара) и около 30% в форме ощущаемого тепла. Таким образом, расход пара, выбрасываемого в

атмосферу, приблизительно вдвое превышает расход в результате прямоточного охлаждения без градирни. Воздух, насыщенный влагой, выбрасывается в атмосферу при температуре, приблизительно на 10-20 К превышающей окружающую температуру, и со скоростью до 3-5 м/с в случае градирен с естественной тягой. Скорость удваивается в случае градирен с механической тягой. Этот воздух, насыщенный влагой, охлаждаясь путём турбулентного перемешивания с окружающим воздухом, может вести к образованию искусственных облаков и шлейфов.

Риск образования тумана на местности в результате снижения конденсационного шлейфа может возникать относительно часто, особенно в случае градирен с механической тягой (рисунки XII.5, XII.6 и XII.7, раздел XII.11) в связи с их малой высотой и в условиях влажной безветренной погоды. Соответствующая территория простирается примерно на 500 м от источника выброса.

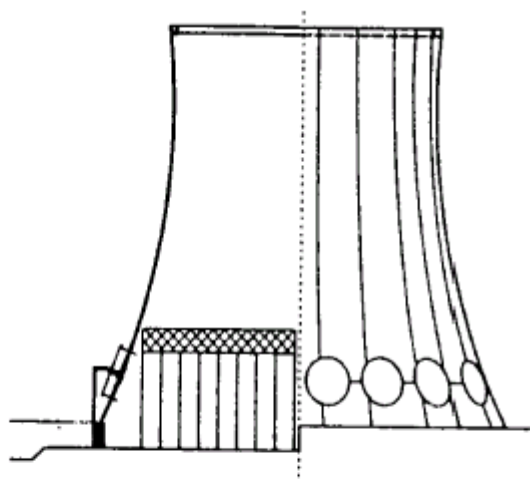


Figure XII.5: Mechanical draught cooling tower (pressure fans)

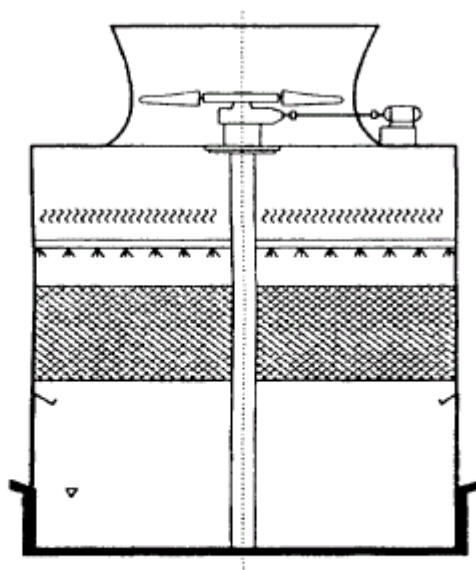


Figure XII.6: Mechanical draught cooling tower (suction fans, cell construction)

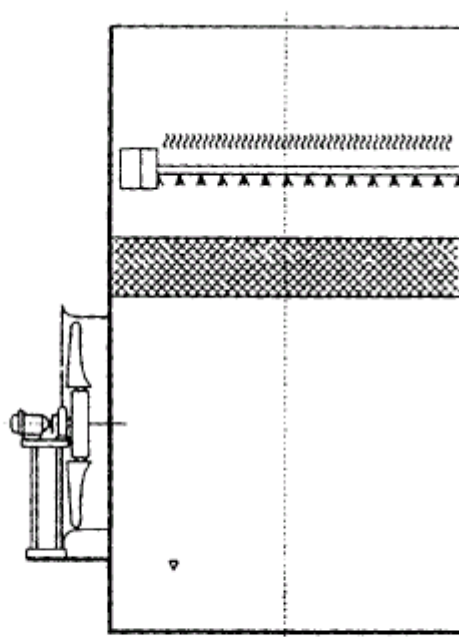


Figure XII.7: Mechanical draught cooling tower (pressure fans, cell construction)

Частота таких эпизодов значительно сокращается с увеличением высоты градирен. На равнинной местности снижение шлейфов, достигающих поверхности, можно считать исключительным случаем при высоте от 50 до 75 м, в зависимости от местной ситуации.

Образование инея может быть результатом контакта с грунтом, замороженным либо туманом в связи со снижением шлейфа, либо осадками, связанными с прокачкой, либо распылением у основания градирни. Однако воздействие подобного распыления ограничивается территорией

возле градирни и затрагивает, в крайнем случае, несколько десятков метров близ основания градирни.

Основным климатическим изменением, связанным с эксплуатацией влажных градирен, является усиление местной туманности в результате увеличения конденсационного шлейфа, что ведёт к уменьшению солнечного света и света поблизости от электростанции.

На электростанциях, оборудованных **сухими градирнями** (рисунок XII.11, раздел XII.11) или **конденсаторами с воздушным охлаждением** (рисунки XII.9 и 10, раздел XII.11), абсолютная влажность воздуха не меняется, но его температура приблизительно на 15-20 К превышает окружающую температуру. Все тепло выбрасывается в ощущаемой форме, а ненасыщенный горячий воздух, поднимающийся в атмосфере, редко ведёт к образованию облаков.

Гибридные градирни (влажные/сухие) (рисунок XII.8, раздел XII.11) чаще всего позволяют избегать образования шлейфов. Расход воды (то есть добавочная вода) на 20% ниже, чем во влажной градирне. Однако в настоящее время имеются только гибридные градирни с механической тягой. Годовой баланс электростанции с гибридной градирней с механической тягой находится в том же диапазоне, что и электростанции с сопоставимой влажной градирней с механической тягой. При этом учитывается режим эксплуатации.

Последние несколько лет выброс обессеренных отходящих газов через градирню на электростанциях, работающих на ископаемом топливе, осуществляется по последнему слову техники, по крайней мере, в Германии. Это альтернатива традиционным выбросам через дымовую трубу, имеющая экологические и экономические преимущества.

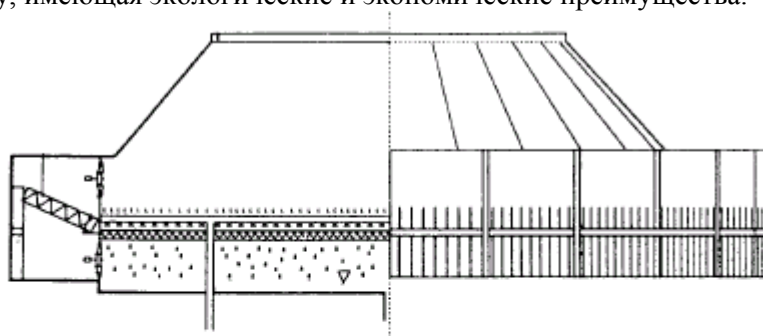


Figure XII.8: Hybrid cooling tower

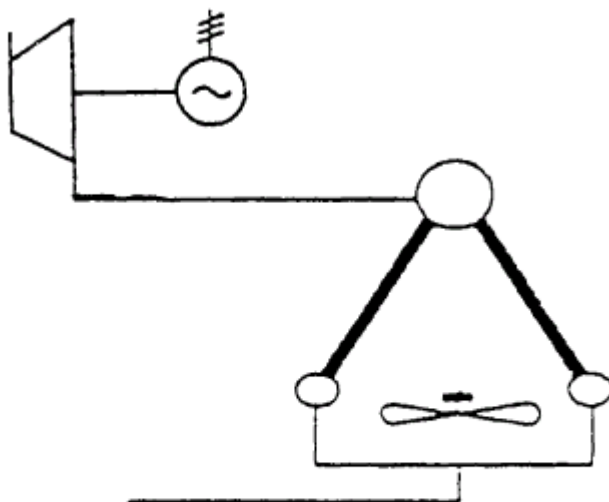


Figure XII.9: Forced draught air-cooled condenser

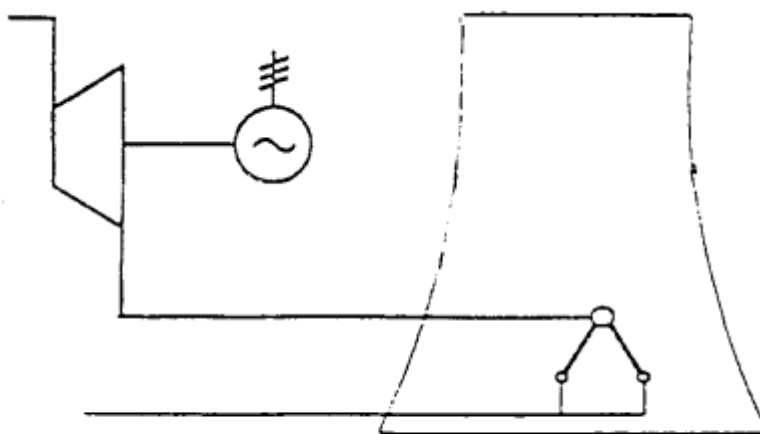


Figure XII.10: Natural draught air-cooled condenser

XII.3.2 Нагревание принимающей водной среды

Хотя окончательный сток теплоты происходит в атмосферу, в большинстве случаев теплоэлектростанция осуществляет достаточно крупные сбросы в водную среду. Это обусловлено различными физическими феноменами:

- турбулентной диффузией;
- конвекцией в воде;
- потоком жидкостей разной плотности;
- испарением, излучением, конвекцией в воздухе.

В зависимости от степени выброса и принимающего компонента окружающей среды это явление носит преобладающий характер и влияет на распределение тепла в принимающем компоненте окружающей среды.

Ближнюю зону сброса охлаждающей воды следует отличать от дальней зоны.

Ближняя зона в реке определяется как зона, в которой перемешивание шлейфа теплой воды с речной водой является неполным.

Температура воды в ближней зоне зависит от перемешивания воды, сбрасываемой электростанцией, с водой в принимающей окружающей среде. Нагревание в этой зоне можно сократить путём быстрого перемешивания стоков с водой принимающей окружающей среды специальными устройствами.

Дальняя зона – это тёплая вода, полностью перемешанная на всю глубину водного столба и, таким образом, представляющая собой фоновое тепловое поле. Повышенная температура в дальней зоне постепенно снижается в связи с разбавлением окружающей водой и теплообменом с атмосферой.

Что касается сбросов в **приливное море или море с сильными течениями**, шлейф тёплой воды, образуемый сбросом электростанции, обусловлен главным образом высокими скоростями, присутствующими в принимающей окружающей среде. Они вызывают быстрое перемешивание воды, препятствующее какому-либо расслоению, вызванному разницей в плотности тёплой и холодной воды. Падение температуры в шлейфе тёплой воды происходит в основном в результате перемешивания, а не потерь тепла на поверхности воды. В приливном море шлейф тёплой воды, который определяется как площадь в пределах изотермы нагревания на 1 К, простирается на 2-10 км² в случае сброса, соответствующего сбросу атомной электростанции мощностью 5 000 МВт_{те}.

В **бесприливном море** шлейф тёплой воды ведёт себя, прежде всего, как расслоенный поток. Температура падает весьма быстро в ходе разбавления в результате контакта и турбулентности. В бесприливном море (или озере) распространение или перенос охлаждающих вод находится под сильным влиянием течений, вызванных ветром, и условий термоклина и оценивается приблизительно в 1 га/МВт_{те}.

Охлаждающая вода прибрежных электростанций обычно сбрасывается на поверхность моря открытым выпускным каналом.

Поведение шлейфа тёплой воды в **устье** аналогично поведению шлейфа в приливном море с сильными течениями. Переменное движение воды играет весьма важную роль. Течение реки имеет тенденцию переносить тепло в сторону моря. Поступающий прилив замедляет течение или меняет его направление и, таким образом, влияет на распространение шлейфа тёплой воды в устье.

Оценить нагревание реки после сброса теплой воды относительно сложно. Действительно, механизм охлаждения реки вниз по течению представляет собой главным образом результат обмена энергией между рекой и атмосферой. Поток энергии между водой и атмосферой значительно колеблется в зависимости от метеорологических условий и времени суток.

В реке рассеиватели, размещенные по всей ширине водного пути, переносят смесь на расстояние от нескольких десятков до нескольких сотен метров. Если сброс осуществляется вдоль берега, вместо этого происходит полное перемешивание естественным течением в пределах нескольких километров.

Во всех случаях **рециркуляции в реке следует избегать** или сводить к минимуму интенсивность рециркуляции сбросов в море, и особенно в устье, для обеспечения эффективности и безопасной эксплуатации электростанций. Расположение и проект водозабора и выпускных отверстий определяются таким образом, чтобы устранить риск рециркуляции.

Предварительные исследования позволяют проектировать структуры и устройства водозабора и выпускных отверстий, оптимально адаптированные к тому, чтобы избегать рециркуляции и

благоприятствовать первоначальному перемешиванию сбросов подогретой воды. В их основе лежат физические (гидравлические) модели и цифровые модели. По возможности цифровое моделирование и т.д. должно базироваться на данных гидрографических обследований конкретных объектов.

Использование этих инструментов в рамках исследования воздействия проектируемых объектов служит гарантией того, что нормативные тепловые ограничения будут соблюдаться, касаются ли они максимального нагрева в зоне перемешивания или уровня температуры после перемешивания.

XII.3.3 Всасывание организмов водозаборами

При перекачке воды, требуемой для охлаждения, теплоэлектростанции вовлекают микроскопические организмы (морские водоросли и планктон), равно как и организмы, плавающие в открытом водотоке (некоторых ракообразных и рыбу). Планктон проходит через вращающиеся фильтры, размер ячеек которых составляет, как правило, от 1 мм до 5 мм. Это не касается ракообразных и рыбы, которые ударяются о фильтровальные панели, всасываются и сбрасываются вместе с промывочной водой фильтров.

Как показывают некоторые исследования, большинство организмов, вовлекаемых в водозаборы, имеют небольшой размер: креветки, личинки и мальки в море и устье и мальки в реках. Молодой лосось, мигрирующий вниз по течению, особенно сильно вовлекаемый в водозаборы, представляет собой пример особого поведения.

Для ограничения уноса этих видов можно принимать три вида мер:

1. Размещение водозаборов за пределами критических зон, таких как места нереста и "рыбопитомники" на морском побережье и маршруты миграции личинок угря в устьях;
2. Проектирование водозаборных структур, позволяющих сводить к минимуму вовлечение организмов;
3. Оборудование водозаборов отталкивающими устройствами и оборудованием, сохраняющим организмы без ущерба для окружающей среды.

За последние десятилетия множество предотвращающих систем (отталкивающих устройств) разработано и установлено на водозаборах гидро- и теплоэлектростанций:

- в пресных водоёмах электрорыбозаградители отпугивают рыбу на определённых этапах, но не влияют на молодь рыб и даже привлекают их к водозаборам;
- завесы из воздушных пузырьков, как правило, давали весьма плохие результаты;
- свет частично эффективен в случае определённых видов, но рыба может акклиматизироваться, и сдерживающий эффект непостоянен;
- некоторые звуковые сдерживающие системы дают многообещающие результаты, однако имеются и противоречивые результаты.

Инвестиционные затраты зависят от размера водозабора и расхода и оцениваются приблизительно в 40'000-200'000 евро.

4. Оборудование водозаборов системами восстановления, которые восстанавливают организмы без ущерба для водной среды.

На крупных водозаборах с вращающимися ситами организмы можно удалять рыбонасосом или вымывать из сита водомётами низкого давления. На электростанции в устье реки Жиронда (Франция) подобные системы продемонстрировали сравнительно высокую эффективность с выживаемостью креветок, камбаловых и угрей на уровне 80-100%. Другие попытки либо менее эффективны, либо весьма дорогостоящи.

Первые две меры профилактического характера более предпочтительны, чем исправительные меры, эффективность которых в настоящее время остается проблематичной. Универсальное решение, которое нашло бы широкое применение, отсутствует.

XII.3.4 Изменение принимающего компонента окружающей среды сбросами химикатов

Вода, забираемая в целях охлаждения, иногда может быть причиной сброса химикатов в принимающий компонент окружающей среды. В частности, это может касаться следующего:

- реагенты, используемые для предотвращения образования отложений в системах охлаждения, оборудованных градирнями;
- реагенты, используемые для борьбы с биологическими изменениями, продукты реакции некоторых из них;
- антикоррозионная обработка сульфатом железа для защиты в некоторых случаях конденсаторов из сплава меди;
- продукты коррозии теплообменников и трубопровода.

Что касается **морской среды**, цель обработки биоцидами состоит в том, чтобы поддерживать достаточную чистоту систем для обеспечения их надлежащей эксплуатации. В случае морских водозаборов основная проблема заключается в том, чтобы предотвратить образование моллюсков (мидий, устриц и т.д.) внутри системы охлаждения. В настоящее время практикуется впрыскивание хлора. Как правило, он производится на месте путём электролиза морской воды. Этот процесс позволяет избежать риска, с которым связана транспортировка NaOCl грузовым автомобилем. Хлорирование можно осуществлять на постоянной или периодической (сезонной) основе в зависимости от множества факторов, таких как метеоклиматические характеристики объекта, качество воды, структура системы охлаждения и типология биообрастания (периоды колонизации и интенсивность роста).

Впрыскивание осуществляется в основном в малых дозах, с тем чтобы концентрация свободного хлора в сбросах составляла обычно от 0.1 до 0.5 мг/л (в отдельных случаях – 0.7 мг/л). Такая предельная концентрация установлена местными подзаконными актами.

Однако, реагируя с некоторыми органическими веществами, хлор может вести к образованию галогенсодержащих органических веществ (главным образом бромформа в морской воде). Тем не менее, как показывают некоторые исследования, концентрация бромформа в шлейфах теплой воды, сбрасываемой прибрежными электростанциями, остается чрезвычайно низкой (около 15 мкг/л).

Желательно сравнить эту цифру с галогенсодержащими органическими веществами, образующимися в океанах естественным путем. По данным работы Гримваля и деЛиера (Grimvall and deLeer (1995)), годовое образование ряда органогалогенов составляет:

- хлорметан: 5 000 000 т;
- бромметан: 300 000 т;
- йодометан: 300 000-1 200 000 т;
- хлороформ: 90 000-360 000 т;
- бромформ: 500 000-1 000 000 т;
- йодоформ: необнаружим в морской воде.

Были обнаружены природные концентрации адсорбируемых органических галогенидов на уровне 6-17 мкг Cl/г отложения в Ботническом заливе и 50-180 мкг Cl/г отложения в Финском заливе. Присутствие этих галогенсодержащих органических молекул относят на счёт реакций биогалогенирования.

Хлорирование является методом противообрастающей химической обработки, который наиболее часто используется для защиты систем прибрежных электростанций. Тем не менее, на теплоэлектростанциях успешно используется другой окислитель – двуокись хлора.

Уже на протяжении многих лет при выборе сплава для труб теплообменников прибрежных электростанций предпочтение отдается титану. В таких условиях воздействие продуктов коррозии незначительно или они вообще отсутствуют. Однако по-прежнему применяются конденсаторы из сплава меди, которые защищаются пленкой окиси железа, образуемой путем добавления сульфата железа в охлаждающую воду.

В случае **речных** электростанций воздействие химических реагентов будет в большой степени зависеть от типа системы охлаждения и тех или иных биологических проблем.

Как правило, эксплуатация с рециркуляцией повышает **риски образования отложений**. Зачастую это требует организации особой обработки добавочной воды и охлаждающей воды. Могут применяться следующие способы обработки:

- отсутствие обработки, когда вода не очень минерализована;
- известковое умягчение добавочной воды;
- внесение кислоты в циркулирующую воду;
- обработка замедлителем осаждения;
- комбинированная обработка: внесение кислоты и ингибиторы образования отложений или известковое умягчение и внесение кислоты.

Выбор способа обработки зависит от множества критериев, из которых упоминаются, например, следующие:

- коэффициент концентрации;
- химический состав речной воды;
- структура системы охлаждения.

Обработка зависит от коэффициента концентрации системы охлаждения:

- при низком коэффициенте концентрации (1.05-1.2), как правило, нет необходимости обрабатывать воду в системе;
- при среднем коэффициенте концентрации (1.2-2) требуется внесение кислоты в циркулирующую воду, когда жесткость воды высока;
- при высоком коэффициенте концентрации (3-7) известковое умягчение добавочной воды зачастую становится единственным возможным вариантом и может дополняться внесением небольшого количества кислоты.

Внесение кислоты в циркулирующую воду осуществляется тремя разными способами: путём поддержания pH в диапазоне от 7.5 до 8.5, ограничения общей щёлочности 100 мг CaCO₃/л (в случае добавочной воды с низким содержанием сульфатов) или соблюдения нормативных документов, в которых учитывается щёлочность, известковая жёсткость и температура. В большинстве случаев используется серная кислота.

Цель **известкового умягчения** добавочной воды состоит в том, чтобы поднять pH воды до 10, с тем чтобы осадить кальций и отчасти магний в форме карбоната и гидроксида. У выпускного отверстия декарбонизатора концентрация остаточного кальция варьируется от 0,5 до 1 м-эквивалента. Однако он сочетается с карбонатом, что чрезвычайно повышает образование отложений в обработанной воде. Для восстановления баланса декарбонизированной воды зачастую осуществляется ретроспективное внесение серной кислоты. Известковое умягчение ведёт к образованию большого объёма осадка. Кроме того, повышая pH, известковое умягчение может привести к осаждению некоторых тяжёлых металлов, присутствующих в забранной воде.

Осадок, образующийся в ходе осаждения в процессе умягчения, собирается на дне сгустителя. Обычно он перекачивается в сгуститель осадка, где концентрация твёрдых веществ повышается путем дальнейшего осаждения, зачастую с впрыскиванием полиэлектrolита. Чистая вода возвращается в сгуститель, а концентрированный осадок далее обезвоживается в барабанных вакуумфильтрах или ленточных фильтрах.

Слежавшийся осадок, образованный в результате обезвоживания с остаточным содержанием воды на уровне приблизительно 50% удаляется на полигон для отходов. О воздействии на окружающую среду полигонов для удаления осадков умягчения не сообщается.

От **непрерывного хлорирования** циркуляционных систем для предотвращения образования биопленки на трубах конденсатора отказались давно, так как применяются механические методы (системы Taprogge, Technos и т.д.). Но хлорирование как таковое по-прежнему является эффективным способом обработки.

На практике применяется пять способов хлорирования:

- в конце сезона: например, непрерывное хлорирование на низком уровне (0.5 мг/л) на протяжении 2-4 недель в конце периода колонизации пресноводной дрейссены *Dreissena polymorpha*;
- периодическая обработка: несколько периодов непрерывного добавления биоцида в сезон колонизации;
- прерывистая обработка: частая дозировка (например, каждый день или каждые три дня) в течение короткого периода времени (от нескольких минут до часов);
- непрерывная обработка на низком уровне во время периода колонизации: например, хлорирование в Северном море и Ла-Манше на уровне от 0.5 до 1.0 мг/л 7 месяцев в году для устранения морских мидий. Остаточный кислород у выпускного отверстия составляет 0.1-0.2 мг/л;
- полунепрерывная обработка, состоящая из коротких периодов обработки (15-60 минут), чередующихся с такими же короткими перерывами. Полунепрерывное хлорирование или пульсирующее хлорирование на низком уровне используется в Канаде против дрейссены и Франции и Нидерландах для контроля за морскими мидиями на электростанциях.

Массивное хлорирование или **шоковая дозировка** представляет собой особую процедуру, разработанную для устранения нитчатки, образующейся в бассейнах и на насыпях градилен. Концентрация в точке впрыскивания варьируется от 5 до 25 мг Cl_2 /л. Во избежание сброса хлора в принимающую окружающую среду трубы выпуска газа на несколько часов закрывают. Их открывают, когда концентрация свободного хлора в циркулирующей воде ниже предельно допустимого уровня сбросов. В зависимости от разрешения этот предельно допустимый уровень варьируется от 0.1 до 0.5 мг TRO^1 /л. В некоторых разрешениях сбросы выражены расходом. Обработка таким способом осуществляется не на всех объектах.

Частота массивной обработки в большой мере зависит от качества воды, коэффициента концентрации и общей чистоты циркуляционной системы. Она может проводиться еженедельно, ежемесячно или ежеквартально.

Реакция хлора с гумусовым и фульвиновым веществом ведет к образованию хлорорганических соединений. В действительности концентрация ионов бромидов в речной воде, как правило, незначительна. В этих условиях могут образовываться только хлорорганические соединения. Различаются летучие соединения, такие как хлороформ, дихлорметан, летучие органические галогениды (оксид пропилена, POX) и адсорбируемые соединения (адсорбируемые органические галогены, оксалат аммония, AOX).

¹ Total Residual Oxidant – общее остаточное содержание окислителя (прим. перев.)

Однако, как и в случае морской воды, присутствие галогенсодержащих органических соединений во внутренних поверхностных водах обусловлено не только хлорированием систем охлаждения. Среди других возможных источников следует особо отметить сельское хозяйство и их образование естественным путем. В незагрязненных озерах, например, Швеции, концентрация адсорбируемых органических галогенидов варьируется от 10 до 190 мкг Cl/л. Наиболее высокая концентрация отмечается в озерах с высоким уровнем эвтрофикации.

Среди параметров, влияющих на реакции, ведущие к образованию хлорорганических соединений при обеззараживании охлаждающей воды, следует отметить следующие:

- концентрация гумусовых и фульвиновых веществ;
- концентрация свободного хлора;
- продолжительность реакции;
- pH окружающей среды;
- температура реакции;
- присутствие ионов аммония.

Эти сложные реакции можно моделировать и подтверждать измерениями, проводимыми на местах.

Хлорирование прямоточных систем не ведёт к значительному росту хлорорганических соединений. Действительно, контакт является непродолжительным, составляя максимум около 10 минут, а концентрация свободного хлора низка. Согласно применяемым процедурам хлорирования, концентрации очищаемых органических галогенидов и адсорбируемых органических галогенидов, измеряемые на пике, варьируются, соответственно от 0 до 10 мкг Cl/л и от 20 до 150 мкг Cl/л. Эти значения соответствуют концентрациям свободного хлора в точке впрыскивания на уровне от 0.5 до 10 мг/л.

Хлорирование замкнутых циркуляционных систем может вести к более высокой концентрации хлорорганических соединений. Здесь неблагоприятную роль играют следующие факторы:

- контакт является более продолжительным;
- рециркуляция повышает концентрацию исходных компонентов.

Тем не менее, следует отметить, что увеличение pH в связи с дегазацией CO₂ способствует образованию очищаемых органических галогенидов. Последние легко переносятся в атмосферу через градирню.

В этих условиях концентрация очищаемых органических галогенидов составляет от 0 до 10 мкг Cl/л, а концентрация адсорбируемых органических галогенидов – от 200 до 2 500 мкг Cl/л. При этом концентрация свободного хлора в точке впрыскивания составляет от 5 до 25 мг/л, а время его присутствия колеблется от 2 до 70 часов.

Однако следует отметить, что присутствие небольшой концентрации ионов аммония в природной воде может значительно сократить концентрацию очищаемых органических галогенидов и адсорбируемых органических галогенидов. На самом деле кинетика реакции хлор-NH_4^+ превышает кинетику реакций между хлором и ароматическими соединениями.

XII.3.5 Другое возможное вредное воздействие, обусловленное выбором некоторых систем охлаждения

Использование градирен с естественной тягой, искусственной тягой и гибридных градирен, а также сухих конденсаторов и градирен позволяет значительно сократить нормы расхода воды электростанции и, соответственно, ограничить воздействие на водную среду.

Однако присутствие систем охлаждения на объекте может создавать другие проблемы. Они касаются, в частности, эстетики влажных градирен и создаваемого ими шума. В случае сухих

градирен и конденсаторов, помимо двух этих аспектов, также возможно распространение в воздухе продуктов коррозии с поверхности теплообменника, в частности, когда теплообменники состоят из ребристых труб, сделанных из оцинкованной стали.

Влажные градири с естественной тягой, спокойная форма которых, как правило, не вызывает неудовлетворения, тем не менее представляют собой структуры, которые заметны издали и которые невозможно спрятать на достаточно равнинной местности.

С другой стороны, **влажные градири с механической тягой и гибридные градири**, эстетика которых вызывает намного больше споров, имеют то преимущество, что, как правило, они ниже основной части электростанции.

Тем не менее, помимо этого требуется приводить сравнительные коэффициенты разных технологий, так как многое зависит от допущений, которые делали производители при представлении данных по затратам.

Аналогичные замечания можно сделать в отношении **сухих градирен и конденсаторов с воздушным охлаждением**. Тем не менее, эффект размера играет намного более важную роль. Это связано с тем, что низкая способность воздуха к теплообмену требует намного более крупных сооружений. Кроме того, в случае систем с механической тягой энергия, необходимая для подачи воздуха, составляет около 2% чистой электрической мощности установки. Следовательно, для рассеяния такого же объема тепловой энергии потребуются строение, размер которого втрое превышает размер влажной градири и комбинированной системы.

Определенное вредное воздействие связано с выбросом шума из входного и выпускного отверстий для воздуха системы охлаждения. Даже на **влажной градири с естественной тягой** уровень шума может достигать 60 дБ на высоте 100 м. На **влажной градири с механической тягой и гибридной градири** уровень шума составляет около 70 дБ при тех же условиях. В **конденсаторах с воздушным охлаждением** он приближен к 80 дБ.

XII.9 Выводы

Подход ВАТ к системам охлаждения **новых** теплоэлектростанций требует принятия ряда мер:

1. Необходимость проведения предварительных исследований состояния объекта;
2. Выбор коррозионноустойчивых материалов для поверхности теплообменника конденсаторов и градирен;
3. Внедрение местной защиты (краски, катодная защита и т.д.);
4. Сокращение точек потребления энергии (вентиляторов, насосов);
5. Установка противозумных систем (стен, панелей, изменение порядка оказания помощи на объекте и т.д.) или выбор решений, ведущих к снижению выбросов (вентиляторов с низким уровнем шума);
6. Оптимизация использования реагентов для обработки и установка (био)мониторов, приборов химического мониторинга и регулирующих устройств;
7. Изучение поведения систем при повышении температуры;
8. Проектирование водозаборов таким образом, чтобы ограничить попадание живых организмов;
9. Контроль за качеством воды, сбрасываемой водостоком (температурой, кислородом и т.д.).

Пункты 3, 4, 5, 6 и 9 актуальны и для **существующих** электростанций, так как они касаются способа эксплуатации и технического обслуживания станции. Другие вопросы связаны с оценкой объекта, что для существующей установки является данностью. Что касается этих

пунктов, оценка существующей установки может привести к существенному изменению структуры существующей системы охлаждения, которая, как правило, дорогостояща и, вероятно, неэффективна с экономической точки зрения. В таких ситуациях износ установки (теплообменника, водозабора) влияет на любые возможные изменения, являющиеся результатом оценки объекта.

Как представляется, имеющийся опыт пока не даёт единого решения. Каждый случай является особым и зависит, например, от цикла электростанции. В случае установок с рециркуляционными системами выбор способа обработки воды будет зависеть от выбранного коэффициента концентрации, максимальных температур и качества забираемой воды. То же самое касается борьбы с биологическими изменениями. Хотя макроорганизмы, как правило, удаляются термоударом, эту технологию нельзя применить для устранения биоплёнки.