

## ОСОБЕННОСТИ ЭКСПЛУАТАЦИИ ГРАДИРЕН В МОРОЗНУЮ ПОГОДУ

В сконструированной надлежащим образом градирне обеспечивается максимально возможный контакт воздуха и воды на протяжении максимального периода времени. Таким образом, при работе в летнее время градирня должна иметь высокую эффективность, и в то же время в зимний период должно быть снижено льдообразование. Поэтому при разработке градирни необходимо учитывать средства, с помощью которых можно будет управлять как эффективностью градирни, так и процессом льдообразования; причем эти средства должны правильным образом использоваться оператором.

Помимо основных принципов, рассмотрим причины льдообразования в градирнях различных типов, а также рекомендации, на которые следует обратить внимание.

### Места появления и количество льда

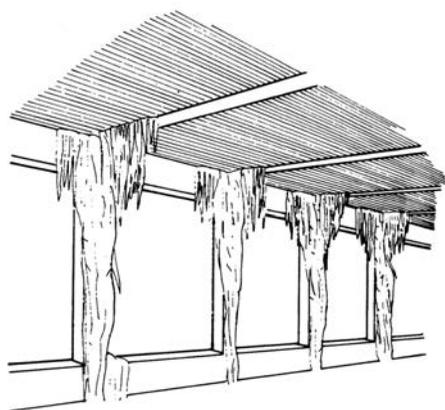


Рис. 1

В целом допустимо образование относительно тонкого слоя льда на жалюзи или воздухозаборниках градирен с форсированной тягой. На рис. 1 показано, что считается допустимым объемом образования льда внутри воздухозаборного сооружения в противоточных градирнях, на рис. 2 — небольшие образования льда на жалюзи поперечноточных градирен. Поскольку наличие такого объема льда обычно предполагается при расчете нагрузки градирни, в конструкцию вносят небольшие изменения, и в некоторых случаях уменьшение расхода проходящего воздуха через градирню вызывает результат, схожий с выполнением процедуры управления воздушным потоком, описание которого будет приведено ниже. Хотя образование такого льда считается допустимым, если объем льда уже превышает эти размеры, следует предпринимать меры по его ограничению или удалению.

Если не следить за образованием льда, он может достичь чрезмерной массы и выйти за пределы оросителя (рис. 3) или даже полностью заблокировать поток воздуха (рис. 4). Его вес может стать причиной перегрузки компонентов конструкции, а перемещение такой массы льда может привести к серьезным повреждениям.

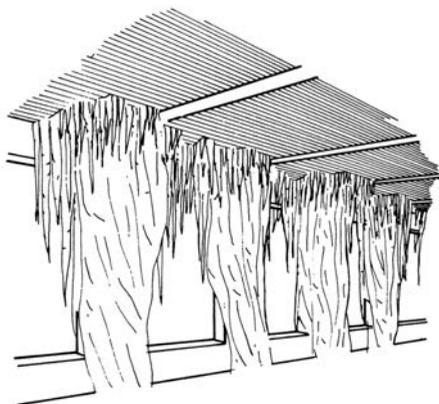


Рис. 3

Как и на любой конструкции, находящейся вне помещения, лед может образовываться на градирне в зимнее время естественным образом. Кроме того, поскольку градирня используется не только для охлаждения воды, но и для перемещения масс воздуха, работа градирни может способствовать образованию льда. Владелец градирни должен следить за местом и количеством образования льда, вызванным естественным путем или работой градирни. Образовавшийся лед на открытых рабочих поверхностях следует убирать вручную, так как в противном случае это может стать причиной получения травм. Допустимы небольшие случайные образования льда на жалюзи, конструкции и передних кромках наполнителя. Допустимо образование льда на вентиляторах и другом механическом оборудовании, исключая ограждения и устройства управления, связанные с этим механическим оборудованием, так как это может привести к несчастным случаям.

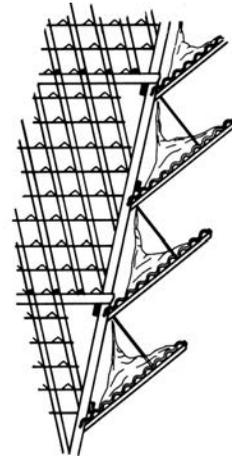


Рис. 2

### Причины образования льда

Хотя способы контроля льдообразования отличаются в зависимости от типа градирни и типа оросителя, а также системы распределения воды и устройства механического оборудования, они все основаны на определенных принципах.

1. Возможность образования льда обратно пропорциональна температуре наружного воздуха. Чем ниже температура точки замерзания ( $0^{\circ}\text{C}$  по мокрому термометру), тем больше вероятность образования льда.

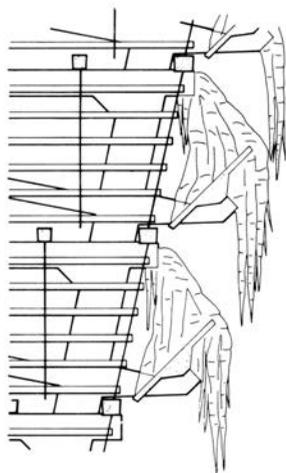


Рис. 4

2. В пределах расчетных ограничений, возможность образования льда обратно пропорциональна объему воды протекающей через ороситель. Уменьшение расхода воды увеличивает возможность образования льда.

3. Льдообразование напрямую зависит от количества проходящего воздуха через градирню. Снижение объема проходящего воздуха снижает возможность образования льда.

4. Если поток воздуха не контролируется (градирни с естественной тягой), возможность образования льда обратно пропорциональна тепловой нагрузке, возложенной на градирню. В этом случае уменьшение тепловой нагрузки увеличивает возможность образования льда.

5. Если управление потоком воздуха осуществляется для поддержания конкретной температуры холодной воды, возможность образования льда напрямую зависит от тепловой нагрузки и обратно пропорциональна выбранной температуре холодной воды. При увеличении тепловой нагрузки или уменьшении требуемой температуры холодной воды, возможность образования льда увеличивается.

На всех градирнях с принудительной тягой допустимо некоторое управление потоком воздуха для обеспечения контроля над образованием льда, объем которого зависит в основном от количества секций градирни и характеристик изменения скорости двигателей. В больших градирнях, разработанных для работы в холодном климате, обычно имеются средства, с помощью которых осуществляется управление размещением воды над оросителем. На градирнях с принудительной тягой устройства управления воздушным и водным потоками могут быть взаимодополняющими. Однако на градирнях с естественной тягой отсутствует достойная возможность управления воздушным потоком.

### Управление воздушным потоком

Управление потоком воздуха — это крайне важный инструмент, который используется не только для снижения льдообразования, но и для удаления уже образовавшегося льда. Снижение скорости потока входящего воздуха не только способствует уменьшению контакта холодного воздуха с оборотной водой, но также изменяет траекторию падающей воды, что сталкивает случайные капли воды, сдуваемые ветром, и приводит к таянию образовавшегося льда, или образуется разбрызгивание, вызванное выходом относительно теплого основного потока воды.

Имеются три варианта управления потоком воздуха градирни. Односкоростные вентиляторы имеют меньше возможностей для изменения потока воздуха, а градирня оборудована таким образом, что требует максимальной бдительности со стороны пользователя, чтобы определить правильную циклическую работу вентилятора, которая приведет к более эффективному управлению удалением льда. Двухскоростные двигатели вентилятора обеспечивают большую операционную гибкость и должны рассматриваться как минимальный уровень контроля для градирен, используемых в холодном климате. Вентиляторы могут быть настроены для переключения от полной скорости до ее половины, необходимой для достижения баланса между охлаждающим эффектом и контролем над льдообразованием, ограничиваясь только максимально допустимой температурой изоляции двигателя, когда ненормальное количество изменений скорости в час может привести к перегреву. Мощность охлаждения градирни изменяется непосредственно со скоростью вращения вентилятора, в то время как мощность вентилятора зависит от куба скорости, работа вентилятора в пол силы обеспечивает такой же уровень охлаждения, как работа половины вентиляторов на полной скорости, используя только одну восьмую энергии.

Частотно-регулируемые приводы (VFD) предлагают самый высокий уровень гибкости, так как они позволяют работать всем вентиляторам с той же скоростью, но с минимальным потреблением энергии. Вдобавок, все ячейки будут поддерживать ту же температуру холодной воды, что исключает температурный градиент между ячейками.

### Перепады температур

Для понимания и контроля над образованием льда необходимы определенные знания о перепадах температур воды, возникающих в работающей градирне. Без этих знаний операторы часто полагают, что использование элементов управления для автоматического выполнения цикла работы вентиляторов, поддерживающих температуру выходящей воды выше температуры замерзания, является достаточным для предотвращения образования льда. Иногда их приводит в замешательство образование льда даже до опускания температуры бассейна для холодной воды до предположительного «безопасного» уровня.

Причиной являются вышеуказанные перепады температур, возникающие в поперечном направлении во всех градирнях, а также в продольном в многосекционных градирнях, где последовательно выполняется цикл работ вентиляторов.

В многосекционных градирнях существует также перепад температуры в продольном направлении (фактически, шаги, а не перепад, при регулировке отдельных вентиляторов). Это вызвано тем, что секции с работающими на полной скорости вентиляторами, способствуют общему охлаждению градирни гораздо больше, чем секции с вентиляторами, работающими со сниженной скоростью или выключенными. Например, если вода входила в градирню с температурой 80°F (26.7°C) и выходила с температурой 60°F (15.6°C) (один вентилятор вкл. и один выкл.), фактическая температура воды секции № 1 составит 50°F (10°C), а вода в самой холодной точке оросителя будет замерзать или будет иметь близкое к этому состоянию значение.

На рис. 5 показаны перепады температур двухсекционной градирни с диапазоном 20°F (-6.7°C), оснащенной односкоростным и двухскоростным вентиляторами соответственно. Эти кривые начерчены при условии, что оператор регулирует вентиляторы во избежание понижения температуры холодной воды ниже 60°F (15.6°C), а температура по влажному термометру могла опускаться до 0°F (-17.8°C). Сплошная линия указывает температуру уходящей воды, измеренную термометрами или устройствами управления; штриховая линия указывает на температуру воды секции, работающей с вентиляторами на самой высокой скорости; пунктирная линия указывает на температуру воды самой холодной точки в оросителе.

В соответствии с рис. 5 это может произойти при температуре по влажному термометру -2°F (-18.9°C) для этой определенной градирни. Если сравнить рис. 6 с рис. 7, становится очевидным неоспоримое преимущество использования двухскоростных двигателей для гибкости в эксплуатации и уменьшения перепадов.

### Характеристики обледенения, типы оросителей и градирен

Траектория падающей воды в различных типах градирен тесно связана с типом образовавшегося льда и его расположением. На поперечно-точных градирнях, оснащенных разбрызгивающей насадкой, образуется лед на жалюзи, как показано на рис. 2 и 4, при этом случайные капли, вызванные разбрызгиванием, могут ударяться о жалюзи и замерзать почти мгновенно. Образование обычного льда, как показано на рис. 2, можно контролировать постепенным уменьшением скорости вентилятора или его выключением на некоторое время. При уменьшении скорости потока

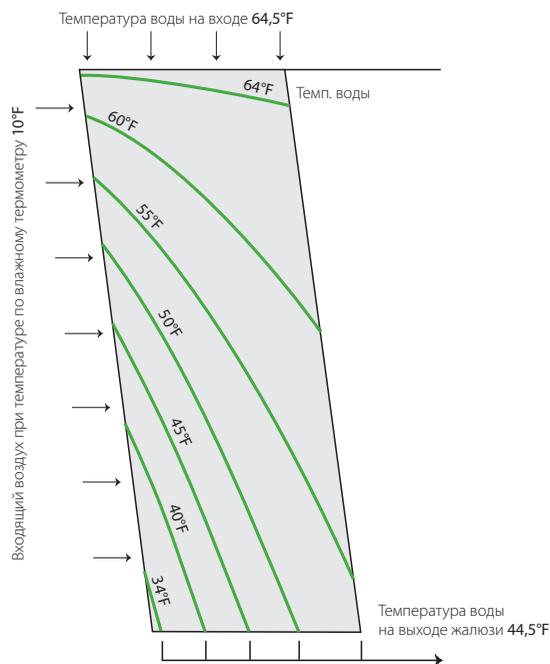


Рис. 5

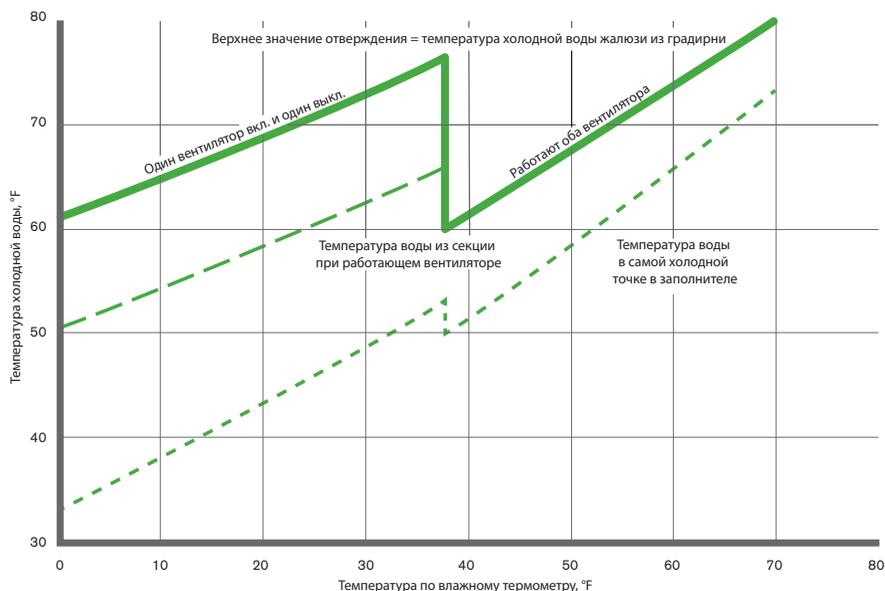


Рис. 6

воздуха, входящего в жалюзи, профиль падения воды станет вертикальным, жалюзи окажутся под потоком достаточно теплой воды, что вызовет таяние льда.

При образовании льда, блокирующего поток воздуха, часто срабатывает эффект самоограничения. Вода за рядом заблокированных жалюзи будет падать вертикально, что будет способствовать таянию льда. В зимнее время на градирнях можно наблюдать эффект калейдоскопа — смены замерзания и оттаивания.

Если лед нарастает, как показано на рис. 4, необходимо выбрать обратное направление работы вентиляторов (градирни с принудительной тягой) на некоторое время, длительность которого зависит от возможности образования льда на цилиндре вентилятора или механическом оборудовании. Благодаря обратному потоку воздуха на жалюзи не только льется теплая вода, но и обеспечивается подача выходящего теплого воздуха. На градирнях с естественной тягой, где обратное направление потока воздуха использовать не удастся, для удаления такого льда требуется специальная система распределения, в которой вода периодически отводилась бы на жалюзи.

Из-за обычно равномерной структуры потока, случайные капли редко попадают за пленочный ороситель, а на поперечноточных градирнях с такими оросителями лед на жалюзи образуется в малом количестве или не образуется совсем. В этих случаях лед на жалюзи обычно образуется из-за сильных ветров, снега, дождя со снегом и других природных воздействий.

Термоформованный ороситель из пленки ПВХ используется в поперечноточной конфигурации и используется для ограничения количества образования льда на оросителе. При проведении расширенных проверок, проводимых при нулевой тепловой нагрузке и морозной погоде, практически не удалось образовать значительный объем льда. При выполнении этих испытаний, на передней кромке оросителя образуется тонкий слой льда, который превращается в слякоть при блокировке потока воздуха и вскоре исчезает. Это особенно верно при конфигурациях, в которых жалюзи встроены в ороситель. Поэтому при обеспечении нормальных мер по контролю, градирни достаточно хорошо работают в зимнее время. Это особенно подтверждается при низких нагрузках, ситуациях с низкими температурами. Такие градирни обычно обеспечивают холодную воду при 40°F (4.4°C) в указанных диапазонах от 10°F (-12.2°C) до менее 2°F (16.7°C).

Поскольку ороситель противоточной градирни (рис. 6) поднимается значительно выше уровня бассейна холодной воды, создание случайных капель воды благодаря свободному падению не зависит от типа используемого оросителя. Капли, которые разбрызгиваются в направлении внешней кромки, будут замерзать на крае бассейна и нижней части конструкции. Из-за потоков воздуха, падающая вода ударяется и замерзает на средней части конструкции (или на жалюзи, если они установлены). Кроме того, вода, которая обычно ударяется о внутреннюю сторону корпуса, может падать далее по внутренней стороне выступающей конструкции, где также замерзает. Сочетание этих эффектов изначально приводит к образованиям льда, как показано на рис. 1. Если нет слишком низкой температуры окружающего воздуха, лед будет образовываться, как показано на рис. 3.

Меры по удалению льда для противоточных градирен схожи с мерами, которые используются для поперечноточных градирен, однако являются менее эффективными. На вертикальных сторонах противоточных градирен области воздухозаборников располагаются за пределами досягаемости падающей воды при выключенных вентиляторах. Поэтому в этом режиме работы обычно

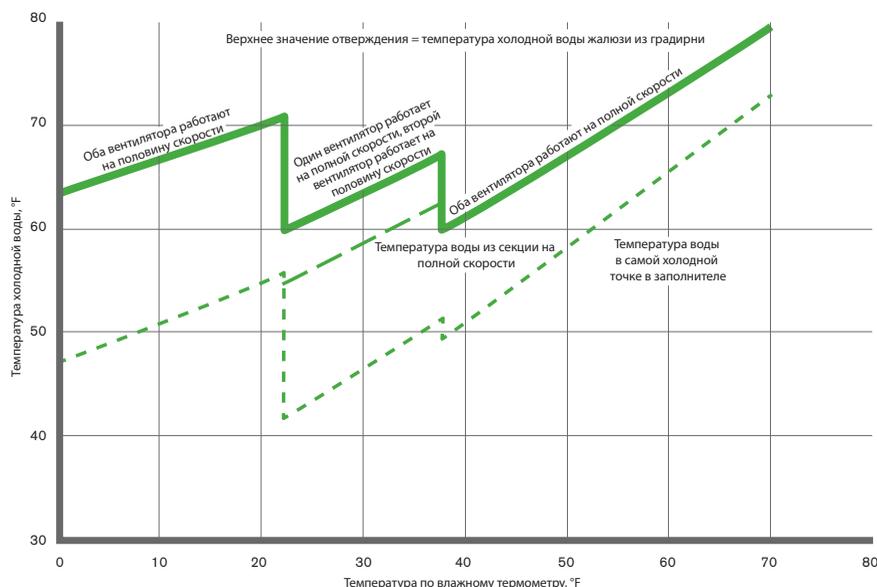


Рис. 7

удаляется только лед, который только начал скапливаться на внутренней стороне от воздухозаборников. Однако благодаря структуре противоточной градирни эта способность устранения льда может оказаться достаточной в большинстве случаев. Лед на внешней стороне можно удалить, включив вентиляторы в обратном направлении, однако для достижения приемлемых результатов может потребоваться несколько попыток. Обратное направление потока воздуха обеспечивает относительно малое количество теплой воды для таяния льда. Поэтому с помощью теплого воздуха следует выполнить большую часть работы, что значительно замедляет этот процесс. Количество попыток, разумеется, зависит от возможности образования льда на механическом оборудовании при обратном направлении потока воздуха.

Многие операторы стараются не использовать функцию обратного направления вентилятора на противоточных градирнях, так как из воздухозаборников выходит слишком малое количество воды. При этом может образоваться значительное количество льда поблизости, что может стать причиной возникновения опасных ситуаций, требующих особых мер.

Хотя на оросителях из пленки для противоточных градирен проводилось меньше проверок льдообразования, есть причины полагать, что результаты схожие с результатами поперечноточных градирен. Предполагается относительно небольшое льдообразование на оросителе с тенденцией к самоограничению.

### **Управление водным потоком**

Большие градирни, предназначенные для работы с замерзающей водой, должны быть оснащены системой распределения воды, которую можно регулировать для обеспечения наилучшей концентрации протекающей воды рядом с воздухозаборниками градирни. Это относится в особенности к градирням с естественной тягой, в которых недоступны элементы управления воздушным потоком. Это обеспечивает не только наиболее сложное охлаждение, но и быстрое повышение температуры воздуха во избежание замерзания на оросителях. Самым важным является то, что рядом с местом наибольшего образования льда, располагается наибольший объем относительно теплой протекающей воды.

Для упрощения запуска и работы на градирнях с принудительной тягой рекомендуется обеспечить возможность полного байпаса воды непосредственно в бассейн для холодной воды, это также является обязательным условием при работе градирен с естественной тягой. При запуске в зимнее время, вода в бассейне может иметь температуру, близкую к замерзанию, а общий расход воды должен быть направлен обратно в бассейн для холодной воды после рабочей нагрузки, а не через ороситель. Следует продолжать работу в этом режиме байпаса, пока температура запасов воды не достигнет допустимого уровня (обычно, приблизительно 80°F (26.7°C)), после чего байпас можно закрыть для направления общего расхода воды через ороситель.

Даже во время работы градирни, комбинация низкой нагрузки, низкой температуры окружающей среды и сильные потоки воздуха могут способствовать процессу льдообразования, несмотря на обычные процедуры управления воздушным и водным потоками. В этих случаях, это может быть необходимо периодически для отклонения общего байпаса расхода воды для обеспечения теплосодержания в циркулирующей воде. Модуляция байпаса не допускается на градирнях с естественной тягой и на градирнях с принудительной тягой, если часть воды продолжает протекать через ороситель.

Если не удастся избежать пониженного расхода воды с помощью регулировки насоса или перепуска, на поперечноточных градирнях может быть установлена продольная перемычка в бассейнах для горячей воды для концентрации воды с внешней кромки оросителя. Высота и расположение этой перемычки зависит от установленного минимально-допустимого расхода воды. При повышенных расходах, перемычка будет погружена в воду, что обеспечит доступ воды к внутренней кромке оросителя.

### **Сравнение принудительной тяги с форсированной тягой**

Для работы в зимнее время большое значение имеет тип используемого вентилятора и его расположение относительно потока воздуха, проходящего через градирню. Ниже приведено сравнение характеристик обледенения градирен с принудительной тягой и пропеллерными вентиляторами и градирен с форсированной тягой и нагнетательными вентиляторами.

На градирнях с принудительной тягой и пропеллерными вентиляторами, холодный воздух входит в жалюзи с относительно невысокой скоростью и нагревается водой в заполнителе, после чего выходит через вентилятор с относительно высокой скоростью. Эта высокая скорость выхода обеспечивает минимальный объем рециркуляции насыщенного воздуха во входящие жалюзи. Поэтому льдообразование возможно только в местах пассивного входа воздуха в связи с работой градирни. Вентилятор и механическое оборудование подвержены только теплему воздуху. Это верно даже при выключенном вентиляторе. Конвекционные потоки, вызванные теплом от протекающей воды, обогревают механическое оборудование нагретым воздухом.

На поперечноточных градирнях область, занятая заполнителем, входит под углом внутрь градирни сверху вниз. Во время работы вентилятора на полную мощность вода, протекающая че-

рез наполнитель, будет падать под этим углом из-за скорости горизонтального потока воздуха, с которым вода входит в контакт. При уменьшении скорости или остановке вентилятора скорость входящего воздуха значительно уменьшается и вода будет падать вертикально. При этом вода разбрызгивается на жалюзи, постепенно спадая в бассейн градирни. За исключением очень тяжелых ситуаций этой воды достаточно для завершения процесса устранения льда.

При очень низкой температуре и (или) тепловой нагрузке может потребоваться включить обратное направление вращения вентилятора. В этом режиме воздух идет вниз через вентилятор, подхватывая тепло, проходящее через наполнитель, и выходит через жалюзи. Этот обратный поток воздуха сдвигает падающую воду наружу, увеличивая поток воды на жалюзи. Сочетание теплой воды и теплого воздуха завершают процесс устранения льда.

Работа вентилятора в обратном направлении должна быть ограничена по времени — не более 1 или 2 минут во избежание чрезмерного обледенения вентилятора. Если не образовалось чрезмерное количество льда, обычно этого времени более чем достаточно для завершения устранения льда на жалюзи. Для определения необходимого времени, чтобы растаял образовавшийся лед, следует следить за этим процессом. Кроме того, во избежание возможного повреждения вентилятора, цепи привода и электрической системы между моментом отключения двигателя и его запуском в обратном направлении должно пройти не менее двух минут. Это время необходимо для устранения инерции вращения вентилятора.

Наименее приспособленной для работы с замерзающей водой является градирня с форсированной тягой и нагнетательными вентиляторами. Главным недостатком использования такого типа градирен в холодное время является то, что вентиляторы расположены на входе потока холодного воздуха, а не на выходе потока теплого воздуха. Из-за расположения вентиляторов следует соблюдать осторожность, чтобы обеспечить надлежащую работу и ориентацию во избежание рециркуляции.

Для тех, кто не знаком с понятием рециркуляции: это повторное введение части потока насыщенного выходящего воздуха обратно в поток относительно сухого входящего воздуха. В летнее время подобные ситуации вызывают нежелательное повышение температуры холодной воды из-за повышения температуры по влажному термометру воздуха, входящего в градирню. Зимой искусственно созданная влажность входящего воздуха быстро конденсируется и замерзает в самых холодных точках градирни — в областях воздухозаборников (вентилятор).

Разумеется, при любом воздушном режиме рециркуляция — это возможность воздуха входить и выходить из градирни с относительной скоростью. Если скорость выходящего воздуха превышает скорость входящего, способность градирни к рециркуляции снижается. И наоборот, высокая скорость входящего воздуха образует ограниченные области низкого давления, в которых увеличивается рециркуляция.

На обычных градирнях с принудительной тягой и пропеллерными вентиляторами средняя скорость выходящего воздуха приблизительно в 2,5 раза выше входящей скорости. Этот положительный коэффициент 2,5/1 минимизирует возможность возникновения рециркуляции. И наоборот, скорость воздуха в области вентилятора на градирнях с форсированной тягой и нагнетательными вентиляторами примерно в 3 раза выше скорости выходящего воздуха. Этот отрицательный коэффициент 3/1 может обеспечивать некоторую рециркуляцию насыщенного воздуха в воздухозаборниках вентиляторов.

Из-за неблагоприятной ситуации возникает проблема — входящий поток воздуха отклоняет выходящий поток на достаточное расстояние для образования задержки в области отрицательного давления, созданного благодаря скорости входящего воздуха вентилятора.

Ни при каких обстоятельствах на градирнях с форсированной тягой не должно меняться направление потока воздуха. (В случае с центробежным вентилятором это является теоретическим утверждением из-за невозможности выполнения.) При изменении направления потока воздуха влага концентрируется на механическом оборудовании, которая повторно замерзает при возвращении в нормальный поток воздуха. К сожалению, постепенная остановка вентилятора также может привести к этой неблагоприятной ситуации. Система распределения распылительного типа обычно используется на градирнях с принудительной тягой и вызывает движение насыщенного воздуха в нижнем направлении, который затем выходит через неработающий вентилятор. Хотя движение этого воздуха не может помешать устранению льда, достигается определенный эффект льдообразования после перезапуска вентилятора.

На градирнях с принудительной тягой можно работать при температуре замерзания воды, однако следует соблюдать осторожность для обеспечения надлежащей работы и ориентации во избежание рециркуляции.