

УДК 621.165

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ТЭС ПУТЕМ ВЫБОРА ОПТИМАЛЬНОЙ СИСТЕМЫ ОТВОДА ТЕПЛА К КОНЕЧНОМУ ПОГЛОТИТЕЛЮ

Кожановский К.В., Широков С.А.

Научный руководитель – ассистент Павловская А.А.

Системы технического водоснабжения предназначены обеспечивать подачу воды для охлаждения пара, поступающего в конденсатор турбины, в требуемых количествах и соответствующего качества. Они состоят из комплекса взаимосвязанных сооружений – водозаборных устройств, насосных станций, водоводов, установок для очистки и улучшения качества воды, регулирующих и запасных емкостей, охладителей воды и разводящей сети трубопроводов. В зависимости от особенностей станции и местных условий некоторые из перечисленных сооружений в системе могут отсутствовать. Предприятия теплоэнергетической отрасли потребляют две трети свежей воды, забираемой на промышленные нужды из источников водоснабжения, при наибольшем расходе ее для охлаждения технологического оборудования (96%).

На ТЭС и АЭС преобладающее количество воды (90-95%) расходуется на охлаждение в конденсаторах турбин. Для совершения полезной работы турбиной от нее отводится с отработанным паром часть тепла, которое передается в конденсаторе охлаждающей воде.

Поэтому рациональное использование водных ресурсов имеет большое значение для повышения экономичности электростанции. Выбор системы и схемы водоснабжения следует производить на основании сопоставления возможных вариантов их осуществления с учетом особенностей станции, требуемых расходов воды, источников водоснабжения, требований к напорам и качеству воды.

Водоснабжение тепловой электростанции может быть прямоточным, оборотным или смешанным.

При прямоточном водоснабжении отработавшая теплая вода сбрасывается в реку, водохранилище, озеро или море на таком расстоянии от водоприемного сооружения, чтобы исключить возможность попадания в него теплой воды. Вода, взятая из водоисточника, сбрасывается в него примерно в том же количестве за вычетом потерь в производстве, но с температурой в среднем на 8-12°C выше. Основное преимущество систем прямоточного водоснабжения - их простота и низкая среднегодовая температура подаваемой на производство воды, соответствующая ее температуре в поверхностном водоисточнике (8-14 °C). Это имеет значение, т.к. более низкие температуры охлаждающей воды обеспечивают более глубокий вакуум в конденсаторе турбины и соответственно повышают КПД.

Ограниченное применение прямоточных систем водоснабжения обуславливается большой напряженностью водохозяйственных балансов районов, а также трудностями с соблюдением нормативных требований по защите водоисточников от вредного теплового воздействия.

Допустимое санитарными нормами повышение температуры воды в расчетном створе водоема хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования летом после сброса нагретой воды должно быть не более 3 °C, а для рыбохозяйственных водоемов – 5 °C в сравнении с естественной среднемесячной температурой воды на поверхности водоема в наиболее жаркий месяц года. Это требование не всегда может быть обеспечено при прямоточной системе водоснабжения.

На ТЭС и АЭС, например, в зависимости от типа турбин и вида топлива на каждый 1 кВт·ч выработанной электроэнергии с охлаждающей водой отводится от 4 до 8 кДж тепла. Этим обстоятельством обуславливается возможность применения прямоточной системы водоснабжения при расходе воды в водоисточнике в расчетных гидрогеологических условиях не менее 30 м³/с на 1 млн. кВт установленной мощности тепловой электростанции.

По составу сооружений система оборотного водоснабжения более сложная, чем прямоточная, дороже в строительстве и эксплуатации, но позволяет резко (в 25-50 раз) снизить потребность в свежей воде и уменьшить не менее, чем в 80 раз сброс тепла в водоисточник.

При оборотных системах тепло выбрасывается в основном в атмосферу; безвозвратный расход воды из водоисточника становится большим (1,5-2% количества забираемой воды), чем при прямотоке (менее 1%), за счет испарения части оборотной воды на градирнях и потерь с капельной влагой; возможно использование для производственного водоснабжения поверхностных источников с небольшим дебитом воды. Для ТЭЦ, например, достаточно расхода воды в водоисточнике в расчетных гидрогеологических условиях 2-4 м³/с на 1 млн. кВт установленной мощности тепловой электростанции.

Охладители, снабженные разбрызгивающими соплами, называют брызгальными, а имеющие оросительное устройство (решетник, плоские щиты или др.) – в зависимости от его типа капельными или пленочными. При сочетании сопел с решетником или последнего со щитами для образования водяной пленки охладители называют комбинированными.

По способу подвода атмосферного воздуха к поверхности воды охладители разделяются на следующие группы: открытые или атмосферные охладители, в которых используются только естественные токи воздуха – ветер и отчасти естественная конвекция; башенные охладители, в которых тяга воздуха создается искусственным путем при помощи высокой вытяжной башни; вентиляторные охладители, снабженные нагнетательными или отсасывающими вентиляторами для создания побудительного движения воздуха, и охладители со смешанной тягой, в которых сочетается применение вытяжной башни и вентиляторов.

Основные типы охладителей оборотных систем водоснабжения могут быть распределены следующим образом:

Открытые охладители: охлаждающие пруды, брызгальные бассейны, открытые брызгальные градирни, открытые капельные градирни, открытые комбинированные градирни.

Башенные охладители: башенные брызгальные градирни, башенные капельные градирни, башенные пленочные градирни, башенные комбинированные (капельно-пленочные) градирни.

Вентиляторные охладители: вентиляторные брызгальные градирни, вентиляторные капельные градирни, вентиляторные пленочные градирни, вентиляторные комбинированные градирни.

Смешанные охладители: капельные градирни со смешанной тягой.

Пруды-охладители. Охлаждение нагретого потока воды в трудах-охладителях происходит за счет теплоотдачи с площади зеркала пруда, участвующей в циркуляции воды на ее пути от сброса до водозаборных сооружений. Места сброса и забора воды должны находиться на расстоянии, обеспечивающим необходимую глубину охлаждения воды. Пределом охлаждения воды в пруду является естественная температура пруда.

Пруды-охладители целесообразно применять при расположении площадки - промышленного предприятия вблизи естественного водоема или реки, на которых уже созданы или имеются благоприятные условия для сооружения водохранилища. Создаются пруды-охладители на реках, озерах, а также на суходолах (наливные пруды).

Пруды-охладители могут обеспечить в течение значительной части года более низкие температуры охлажденной воды, чем бассейны с брызгалами и градирни, меньшие потери воды, отсутствие обмерзания, меньший расход электроэнергии на привод насосов.

В некоторых случаях возможно снижение напора насосов, подающих воду к потребителям за счет использования явления сифона, например, для конденсаторов паровых турбин электростанций.

В то же время пруды-охладители требуют наличия большой площади, значительных капитальных затрат на их строительство. Площадь водохранилища определяется по мощности и тепловой нагрузке станции и величины акватории.

Необходимая для охлаждения площадь активной зоны пруда в среднем составляет от 30 до 40 м² на 1 м³ охлаждаемой воды в час, что соответствует нагрузке на 1 м² активной площади пруда от 0,025 до 0,033 м³/час.

Брызгальные бассейны. Брызгальные устройства представляют собой систему трубопроводов, на которых устанавливаются сопла (брызгала), разбрызгивающие подводимую к ним под напором теплую воду.

Конструкция сопел и величина напора воды определяют поверхность охлаждения водного потока. При повышении напора она увеличивается за счет удлинения траекторий падения капель и уменьшения их диаметра.

Однако повышение напора связано с повышением затрат электроэнергии на циркуляционные насосы и увеличением выноса мелких капель воды ветром за пределы бассейна.

В штилевую погоду нагретый и увлажненный воздух поднимается над брызгальным устройством вверх, на смену ему по периметру бассейна притекает наружный холодный воздух. При наличии ветра эта схема движения воздуха нарушается. Сложность процесса охлаждения воды в брызгальных устройствах затрудняет разработку теоретических методов их теплового расчета. Поэтому для определения температур охлажденной воды в этих устройствах обычно пользуются эмпирическими зависимостями, полученными на основании опытных данных.

Брызгальные бассейны просты в строительстве и эксплуатации и требуют небольших затрат на их сооружение. Однако они обладают сравнительно низкой охлаждающей способностью, зависящей от направления и скорости ветра. Поэтому для районов с продолжительными штилями в летнее время, а также при наличии застроенной территории, где строения преграждают свободное поступление потока воздуха к охладителю, применение бассейнов с брызгалами не может быть рекомендовано.

Потери воды в брызгальных бассейнах больше, чем в градирнях, за счет большего уноса брызг ветром. Наличие туманообразования и возможность обмерзания окружающих зданий, проездов и железных дорог требуют расположения бассейнов на значительном расстоянии от прочих сооружений, что связано с удлинением коммуникаций подводящих и отводящих трубопроводов. Также для размещения бассейнов требуется наличие больших спланированных площадок.

Необходимая площадь брызгальных бассейнов составляет в среднем от 0,8 до 1,3 м² на 1 м³ охлаждаемой воды в час. При исчислении нагрузки на 1 м² бассейна это составит 0,8 м³/час – для небольших и до 1,3 м³/час – для больших бассейнов.

Градирни. В градирнях вода циркуляционными насосами прокачивается через конденсатор турбин и подаётся к распределительным трубам, расположенным над оросительным устройством. Воздух поступает в нижнюю часть башни через окна высотой 12 м, расположенные по ее периметру. Оросительные щиты выполняются высотой 120 и 250 см, ширина щитов 1,6 м, толщина – 6 мм, расстояние между щитами – 2,5 см.

Вытяжные башни современных градирен выполнены из монолитного железобетона гиперболической формы. Ранее изготовлялись деревянными.

По способу перемещения воздуха градирни разделяются на башенные, вентиляторные и открытые, а по способу образования поверхности охлаждения – на плёночные, капельные, брызгальные. В зависимости от направления движения воды и воздуха градирни выполняются противоточные, поперечноточные и смешанного типа. В башенных градирнях движение воздуха создаётся вытяжной башней, в вентиляторных – вентилятором, а в открытых – естественным движением воздуха (ветром).

Для увеличения контакта воды с воздухом применяются оросительные устройства, которыми вода, подаваемая из конденсатора, разделяется на струи или капли и стекает вниз

по щитам. Охлаждение воды происходит за счёт испарения и контакта с воздухом, поступающим в оросительные устройства через окна. Нагретый и насыщенный водяным паром воздух отводится из градирни.

В плёночных градирнях оросительное устройство выполняется в виде щитов, выполненных из досок, асбоцементных листов или пластмассовых элементов, выполненных в форме сот. Устанавливаются они вертикально или с небольшим уклоном. Плёнки нагретой в конденсаторах турбин воды стекают по листам и при соприкосновении с воздухом охлаждаются. Воздух движется между листами.

В капельных градирнях оросительное устройство выполняется из горизонтальных брусков треугольного или прямоугольного сечения, размещаемых в несколько рядов по высоте.

По условиям охлаждения воды, открытые брызгальные градирни близки к брызгальным бассейнам. Эффект охлаждения в них также в большой степени зависит от силы ветра.

Достоинством их является простота конструкции и невысокая строительная стоимость.

Однако следует учесть большой унос воды ветром, тумнообразование и обмерзание градирен в зимнее время. Недостатком брызгальных градирен является сравнительно низкий охладительный эффект. Открытые капельные градирни обладают значительно большей охладительной способностью, чем брызгальные. Этот тип открытых градирен обладает теми же недостатками, как и брызгальные бассейны.

При повышенных требованиях к температурам охлажденной воды применяются башенные градирни. Благодаря наличию тяги воздуха, создаваемой башней, градирни этого типа обладают большей и более устойчивой охлаждающей способностью, чем открытые градирни.

К недостаткам башенных градирен относятся сравнительно высокая их стоимость и сложность сооружения. Много затруднений вызывает обмерзание градирен в зимний период. Поэтому при выборе размеров градирен следует учитывать условия их работы зимой. Нельзя допускать малых гидравлических нагрузок. Эти нагрузки не должны быть менее 3 м³/м² оросителя в час для капельных и 4-5 м³/м²час для пленочных градирен. При меньших нагрузках должна предусматриваться возможность отключения центральной части градирни с целью повышения плотности орошения на периферийной части или отключение отдельных градирен. При отключении градирен на зимний период должны быть предусмотрены мероприятия по отоплению бассейнов путем создания циркуляции воды в них за счет выпуска воды из них в канализацию или подвода пара.

Вентиляторные градирни являются наиболее совершенным типом охладителя, обеспечивающим устойчивое и наиболее глубокое охлаждение воды, позволяют регулировать температуру охлажденной воды в требуемых пределах путем изменения числа оборотов или отключения отдельных вентиляторов.

Применение вентиляторных градирен целесообразно во всех случаях, когда технологический процесс требует подачи охлаждающей воды с минимальной температурой, а также для районов с высокими температурами воздуха.

Стоимость строительства вентиляторных градирен обычно ниже, чем башенных градирен той же производительности. Однако для вентиляторных градирен необходим расход электроэнергии на привод вентиляторов. При большой стоимости электроэнергии эксплуатационные расходы, связанные с работой вентиляторной градирни, могут поставить под сомнение целесообразность использования этого типа градирни.

Радиаторные градирни являются поверхностными охладителями, в которых тепло передается от воды к воздуху через стенки радиаторов.

Радиаторные охладители могут применяться как для непосредственного охлаждения продуктов производства, например, конденсации, так и для охлаждения воды, охлаждающей, в свою очередь, теплообменные аппараты. В последнем случае будут иметь место два

замкнутого цикла (контура) охлаждения: водяной – для теплообменников и воздушный – для снижения температуры охлаждающей воды.

При такой схеме охлаждения отсутствуют потери охлаждающей воды на испарение, унос брызг ветром и т. п., а наличие замкнутого цикла исключает возможность загрязнения воды и максимально сохраняет чистоту поверхности теплообменных аппаратов.

Несмотря на значительный перерасход металла и более высокую строительную стоимость по сравнению со всеми другими типами искусственных охладителей, применение воздушных радиаторных градирен может оказаться целесообразным для районов, где отсутствует возможность получения из источника необходимого количества свежей воды для пополнения потерь в оборотной системе водоснабжения.

Существуют системы смешанного водоснабжения электростанции, когда смешанная система циркуляционного водоснабжения (прямоточно-оборотная) выполняется с бесплотинным водозабором или с русловой плотиной и применяется на ТЭС в случаях, когда дебет источников в период малой воды недостаточен для прямоточного водоснабжения или, когда ТЭС располагается на высоких отметках, и прямоточная система нецелесообразна. Параллельно с прямотоком в маловодные периоды включаются в работу охладители (водохранилище-охладитель, градирни или брызгальные установки) либо параллельно с водохранилищем – градирни или брызгальные установки, также часть воды в районе водозабора может смешиваться со свежей речной водой.

То есть если рассматривать различные виды систем технического водоснабжения ТЭС, можно отметить, что при применении оборотных систем охлаждения циркуляционной воды температура ее при входе в конденсаторы получается выше, чем при прямоточном охлаждении, и вследствие этого давление в конденсаторах у таких установок бывает относительно выше. Этим объясняется, почему теплоэнергетические установки с искусственным охлаждением циркуляционной воды характеризуются при прочих равных условиях более низким КПД. Также сравнение относительных величин удельных капиталовложений в КЭС (таблица 1) показывает, что наиболее дешевыми являются прямоточные системы технического водоснабжения. Однако в последнее время применение прямоточных систем ограничивается отсутствием технических и экономических возможностей: необходимого запаса воды, санитарных условий, большого расстояния подачи воды или большой высоты подъема и др.

Таблица 1 – Сравнительная удельная стоимость систем водоснабжения КЭС

| Тип системы техводоснабжения | Относительная величина удельных капиталовложений в КЭС, % |
|--|---|
| Прямоточные системы из рек и каналов | 4-4,5 |
| Оборотные системы с использованием реконструируемых озер | 5-5,5 |
| Оборотные системы с водохранилищами-охладителями, создаваемых на реках | 7-8 |
| Оборотные системы с испарительными градирнями | 9-10 |

Литература

1. Берман Л.Д. Испарительное охлаждение циркуляционной воды. М.: ГЭИ: 1949. – 440 с.
2. Кругликов П.А. Техничко-экономические основы проектирования ТЭС и АЭС. Письменные лекции – СПб.: СЗТУ, 2003 – 118 с.
3. Пономаренко В.С., Арефьев Ю.А. Градирни промышленных и энергетических предприятий: Справочное пособие/Под общ. ред. В.С. Пономаренко. – М.: Энергоатомиздат: 1998. – 376 с.: с ил.
4. Фарфоровский Б.С., Пятков Я.Н. Проектирование охладителей для систем производственного водоснабжения. – Л.: Госстройиздат: 1960. – 171 с.