

Что такое адиабатическое/испарительное охлаждение?

При косвенном испарительном охлаждении используется холод, полученный в результате фазового перехода (испарения) воды.

1. Факторы, влияющие на эффект охлаждения

При косвенном испарительном охлаждении испарение воды происходит на стороне вытяжного воздуха, удаляемого установкой ОВиК; теплый наружный воздух охлаждается с помощью теплоутилизатора. Эффект охлаждения наружного воздуха, таким образом, зависит от количества воды, испарившейся на стороне вытяжного воздуха, а также от типа и эффективности используемого теплоутилизатора. Увлажнение вытяжного воздуха может осуществляться практически до полного насыщения, влажность приточного воздуха при этом не увеличивается.

Количество испаренной воды, а также располагаемый эффект охлаждения, зависят от скорости потока воздуха, проходящего через испарительный охладитель, и его параметров (температуры и влажности).

Основные факторы:

- 1) температура воздуха до начала испарения: чем он холоднее, тем меньше влаги сможет поглотить, и, соответственно, тем слабее будет охлаждающий эффект;
- 2) влажность воздуха до начала испарения: чем больше воды уже содержит воздух, тем меньше влаги он сможет поглотить, и тем меньше будет итоговое снижение температуры.

Теоретически предельная температура при испарительном охлаждении достигается при полном насыщении воздуха водяным паром, то есть при относительной влажности 100 %. В системах HVAC экономически оправданным считается повышение влажности до уровня 92-95 % в зависимости от типа используемого испарительного охладителя.

2. Экономия энергии за счет косвенного испарительного охлаждения в системе ОВиК

Нагрузка на систему охлаждения здания определяется главным образом поступающей внутрь солнечной радиацией, а также внутренними тепловыделениями, создаваемыми людьми, оборудованием и системами освещения. Для поддержания требуемого уровня влажности воздуха в помещении расходуется дополнительная скрытая энергия, величина которой зависит от параметров наружного воздуха и имеющихся внутри помещения источников влаги.

Косвенное испарительное охлаждение применяется для снижения температуры приточного воздуха путем отвода явного тепла. Наряду с испарительными охладителями, как правило, используются механические холодильные установки. Соответствующая конструкция системы позволяет за счет непрямого испарительного охлаждения обеспечить значительную экономию электрической энергии, затрачиваемой на генерацию холода в механических установках.

Для определения количества энергии, которое можно получить за счет рекуперации при непрямом испарительном охлаждении и, соответственно, сэкономить уже на этапе проектирования, необходимо выполнить расчет на основе моделирования работы системы ОВиК в рассматриваемой части здания. При моделировании следует учесть изменения параметров наружного воздуха в течение года, а также требуемые рабочие характеристики системы ОВиК.

3. Пример расчета на основе модели системы ОВиК с косвенным испарительным охлаждением

Энергетический вклад косвенного испарительного (адиабатического) охлаждения показан на примере расчета для модели здания. Расчет выполнен на основе метеорологических данных по месту эксплуатации, в нем учтена общая фактическая энергия, затраченная на охлаждение модели здания, а также доля косвенного испарительного охлаждения в течение года. Полученные результаты могут использоваться для определения необходимой производительности системы (ее размеров) и оценки экономической выгоды от реализации этого способа повышения энергоэффективности в ходе проектирования системы.

Расчетные параметры для модели здания

Расчет на основе моделирования выполнен для установки ОВиК, конструкция которой показана на рис. 1, при этом принимались во внимание температурные кривые и параметры охлаждения, показанные на рис. 2. При работе системы выполняется компенсация температуры воздуха в помещении в теплое время года и соответствующее понижение температуры приточного воздуха. Теплоутилизация осуществляется с помощью пластинчатого теплообменника без переноса влаги из вытяжного воздуха в приточный воздух и без потерь воздуха. Соотношение объемных расходов приточного и вытяжного воздуха составляет 1:1.

При моделировании системы использовались следующие дополнительные расчетные параметры:	
Объемный расход воздуха установки ОВиК	52 500 м ³ /ч
Количество дней использования в неделю	7
Ежедневное время начала использования	6:00

Увеличение влажности в помещении	1,0 г/кг
Минимальная/максимальная влажность воздуха в помещении	40/65 % отн. влажн.
Точность регулирования для испарительного охлаждения	1,0 К
Эффективность увлажнения	94 %
Эффективность теплоутилизации	0,75

Общий годовой энергетический вклад рассчитывается суммированием отдельных данных, полученных при моделировании для каждого часа в течение года. Расчеты проведены на основе статистических данных для нескольких населенных пунктов. Эти данные взяты из глобальной метеорологической базы Meteoport версии 6.1 для городов Берлин, Мюнхен, Штутгарт, Вена и Брегенц.

Результаты моделирования

Моделирование наглядно демонстрирует, какая холодопроизводительность требуется в течение года, а также показывает ее распределение по следующим категориям: механическая генерация холода, косвенное испарительное (адиабатическое) охлаждение и теплоутилизация (холодоутилизация). Снижение требуемой холодопроизводительности, которую обеспечивает теплоутилизация вытяжного воздуха здания, относительно низка, даже при значениях коэффициента эффективности рекуперации тепла до 0,7; это связано с малой разницей температур в режиме охлаждения. Однако дополнительное снижение температуры вытяжного воздуха за счет косвенного испарительного (адиабатического) охлаждения приводит к значительному снижению нагрузки на механическую систему холодоснабжения.

Результаты моделирования, относящиеся к нормальным летним условиям, демонстрируют усредненный вклад адиабатического охлаждения в течение длительного периода эксплуатации системы, поэтому они пригодны для оценки возможной экономии энергии за счет непрямого испарительного охлаждения. В течение года параметры наружного воздуха сильно изменяются; ясно, что холодильное оборудование должно обеспечивать достаточную мощность охлаждения при любых наружных условиях. Таким образом, при определении необходимой общей производительности системы следует использовать результаты моделирования с учетом предельных значений температуры в теплое время года. Если, требуется учет будущих изменений климатических условий, то в процессе моделирования могут быть добавлены прогнозируемые метеорологические данные, при условии их достаточной репрезентативности.

Имитационное моделирование здания						
Город		Берлин	Мюнхен	Штутгарт	Вена	Брегенц
Q_K (32 °C, 40 % отн. вл.)	кВт	321				
Количество часов работы за год	ч/г	912	758	1 127	1 213	727
Q_K , общ.*	кВт	560	371	486	598	538
Q_K , механич.*	кВт	351	269	289	416	364
Q_K , испар. + теплоутилиз.*	кВт	209	102	197	182	174
W_K , общ.	кВт·ч/г	120 098	93 628	154 993	184 584	111 707
W_K , механич.	кВт·ч/г	53 887	44 849	67 192	96 235	66 994
W_K , испар.	кВт·ч/г	56 479	42 871	72 132	72 873	38 741
W_K , теплоутилиз.	кВт·ч/г	9 733	5 909	15 669	15 477	5 972
$\eta_{рег.}$	%	55,1	52,1	56,6	47,9	40,0

* Моделирование с учетом предельных значений для теплого времени года

В таблице представлены результаты моделирования работы системы ОВиК для пяти населенных пунктов. Энергетический вклад непрямого испарительного охлаждения приводит к значительному снижению необходимой холодопроизводительности, обеспечиваемой механическими генераторами холода.

$Q_{K(32\text{ }^{\circ}\text{C}, 40\% \text{ отн. вл.})}$	Общая холодопроизводительность при стандартных параметрах наружного воздуха
$Q_{K, \text{ общ.}}^*$	Общая холодопроизводительность (предельное значение)
$Q_{K, \text{ механ.}}^*$	Механическая холодопроизводительность (предельное значение)
$Q_{K, \text{ испар.} + \text{ теплоутилиз.}}^*$	Холодопроизводительность за счет испарения и теплоутилизации (предельное значение)
$W_{K, \text{ общ.}}$	Общий годовой объем энергии, требуемой для охлаждения (среднее значение)
$W_{K, \text{ механ.}}$	Часть энергии, получаемая за счет механической генерации холода (среднее значение)
$W_{K, \text{ испар.}}$	Часть энергии, получаемая за счет косвенного испарительного охлаждения (среднее значение)
$W_{K, \text{ теплоутилиз.}}$	Часть энергии, получаемая за счет теплоутилизации (среднее значение)
$\eta_{\text{рег.}}$	Доля испарительного охлаждения и теплоутилизации (среднее значение)

Как показывает моделирование, непрямо испарительное охлаждение вносит значительный вклад в общий годовой тепловой баланс. При этом одна и та же система показывает разные результаты для разных регионов эксплуатации. В регионах с более высокой влажностью наружного воздуха энергетический вклад пропорционально уменьшается. Это хорошо заметно на примере Брегенца, который располагается на восточном берегу Боденского озера и подвержен влиянию соответствующих климатических факторов. В рассмотренных городах доля испарительного охлаждения и теплоутилизации в общем количестве отведенной теплоты составляет 40-56,6 %.

Экономическая целесообразность

Самым значительным фактором, сдерживающим использование возобновляемых источников энергии, является вопрос экономической целесообразности. Меры по повышению эффективности, например, применение косвенного испарительного (адиабатического) охлаждения, требуют предварительного обоснования; дополнительные инвестиционные затраты должны быть оправданы экономией в процессе эксплуатации. При этом каждое здание требует отдельного технико-экономического расчета. Качественное моделирование системы дает наглядное представление об обеспечиваемой выгоде и позволяет объективно сравнить систему испарительного охлаждения с обычными системами.

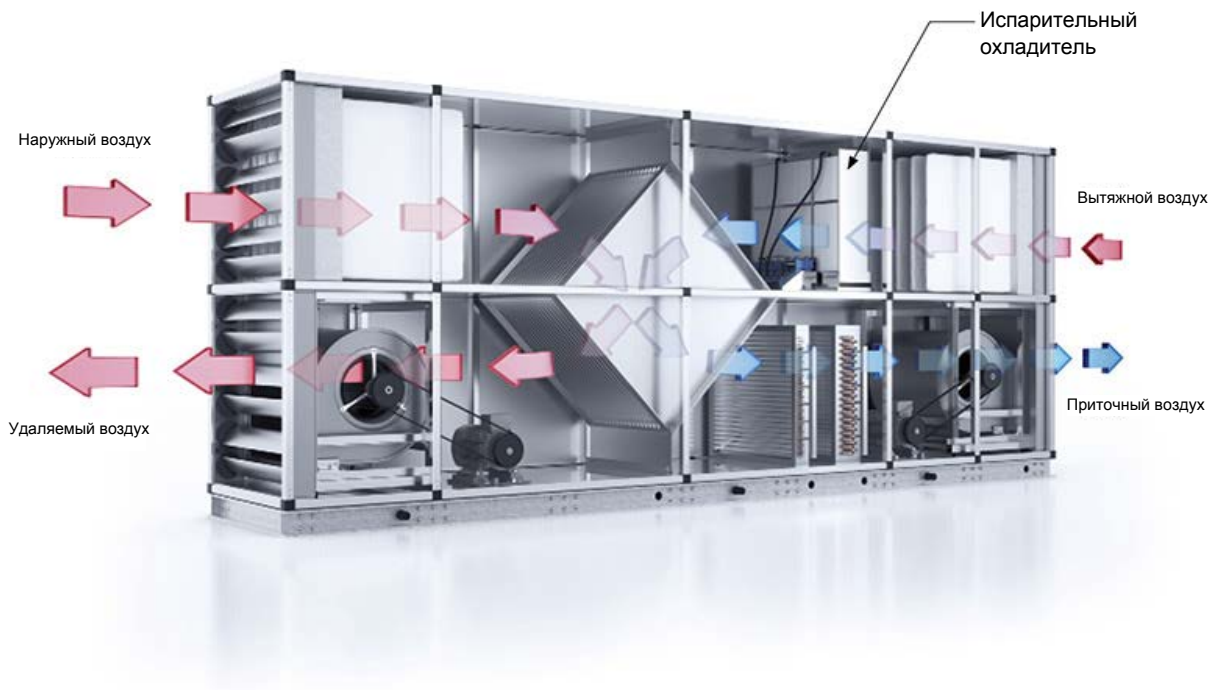


Рис. 1: схематическая конструкция системы HVAC с непрямым испарительным охлаждением.



Рис. 2: качественное представление термодинамического процесса на психрометрической диаграмме.