

УДК 621.182.12

### Обзорный анализ различных видов градирен

Подоляничик В.П.

Научный руководитель - к.т.н., доцент ЧИЖ В.А.

Градирни представляют собой специальные устройства, предназначенные для охлаждения жидких теплоносителей. В мировой практике, в зависимости от конкретных условий, нашли применение следующие виды градирен:

- открытая градирня;
- вентиляторная градирня;
- башенная градирня;
- эжекционная градирня;
- сухая градирня.

Работа любой градирни основана на охлаждении некоторого объема жидкости атмосферным воздухом. Именно отсутствие иного, нежели воздух, хладагента и отличает градирню от кондиционера, промышленного холодильника или чиллера.

По принципу действия выделяют два основных типа промышленных градирен:

- испарительные и сухие, их еще называют открытые или закрытые.

Испарительная градирня открытого типа работает по принципу разбрызгивания горячей воды и смешивания ее с более холодным наружным воздухом. При этом часть воды превращается в пар и вместе с нагретым наружным воздухом выбрасывается в атмосферу, оставшаяся же вода охлаждается. По способу подачи воздуха градирни испарительного типа бывают:

- поперечноточные;
- противоточные;
- брызгальные;
- эжекционные.

Принцип работы драйкулера или градирни «сухого» (закрытого) типа заключается в охлаждении воды, проходящей внутри замкнутого контура теплообменника, принудительно обдуваемого потоком наружного воздуха. Такой же принцип используется в системе охлаждения двигателя автомобиля, когда охлаждающая жидкость проходит через радиатор, обдуваемый вентилятором. При этом непосредственный контакт охлаждающей жидкости с подаваемым воздухом отсутствует.

*Открытые или мокрые градирни* обеспечивают охлаждение за счет непосредственного контакта воздуха и воды. В зависимости от способа перемешивания различают следующие виды испарительных (мокрых) градирен:

- оросительные (поперечноточные и противоточные);
- безнасадочные (брызгальные и эжекционные).

Оросительные или насадочные градирни осуществляют контакт подаваемого воздуха охлаждаемой водой на развитой поверхности оросительного слоя.

При этом, если направление движения потоков воды и воздуха параллельное (противонаправленное), то градирня относится к противоточному типу. Если же поток воздуха движется перпендикулярно потоку воды, то градирня будет поперечноточного типа.

Безнасадочные градирни работают за счет распыления воды, разбитой на мелкие капли. При этом на поверхности каждой отдельной капли происходит теплообмен.

Брызгальные градирни или брызгальные бассейны отличаются от эжекторных градирен давлением, под которым происходит процесс разбрызгивания.

В эжекторных градирнях разбрызгивание воды специальными форсунками происходит при давлении 0,3-0,4 МПа. Получившийся мелкодисперсный факел с частицами размером 0,2 мм движется с большой скоростью, порядка 16-20 м/с. За счет такого движения поток капель интенсивно увлекает (эжектирует) за собой атмосферный воздух, при этом перемешиваясь.

Рассмотрим более подробно два этих класса градирен и разберемся в их достоинствах и недостатках.

*В поперечно-точной градирне* воздух движется горизонтально в поперечном относительно стекающей воды направлении. Вход воздуха может осуществляться с одной или двух сторон, градирня соответственно называется одной или двухпоточной.

Вода подается сверху в специальный лоточный водораспределитель. Само распределение будет без давления, самотеком. Далее вода стекает вниз по узкому слою специального оросителя. За счет большого количества воздуха происходит испарение и теплообмен.

Расчеты таких градирен аналогичны расчетам классических вентиляторных градирен, но коэффициент тепломассопередачи при поперечном токе воздуха на 20% меньше. То есть, при одинаковых условиях за счет менее эффективного использования поверхности охлаждения поперечноточные градирни охлаждаются хуже противоточных. По этой причине размеры и стоимость поперечноточных градирен больше, чем противоточных.

Второе существенное отличие: безнапорная система водораспределения. Благодаря отсутствию подпора и большему на 30 % аэродинамическому сопротивлению оросителя использование поперечноточных градирен зимой сильно затруднено. Именно поэтому основное распространение такие градирни получили в странах с теплым климатом: ОАЭ, Иран, Индия, Пакистан.

Водоуловитель в этом виде градирен совмещен с жалюзи и выполняет двойную функцию: предотвращение уноса и разбрызгивания капель воды.

Так как в нижней части оросителя образовывается слабо орошаемая зона, то весь слой оросителя целесообразно делать наклонным, чтобы сместить нижний ярус к центру и уменьшить обмерзание.

Экономически применение таких градирен оправданно при условии круглогодично теплого климата. Тогда экономия места за счет возможности увеличивать высоту градирни и отсутствие давления в верхней точке водораспределительной системы окупают прочие недостатки. В последнее время такие градирни активно продвигаются на российском рынке под соусом новизны и энергоэффективности. Однако, в наших реалиях применение поперечноточных градирен в крупных водооборотных циклах – ошибка.

*Преимущества:*

- занимают меньше места, так как могут быть спланированы «в высоту»
- требуют меньшего давления в системе водораспределения

*Недостатки:*

- на 30% менее эффективный ороситель;
- большая стоимость;
- обмерзают зимой;
- сложность с ремонтом, так как в СНГ не производят запчастей.

*Противоточные градирни* делятся на 2 большие группы: башенные и вентиляторные. Оба вида конструктивно состоят из системы подачи горячей воды с соплами, под которой установлен специальный сетчатый ороситель и резервуар для сбора остывшей воды. Поступающая в градирню горячая вода через сопла разбрызгивается на ороситель, где смешивается с наружным воздухом, остывает и стекает в резервуар. Наружный воздух подается через ороситель за счет естественной конвекции воздуха или нагнетается вентилятором. Если подача идет в естественном режиме – это башенная градирня, если нагнетается, то вентиляторная.

*Вентиляторная градирня* выполняется в виде корпуса с установленным сверху вентилятором. Под ним последовательно расположены: водоуловитель, система подачи воды с соплами, ороситель и резервуар. В нижней части корпуса имеются входные отверстия для поступления внутрь наружного воздуха.

Горячая вода через систему подачи воды разбрызгивается на ороситель и стекает по нему в резервуар. Наружный воздух поступает в корпус градирни через входные окна и поднимается вверх через ороситель за счет тяги, создаваемой вентилятором. Для

уменьшения потерь испаряющейся воды, которая поднимается вверх вместе с подогретым воздухом, перед вентилятором установлен водоуловитель.

Благодаря различным видам оросительных блоков и широкой гамме осевых вентиляторов такие градирни могут быть подобраны в большом диапазоне нагрузок по воде и обеспечивать глубокое охлаждение воды с перепадом до 30 °

Кроме того, благодаря возможности установки воздухорегулирующих жалюзи и реверсу привода, этот вид градирен прекрасно эксплуатируется в зимние морозы.

По типу оросителя различают пленочные, капельные и капельно-пленочные вентиляторные градирни. Наиболее эффективные - последние из них.

Для малых расходов оборотной воды вентиляторы градирни поставляются на предприятия в готовом виде, по этому признаку их называют малогабаритными или блочными мини градирнями.

Этот тип градирен характеризуется невысокими перепадами температур на входе и выходе, при этом и электропотребление сравнительно не высоко.

*Преимущества:*

- гибкость конструкции;
- отсутствие обмерзания;
- энергоэффективность;
- легкость ремонта;
- наличие большого ассортимента запасных частей.

*Недостатки:*

- требуется обученный персонал для обслуживания;
- необходимы дополнительные меры зимой.

*Башенная градирня* представляет собой железобетонную или металлическую трубу конической формы, внутри которой находится система подачи воды, ороситель и резервуар. Поток наружного воздуха через входные отверстия в нижней части трубы поднимается вверх через ороситель за счет создания естественной тяги в трубе.

Этот вид промышленных градирен обеспечивает большую тепловую мощность за счет гигантского количества воды, охлаждаемого с небольшим температурным перепадом (5-10 °С)

В основном башни – это градирни ТЭЦ или АЭС.

К достоинствам башенных градирен можно отнести отсутствие потребления электроэнергии. Однако, гигантские капитальные затраты на строительство и большая занимаемая площадь делают выбор в пользу этого типа редким явлением.

Так же стоит отметить, что ввиду отсутствия принудительной тяги и возможность развернуть поток воздуха, эксплуатация этих градирен требуют дополнительных приспособлений и мероприятий. Например, тамбур и жалюзи.

*Преимущества:*

- нет затрат электроэнергии при эксплуатации;
- предназначены для больших расходов воды.

*Недостатки:*

- малая глубина охлаждения;
- дорогое строительство;
- сложное строительство и ремонт;
- требуют специальных мероприятий для зимнего периода.

*Эжекционная градирня* представляет собой корпус из стали, в котором размещен высоконапорный трубопровод с соплами (эжекторами) специальной конструкции. При распылении воды под давлением через эжектор, происходит подсос наружного воздуха в зону разрежения. Воздух перемешивается с водой и охлаждает её.

Основными плюсами этого типа градирен является полное отсутствие ограничения в температуре охлаждаемой воды. В оросительных системах обычно более +60 °. Среда не охлаждается, так как полимер, из которого изготовлен ороситель, становится пластичным

и может разрушаться. Но, есть ряд минусов, которые накладывают сильные ограничения на распространение данного типа градирен.

Во-первых, это необходимость создать давление в эжекторе. Отсутствие вентилятора градирни с лихвой компенсируется повышенной мощностью насосов. Как пример, для сравнительного объема охлаждающей воды мощность вентиляторной установки составляет 75 кВт, а мощность насоса при эжекции уже 160 кВт. Кроме этого, уменьшается срок эксплуатации трубопроводов системы.

Во-вторых, зимой невозможна циркуляция, так как мелкая водяная взвесь будет моментально замерзать. Требуется организовать байпасирование воды.

В-третьих, капельный унос у таких градирен выше в 1,5-2 раза, а применение водоуловителя создает дополнительное сопротивление и ухудшает охлаждение воды.

Применение эжекционных градирен выгодно при температуре воды более 60 °С и/или малых расходов воды.

*Преимущества:*

- могут работать на горячей воде с  $t \geq 60$  °С;
- не требуется обслуживать вентилятор;
- отсутствие механических подвижных частей.

*Недостатки:*

- большие энергозатраты на создание повышенного давления воды;
- большой капельный унос;
- сложность эксплуатации зимой.

*Радиаторная (сухая) градирня* изобретена венгерскими инженерами Геллером и Фарго и изначально использовалась для охлаждения конденсаторов электростанций. Она представляет собой корпус с размещенным внутри теплообменником (радиатором), по которому циркулирует охлаждающая жидкость, и одним или несколькими вентиляторами, обдувающими радиатор потоком наружного воздуха.

Радиатор из оребренных, чаще всего медных или алюминиевых трубок, обуславливает то, насколько хорошо сухие градирни будут охлаждать воду.

Применение качественного радиатора из меди, с тонкими каналами делает стоимость сухой градирни очень большой. Уменьшая стоимость решения, приходится жертвовать и эффективностью.

Сухие градирни имеет смысл использовать, когда технология требует изоляции контура циркуляции от внешней среды. Или при отсутствии возможности организовать подпитку в необходимых количествах. Тогда использование контура сухой градирни со смесью этиленгликоля является практически единственным решением. Еще выбор в пользу сухой градирни целесообразен при температуре теплоносителя или оборотной воды на грани кипения. Например, в оборотных циклах АЭС.

В остальных случаях более дешевым и оправданным будет применение вентиляторной промышленной градирни, так как расход воздуха вентилятора открытой градирни в 5 раз меньше, чем у закрытой. Мощность вентилятора пропорционально меньше у открытых градирен.

*Преимущества:*

- закрытый контур, отсутствие попадания примесей в воду;
- возможность работы на кипящей воде;
- возможность работы на этиленгликоле;
- отсутствие капельного уноса.

*Недостатки:*

- низкая эффективность охлаждения;
- дорогая конструкция и материалы;
- требовательность к обслуживанию и чистке теплообменника.

**Литература**

1. Пономаренко В.С. Градирни промышленных и энергетических предприятий / В.С. Пономаренко, Ю.И. Арефьев. – М.: Энергоатомиздат, 1998.
2. Стерман Л.С. Тепловые и атомные электрические станции: Учебник для вузов / Л.С. Стерман, В.М. Лавыгин, С.Г. Тишин. – М.: Энергоатомиздат, 1995.
3. Сухие градирни и воздушно-конденсационные установки (обзор) / О.О. Мильман, П.А. Ананьев. // Теплоэнергетика. 2016. №3- С.3 – 14.