

## Эффективность рекуперации теплоты в системах вентиляции при температурах наружного воздуха ниже температуры опасности обмерзания

М. Е. Дискин, канд. техн. наук, «КЛИМАТВЕНТМАШ»

На фоне роста стоимости энергоресурсов и ограничений на установленную мощность (например, в районах сложившейся застройки больших городов) возрастает интерес к устройствам утилизации теплоты удаляемого воздуха систем вентиляции. При относительно суровом российском климате, когда на большей части территории разность нормативных температур притока и вытяжки превышает 40 °С, следовало бы ожидать повсеместного применения указанных устройств. Одним из видимых препятствий к их широкому внедрению является опасность обмерзания [1].

Температура обмерзания, т. е. такая температура приточного воздуха, начиная с которой начинается процесс кристаллизации конденсируемой влаги на стороне вытяжки, зависит от следующих факторов [2]:

- 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.

Существует предельное значение влажности воздуха на вытяжке, ниже которой обмерзание не происходит. Этот предел соответствует уровню влажности в помещении, при котором точка росы (температура влажного термометра) равна 0 °С.

На рис. 1 показаны значения относительной влажности  $RF_{11}$ , соответствующие этому пределу при различных температурах на вытяжке  $t_{11}$ .

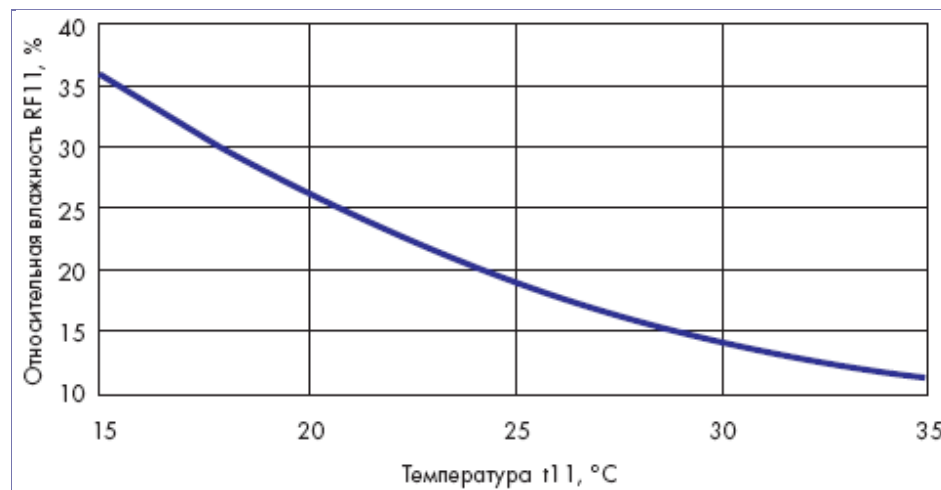


Рисунок 1.  
Нижний предел влажности по опасности обмерзания

В соответствии со СНиП 41-01-2003 [3] влажность воздуха не нормируется, но в качестве рекомендаций оптимальной нормы для обслуживаемой зоны жилых, общественных и административно-бытовых помещений в холодный и переходные периоды года могут быть приняты данные СНиП 2.04.05-91 [4]: относительная влажность 45–30 % при температуре воздуха 20–22 °С. СанПиН 2.2.4.548-96 [5] предписывают в качестве оптимальной нормы относительную влажность 40–60 % и в качестве допустимой нормы – не ниже 19 %.

Таблица

t11, °C	RF11 %	Температура обмерзания t21з °C при указанной эффективности рекуперации теплоты e (сухая), %					
		40	45	50	55	60	65
20	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	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	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

Следовательно, для этих помещений при соблюдении оптимальных условий существует опасность обмерзания теплообменника при рекуперации.

Условием начала процесса обмерзания является достижение температурой стенки воздушного канала на стороне вытяжного воздуха в самой холодной точке теплообменника («холодном углу») точки замерзания – 0 °C. Указанной температуре начала процесса обмерзания соответствует некоторая средняя температура удаляемого воздуха на выходе из теплообменника – t12з. Эта температура обычно выше 0 °C из-за существенной неравномерности поля температур воздуха на выходе из теплообменника. Из условий предотвращения обмерзания можно определить предельное количество теплоты, которое допустимо отвести от удаляемого воздуха к приточному (холодному воздуху):

$$Q_{пр} = W1 \times (t11 - t12з),$$

где W1 – теплоемкость удаляемого воздуха, кВт/°C.

На основании теплового баланса между потоками приточного и удаляемого воздуха можно определить температуру приточного воздуха после теплообменника t22з, соответствующую температуре обмерзания:

$$\begin{aligned} t22з &= t21з + Q_{пр} / W2 = \\ &= W1 / W2 \times (t11 - t12з) + t21з. \end{aligned}$$

При W1 / W2 = 1 из определения коэффициента эффективности рекуперации e:

$$\begin{aligned} t22з - t21з &= t11 - t12з = \\ &= e (t11 - t12з), \end{aligned}$$

где W2 – теплоемкость приточного воздуха, кВт/°C.

Если принять, что для постоянных температурно-влажностных условий на вытяжке и для определенной конструкции теплообменника средняя температура удаляемого воздуха на выходе из теплообменника, соответствующая температуре обмерзания – t12з, постоянна, то Q<sub>пр</sub> ~ const, а температура обмерзания обратно пропорциональна эффективности теплообменника:

$$t21з \sim A - B / e.$$

Следовательно, при обеспечении на выходе из теплообменника температуры вытяжного воздуха на предельном уровне из условий обмерзания, количество теплоты, которое допустимо отвести от вытяжного воздуха к приточному, примерно постоянно для постоянных температурно-влажностных условий на вытяжке.

Определяем предельную (по условиям обмерзания) эффективность рекуперации – eпр для произвольной температуры приточного воздуха t21:

$$e_{пр} = e (t_{11} - t_{21з}) / (t_{11} - t_{21})$$

или

$$e_{пр} \sim C / (t_{11} - t_{21}).$$

A, B и C постоянные коэффициенты.

В таблице [2] приведены значения температуры обмерзания  $t_{21з}$  при различных значениях температуры  $t_{11}$  и относительной влажности RF11 на вытяжке и сухой эффективности  $e$  при равных массовых расходах воздушных потоков на притоке и вытяжке. Эти данные получены на основании расчетов для одной из конкретных моделей пластинчатых теплообменников производства фирмы HOVAL, которые характеризуются высокой эффективностью и равномерностью теплообмена.

Как видно из таблицы при увеличении эффективности рекуперации повышается температура обмерзания.

На основании данных таблицы, используя вышеприведенные формулы, получена зависимость  $e_{пр}$  от значений температур приточного воздуха  $t_{21}$  при значениях влажности на вытяжке в пределах 30–50% и температуры на вытяжке 20 и 30 °C, представленная на рис. 2.

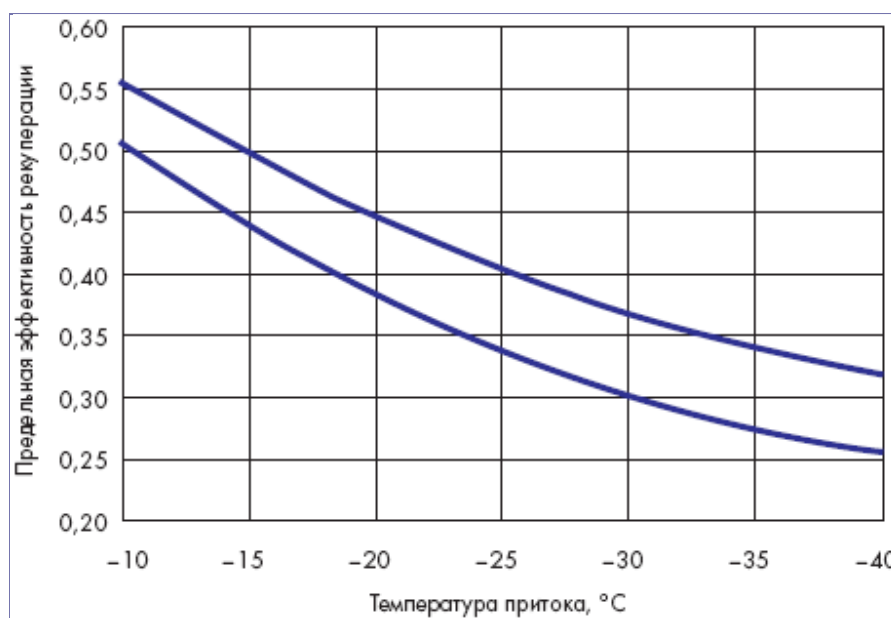


Рисунок 2.  
Предельная эффективность по условиям обмерзания

Как видно из рис. 2, даже при температуре притока  $-10$  °C эффективность не может быть выше 0,56. По мере снижения температуры притока на входе в теплообменник предельное значение эффективности снижается до 0,25–0,32 при  $-40$  °C. В работе 1 приведены примеры расчета системы вентиляции с утилизационными теплообменниками – пластинчатым и с промежуточным теплоносителем. Причем показано, что теплообменник с промежуточным теплоносителем работает при температуре притока  $-26$  °C без обмерзания в отличие от пластинчатого теплообменника. И делается вывод о том, что «...применение в составе приточно-вытяжных агрегатов пластинчатых тепло-утилизационных теплообменников ... связано с обмерзанием сконденсированной из удаляемого воздуха влаги». Однако сравниваемые теплообменники имели разные показатели эффективности: пластинчатый теплообменник – 0,5; теплообменник с промежуточным теплоносителем – 0,36. Следовательно, как видно из рис. 2, обмерзание в теплообменнике обусловлено не схемой циркуляции теплоносителей, а эффективностью теплообменника.

Все известные способы предотвращения обмерзания, кроме повышения температуры притока, тем или иным образом снижают тепловую мощность, отбираемую от вытяжного воздуха, чтобы обеспечить соблюдение уровня предельной температуры вытяжного воздуха. При этом по мере снижения температуры приточного воздуха увеличивается величина тепловой мощности для нагрева этого воздуха не только из-за роста разности температур, но и вследствие снижения допустимой эффективности рекуперации. Для определения потребной тепловой мощности и оценки снижения теплотребления при использовании устройств утилизации теплоты необходимо учитывать допустимый уровень эффективности рекуперации. В настоящее время эти данные в технических характеристиках устройств утилизации

теплоты отсутствуют. В лучшем случае сообщается значение температуры приточного воздуха, при котором возникает опасность обмерзания.

На основании изложенного можно сделать вывод, что представляемые производителями установок утилизации данные об эффективности теплообменника без учета влияния на них устройств предотвращения обмерзания недостаточны для оценки экономической эффективности или определения потребной тепловой мощности при температурах приточного воздуха ниже предела обмерзания.