

Охлаждение оборотной воды в различных охладителях.

В системах производственного оборотного водоснабжения значительное место занимают различные типы охладителей.

По способу охлаждения оборотные системы охлаждения подразделяются:

- открытые, где вода охлаждается путем контакта ее с воздухом, например, градирни, брызгательные бассейны или пруды-охладители;
- закрытые, в которых оборотная вода не имеет контакта с воздухом, и охлаждается в теплообменных аппаратах за счет теплообмена через стенки теплообменных аппаратов.

Следует учесть, что в закрытых системах потеря воды минимальная, однако их мощность ограничена.

Открытые системы обладают большей мощностью, поэтому более распространены. Открытым системам присущи потери воды, обусловленные ее испарением, уносом капель ветром и т.д.

Охлаждение воды в открытых системах происходит в результате процесса тепло- и массообмена при непосредственном соприкосновении свободной поверхности жидкости с атмосферным воздухом.

При этом происходят процессы:

- охлаждение жидкости сопровождающие испарение;
- теплоперенос (диффузионный теплообмен);
- излучение теплоты.

Процесс испарения является комплексным в котором перенос теплоты сопровождается переносом вещества.

Процесс парообразования, происходящий со свободной поверхности жидкости, называется испарением.

В поверхностном слое жидкости всегда имеются молекулы, обладающие большей скоростью и кинетической энергии теплового движения. При вылете таких молекул с поверхности жидкости в газ происходит испарение и связанное с ним уменьшение запаса энергии (теплоты) в жидкости с ее охлаждением.

Мерой процесса парообразование является скорость испарения, измеряемая количеством жидкости, которое переходит в пар за единицу времени.

Скорость парообразования зависит от внешнего давления, и движения газообразной фазы над свободной поверхностью жидкости:

$$U = \frac{CS}{P_o}(P_n - P)$$

где C – постоянная

S – площадь свободной поверхности жидкости, м^2 ;

P_n – давление насыщенного пара, Па;

P – давление пара жидкости над ее свободной поверхностью, Па;

P_o – внешнее барометрическое давление Па.

Учитывая, что давление насыщенного пара P_n больше P – давления пара жидкости над ее поверхностью, то $(P_n - P) > 0$ и следовательно испарение проходит при любой температуре и возрастает при ее увеличении. Кроме того, испарение будет возрастать при движении потока газа над жидкостью и, следовательно, снижает концентрацию паров и их давление над разделом «газ - жидкость» и величина

$$\Delta P = P_n - P$$

будет возрастать. Поскольку испарение требует затрат теплоты на изменение агрегатного состояния, то оно вызывает поток теплоты q_β от воды к воздуху и следовательно охлаждение воды.

При диффузионном теплообмене поток теплоты при соприкосновении воды и воздуха может быть направлен как от воды к воздуху, так и к воде от воздуха, в зависимости от того температура какой среды выше.

Итоговое управление при работе испарительных охладителей

$$Q = q_\alpha \pm q_\beta$$

где q_α – теплопередача за счет испарения

q_β – теплопередача за счет теплопереноса.

Количественное соотношение между теплопереносом и теплоотдачей при испарении зависят от различных условий. С увеличением температуры воды общая теплопередача увеличивается, причем теплопередача при испарении увеличивается быстрее, чем

теплоперенос. При снижении температуры воды до температуры воздуха теплоперенос будет равен нулю, а при дальнейшем понижении температуры перенос теплоты будет направлен от воздуха к воде. Когда температура воды снижаясь приближается к температуре t , (равной температуре воздуха по смоченному термометру) при достижении такой температуры охлаждение жидкости прекращается.

В общем виде управления теплового баланса в испарительных охладителях будет иметь вид:

$$CW\Delta tT + R = q\alpha + q\beta$$

где C -удельная теплоемкость воды, Дж/(кг·С);

W - массовый расход воды через испаритель, кг/с;

Δt - разница температур нагретой и охлажденной воды, С

T - продолжительность охлаждения, с;

R - приток теплоты от солнечной радиации, Дж;

При работе испарительных охладителей вода, может быть охлаждена до температур более низких, чем температура окружающего воздуха (по сухому термометру).

ПРУДЫ-ОХЛАДИТЕЛИ (ВОДОХРАНИЛИЩА-ОХЛАДИТЕЛИ).

Водохранилища-охладители применяются при невысоких требованиях к эффекту охлаждения воды, наличие свободных площадей для устройств водохранилищ, при возможности использование естественных водоемов или водохранилищ.

По назначению и условиям питания водохранилища-охладители подразделяются:

- естественные озера
- регулирующие водохранилища на реках
- русловые водохранилища без регулирования стока
- наливные водохранилища, устраиваемые вне русла рек.

По назначению водохранилища делятся:

- водохранилища-охладители, используемые только для охлаждения воды
- водохранилища – охладители, используемые комплексно для рыборазведения, орошения, отдыха.

По глубинам водохранилища – охладители делятся:

- мелководные, с глубиной до 5м
- средние 5-10м
- глубоководные, с глубиной более 10м.

В мелководных водохранилищах отсутствует температурная стратификация, за исключением зон, прилегающих к водозаборным сооружениям. В глубоких водохранилищах присутствует устойчивая температурная стратификация в теплое время года и поэтому в данном случае целесообразно устройство глубинного забора воды. При средних глубинах в водохранилище температурное расслоение не устойчиво и может исчезать при продолжительных и сильных ветрах.

Водохранилища могут быть проточными и непроточными. Если охлаждение воды происходит по всей поверхности водоема, то такое водохранилище считается нагруженным, в противном случае ненагруженным.

Охлаждение нагретой воды в водохранилищах происходит:

- с поверхности водохранилища за счет испарения и теплообмена с воздухом по пути от места сброса нагретой воды до водозаборных сооружений

-за счет поступления поверхностных и грунтовых вод.

Охлаждающая способность водохранилища-охладителя зависит от следующих показателей:

-площади, в границах которых происходит движение потока от водовыпуска к водозабору (площадь транзитного потока)

- числа и площади водоворотов, зон водохранилища, в которых происходит круговое движение, обусловленное конфигурацией водоема и формой транзитного потока

-тепловой погрузки на водохранилище

-метеорологических условий: скорости и направления ветра, температуры и влажности воздуха, величины солнечной радиации и т. д.

Основным показателем является площадь активной зоны. Под площадью активной зоны принимают площадь некоторого условного водоема с параллельно-струйным нестратифицированным потоком, необходимым для охлаждения при соответствующих метеорологических условиях.

Активная зона водохранилища - представляет сумму активных зон водоворотов. Отношение площади активной зоны к площади зеркала водохранилища называется коэффициентом использования водохранилища - охладителя. $K_{ис} < 1$.

Величина коэффициента использования зависит от формы водоема, расположения водовыпуска и водозабора, а также от условий растекания циркулирующего потока.

Возможны различные схемы использования водохранилищ-охладителей.

При организации водохранилищ - охладителей должна быть выбрана такая схема циркуляции, которая бы обеспечивала получение воды как можно низкой температуры при минимуме затрат на строительство и эксплуатации водохранилища.

К сооружениям, увеличивающим площадь активной зоны, относятся струенаправляющие и струераспределительные устройства. СТРУЕРАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫЕ устройства строятся у выпусков нагретой воды и предназначены для расширения фронта растекания потока.

Струераспределительные сооружения выполняются в виде перегородок со щелями, фильтрующих дамб из каменной наброски, открытых консольных лотков.

Струенаправляющие сооружения предназначены для удлинения пути циркулирующего потока и могут выполняться в виде дамб из каменной наброски, земляных дамб и других сооружений.

Выбор схемы циркуляции воды, а так же типа сооружения проводятся при анализе плана течений, формы водохранилища, наличия тупиковых зон, теплотехнических и технико-экономических расчетов. Например, для водохранилищ вытянутой формы с небольшими расходами речной воды через водохранилище, в летний период времени водозабор должен осуществляться из нижней глубокой части водоема, а выпуск воды производится в верхнюю часть водохранилища. В зимний период, для обогрева водозабора и для предотвращения забивки шугой и снегом предусматривается зимний водосброс, располагающийся ближе к водозабору.

При больших расходах речной воды в летний период должны использоваться низкие температуры речной воды. Забор воды может производиться в верхней части водохранилища, а сброс нагретой воды, как в нижней, так и в верхней части плотины. Подобная схема возможна лишь при наличии глубин, обеспечивающих надежные условия забора воды в верхней части водохранилища.

При округлой форме водохранилища для удлинения циркуляционного потока за местом выпуска нагретой воды сооружается

струенаправляющая дамба. В данном случае водосбросные и водозаборные сооружения находятся вблизи друг друга.

В наливных прудах форма подбирается на основании исследований по обеспечению максимальной степени использования площади пруда. В ряде случаев целесообразным может считаться устройство глубинного водозабора. В этом случае используются глубинные более холодные слои воды, кроме того повышается надежность работы водозабора, отпадает необходимость обогрева водозаборов в зимнее время.

РАСЧЕТ ВОДОХРАНИЛИЩ-ОХЛАДИТЕЛЕЙ

При проектировании систем оборотного водоснабжения с водохранилищами-охладителями должен проводиться тепловой расчет. В результате расчета устанавливается соответствие охлаждающей способности водоема проектной тепловой нагрузке. В основе теплового расчета лежит уравнение теплового баланса.

$$Q_1 t_1 + Q_p t_p - Q_2 t_2 - Q_{сбр} t_{сбр} = [A(P_{п-р}) + B(k_1 t_{ср} - O) - R + \Delta I] w_{ак}$$

где $Q_1 t_1$ - количество теплоты поступающей в водохранилище с нагретой водой, (МДж) /сут

$Q_p t_p$ - количество теплоты поступающей с речной водой в водохранилище, (МДж) /сут

$Q_2 t_2$ - количество теплоты, забираемое у водохранилища с водой ,
(МДж) /сут

$Q_{сбр}$ - количество теплоты сбрасываемое вместе с водой из
водохранилища , (МДж) /сут

A - коэффициент теплоотдачи при испарении МДж/(м² сут Па)

P_p - давление насыщенного пара при температуре $t_{ср}$ у поверхности
воды, Па

P - парциальное давление водяного пара в воздухе, Па

B - коэффициент теплоотдачи при теплопереносе, МДж/м²сут

K_1 -коэффициент, учитывающий неравномерность распределения
температур по глубине водохранилища

$t_{ср}$ - средняя температура активной зоны водохранилища С

O - температура воздуха на высоте 2 м над водохранилищем С

R - радиационный баланс не подогреваемого водоема, зависящий от
прямой и рассеянной солнечной радиации, МДж/м²сут,

I - дополнительное излучение теплоты с водной поверхности,
МДж/м²сут

$W_{ак}$ - площадь активной зоны водохранилища, м²

Приблизительно считается, что для охлаждения 1м³/ч воды на 5-10 С
требуется 30-50 м² активной зоны площади водохранилища-
охладителя.

ГРАДИРНИ

Градирни предназначены для охлаждения воды в оборотных системах водяного охлаждения требующего устойчивого и глубокого охлаждения.

По принципу охлаждения воды различают:

- испарительные

- поверхностные

В испарительных градирнях вода охлаждается, соприкасаясь с воздухом. В поверхностных градирнях за счет теплопередачи через стенки теплообменников, (т.н. радиаторные (сухие) градирни). Движение воздуха в таких охладителях обеспечивается либо вентиляторами или за счет тяги, создаваемой башней.

По способу подвода воздуха к охлаждаемой воде испарительные градирни делят на три группы:

- вентиляторные

- башенные

- открытые (атмосферные)

Открытая градирня представляет собой брызгательный бассейн, огражденный со всех сторон устройствами уменьшающими вынос воды за пределы градирни (жалюзийные решетки водоуловительные стенки и т. д.) Открытые градирни бывают

- брызгательными (без оросительных систем);

- капельными (с оросительными системами)

В открытых градирнях для протока воздуха используется сила ветра и частично естественная конвекция. Удельная тепловая нагрузка на открытые градирни составляет $7-15 \times 10^3$ ккал/(ч м²), перепад температур 5-10°C, разность температуры охлажденной воды и температуры воздуха по смоченному термометру 10-12°C.

В башенных градирнях тяга воздуха создается за счет высокой вытяжной башни. Удельная тепловая нагрузка в них составляет $60-100 \times 10^3$ ккал/(ч м²) (70-116 Вт/м²), перепад температур воды 5-15 °С, разность температуры воды охлаждаемой и температуры воздуха по смоченному термометру 8-10 °С.

В вентиляторных градирнях воздух прокачивается с помощью нагнетательных или вытяжных вентиляторов.

На вентиляторных градирнях допускается удельная тепловая нагрузка $80...100 \times 10^3$ ккал/(ч м²) (93-116Вт/м²) и выше. Перепад

температур воды 3-20 °С, разность температур охлаждаемой воды и температуры воздуха по смоченному термометру 4-5 °С.

Вентиляторные градирни допускают более маневренное регулирование температуры охлажденной воды путем изменения

- частоты вращения вентилятора;

- угла наклона лопастей;

- включения или выключения отдельных вентиляторов в секциях градирен.

Для достижения одинакового эффекта охлаждения вентиляторные градирни занимают меньшую площадь и работают при более низких напорах, чем башенные градирни. Сооружение вентиляторных градирен на 50-60% дешевле, чем башенных, и на 35-50% чем брызгательных бассейнов. Однако вентиляторные градирни требуют затрат электроэнергии на работу вентиляторов. При использовании очищенных сточных вод в оборотных системах вентиляторные градирни могут создавать неблагоприятную обстановку в окружающих районах. В связи, с чем подбор типа градирен должен осуществляться на основе анализа комплекса факторов,

Испарительные градирни имеют ряд общих элементов:

- водораспределительные системы

- оросительные устройства

- водоуловители

- сборные резервуары.

ВОДОРАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ

Водораспределительные системы предназначены для равномерного распределения охлаждаемой воды по поверхности орошения градирни. В результате создается поверхность водного потока, определяющая охлаждающую способность градирни. Распределение воды в градирни может, осуществляется как по **напорной** так и по **-безнапорной** схемам

НАПОРНАЯ СИСТЕМА водораспределения представляет собой систему трубопроводов из металлических или асбестоцементных труб, оборудованных разбрызгивающими соплами. Подвод воды в систему напорного водораспределения, осуществляется подводным водоводом к стояку. Далее вода коллекторами подается в центральную и периферийную зоны орошения, а затем поступает по

разводящим трубопроводам к соплам. На концах распределительных линий устанавливают сопла.

Установка разбрызгивающих сопел может осуществляться факелом вверх при расстоянии от сопла до оросителя 0,3-0,5 м, либо факелом вниз, при расстоянии от сопла до оросителя 0,8-1 м.

Водораспределение осуществляют таким образом, чтобы была возможность отключения отдельных частей системы. С этой целью подводящие трубопроводы с задвижками прокладывают в 2-3 нитки

БЕЗНАПОРНЫЕ СИСТЕМЫ ВОДОРАСПРЕДЕЛЕНИЯ

В таких системах вода подводится к соплам и разбрызгивающим установкам по безнапорным лоткам. Разбрызгивание воды в безнапорных системах осуществляется с помощью гидравлических насадок и тарелочек, которые устанавливают под соплом.

Существуют системы распределения без разбрызгивания воды. Распределение воды может осуществляться пуском воды через треугольные лотки с боковыми отверстиями, фильтрацией через слой фильтрующего материала, через щели с регулируемой шириной.

ОРОСИТЕЛЬНЫЕ УСТРОЙСТВА

Оросительные устройства предназначены для создания необходимой поверхности охлаждения. Различают несколько типов оросительных устройств:

- **капельного** типа, теплоотдача в которых происходит главным образом с поверхности капель воды.
- **плёночного** типа, теплоотдача в которых происходит с поверхности водяной плёнки, образующейся на щитах оросительного устройства.
- **капельно-плёночного** типа, теплоотдача в которых происходит, как с поверхности капель, так и с поверхности плёнки.

Капельный ороситель представляет собой систему прямоугольных или треугольных брусков, которые располагаются в определенном порядке. Порядок расположения брусков должен обеспечивать их смачивание охлаждаемой водой и как можно меньшее аэродинамическое сопротивление. При падении капель с верхнего яруса оросителя на нижний образуются факелы мелких брызг, создающие большую поверхность соприкосновения с

воздухом. Часть воды при этом стекает с оросителей. При плотности орошения до $1,4 \text{ кг/м}^2$ вода стекает с одной рейки на другую, в виде капель.

Пленочный ороситель выполняется из щитов (например, из досок толщиной 10 мм) установленных вертикально или под углом 85° , на расстоянии 30-40 мм друг от друга в несколько ярусов, или из листов асбестоцемента либо полимерных листов. Листы могут выполняться гладкими или волнистыми. Кроме того, используются и ячеистые конструкции. Вода, стекая по щитам и листам, образует пленку толщиной 0,3-0,5 мм, при соприкосновении с воздухом происходит теплопередача. На величину поверхности охлаждения влияет смачиваемость материала водой.

Капельно-пленочный ороситель выполняется в виде комбинации из капельных оросителей и щитов пленочного типа, а так же в виде щитов пленочного типа с увеличенными разрывами между досками, при протекании воды со щита на щит образуются факелы разбрызгивания.