

Использование Переменного Потока В Градирнях

ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЯ

Предисловие

В прошлом процесс эксплуатации систем был проще, следовательно и жизнь была гораздо легче. Системы контроля были простыми, энергия – дешевой, а градирни считались устройствами постоянного потока. Более эффективная работа охлаждающих вентиляторов обеспечивалась при полной нагрузке. Конструкция вентиляторов была ступенчатой, поскольку нагрузки на оборудование разнились. Водяные насосы также имели ступенчатую конструкцию и, поскольку градирни должны были работать в относительно узком диапазоне расхода, количество работающих градирен соответствовало количеству работающих вентиляторов.

Сегодня затраты на электроэнергию продолжают расти и для оптимизации систем используются усовершенствованные программы. На протяжении 30 лет на контурах охлажденной воды применялись насосные установки первичной и вторичной циркуляции, а частотно-регулируемые двигатели (ЧРД) устанавливались на вентиляторы градирен на протяжении почти 25 лет. Начиная с 90-х годов вентиляторы работали на ЧРД, и только совсем недавно стал применяться переменный поток охлаждающей воды. С помощью программ оптимизации системы на охлаждающей установке можно изменить параметры любого оборудования, принимая во внимание влияние одного компонента на другие.

За последние 20 лет прилагалось немало усилий для сокращения затрат на электроэнергию и были достигнуты существенные успехи.

Основание для использования переменного потока

Настоящая статья не распространяется на переменный поток охлаждающей воды и не содержит описание технологических ограничений, связанных с этим методом. Использование переменного потока в градирнях полностью совместимо с вышеупомянутым методом и всеми другими методами.

Градирня представляет собой специальный тип теплообменника – специальный, потому что в процессе испарения циркулирующей воды передает не только тепло, но и немного массы, обеспечивая возможности для экономии энергии благодаря другому методу эксплуатации градирен. Поскольку градирня – это теплообменник, то соотношение площади поверхности охлаждения и мощности вентилятора в л.с. является основным условием для обеспечения экономии энергии. Данные в приведенной таблице подтверждают эту предпосылку.

Использование программы **UPDATE*** при выборе градирни позволяет составить список оборудования, способного отводить тепловую нагрузку, определяемую скоростью потока и температурами. Список сортируется в порядке увеличения себестоимости. В отображенной таблице была выбрана односекционная градирня NC мощностью 1200 гал/мин с охлаждением воды с 95 °F (35 °C) до 85 °F (29,4 °C) при температуре 78 °F (25,56 °C) по влажному термометру – номинальная тепловая нагрузка составляет 400 тонн.

Модель градирни	Л.с.	Стоимость	Эффективность по стандарту ASHRAE	50' дБА
NC8403TAN@	40	1,00	38,7	68
NC8405QAN@	20	1,12	75,1	66
NC8407PLN@	15	1,49	104,1	59

В таблице перечислены три модели градирни NC, где номера 03, 05 и 07 означают физические размеры градирен. Модель NC8403 является самой маленькой градирней и имеет ороситель наименьшего объема (ороситель – это поверхность, на которой происходит теплопередача). Самая маленькая градирня оснащена самым мощным двигателем – 40 л.с. Несмотря на то, что все три модели имеют примерно одинаковую охлаждающую способность, с увеличением физического размера градирни от 03 к 05 и к 07 уменьшается мощность вентилятора.

Вполне логично, что для обдува меньшей смоченной поверхности требуется больше воздуха, что в свою очередь предполагает наличие более мощного вентилятора. Поэтому не удивительно, что малогабаритные градирни стоят дешевле более крупных градирен, поскольку конструкция и объем оросителя являются более затратными, чем двигатели большего размера. Так как все градирни по существу имеют одинаковую охлаждающую способность, то использование вентиляторов с более низкой мощностью для крупногабаритных установок позволяет значительно повысить энергоэффективность, как показано в таблице в графе «Эффективность по стандарту ASHRAE 90.1».



** Программа UPDATE™ для выбора подходящего оборудования компании SPX Cooling Technologies доступна в режиме он-лайн по адресу spxcooling.com/update. Загрузите программу для использования программы и активации доступа.*

Обратите внимание на то, что использование градирни модели NC8407PLN обходится существенно дороже, чем использование двух других градирен меньшего размера. Этот факт не обусловлен физическим размером оборудования. Следует отметить, что номер модели имеет букву «L», в то время как в двух других номерах указана буква «A». «L» означает, что модель включает в себя опцию бесшумного вентилятора, которая является первой из нескольких опций по уменьшению уровня шума, доступных в продуктовой линии NC. Бесшумная работа вентилятора достигнута не только за счет изменения его параметров. По сравнению со стандартными моделями уровень шума, идущего от работающей градирни, уменьшен благодаря оптимизации всего приводного механизма. Измерение уровня шума на расстоянии 50 футов показало, что модель 8405QAN на 2 дБА тише модели 8403TAN, а модель 8407PLN с опцией бесшумного вентилятора – на 9 дБА. Также следует обратить внимание на то, что соотношение площади поверхности к мощности вентилятора влияет на себестоимость и необходимую для размещения оборудования площадь, но компенсирует факторы, от которых зависит существенное увеличение энергоэффективности и снижение уровня шума.

Охлаждающая способность градирни изменяется непосредственно со скоростью вращения вентилятора

- 100 % скорость обеспечивает 100 % производительности
- 75 % скорости обеспечивает 75 % производительности
- 50 % скорости обеспечивает 50 % производительности

Мощность вентилятора градирни зависит от куба скорости

- 100 % скорость: $1,00^3 = 100$ % л.с
- 75 % скорости: $0,75^3 = 42,2$ % л.с
- 50 % скорости: $0,50^3 = 12,5$ % л.с

Законы подобия насосов работают точно также.

При регулировке вентилятора градирни важно понимать, что потока воздуха, проходящего через вентилятор, изменяется в прямо пропорциональной зависимости от скорости вращения вентилятора. Тепловые характеристики градирни также напрямую зависят от потока воздуха и изменяются прямо пропорционально скорости вентилятора.

50 % скорости вентилятора составляет 50 % производительности градирни. Исходя из законов аэродинамики вентилятора, потребляемая вентилятором мощность зависит от куба скорости. 75 % скорости вентилятора должны обеспечивать до 75 % охлаждающей способности градирни при 42 % эффективной мощности вентилятора в л.с. При 50% скорости вентилятора обеспечивается 50 % охлаждающей способности и потребляется только 12 или 13 % мощности. Таким образом, достижение половины охлаждающей способности при использовании одной

восьмой мощности в л.с. предоставляет огромные возможности для энергосбережения, если эксплуатация вентиляторов на меньших скоростях позволяет обеспечить необходимый уровень охлаждения.

Стандартный пример – охлаждающая установка производительностью 3000 тонн

Давайте рассмотрим ситуацию, когда градирня используется с уменьшенным потоком воды таким образом, что 75 % потока, который проходит через три рабочих охладителя, распределяется по всем четырем секциям градирни. См. **Рисунок 1**.

В этом случае не следует изменять режим работы охладителей. Охладители должны использоваться наиболее эффективным образом. Вместо этого доступный поток воды (75 % от номинального значения) должен постоянно распределяться по всем четырем секциям градирни. Чтобы каждая секция получала 75 % от установленного потока воды, необходимо полностью использовать смачиваемую поверхность.

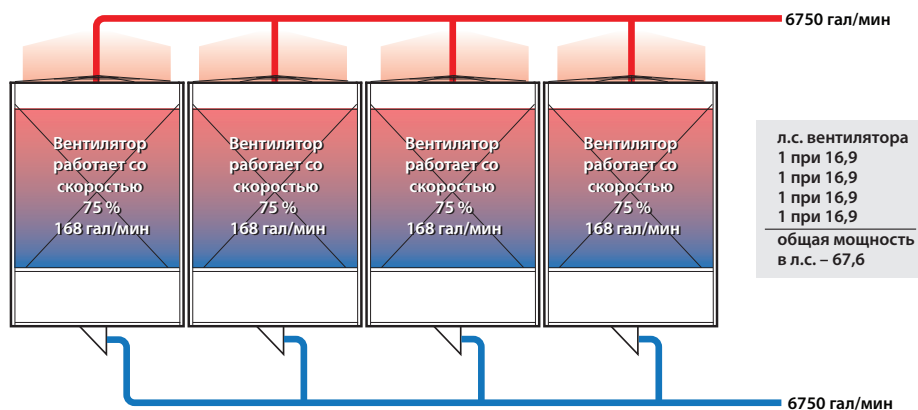
Работа всех четырех вентиляторов на 75 % скорости обеспечивает такую же охлаждающую способность, как и эксплуатация трех вентиляторов на полной скорости. Использование законов аэродинамики вентиляторов гарантирует 75 % скорости при потреблении 42 % мощности в л.с. или до 17 л.с., для каждого вентилятора, что в общей сложности составляет 68 л. с. Обратите внимание на то, что традиционный метод – это работа трех вентиляторов на полной скорости с потреблением 120 л.с., однако такой метод не является эффективным.

Если на градирнях обеспечивается надлежащее распределение потока воды, то мощность, потребляемую вентилятором, можно сократить на сорок четыре процента, циркулируя 75 % потока воды по всем секциям градирни.

Следующая ситуация, когда в градирнях можно циркулировать 50 % потока с надлежащим распределением воды. При этом должны работать все четыре градирни, два охладителя и два водяных насоса конденсатора.

Рисунок 2.

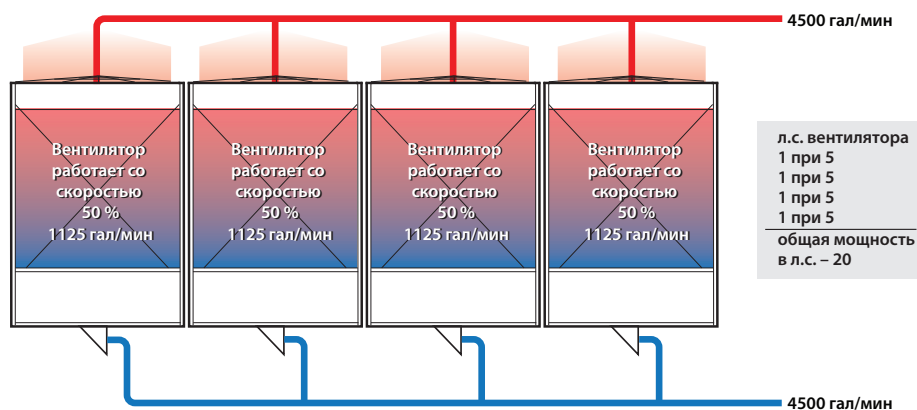
В этом случае эксплуатация всех четырех вентиляторов на 50 % скорости обеспечивает такую же охлаждающую способность, как и два вентилятора, работающих на полной скорости. Тем не менее, по законам аэродинамики вентиляторов, общая эффективная мощность каждого из четырех вентиляторов снижается до 20,5 л.с. по сравнению с мощностью двух вентиляторов в 80 л.с., работающих на полной скорости.



Конечный результат: $67,6 + 120 = 44$ % экономии энергии по сравнению с традиционным методом

РИСУНОК 1 Пример использования переменного потока — 75% нагрузки. Охлаждающая установка производительностью 3000 тонн

охладители производительностью 4-750 тонн и четырехсекционная градирня
9000 гал/мин, 95°-85°-78° Для NC841 1TAN4 при 40 л.с./вен.



Конечный результат: 20 + 80 = 75 % экономии энергии по сравнению с традиционным методом

РИСУНОК 2 Пример использования переменного потока — 50 % нагрузки. Охлаждающая установка производительностью 3000 тонн

Возможно сэкономить до 75 % энергии, потребляемой вентиляторами, при условии, что на градирнях обеспечено надлежащее распределение воды. Как и в предыдущем примере, соотношение площади смоченной поверхности и мощности вентилятора влияет на объем экономии электроэнергии.

Какие проблемы могут возникнуть?

Потенциальное снижение затрат возможно, если градирни позволяют регулировать диапазон потока воды. Понимание того, почему градирни считались/считаются установками постоянного потока, имеет первостепенное значение.

Существует множество проблем, связанных с распределением воды, непредсказуемыми результатами эксплуатации в холодном климате и возможностью образования льда в градирнях. Одной из основных причин обледенения является плохое распределение воды.

Тип градирни обуславливается конструкцией, от которой зависит метод распределения потока воздуха и воды. Конструкции градирен могут быть более или менее адаптированы к потоку воды, распределяемому различными методами.

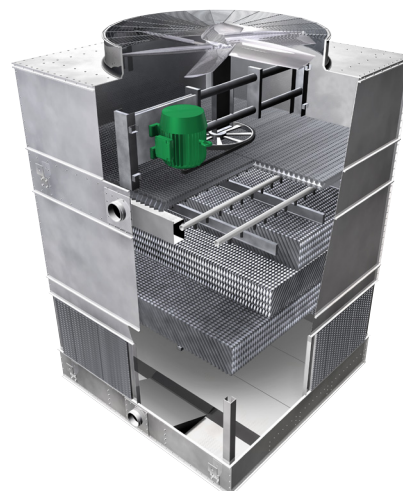
Типы градирен – методы использования переменного потока

Существует два типа градирен: поперечно-точные и противоточные. Каждый тип градирен включает в себя различные модели. В этих двух типах различаются не только системы распределения воды, но и то, каким образом взаимодействует воздух с водой. Для каждой конструкции характерны свои функциональные ограничения и важно понять, что это за ограничения и в чем их различия. Поскольку системы распределения воды и характер взаимодействия воздуха с водой совершенно разные для поперечно-точных и противоточных градирен, то каждый конкретный случай мы будем рассматривать отдельно.

Поперечно-точные градирни обязаны своим названием тем, что вода поступает через ороситель вертикально, тогда как воздух – горизонтально, пронизывая поток падающей воды. Таким образом, нет необходимости в прохождении воздуха через систему распределения. Это позволяет использовать бассейны для распределения потока горячей воды под действием гравитации, устанавливаемые на верхней части градирни над оросителем. Такие бассейны повсеместно применяются на всех поперечно-точных градирнях.



Поперечно-точная градирня Marley NC



Противоточная градирня Marley MD

На **рисунке 3** в разрезе изображена верхняя часть поперечно-точной градирни, включая систему распределения воды с оросителем и расположенную под ней теплопередающую поверхность. В качестве примера выбрана градирня Marley NC. Соединение водозаборника на внешнем крае градирни располагается прямо над воздухозаборником. Впускной канал проходит через всю длину верхней части воздухозаборника и предназначен для забора воды из впускного трубопровода, ее распределения по всей длине воздухозаборника и сбросу в распределительный бассейн. Вода проходит через отверстие в нижней части впускного канала и течет справа налево, как показано на рисунке. Таким образом, поток воды в бассейне распределяется в том же направлении, что и поток воздуха, проходящий через ороситель.



РИСУНОК 3 Бассейн для распределения горячей воды на поперечно-точной градирне

Еще одной типичной характеристикой поперечно-точных градирен является большое количество форсунок. На градирне Marley NC производительностью 400 тонн имеется 260 форсунок, располагающихся близко друг к другу. По этой причине для равномерного распределения воды по оросителю требуется поперечный поток воды всего в несколько дюймов. Иными словами, напор воды на форсунках в поперечно-точных градирнях NC должен составлять лишь около 21/2".

Для ограничения массы воды в бассейне на градирнях используются довольно мелководные бассейны. Фактически, максимальная глубина бассейна на градирнях Marley составляет лишь около 51/2". Однако этого достаточно для обеспечения достаточной высоты надводной части, позволяющей предотвратить переполнение бассейна. Следует учитывать, что уровень воды должен поддерживаться между 21/2" высотой перелива и глубиной бассейна, а высота напора варьируется пропорционально квадрату скорости потока. Эти условия ограничивают диапазон скоростей потока, который способна выдержать гравитационная система распределения потока с форсунками определенного размера в том случае, если в систему невозможно внести изменения.

Одним из таких изменений является значительное увеличение глубины бассейна. Использование бассейна глубиной 3'-0" позволяет увеличить напор на форсунках и расширить диапазон скорости потока воды. Однако вода по своей природе тяжелая. Она оказывает на конструкцию градирни значительную нагрузку и приводит к необходимости увеличения высоты градирни, что, в принципе, не желательно. Существует и другое решение.

Противоточные градирни отличаются от поперечно-точных тем, что поток воздуха идет вертикально вверх, против потока падающей воды в оросителе. По этой причине использование открытых бассейнов для распределения воды под действием гравитации не представляется возможным. Вместо этого на противоточных градирнях используются напорные трубчатые системы орошения, распыляющие

воду на верхнюю часть оросителя. Поскольку воздух должен свободно проходить через систему орошения, то трубопроводы и форсунки должны располагаться на некотором отдалении друг от друга, чтобы поток воздуха проходил беспрепятственно. На градирне Marley NC производительностью 400 тонн имеется 260 форсунок, в то время как градирня Marley MD с такой же производительностью оснащена примерно 60 форсунками, установленными по всей площади горизонтальной проекции градирни.

Из-за значительно большего расстояния между форсунками противоточного типа, каждая форсунка должна распылять воду в поперечном направлении таким образом, чтобы расстояние между ними полностью покрывалось и горячая вода равномерно распределялась по оросителю. Для этого требуется увеличение давления на форсунках. Как правило, высота напора составляет от 3 до 15 футов в дополнение к статическому напору, который может достигать от 6 до 10 футов. Большинство противоточных градирен заводской сборки имеют большую высоту напора насоса, чем поперечно-точные градирни аналогичного размера. Вместе с тем, при использовании закрытой системы орошения отсутствует риск переполнения бассейна, что характерно для открытых бассейнов поперечно-точных градирен.

Физические свойства форсунок

На **рисунке 4** отображен график с несколькими кривыми скорости потока воды, подаваемой форсунками поперечно-точного типа, а на **рисунке 5** – противоточного типа. Эти кривые доказывают несколько важных моментов.

Графики отличаются тем, что кривые располагаются по осям X и Y в противоположном направлении: кривая скорости потока на форсунках поперечно-точного типа располагается на оси X, а противоточного типа – на оси Y.

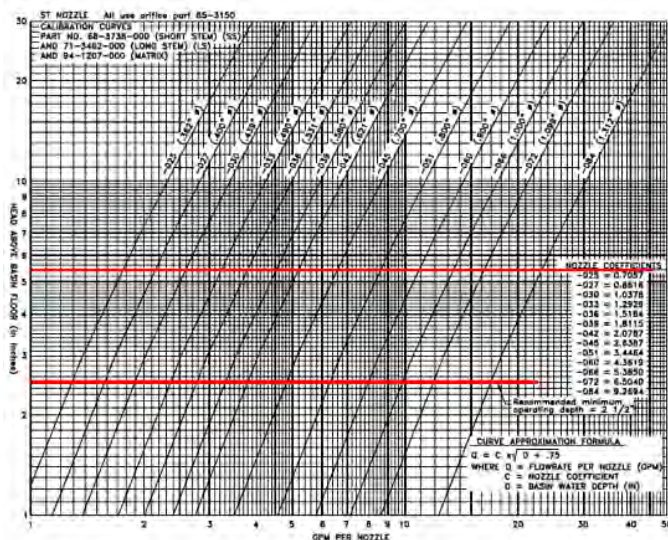


РИСУНОК 4 График кривых скорости потока на форсунках поперечно-точного типа

Расчет кривых на обоих графиках выполнен по одним законам физики. Из графиков видно, что напор воды на форсунках варьируется пропорционально квадрату скорости потока. Для увеличения скорости потока в два раза необходимо увеличить давление напора в четыре раза. Чтобы увеличить скорость в три раза, давление увеличивают в девять раз. При уменьшении скорости потока давление на форсунках уменьшается во столько же раз.

Для нормальной работы форсунок обоих типов следует учитывать допустимо максимальное и минимальное значение давления. Для форсунок поперечно-точного типа – **рисунке 4** – эти пороговые значения представлены двумя горизонтальными красными линиями на графике. Для форсунок противоточного типа, **рисунке 5**, предельные значения определены левым и правым краями кривой на графике. Слишком низкое

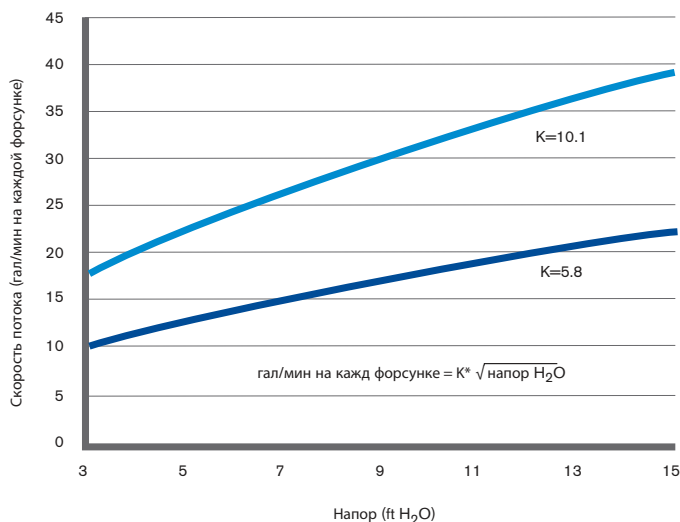


РИСУНОК 5 График кривых скорости потока на форсунках противоточного типа

давление приводит к неравномерному распределению воды, слишком высокое – к возникновению ряда других нежелательных проблем.

Системы распределения воды должны эксплуатироваться согласно технологическим параметрам, устанавливаемым производителем градирен для каждого конкретного типа. Использование форсунок с несоблюдением этих параметров приводит к возникновению проблем. Основная задача состоит в том, чтобы найти способ изменения скорости потока воды на поперечно-точных и противоточных градирях, не выходя за пределы расчетных параметров системы распределения воды.

Использование переменного потока в поперечно-точных градирях

Небольшие модификации конструкции поперечно-точной градири позволяют варьировать скорость потока в широком диапазоне. Это возможно благодаря изменению количества работающих форсунок.

Установка колпаков форсунок может эффективно разделить бассейн для распределения потока горячей воды на две секции: наружную и внутреннюю. Это позволяет автоматически контролировать изменение потока в градири, обеспечивая постоянный достаточный напор на работающих форсунках. Что еще более важно, на оросителе поддерживается равномерное падение давления воздуха.

Установка колпаков форсунок позволяет:

- Поддерживать равномерное взаимодействие воздуха с водой для достижения максимальной эффективности
- Обеспечить стабильность нерасчетных характеристик
- Минимизировать дрейф
- Свести к минимуму риск обледенения в морозную погоду

На рисунке 6 отображена поперечно-точная градири в разрезе, работающая на полном потоке. Наружный водозаборник, обозначенный на рисунке, подает горячую воду во впускной канал вдоль наружной секции бассейна для распределения потока горячей воды. Через отверстие в нижней части канала вода направляется в бассейн горячей воды. Вода в бассейне распределяется слева направо, как показано на рисунке.

Циркуляция полного потока воды в градири с функцией переменного потока обеспечивает достаточно высокий уровень воды, полностью закрывающий колпаки форсунок. Колпаки оказывают влияния на



Колпаки форсунок Marley VariFlow™

качество распределение воды через форсунки, и поверхность бассейна полностью задействована в процессе охлаждения. По оросителю, отображенному на рисунке затемненной областью под бассейном, также распределяется полный поток воды.

Равномерное смачивание оросителя обеспечивает равномерное падение давления, при этом вентилятор способствует равномерному падению давления воздуха на всей поверхности каплеуловителей. Воздух движется через блок оросителя с постоянной скоростью, благодаря чему тепловые характеристики градири являются предсказуемыми.

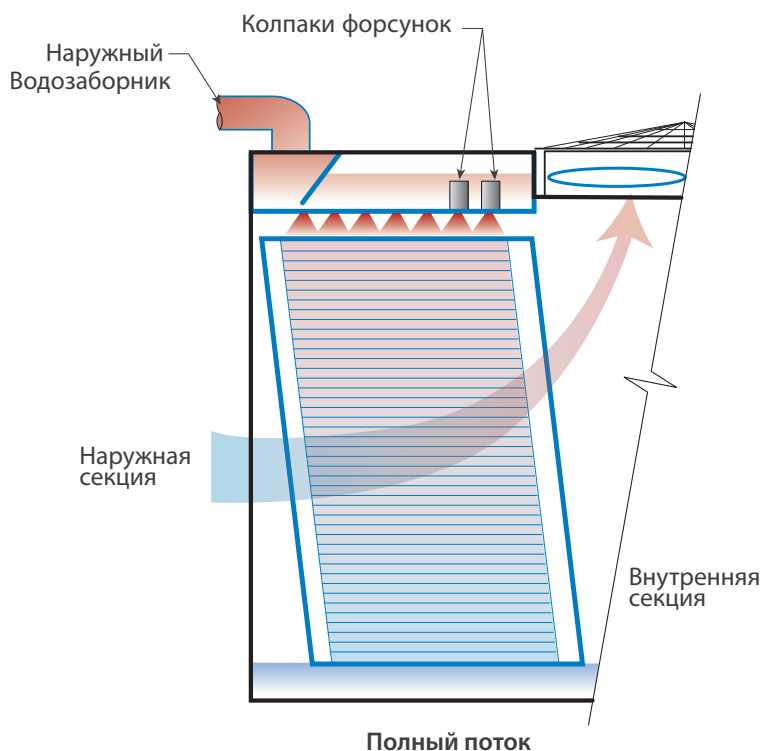


РИСУНОК 6 Эксплуатация градири при полном потоке

На **рисунке 7** отображен пример эксплуатации поперечно-точной градирни при среднем потоке воды, подаваемом через форсунки с колпаками. При подаче меньшего объема воды на градирню скорость потока уменьшается, напор на форсунках ослабевает, а уровень воды снижается. По мере снижения уровня воды колпаки форсунок начинают ограничивать поток воды на форсунки во внутренней секции бассейна. Так как колпаки установлены по всей длине бассейна, то скорость потока воды равномерно уменьшается во внутренней части оросителя.

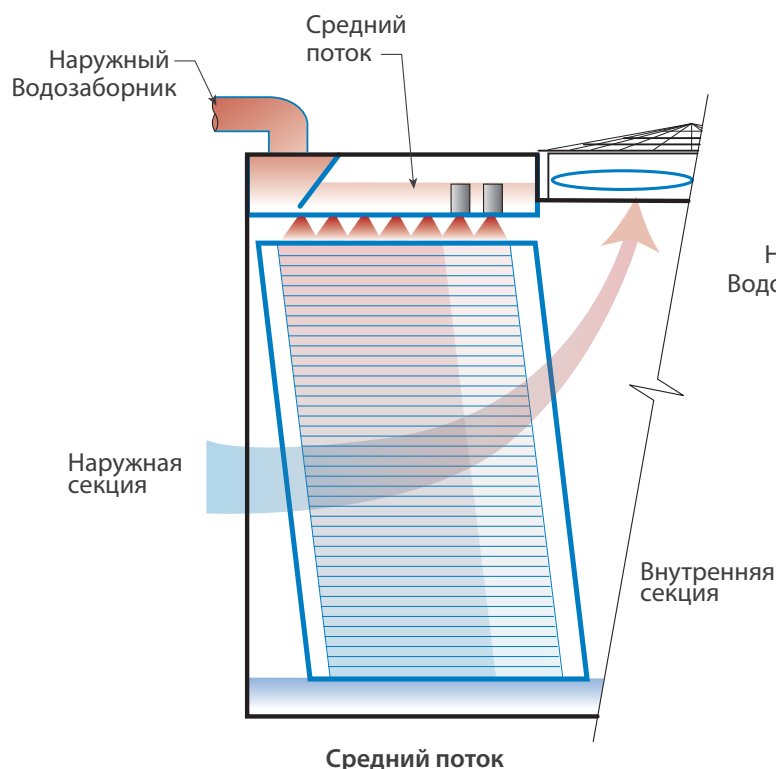


РИСУНОК 7 Эксплуатация градирни при среднем потоке

При среднем потоке часть воды все-равно перетекает через колпаки, и уровень воды в них становится меньше, чем минимальный напор на форсунках. Расход воды на таких форсунках менее предсказуем. Однако следует отметить, что объем подаваемой воды равномерно распределяется по всей длине бассейна горячей воды, затем в оросителе под бассейном.

Также следует обратить внимание на то, что одинаковый уровень воды во всей наружной части бассейна горячей воды находится в пределах рабочего диапазона форсунок, обеспечивающих прогнозируемый расход воды, которая равномерно распределяется по всей длине отверстия водозаборника. Снижение давления воздуха в этой части оросителя происходит равномерно.

Кроме того, чем меньше поток воды, проходящий через форсунки с колпаками, тем меньше воды стекает во внутреннюю часть оросителя. Даже несмотря на то, что пониженный расход воды приводит к падению напора на форсунках ниже минимального значения и непредсказуемому объему воды, проходящему через отдельные форсунки в этой зоне, распределение воды по всей длине оросителя все-равно остается равномерным.

Вентилятор в горизонтальном направлении прогоняет воздух через блок оросителя, который состоит из впускных жалюзи, наружной и внутренней частей, а также каплеуловителей. Общее падение давления – это сумма падений давления во всех перечисленных зонах, однако самое большое падение давления происходит в наружной части оросителя с наибольшей водяной нагрузкой. Любое изменение в падении давления воздуха в задней части оросителя оказывает минимальное воздействие на значение общего падения давления. Воздух движется через

блок оросителя с постоянной скоростью, благодаря чему тепловые характеристики градирни не изменяются.

Следует отметить, что активное распределение воды происходит прямо на наружной части оросителя на впускных жалюзи. Резкий переход от сухих встроенных жалюзи к теплой водяной пленке на наружном краю оросителя обеспечивает максимальное сопротивление обледенению в морозную погоду.

На рисунке 8 показан пример эксплуатации градирни при уменьшении расхода воды до минимума. В этом случае напор воды в бассейне падает, а колпаки форсунок работают на полную мощность. В результате на форсунки, расположенные на внутренней стороне бассейна, полностью прекращается подача воды. Форсунки в задней части бассейна становятся сухими.

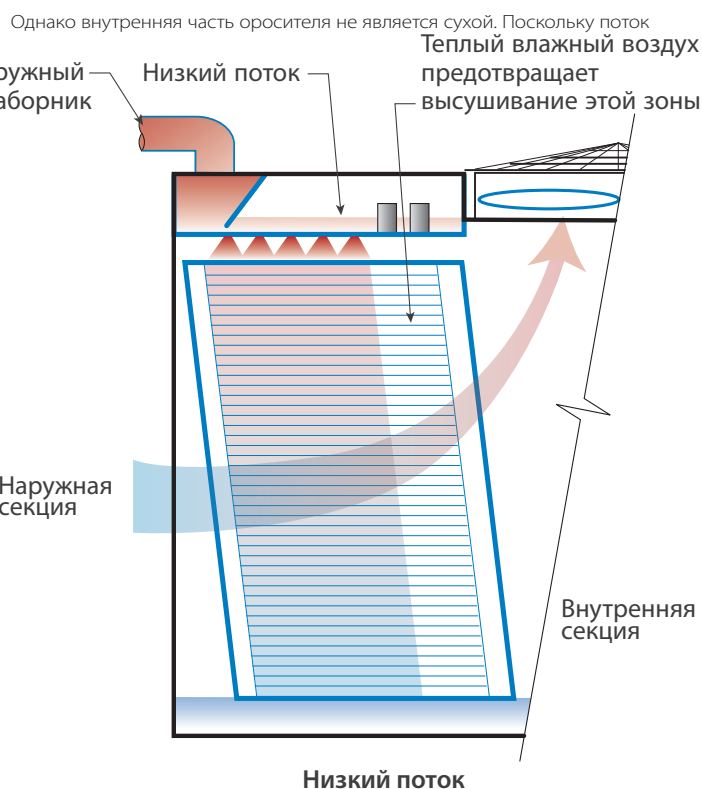


РИСУНОК 8 Эксплуатация град при низком потоке

воздуха в поперечно-точной градирне распределяется по горизонтали и проходит через поток падающей воды в оросителе, то по-прежнему сохраняется тенденция обратного затягивания воды во внутреннюю часть оросителя. Кроме того, при прохождении через внешнюю секцию оросителя воздух насыщается влагой.

Это приводит к тому, что ороситель, каплеуловители и полость градирни остаются влажными. При нормальной эксплуатации в каплеуловителях и полости градирни накипь не образуется. Ороситель не переполняется, но остается влажным, поэтому попеременное высыхание и увлажнение задней части оросителя, каплеуловителей или полости градирни не происходит.

Уровень воды в наружной части бассейна составляет не менее $2\frac{1}{2}$ ", что делает расход воды на форсунках прогнозируемым. Несмотря на то, что из-за горизонтального прохождения потока воздуха через переднюю часть оросителя в его внутренней части скапливается небольшое количество воды, некоторое снижение эффективности в задней части оросителя при очень низком расходе воды происходит только в условиях крайне низких тепловых нагрузок относительно охлаждающей способности градирни.

Особенно важным является то, что происходит равномерное падение давления воздуха в оросителе и функция вентилятора по охлаждению воды реализуется по максимуму. Весь воздух поступает в ороситель.

Проблемы, связанные с установкой водозаборников на внутренней стороне бассейна

Важно, чтобы водозаборник и распределительный канал располагались на наружной стороне бассейна. Конструкция первых градирен NC, запущенных в производство в 1968 году, не соответствовала этому требованию. Специалисты компании Marley быстро поняли, что для улучшения эффективности градирен в их конструкцию необходимо внести некоторые изменения, что и было сделано в 1975 году.

Как показано на **рисунке 9**, в случае расположения водозаборника на внутренней стороне бассейна установка колпаков форсунок блокирует подачу воды на наружную часть бассейна. В условиях низкого потока сухими остаются не только впускные жалюзи, но и наружная часть оросителя. Это происходит из-за того, что воздух не насыщается влагой во влажной зоне оросителя. Хуже того, между сухой наружной секцией и влажной внутренней секцией образуется переходная зона.

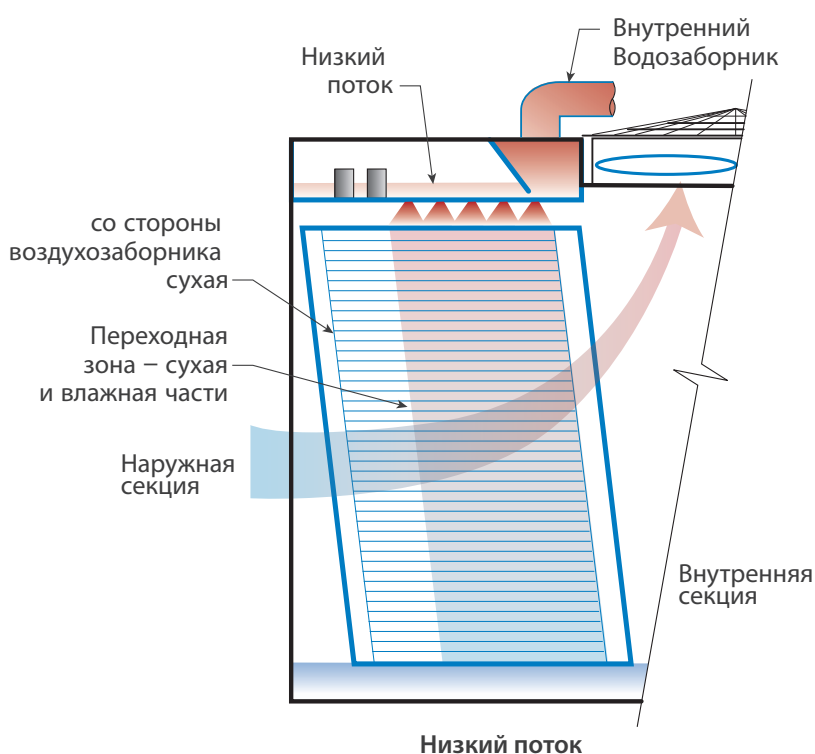


РИСУНОК 9 Пример нежелательной установки водозаборника на внутренней стороне бассейна

Как и в предыдущем случае использования низкого потока, между сухой и влажной секциями оросителя резкого перехода нет, но зона шириной в несколько дюймов позволяет все большему объему воды поступать на листья оросителя. Поскольку воздух холодный, а в условиях низкой нагрузки его температура вполне возможно опускается ниже нуля, то при взаимодействии с первым потоком воды его температура по-прежнему не поднимается выше нуля. В результате этого возникает высокий риск образования льда в переходной зоне оросителя.

Проблемы, связанные с установкой водозаборников в центральной части бассейна

На **рисунке 10** приведен пример установки водозаборника в центральной части бассейна горячей воды. Вода подается на блок орошения, повернутый на 90 градусов относительно показанного ранее расположения, и распределяется из центра по всему бассейну, что затрудняет управление уменьшенным потоком.

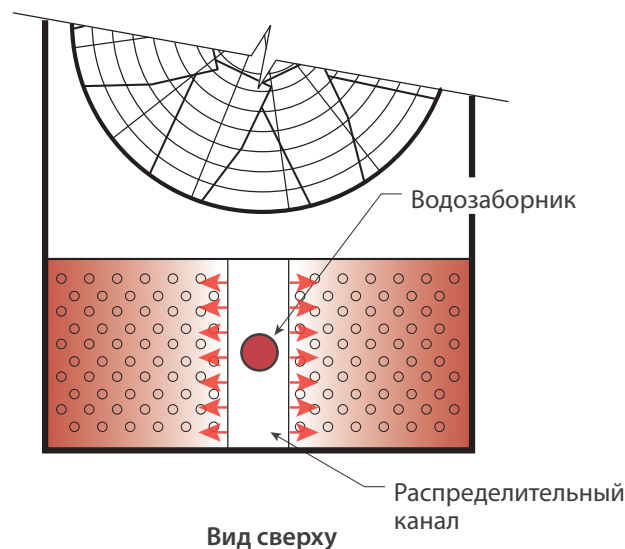


РИСУНОК 10 Пример расположения водозаборника в центральной части бассейна поперечно-точной градиры

На **рисунке 11** показаны разделительные перегородки бассейна, используемые одним производителем. Перегородки предназначены для блокировки воды, вытекающей из блока орошения, и отвода воды в водозаборник.

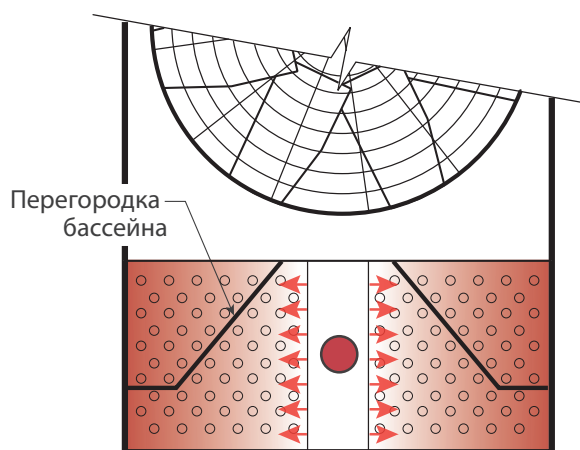


РИСУНОК 11 Пример расположения водозаборника в центральной части бассейна с разделительными перегородками

Хотя такой метод позволяет распределять воду по всей длине водозаборника, распределение воздуха по всему впуску градиры не является равномерным.



Затемненная область на **рисунке 12** обозначает секцию оросителя, в которой накапливается вода при эксплуатации градирни в режиме низкого потока. В центр этой секции поступает основная часть воздушного потока, в то время как на внешних краях секции увлажняется только его небольшая часть. Между этими зонами степень насыщения воздуха влагой варьируется в диапазоне между двумя крайними случаями.

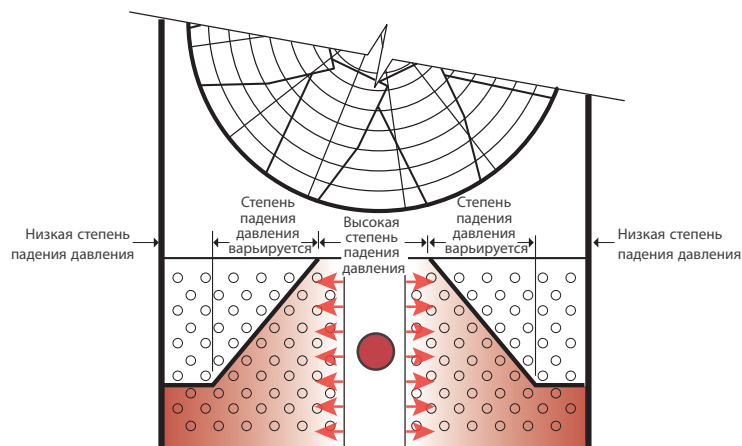


РИСУНОК 12 *Распределение воды при низком потоке*

В результате границы полностью увлажненной зоны оросителя существенно варьируются в зависимости от того, где воздух поступает в воздухозаборник. Поскольку по сравнению с менее увлажненной частью оросителя, расположенной за пределами перегородок, водяная пленка в полностью увлажненной зоне оросителя значительно влияет на падение давления воздуха, то значение общего падения давления воздуха изменяется в зависимости от зоны оросителя. Поэтому на левом и правом краях секции скорость потока воздуха, проходящего через ороситель, значительно выше более низкой скорости воздуха в центре воздухозаборника, где находится большая часть воды. Таким образом, вода на внешних краях секции намного холоднее воды в центральной части. При эксплуатации градирни в режиме низкого потока существует большой риск замерзания воды на внешних краях секции.

Поперечно-точные градирни – встроенные впускные жалюзи

С начала 80-х годов на поперечно-точных градирнях Marley стали использоваться встроенные впускные жалюзи, как показано на рисунке 13. На рисунке 14 отображен тип жалюзи, который ранее устанавливался на градирни NC. Многие другие производители до сих пор его используют.

Разница между двумя типами существенна. На рисунке 14 приведен пример термоформованного оросителя с независимыми впускными жалюзи, установленными вплотную к оросителю. Следует помнить, что термоформованный ороситель имеет конструкцию, которая предназначена для предотвращения формирования капель воды на самом оросителе. Благодаря такой конструкции вода на поверхности оросителя преобразуется в тонкую пленку, что позволяет достичь более эффективную охлаждающую способность и надежное управление водными ресурсами. Торцевая сторона оросителя располагается под углом таким образом, что в процессе стекания воды по поверхности оросителя воздушный поток затягивает воду обратно в ороситель. При уменьшении скорости вентилятора или его останове в холодную погоду поток воды стекает вертикально и падает с выступающей части торцевой стороны оросителя на жалюзи.

Когда капли воды попадают на наклонную поверхность жалюзи, то стекают обратно в ороситель. Тем не менее, несколько капель разбрызгиваются на внешнюю холодную кромку жалюзи и замерзают, что в конечном итоге приводит к образованию льда и возникновению проблем.

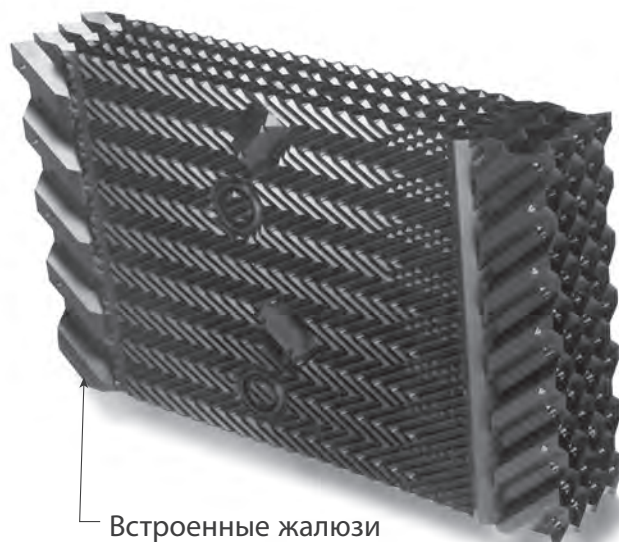


РИСУНОК 13 *Термоформованный ороситель со встроенными жалюзи*

Ширина жалюзи Marley плоского типа составляла 10½", а расстояние по горизонтали между теплой водой, текущей по оросителю, и внешней кромкой жалюзи – примерно 7". Это дополнительное расстояние затрудняет растапливание льда, образовавшегося на внешней стороне жалюзи, теплом циркулирующей в оросителе воды.



РИСУНОК 14 *Термоформованный ороситель с независимыми жалюзи плоского типа*

Встроенные впускные жалюзи термоформованны в листы оросителя, благодаря чему между водяной пленкой и поверхностью разбрызгивания отсутствует переходная зона, а возможность формирования капель воды исключается. Поскольку такие жалюзи более компактны (шириной около 3"), их внешняя кромка располагается в непосредственной близости от теплой водяной пленки, стекающей по оросителю, что обеспечивает более высокую стойкость к обледенению.

На **рисунках 15 и 16** показано два случая эксплуатации поперечно-точной градирни с различными типами жалюзи. Фотографии были сделаны в Монреале, в один день. Температура окружающего воздуха составляла -15 °C (5 °F). Обе градирни были в эксплуатации, и разница в стойкости жалюзи различных типов к обледенению очевидна.



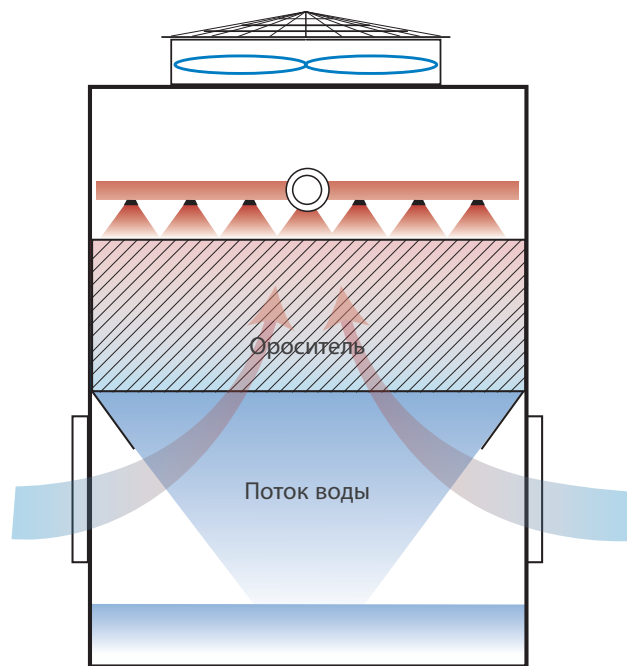
РИСУНОК 15 Пример эксплуатации поперечно-точной градирни с независимыми жалюзи плоского типа



РИСУНОК 16 Пример эксплуатации поперечно-точной градирни со встроенными жалюзи

Использование переменного потока в противоточных градирнях

На **рисунке 17** показана взаимосвязь между системой орошения, оросителем и потоком воздуха, проходящим через противоточную градирню. В поперечно-точных градирнях ограничение количества работающих форсунок позволяет изменять характер распределения воды по мере изменения скорости потока воды. Однако вертикальный поток воздуха в противоточных градирнях ограничивает возможность изменения количества работающих форсунок. Блокировка потока на некоторых форсунках может привести к блокировке подачи воды на всю секцию оросителя в направлении потока воздуха.



Вентилятор работает на полной скорости

РИСУНОК 17 Противоточных Градирнях

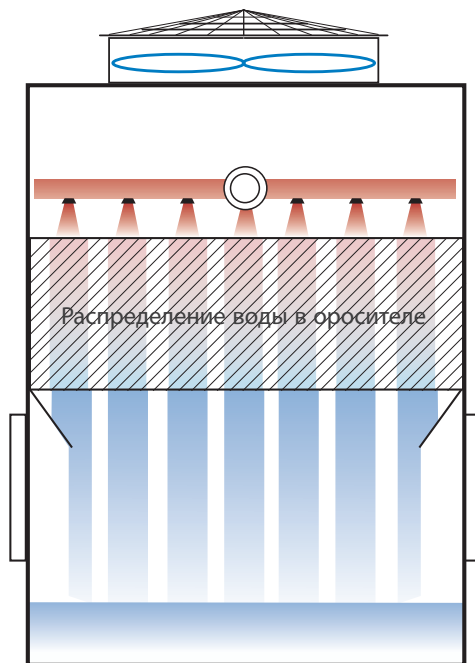
Одним из решений для очень больших градирен, устанавливаемых на монтажной площадке, является увеличение высоты полости орошения и установка двухуровневой системы орошения над оросителем. Это достигается путем добавления серии вертикальных труб в верхней части системы орошения и монтажа второго набора форсунок на эти трубы. При низком потоке, из-за отсутствия достаточного напора для подачи воды на верхние форсунки, вода будет распределяться только на нижнюю систему орошения. Увеличение потока воды автоматически увеличит напор, так что вода будет поступать и на верхний ряд форсунок. Напор в системе орошения варьируется пропорционально квадрату скорости потока.

Установка такой системы на противоточной градирне заводской сборки добавит несколько футов к высоте градирни, что приведет к значительному увеличению цены и массы градирни, а также сделает ее менее привлекательной с архитектурной точки зрения.



Теоретически для системы орошения под давлением применим более широкий диапазон напора, чем для открытой гравитационной системы распределения воды на поперечно-точных градириях. Как и в случае с поперечно-точными градириями, на противоточных градириях для поддержания равномерного распределения воды по оросителю требуется наличие минимального давления на форсунках.

На **рисунке 18** показан пример скоростей потока воды ниже минимального расчетного значения для форсунок на противоточной градири.



Уменьшенная скорость потока

РИСУНОК 18 Использование уменьшенного потока на противоточной градири

Уменьшение скорости потока воды приводит к уменьшению напора на форсунках. При слишком низком напоре форсунки не способны обеспечить горизонтальное распыление воды и ее равномерное распределение по поверхности оросителя.

Это приводит к возникновению сухих или частично увлажненных зон на поверхности оросителя. Поскольку поток воздуха в данном типе градири направлен вертикально вверх, то воздух практически не влияет на распределение воды в горизонтальном направлении. Под влиянием гравитации вода стекает прямо вниз. Оросители в противоточных градириях, обычно имеющие конструкцию с поперечным гофрированием и используемые практически всеми производителями, также практически не влияют на распределение воды по горизонтали. В результате вода распределяется по оросителю в вертикальном направлении, что приводит к образованию каналов со значительно меньшим количеством воды.

Поскольку падение давления воздуха в оросителе является следствием не только сухого оросителя, но и водяной пленки на оросителе, то возникает существенная разница между значением падения давления в хорошо увлажненной секции оросителя и секциями с минимальным количеством воды или без воды. Эта разница сохраняется по всей высоте оросителя.

Поток воздуха, нагнетаемый вентилятором для охлаждения воды, прогоняется как через хорошо увлажненные, так и слабо увлажненные секции оросителя. Подача воздуха через сухую часть оросителя не является эффективной с точки зрения затрат. Более того, это приводит к уменьшению объема воздуха, требуемого для увлажненной секции, где процесс охлаждения является наиболее эффективным.

Такая потеря эффективности влияет на теплопроизводительность градири, а в крайних случаях, если расход варьируется в диапазоне между двумя крайними значениями, может привести к увеличению риска обледенения и образованию накипи.

Таким образом возникает вопрос: на сколько можно уменьшить скорость потока воды в противоточной градири, не выходя за расчетные предельные значения системы орошения? Допустимое изменение скорости потока определяется по диапазону напора воды на форсунках. На **Рис.19** представлен график расчета скорости потока на одной форсунке противоточной градири Marley MD.

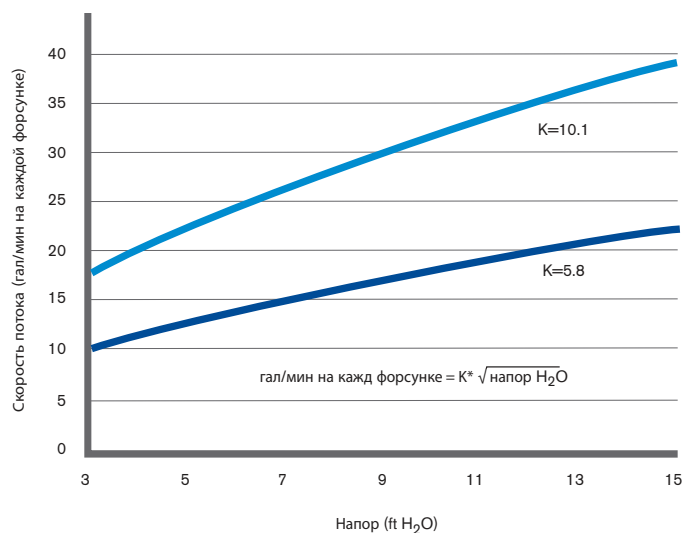


РИСУНОК 19 График кривых скорости потока на форсунках противоточного типа

При напоре в 15'–0" скорость потока воды на форсунках Marley составляет 22,5 гал/мин, а при напоре в 3'–0" – 10 гал/мин. Переход от максимального значения расхода до минимального значения указывает на снижение скорости потока на 55 %.

Следует обратить внимание на существенное совпадение значений для форсунки маленького размера (кривая синего цвета) и форсунки большого размера (кривая зеленого цвета). Поскольку более высокий напор насоса увеличивает расходы на эксплуатацию градири, большинство проектировщиков предпочитают устанавливать расчетное давление насоса на максимально низком уровне. Таким образом, по достижении достаточно высокой скорости потока для минимизации напора насоса используется форсунка большого размера. Скорость потока, по достижении которой осуществляется переход на использование форсунки большего размера, составляет 17,5 гал/мин. На графике видно, что кривая форсунки меньшего размера достигает 17,5 гал/мин при напоре около 9'–0", что значительно ниже максимального значения скорости потока для этой форсунки в 22,5 гал/мин.

На противоточной градири Marley MD производительностью 400 тонн имеется около 60 форсунок. При номинальном расходе в 3 гал/т скорость потока на каждой форсунке составит около 20 гал/мин. Чтобы при такой скорости потока поддерживать напор насоса на низком уровне примерно в 4'–0", по умолчанию используются форсунки большого размера. Однако низкий напор ограничивает диапазон допустимого уменьшения скорости потока. Предельным значением будет 17,5 гал/мин, когда уменьшение потока составляет только 1–2,5 % по достижении нижней точки кривой форсунки.

Использование форсунок меньшего размера позволяет уменьшить поток на 50 %, сокращая скорость потока на каждой форсунке с 20 гал/мин до 10 гал/мин за счет существенного повышения напора насоса при эксплуатации градири на полном потоке. При этом потеря снижения напора насоса составляет 8'–0" от дополнительного напора.

Предел уменьшения скорости потока для любой противоточной градирни начинается с кривой форсунки определенной модели, выбор которой зависит от специальных расчетных условий проекта. В зависимости от начальной точки расчета скорость потока может быть уменьшена на 50 % и более, с большей вероятностью на 35 % или еще меньше. Тип градирни определяет диапазон уменьшения скорости потока.

Большое значение имеет разделение физических и маркетинговых законов. Форсунки любого производителя работают в соответствии с общими законами физики, не зависимо от того, являются ли они квадратными, круглыми, роторными, пневматическими или гидроциклонными. Напор на форсунках варьируется пропорционально квадрату скорости потока.

- Все форсунки работают по одним и тем же законам физики
- Напор варьируется пропорционально квадрату скорости потока
- Различные производители могут устанавливать более высокие или низкие пределы напора
- Диапазон зависит от кривой форсунки
- Чтобы узнать минимальное значение потока для вашей градирни, проконсультируйтесь со своим поставщиком

Заключение

Использование переменного потока на градирнях предоставляет широкие возможности для значительной экономии электроэнергии.

Изменение скорости потока воды в градирне (не в процессе охлаждения) не влияет на эффективность процесса охлаждения, поскольку градирня по-прежнему может эксплуатироваться наиболее эффективным образом. Переменный поток – это способ достижения максимальной эффективности установленной градирни, не зависимо от типа потока, используемого в процессе охлаждения.

Ключевые положения:

- Охлаждающая способность градирни изменяется непосредственно со скоростью вращения вентилятора
- Энергозатратность градирни варьируется пропорционально кубу скорости

Возможные решения:

- Эксплуатация половины вентиляторов на полной скорости для обеспечения 50 % охлаждающей способности при потреблении 50% энергии
- Эксплуатация всех вентиляторов на 50 % скорости для обеспечения 50 % охлаждающей способности при потреблении одной восьмой энергии

Не все градирни заводской сборки одинаковы:

- Поперечно-точные градирни с наружными водозаборниками и встроенными впускными жалюзи работают при очень высоком диапазоне уменьшения скоростей потока (50–70 % и более) и могут эксплуатироваться в морозную погоду
- Поперечно-точные градирни без внутренних водозаборников и встроенных впускных жалюзи также работают при высоком диапазоне уменьшения скоростей потока, но при их эксплуатации в морозную погоду могут возникнуть проблемы.
- Модификацию противоточных градирен выполнить не легко, но использование переменного потока возможно при условии, что ограничения, связанные с конструкцией форсунок, и особенности распределения воды по оросителю принимаются во внимание для конкретной модели градирни и конкретных расчетных условий

Существуют характерные конструктивные отличия между поперечно-точными и противоточными градирнями, влияющие на возможность использования переменного потока.

Поперечно-точные градирни с бассейнами для распределения горячей воды под действием гравитации:

- Напор варьируется пропорционально квадрату скорости потока воды
- Поперечно-точные градирни можно легко модифицировать
- Колпаки форсунок Variflow позволяют уменьшить скорость потока на 50 %+, при этом сохраняя надлежащее распределение воды

Для эксплуатации поперечно-точных градирен в морозную погоду на них следует устанавливать:

- Наружные водозаборники
- Встроенные впускные жалюзи

Противоточные градирни с напорной системой распределения воды:

- Напор варьируется пропорционально квадрату скорости потока воды
- Поперечно-точные градирни не так просто модифицировать
- Для обеспечения требуемого нагнетательного давления в трубах и оросителе необходим достаточный напор воды
- Ограниченный диапазон уменьшения скорости потока
- Уменьшение скорости потока на 50 % приводит к уменьшению напора в 4 раза. Если при 50 % скорости потока на водозаборнике требуется напор в 3'–0", то при расчетной скорости потока – в 12'–0"

Существуют распространенные заблуждения в отношении того, насколько можно уменьшить скорость потока на градирнях определенного типа. В случае необходимости выполнить модификацию новой или уже используемой градирни, следует обратиться за консультацией по вопросам о специфических требованиях к представителю компании-производителя.

При выборе новой или заменяющей градирни, оптимизированной для использования переменного потока, рекомендуется отдавать предпочтение поперечно-точным моделям – в особенности моделям Marley для максимальной конструкционной гибкости.

Рекомендации по эксплуатации градирни в морозную погоду

Ниже приводятся общие рекомендации по эксплуатации поперечно-точных и противоточных градирен в морозную погоду:

- Даже если вентилятор выключен, градирня выполняет охлаждение, создавая тепловую нагрузку при использовании циркулирующей воды. Если по какой-то причине необходимо задействовать насосы, а тепловая нагрузка отсутствует, то на градирне следует установить обход. Обход должен быть двухпозиционным (вкл. или выкл.), а не модулирующим. Следует обратить внимание на то, что меньший объем воды отводит меньше тепла, увеличивая риск обледенения.
- В случае использования градирни в морозную погоду на вентиляторы устанавливаются частотно-регулируемые двигатели (ЧРД). Установка ЧРД рекомендуется для всех типов градирен, поскольку они обеспечивают более надежный контроль за температурой технологической воды, низкое потребление энергии, меньший износ оборудования и обладают более эффективными звукоизоляционными характеристиками.



- Для поддержания необходимой температуры холодной воды на многосекционных градирнях увеличивать и уменьшать скорость следует сразу на всех вентиляторах. Это поможет избежать проблемы, когда вода в одной секции становится слишком холодной, а в других – недостаточно холодной. Более того, это позволяет свести к минимуму затраты на электроэнергию. Регулировка температуры воды в соответствии с производственными и климатическими условиями осуществляется посредством изменения скорости вентилятора.
- "Золотое" правило для заданных значений холодной воды состоит в том, чтобы свести к минимуму риск образования льда в оросителе, используя заданное значение холодной воды не ниже диапазона охлаждения плюс 32 °F (0 °C). Если охлаждение воды происходит в диапазоне 10°, то не следует понижать температуру воды ниже 42 °F (5,56 °C). Так или иначе, для большинства технологических процессов охлаждение воды до такой степени не дает никаких преимуществ, поэтому разумнее сэкономить энергию, потребляемую вентилятором, и уменьшить риск обледенения, руководствуясь приемлемыми заданными значениями холодной воды.
- В морозную погоду запрещается прогонять вентиляторы в реверсивном режиме, поскольку это способствует образованию льда на впускных жалюзи. Вентилятор покрывается льдом, что приводит к повреждению механического оборудования и разбрызгиванию воды из жалюзи.

Перед тем как начать эксплуатацию конкретной градирни, важно ознакомиться с ее техническими характеристиками – параметрами тепловой нагрузки и условиями обтекания градирни воздушным потоком, применимыми для монтажной площадки. Регулярный осмотр градирни позволяет определить ситуации, при которых повышается риск образования льда на жалюзи, и заранее предпринять все необходимые меры для их предотвращения.

Иногда, не смотря на все предосторожности, на градирне образуется лед. Систематическая проверка состояния градирни, прогнозирование морозной погоды и осведомленность о необходимых процедурах позволяет предупредить формирование на впускных жалюзи льда весом 6000 фунтов.

Одной из таких процедур является выключение вентилятора. В этом случае большое преимущество дает использование нескольких градирен. При наличии многосекционной градирни можно просто выключить вентилятор в одной из секций, в то время как другие будут выполнять охлаждение. Это позволяет поочередно выполнять процедуры по удалению льда на всех секциях градирни. Отключение вентилятора останавливает подачу воздуха в градирню, благодаря чему вода в оросителе начинает течь ближе к впускным жалюзи. В большинстве случаев этого достаточно для удаления намерзшего на жалюзи льда.

- При необходимости удаления льда данная пошаговая процедура выполняется в следующем порядке: сначала выключается и полностью останавливается один вентилятор. Затем вентилятор запускается в реверсивном режиме на низкой скорости в диапазоне от 30 % до 50 % от номинальной скорости. На жалюзи разбрызгивается теплая циркулирующая вода, которая растапливает лед. Не допускается прогонка вентилятора на слишком большой скорости, поскольку это может привести к выдуванию воды через впускные жалюзи. В случае намерзания небольшого количества льда процедура по его удалению должна выполняться в течение двух-пяти минут. После удаления льда вентилятор выключается, полностью останавливается и снова запускается в нормальном режиме. Процедуру следует повторять по мере необходимости. Идея состоит в частом выполнении процедуры по удалению льда в течение короткого периода времени с тем, чтобы предотвратить образование слишком большого количества льда и уменьшить риск повреждения градирни и/или смежных конструкций.
- Необходимо не только обеспечить защиту градирни от замерзания во время ее эксплуатации, но и определить план действий для ситуаций, когда градирня выводится из эксплуатации на короткий период времени – ночью, в выходные дни или между циклами производственного процесса. Наиболее распространенным решением является установка нагревателя в бассейне холодной воды. Роль нагревателя может выполнять любой доступный источник тепла: электроэнергия, пар или горячая вода, однако наиболее распространенным источником тепла являются электронагреватели. Такие нагреватели малозатратны и просты в установке и обслуживании. В случае избытка горячей воды или пара, для рециркуляционных систем можно использовать паровые змеевики или змеевики с горячей водой, а при отсутствии необходимости возврата конденсата – паровые эжекторы.
- Другое решение заключается в размещении резервуара под градирней, либо внутри здания, либо снаружи в условиях соблюдения границы нулевой температуры. В этом случае вода подается из резервуара, проходит через систему распределения нагрузки и направляется обратно в градирню, где охлаждается. Охлажденная вода под действием гравитации течет из градирни в резервуар, расположенный в обогреваемой зоне. При выводе градирни из эксплуатации вся вода сливается в резервуар, где она защищена от замерзания. Такой метод позволяет избежать расходов на электроэнергию, потребляемую нагревателями бассейнов, хотя при этом и возникает потеря напора насоса, поскольку насосу требуется преодолеть сравнительно большой статический напор прежде чем он обеспечит поднятие уровня воды в резервуаре до верхней части градирни. Для осуществления этого решения также требуется обеспечить в здании дополнительное пространство.