

Особенности обеспечения эффективной работы пластинчатых теплообменников рекуперативного типа в суровых климатических условиях

На формирование облика современных климатических систем в России оказывает влияние ряд факторов, послуживших стимулом существенного роста интереса к рекуперации тепловой энергии во вновь проектируемых и реконструируемых системах вентиляции и кондиционирования воздуха. Экономическая обоснованность применения рекуператоров более чем очевидна в условиях относительно сурового российского климата, поскольку она непосредственным образом зависит от температурного контраста. Чем больше разница температур воздуха снаружи и внутри здания, тем больше достигаемый экономический эффект. Единственным видимым препятствием к их широкому внедрению является опасность обмерзания. В связи с этим представляет несомненный интерес детальный анализ проблем обеспечения работоспособности и эффективности функционирования теплообменников с учетом особенностей их эксплуатации в суровых климатических условиях, характерных для северо-восточных регионов России. Ниже произведена систематизация вариантов решений, предусматривающих профилактику обмерзания, либо сокращение вызываемых при этом отрицательных последствий. Приводятся рекомендации по конструктивному оформлению теплообменников и их инженерной обвязке с учетом обеспечения эффективной работы зимой при низких температурах наружного воздуха.

Физические основы обмерзания теплообменников

При охлаждении влажного воздуха происходит увеличение относительной влажности вплоть до состояния насыщения, после чего начинается интенсивная конденсация избыточной влаги. В результате соответствующим образом уменьшается абсолютное влагосодержание. При дальнейшем охлаждении ниже температуры замерзания имеет место кристаллизация конденсированной влаги. Этот процесс характерен для систем рекуперации, в которых при низкой температуре наружного воздуха осуществляется его подогрев путем частичной передачи тепла, содержащегося в удаляемом воздухе систем вытяжной вентиляции.

В процессе рекуперации тепла приточный воздух нагревается, а удаляемый охлаждается. При этом, как отмечалось выше, при определенных обстоятельствах возможно образование конденсата. Указанное, с одной стороны, приводит к существенному повышению эффективности теплообмена за счет скрытой теплоты испарения. С другой стороны, при отсутствии надлежащих способов отвода конденсата может наблюдаться уменьшение теплопередачи за счет формируемого на поверхности пластин слоя жидкости, а также уменьшение живого сечения воздушных каналов, что, в свою очередь, приводит к увеличению потерь статического давления. В случаях, когда приточный воздух имеет достаточно низкую температуру, скапливаемый внутри теплообменника конденсат замерзает, закупоривая частично или полностью воздушные каналы на стороне вытяжки. В результате расход удаляемого воздуха снижается либо прекращается совсем. Соответственно, эффективность рекуперации падает, что выражается в недостаточном предварительном подогреве приточного воздуха, компенсируемым установкой дополнительных внешних нагревателей (калориферов) сравнительно большой мощности.

Указанный физический процесс по существу протекает одинаковым образом в теплообменниках различного типа, например кожухотрубных, пластинчатых, спиральных, ламельных, ротационных и т.п. Температура обмерзания, т.е. такая температура приточного воздуха, начиная с которой начинается процесс кристаллизации конденсируемой влаги на стороне вытяжки, зависит от следующих факторов:

- теплофизические параметры на вытяжке (температура t_{11} и относительная RF_{11} или абсолютная x_{11} влажность воздуха),
- эффективность теплообмена;
- массовое отношение воздушных потоков на притоке и вытяжке (холодный воздух/теплый воздух), m_2 / m_1 ;
- конструктивные особенности теплообменника.

Наиболее интересным является анализ особенностей физических процессов, имеющих место при работе теплообменников пластинчатого типа, что, с одной стороны, определяется их относительно высокой эффективностью. С другой стороны, температурные поля, формируемые на рабочих поверхностях пластинчатых теплообменников, являются существенно неравномерными, вследствие чего последующий их анализ не тривиален. При этом следует отметить, что для России наиболее характерным является использование именно пластинчатых теплообменников. Полученные ниже результаты далеко не очевидны и представляют определенный интерес с точки зрения использования теплообменников указанного типа в качестве ключевого элемента систем рекуперации тепла в системах вентиляции различного назначения.

Расчет температуры обмерзания пластинчатых теплообменников

Ниже рассматривается вариант пластинчатых теплообменников (см. Рис.1) с поперечным направлением воздушных потоков, равномерно распределенных между пластинами. Т.е. все пластины находятся в одинаковых теплофизических условиях.

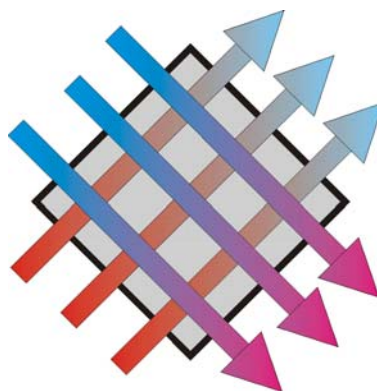


Рис. 1

Вследствие поперечной направленности потоков нагрев приточного и охлаждение удаляемого воздуха происходят неравномерно вдоль обеих сторон пластины, что существенно затрудняет расчет. Однако если условно разделить пластины на некоторое число равновеликих по площади частей (например, 10 x 10), то расчеты теплопередачи, также как и процесса возможной конденсации значительно упрощаются и могут быть реализованы численным образом. Подобный расчет методом конечных элементов показывает наличие так называемого «холодного угла», где удаляемый воздух охлаждается наиболее

интенсивным образом. Чтобы теоретически рассчитать температуру обмерзания необходимо произвести варьирование температуры приточного воздуха при неизменных теплофизических параметрах на вытяжке, пока температура «холодного угла» не будет равна 0°C. (см. Рис. 2).



Рис. 2

Приведенные результаты вычислений основаны на следующих допущениях:

- температура удаляемого воздуха равна температуре насыщения (100% относительная влажность);
- коэффициент теплопередачи от конденсата к пластине бесконечно велик, вследствие чего температура конденсата равна температуре пластины;
- теплоемкость конденсата пренебрежимо мала и в расчете не учитывается;
- энергия фазового перехода вода/лед также не учитывается вследствие малости фактических значений.

С использованием метода конечных элементов аналогичным образом могут быть произведены расчеты в разнообразной постановке задач. В таблице 1 представлены результаты расчета минимальных значений температуры приточного воздуха при различных значениях температуры на вытяжке для одной из конкретных моделей пластинчатых теплообменников производства фирмы NOVAL.

Таблица 1

Температура обмерзания при различных значениях температуры на вытяжке t_{11} , относительной влажности удаляемого воздуха RF_{11} и сухой эффективности рекуперации Φ_2 при массовом отношении воздушных потоков на притоке и вытяжке $m_2 / m_1 = 1,0$.

t_{11}	RF_{11}	Эффективность рекуперации тепла Φ_2 (сухая)					
		40%	45%	50%	55%	60%	65%
20°C	30%	-21°C	-15°C	-11°C	-8°C	-5°C	-3°C
	40%	-21°C	-16°C	-11°C	-8°C	-5°C	-3°C
	50%	-21°C	-16°C	-11°C	-8°C	-6°C	-3°C
	60%	-21°C	-16°C	-11°C	-9°C	-6°C	-4°C
	75%	-23°C	-17°C	-13°C	-10°C	-6°C	-4°C
	90%	-25°C	-18°C	-14°C	-10°C	-6°C	-7°C
25°C	30%	-26°C	-19°C	-15°C	-10°C	-6°C	-3°C
	40%	-27°C	-19°C	-15°C	-11°C	-7°C	-5°C
	50%	-27°C	-20°C	-16°C	-12°C	-7°C	-5°C
	60%	-30°C	-22°C	-17°C	-13°C	-8°C	-5°C
	75%	-33°C	-25°C	-20°C	-13°C	-9°C	-6°C
	90%	-36°C	-28°C	-22°C	-15°C	-10°C	-7°C
30°C	30%	-32°C	-24°C	-17°C	-13°C	-8°C	-5°C
	40%	-33°C	-27°C	-20°C	-13°C	-8°C	-5°C
	50%	-38°C	-27°C	-21°C	-14°C	-11°C	-6°C
	60%	-40°C	-30°C	-21°C	-17°C	-11°C	-7°C
	75%	<-40°C	-33°C	-25°C	-18°C	-13°C	-9°C
	90%	<-40°C	-40°C	-30°C	-21°C	-16°C	-11°C

Исходя из представленных результатов, можно сделать следующие выводы:

- Опасность замораживания снижается по мере увеличения влажности удаляемого воздуха. Особенно заметным является такое снижение при высоких температурах на вытяжке.
Замечание: Если абсолютная влажность удаляемого воздуха составляет менее 3,8 г/кг, то точка росы ниже 0°C. В данном случае влага не конденсируется на поверхности теплообменника, а непосредственно переходит в твердую фазу путем объемной сублимации. Таким образом, для того чтобы имело место поверхностное обмерзание теплообменника, абсолютная влажность удаляемого воздуха должна превышать 3,8 г/кг,
- Опасность замораживания увеличивается с ростом сухой эффективности рекуперации.
- По мере увеличения температуры на вытяжке опасность обледенения снижается.
- С увеличением массового отношения воздушных потоков на притоке и вытяжке m_2 / m_1 (холодный воздух/теплый воздух) опасность обледенения возрастает (большое количество холодного воздуха более интенсивно охлаждает небольшие количества удаляемого воздуха).

При анализе приведенных данных необходимо учитывать их теоретический характер. На практике могут иметь место определенные отклонения от расчетных значений.

Особенности работы пластинчатых теплообменников в условиях их обмерзания

Теоретический анализ и практический опыт эксплуатации показывают, что работа пластинчатых теплообменников в условиях обмерзания определяется следующими факторами:

- аэродинамической характеристикой вытяжного вентилятора;
- положением теплообменника и направленностью воздушных потоков;
- конструктивным исполнением теплообменника (Рис. 3), а именно, осуществляется ли перемещение удаляемого воздуха отдельными потоками с использованием специальных сепараторов (теплообменники канального типа), либо сплошным потоком, когда движение воздуха и, соответственно, образуемого конденсата не ограничено никакими направляющими ни в продольном, ни в поперечном направлениях (теплообменники открытого типа).

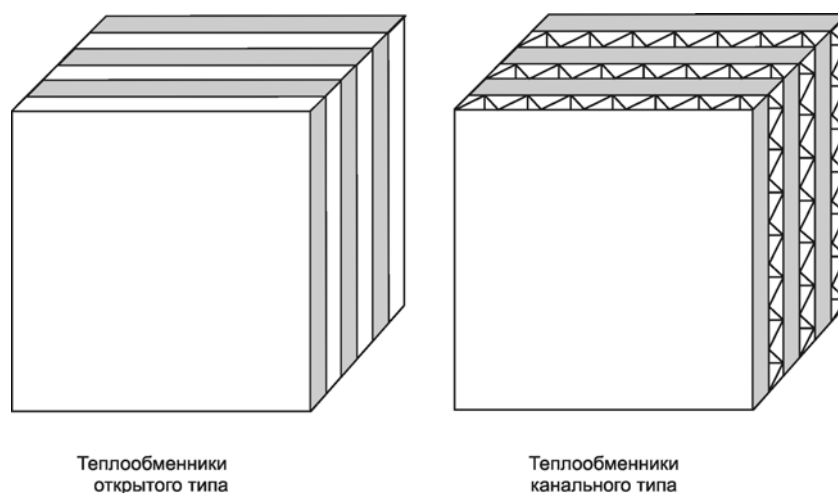


Рис. 3

Указанные факторы не являются полностью независимыми и, по крайней мере, частично оказывают влияние друг на друга. В результате возможно большое количество комбинаций, которые следует рассматривать самостоятельно. Ниже, однако, представлены результаты анализа только наиболее существенных их сочетаний отдельно для теплообменников открытого и канального типа.

Теплообменники открытого типа

Роль вентилятора.

При частичном обледенении пластинчатого теплообменника открытого типа происходит следующее (Рис. 4). Образующийся в «холодном углу» лед сужает проходное сечение на выходе удаляемого воздуха, что приводит к дополнительным потерям статического напора на стороне вытяжки.

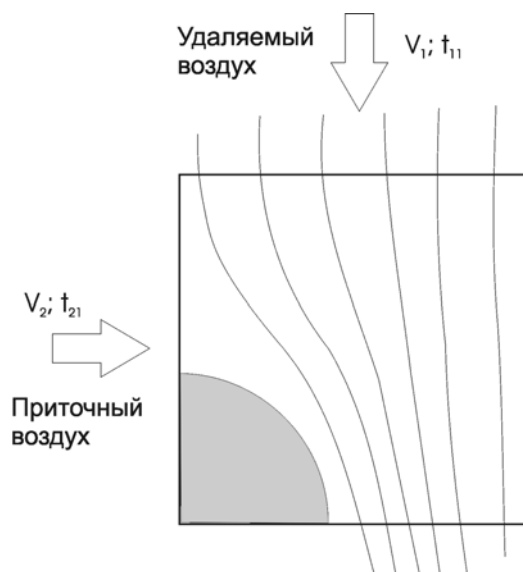


Рис. 4

Если вытяжной вентилятор имеет пологую характеристику, например, в случае использования крыльчатки (импеллера) с лопатками, загнутыми вперед, то при обмерзании происходит снижение расхода воздуха на вытяжке, в результате чего изменяется массовое отношение воздушных потоков на притоке и вытяжке, что в свою очередь способствует более интенсивному обмерзанию. Вновь увеличивается потеря напора, снижается расход, изменяется массовое отношение и данный процесс приобретает лавинообразный характер вплоть до полного обледенения теплообменника, который в результате прекращает свою работу. Обычно это не приводит к повреждению пластин и после оттаивания теплообменник вновь может функционировать полноценным образом.

В противоположность этому, если вытяжной вентилятор имеет крутую характеристику, например, в случае использования крыльчатки (импеллера) с лопатками, загнутыми назад, то расход воздуха при обмерзании остается практически неизменным даже при достаточно большом сужении выходного сечения. В этом случае эффективность теплообмена несколько снижается за счет увеличения скорости воздуха, т.е. уменьшается отвод тепла от удаляемого воздуха, особенно по мере приближения к выходному сечению. В результате, несмотря на некоторое небольшое изменение массового отношения в пользу приточного воздуха, дальнейшей интенсификации обледенения не происходит, процесс стабилизируется на определенной стадии и, в итоге, полного обледенения не наблюдается.

Положение теплообменника и направленность воздушных потоков.

Вычисления, результаты которых представлены выше, не учитывали, что образуемый внутри теплообменника конденсат под действием сил тяжести стекает сверху вниз. Принципиально указанный факт может приводить к двум прямо противоположным по своим результатам следствиям:

- Когда начинается процесс конденсации, точка росы довольно высока и образуемый конденсат содержит большое количество тепловой энергии. Кроме того, теплоемкость воды во много раз превышает теплоемкость воздуха. Таким образом, в случае образования большого количества конденсата при стекании вниз вместе с ним переносится тепло достаточное для подогрева холодной части пластин, предотвращая или снижая их обледенение

- Если количество образуемого конденсата невелико, то переносимой с ним тепловой энергии оказывается недостаточно для обогрева холодной части. В этом случае стекающий конденсат полностью или в своем большинстве замерзает, ускоряя тем самым процесс замораживания теплообменника.

В связи с изложенным выше необходимо рассмотреть следующие варианты:

1. Горизонтальное расположение теплообменников.

С учетом симметрии возможны четыре различающиеся между собой схемы организации воздушных потоков (Рис. 5).

<p>а) Сила тяжести и воздушный поток направлены в одну сторону, способствуя переносу конденсата в холодную зону. При большом количестве конденсата опасность заморзания снижается. При малом количестве конденсата опасность заморзания увеличивается.</p>	<p>б) Сила тяжести и воздушный поток направлены в противоположные стороны. Если сила тяжести превалирует над скоростным напором, то конденсат стекает в теплую зону. В противоположном случае процесс аналогичен схеме а).</p>	<p>с) Сила тяжести и воздушный поток увлекают конденсат в теплую зону. Опасность заморзания снижается.</p>	<p>д) Сила тяжести и воздушный поток увлекают конденсат в холодную зону. Процесс аналогичен схеме а).</p>
<p>1 = выделение тепла (вытяжка) 2 = поглощение тепла (приток)</p>		<p>= холодный угол = конденсат</p>	

Рис. 5

2. Диагональное расположение теплообменников.

Возможны также четыре различающиеся между собой схемы организации воздушных потоков (Рис. 6).

<p>а) Сила тяжести и воздушный поток способствуют переносу конденсата в холодную зону. При большом количестве конденсата опасность замерзания снижается. При малом количестве конденсата опасность замерзания увеличивается.</p>	<p>б) Сила тяжести и воздушный поток способствуют переносу конденсата в холодную зону, увеличивая опасность замерзания (за исключением случая образования очень большого количества конденсата).</p>	<p>в) Сила тяжести и воздушный поток увлекают конденсат в теплую зону. Опасность замерзания снижается.</p>	<p>г) Сила тяжести и воздушный поток увлекают конденсат в теплую зону. Опасность замерзания снижается.</p>
<p>1 = выделение тепла (вытяжка) 2 = поглощение тепла (приток)</p>		<p>= холодный угол = конденсат</p>	

Рис. 6

В общем случае пластинчатые теплообменники не предназначены для горизонтальной установки в силу следующих причин:

- дренаж конденсата происходит неуправляемым образом;
- конденсат может попадать в приточный воздух через малейшие неплотности;
- в случае обледенения пластины теплообменника могут быть повреждены под действием тяжести образуемого при этом льда;
- капли конденсата могут переноситься вместе с потоком воздуха (в этом случае рекомендуется установка элиминаторов).

Кроме того, следует иметь в виду, что при отключении вентиляционной установки конденсат остается на пластинах и может замерзать при низких температурах наружного воздуха. Таким образом, горизонтальная установка пластинчатых теплообменников связана с гораздо большей опасностью и, возможно, более серьезными последствиями их замерзания.

Теплообменники канального типа

При перемещении воздуха по прямоугольным каналам обледенение происходит несколько иным образом, чем это имеет место в теплообменниках открытого типа.

Обледенение канала в выходном сечении полностью препятствует прохождению воздуха через него. В результате, если, например, перекрыт

льдом первый канал, то второй канал становится первым. Приточный, холодный воздух теперь, действуя на него, приводит к образованию очередной ледяной пробки и закупориванию этого канала. Таким образом, процесс развивается дальше (Рис. 7). В итоге теплообменники канального типа замерзают значительно быстрее, чем теплообменники открытого типа.

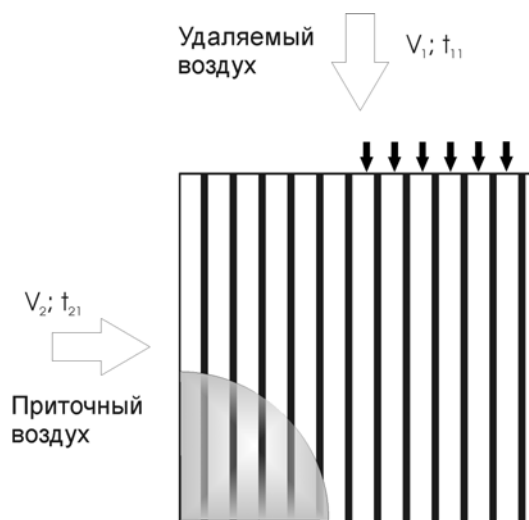


Рис. 7

Роль вентилятора.

Влияние характеристики вентилятора на работу рекуператора в этом случае аналогично имеющему место при использовании теплообменников открытого типа.

Крутая характеристика. Увеличение потерь статического давления приводит к снижению расхода воздуха через теплообменник, интенсифицируя процесс обледенения вплоть до полного замерзания.

Пологая характеристика. Большее количество воздуха проходит через каждый из оставшихся работоспособных каналов. Массовое отношение воздушных потоков в этих каналах изменяется в пользу удаляемого воздуха. Теплообменник, имевший первоначально квадратное сечение, превращается в прямоугольный теплообменник. При этом интенсивность обледенения и опасность его полного замораживания снижаются.

Положение теплообменника и направленность воздушных потоков.

Поскольку воздух проходит через теплообменник по каналам, силы гравитации оказывают гораздо большее влияние на процесс обледенения.

1. Горизонтальное расположение теплообменников (Рис. 8).

<p>a) Сила тяжести и воздушный поток способствуют переносу конденсата в холодную зону. При большом количестве конденсата опасность замерзания снижается. При малом количестве конденсата опасность замерзания увеличивается.</p>		<p>b) Сила тяжести и воздушный поток направлены в противоположные стороны. Если сила тяжести превалирует над скоростным напором, то конденсат стекает в теплую зону. В противном случае процесс аналогичен схеме a).</p>		<p>c) Воздушный поток увлекает конденсат в холодную зону. При большом количестве конденсата опасность замерзания снижается. При малом количестве конденсата опасность замерзания увеличивается.</p>	<p>d) Аналогично схеме c).</p>
<p>1 = выделение тепла (вытяжка) 2 = поглощение тепла (приток)</p>		<p>= холодный угол = конденсат</p>			

Рис. 8

2. Диагональное расположение теплообменников. (Рис. 9).

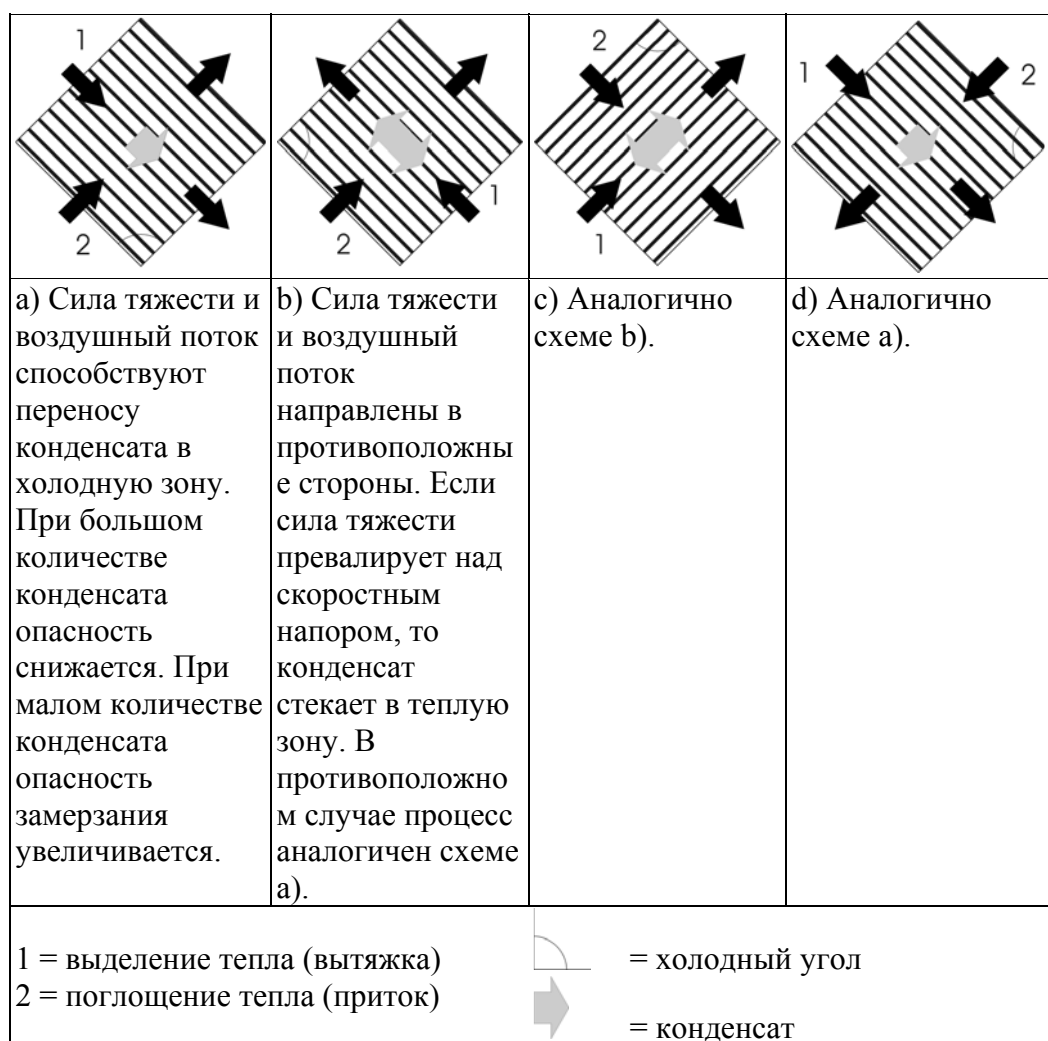


Рис. 9

Теоретически ситуация при горизонтальном расположении теплообменников аналогична имеющей место в случае использования теплообменников открытого типа. Однако, с практической точки зрения опасность обледенения при этом несколько выше, поскольку в канальных теплообменниках дренирование конденсата в направлении противоположном воздушному потоку затруднено в большей степени.

Представленные материалы позволяют констатировать следующее:

- Использование вытяжных вентиляторов с крутой аэродинамической характеристикой предотвращает или снижает интенсивность обледенения, что однозначным образом диктует целесообразность их использования.
- Пластинчатые теплообменники открытого типа имеют очевидные преимущества в сравнении с канальными теплообменниками, поскольку последние более склонны к обмерзанию.
- В отношении расположения теплообменников и организации воздушных потоков разработка общих рекомендаций принципиально невозможна. В каждом конкретном случае следует руководствоваться конкретными обстоятельствами, которые, прежде всего, определяются количеством образуемого конденсата, а также скоростью воздуха на вытяжке.

Методы борьбы с обмерзанием теплообменников

Прежде всего, необходимо иметь в виду, что обмерзание пластинчатых теплообменников является вполне допустимым и при разработке систем рекуперации тепла отсутствует необходимость избегать частичного обледенения теплообменников на стороне вытяжки по следующим причинам:

- Большинство объектов не работает в ночное время, когда температура наружного воздуха достигает минимальных значений.
- При эксплуатации систем вентиляции, предусматривающих рекуперацию отходящего тепла, частичное обмерзание теплообменников на короткое время не оказывает заметного влияния на общую производительность и энергетическую эффективность систем.
- Формальный расчет дает пессимистическую оценку, не всегда соответствующую реальной действительности. В особой мере это относится к условиям низкой влажности воздуха, которая зимой в российских условиях редко превышает 3,8 г/кг внутри обслуживаемых помещений. При этом поверхностная конденсация вообще не происходит.

Подогрев приточного воздуха

Проблема обледенения теплообменника полностью решается путем предварительного подогрева приточного воздуха выше температуры обмерзания. Указанное может быть реализовано за счет частичного смешения свежего и удаляемого воздуха на притоке, либо используя дополнительные электрические нагреватели (ТЭНы) или калориферы. Следует иметь в виду, что подогрев необходим только в пределах «холодного угла», за счет чего габариты и мощность устанавливаемого оборудования могут быть существенным образом снижены. Тем не менее, подобное решение вряд ли целесообразно на практике, поскольку оно связано со значительным усложнением конструкции и дополнительными эксплуатационными затратами.

Регулирование массового отношения воздушных потоков на притоке и вытяжке

При уменьшении количества холодного приточного воздуха в принципе можно достигнуть условий, при которых количество ассимилируемого им тепла не приводит к переохлаждению сравнительно большого количества удаляемого теплого воздуха и, соответственно, к обмерзанию теплообменника. Однако, для достижения этого массовое отношение воздушных потоков m_2 / m_1 , как правило, должно не превышать 0,5. Причиной является то обстоятельство, что на вытяжке удаляемый воздух всегда значительно холоднее в выходном сечении по сравнению со входным.

Тем не менее, данная мера используется достаточно часто, поскольку в любом случае целесообразной является установка байпаса, позволяющего в летний период регулировать параметры воздуха на притоке. В силу этого дополнительные затраты оказываются невелики, будучи связаны только с необходимостью использования соответствующих средств автоматизированного контроля и органов управления. Следует отметить, что подобное техническое решение недостаточно эффективно с энергетической точки зрения, т.к. значительная часть приточного воздуха проходит через байпас, минуя теплообменник. Общая эффективность рекуперации при этом резко падает.

Особый интерес представляет конструктивное решение, представленное на Рис. 10, которое, однако, приемлемо только для пластинчатых теплообменников открытого типа. Поток холодного приточного воздуха на входе в теплообменник отклоняется в поперечном направлении с помощью плоского дефлектора маятникового типа, управляемого сигналами термостата, расположенного в «холодном углу». В результате на вытяжке удаляемый теплый воздух не переохлаждается в критической зоне ниже заданной температуры, что обеспечивается локальным ограничением доступа холодного воздуха. Таким образом, предотвращается процесс обледенения.

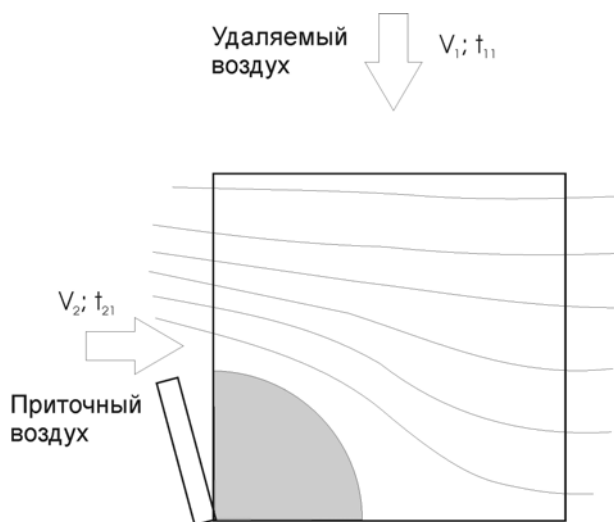


Рис. 10

За счет плоского дефлектора происходит сужение проходного сечения на входе со стороны притока, что приводит к увеличению потерь статического давления. Однако, указанный эффект не столь значителен, поскольку за дефлектором в теплообменниках открытого типа воздушный поток вновь расширяется.

Размораживание теплообменников

Ниже упоминаемые способы размораживания теплообменников предполагают возможность их обмерзания с последующим оттаиванием путем соответствующего переключения режимов работы. Имеют место следующие два варианта:

- Размораживание всего теплообменника.
При достижении определенной степени обмерзания теплообменника происходит отключение притока. В результате через теплообменник проходит только удаляемый теплый воздух со стороны вытяжки, за счет чего теплообменник размораживается. Указанный способ является простым и достаточно эффективным, поскольку отключение притока производится на короткое время (от 3 до 5 минут). Наилучшим в этом случае является управление по величине перепада статического давления на стороне вытяжки.
- Частичное размораживание (метод стратификации).
Данный способ предполагает наличие на входе со стороны притока многолепестковых, индивидуально управляемых воздушных клапанов (Рис. 11).

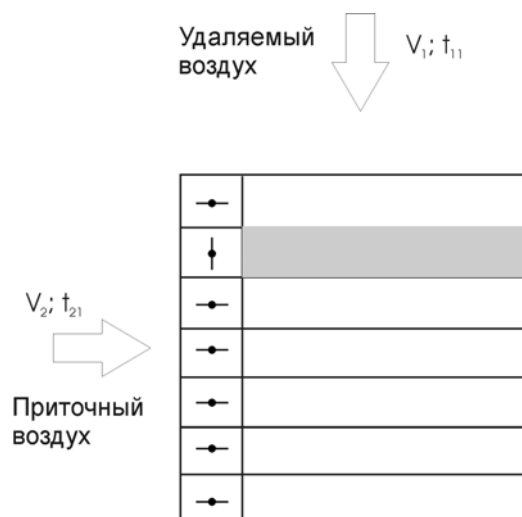


Рис. 11

При нормальном функционировании клапаны полностью открыты. По мере обмерзания теплообменника осуществляется управление лепестками клапана, за счет чего происходит кратковременное перекрытие отдельных частей воздушного потока на притоке. Таким образом, могут последовательно размораживаться одна секция за другой. Потери статического напора в этом случае незначительны. В целом данный способ размораживания достаточно эффективен. Однако, при этом система управления является значительно более сложной, чем в предыдущем варианте.

Снижение теплопередачи

Данный метод является чисто конструктивным, предусматривая специальное профилирование пластин с целью снижения коэффициента теплопередачи в «холодном углу». Однако, при этом невозможно осуществлять управление и регулирование, что ограничивает возможности метода, обеспечивая лишь снижение температуры обмерзания до некоторых пределов. В зависимости от условий эксплуатации могут потребоваться дополнительные меры борьбы с обмерзанием теплообменников.

Способы регулирования

Принципиально существуют три способа регулирования, имеющих своим назначением предотвращение либо ликвидацию последствий обмерзания теплообменников, различающиеся между собой источником информации, на основе которой строится соответствующая система управления.

- Температура приточного воздуха.
По показаниям термостата, устанавливаемого на входе воздушного потока со стороны притока, происходит управление работой байпасного клапана. В большинстве случаев осуществляется двухпозиционное регулирование. Использование тепловой энергии при этом оптимизируется не в полной мере.
- Температура воздуха на вытяжке в «холодном углу».
По показаниям термостата, устанавливаемого данным образом, осуществляется непрерывное регулирование, обеспечивая полноценную оптимизацию использования тепловой энергии в ходе управления

работой теплообменника в зимних условиях при охлаждении наружного воздуха ниже температуры обмерзания.

- Потеря статического давления на стороне вытяжки. Степень обледенения определяется по перепаду давления между входным и выходным сечениями потока удаляемого воздуха. С помощью пневмодатчика устанавливается значение перепада давлений, по достижении которого происходит срабатывание соответствующей системы защиты. Данный способ регулирования наиболее эффективен при использовании методов борьбы с обмерзанием теплообменников путем их периодического размораживания.

Заключение

Изложенные соображения носят качественный характер и основаны, прежде всего, на общих физических представлениях. Следует отметить, что в доступной нам научно-технической литературе строгое математическое описание анализируемых процессов, а также необходимые эмпирические данные отсутствуют. Результаты детального исследования обсуждаемых выше вопросов и полученные на их основе количественные зависимости являются предметом интеллектуальной собственности корпорации UNITED ELEMENTS. Тем не менее, представленные выше соображения иллюстрируют принципиальные возможности создания систем рекуперации тепла рациональных с инженерной точки зрения, которые обеспечивали бы высокую эффективность в части достигаемых теплотехнических показателей, связанных с энергосбережением, при удовлетворительных эксплуатационных свойствах систем в целом. Далеко не все обсуждаемые в настоящей статье возможности могут быть рекомендованы для практического использования. Тем не менее, имеются все основания полагать, что глубокое понимание механизмов и процессов, сопутствующих обмерзанию пластинчатых теплообменников, является необходимым условием их успешного внедрения в условиях сурового российского климата.

Следует заметить, что анализ технических решений, используемых рядом зарубежных фирм в части рекуперации тепла, показывает отсутствие учета особенностей эксплуатации вентиляционных агрегатов при низких температурах атмосферного воздуха. В некоторых аспектах имеет место явное противоречие изложенным в настоящей статье положениям. С точки зрения отечественного пользователя, данные технические решения нельзя рассматривать иначе, как ошибочные, поскольку они не соответствуют физической природе явлений, протекающих в условиях сурового климата.