

Инженерный расчет ночного охлаждения помещения

В общей проблеме энергосбережения достаточно низкая температура наружного воздуха в ночное время даже в теплый период года представляет большой интерес как дешевый источник холода. Однако, надежной методики расчета такого процесса не обнаружено.

(Из подготавливаемой рукописи книги «Проектирование и расчет систем кондиционирования воздуха и вентиляции», Т. I «Полный комплекс исходных данных и расчетной информации для проектирования».)

Известны предложения специалистов относительно использования наружного воздуха в технике кондиционирования и охлаждения. Например, Б.С. Тихонов [1, 2] описал возможность охлаждения ночным воздухом воды в градирнях, а А.Н. Колубков и Н.В. Шилкин в статье [3] сослались на опыт Германии в использовании охлаждаемых змеевиками стен зданий, в которые подается холодная вода. В статье [4] приводится графическая зависимость снижения температуры в помещении от 21,5°C в 19 ч до 19–20°C в 5 ч утра от кратности воздухообмена $k_p = 4, 8$ и 12 ч⁻¹, однако данные о характеристиках помещения (Iпом, ак.ср и др.) и ходе наружной температуры в ней не указаны.

Ночное охлаждение помещения наружным воздухом — специальная научно-инженерная задача, имеющая заметное значение для охлаждаемых объектов — помещений разного назначения с большими теплоизбытками, где температура воздуха в теплый период года может быть задана интервалом [tв.мин, tв.макс], например 23–28°C. Холод, накопленный в таком случае в поверхностном слое внутренних ограждений и оборудования, аккумулируется ими, и при появлении теплоизбытков поступает в воздух помещения, уменьшая расход подводимого к воздухоохладителю холода и время его использования. Как показывают расчеты, удельное количество аккумулируемого холода может составлять 30–50 Вт/м², что при малом определяющем размере помещения Iпом оказывает существенной величиной:

Одной из первых публикаций на обсуждаемую тему была книга Е.Е. Карписа [5] по энергосбережению в СКВ. В частности, он предложил учитывать «аккумулирующую способность наружных и внутренних ограждений, подвергая их охлаждению или нагреву до появления обычных тепловых нагрузок». Позже в обзорной статье Е.Е. Карпис [6] рассмотрел системы холодоснабжения, использующие наружный воздух, однако к данной задаче он не вернулся. В последнее время к этой теме обратился Е.О. Шилькрот [7]. Среди многочисленных мер энергосбережения он выделил около десяти, по его мнению, основных, среди которых отметил и ночное проветривание.

В основе расчета эффекта ночного охлаждения помещения лежит рассмотрение хода наружной температуры

в теплое время суток и их повторяемость в разных городах (рис. 1), которая имеет наибольшую величину не при пиковых, а при умеренных значениях температур. Представим, что температура наружного воздуха в течение не самых жарких, но характерных летних суток меняется приближенно гармонически по закону:

причем в ночные часы при амплитуде $A_{т.н} = 5–8°C$ (в СНиП [8] указаны двойные амплитуды!) она существенно ниже $t_{в.макс}$ и даже $t_{в.мин}$ (рис. 2).

Включая вентиляцию в ночное время, можно заметно снизить температуру воздуха и одновременно внутренних поверхностей всех ограждений такого помещения. Процесс снижения $t_{в}(t)$, показанный на рис. 2, происходит сложным образом под влиянием разных факторов:

- изменения $t_{н}(t)$, сначала падения (1–2 на рис. 2), потом подъема (2–3);
- начальной разности температур $(t_{в} - t_{н})_0$, соответствующей точкам 1' и 1 в момент включения вентиляции для ночного охлаждения помещения;
- нагрева наружного (приточного) воздуха с учетом потерь энергии в вентиляторе и двигателе на величину:

где $P_{вент}$ — полное давление вентилятора, кПа;

□ остаточных конвективных тепловыделений в помещении в нерабочее время $\Delta Q_{изб.к}$, например теплоты солнечной радиации.

После достижения наружной температурой $t_{н}$ своего минимального значения (примерно в три-четыре часа утра) начинается ее подъем, поэтому снижение температуры в помещении $t_{в}$ затормаживается и в какой-то момент времени, соответствующий точке 3 на рис. 2 эти температуры, сближаясь, становятся одинаковыми. С этого момента ночное охлаждение помещения становится неэффективным, и систему вентиляции до начала работы объекта отключают. Заметным преимуществом ночного охлаждения является то, что по времени оно совпадает или близко времени действия льготного ночного тарифа.

Расчет снижения температуры в ночное время для каждого часа можно производить по формуле:

где $D_{тн}(t)$ — снижение температуры наружного воздуха от начала ночного охлаждения помещения до момента t , ч; $(t_{в} - t_{н})_0$ — начальная разность температур внутреннего и наружного воздуха в момент начала ночного охлаждения, °C; $D_{тпр}$ — нагрев приточного воздуха, °C; $DQ_{изб.к}$ — избыточные конвективные тепловыделения в нерабочее время, кВт; $L_{пр}$ — расход приточного воздуха в режиме ночного охлаждения помещения, м³/с; $ak_{ср}$ — средний коэффициент конвективного теплообмена на поверхностях ограждений помещения, зависящий от вида приточных струй (настилающиеся, отрывные) и кратности воздухообмена, Вт/(м²·°C); $q_{пов}$ — относительное изменение температуры поверхности ограждений, определяемое по методике А.В. Лыкова [9]:

k_p — кратность воздухообмена в помещении, ч⁻¹; $I_{пом}$ — определяющий размер помещения, м:

t — время, отсчитываемое от момента начала ночного охлаждения помещения. В формуле (2) последним слагаемым знаменателя $1/tk_p$ можно пренебречь.

Кроме расчета снижения температуры воздуха в помещении важно вычислить удельное количество холода (Вт·ч/м²), запасенного при ночном охлаждении в тонких слоях со стороны внутренних поверхностей ограждений и оборудования. Эту величину можно определить по формуле:

Удельные затраты электроэнергии на ночное проветривание помещения не однозначны и зависят от того, какая система (приточная, вытяжная, обе вместе) обеспечивают перемещение воздуха. В общем случае, когда работают приточный и вытяжной вентиляторы, удельный расход энергии, отнесенный к единице площади ограждений помещения [Вт·ч/м²] можно определить по формуле:

где $P_{в.пр}$ и $P_{в.выт}$ — полное давление приточного и вытяжного вентиля-

торов, кПа; $h_{вент}$, $h_{дв}$ — КПД вентилятора и электродвигателя, безразмерно. Варьируя разные способы ночного проветривания, включая открытие окон и механическую вытяжку, можно достичь минимальных затрат электроэнергии на ночное проветривание. Для сравнения приведем зависимость для удельного расхода электроэнергии на выработку холода, эквивалентного тому расходу, который аккумулирован ограждениями помещения:

где $Dq_{акк}$ — удельное количество аккумулируемого стенами холода, Вт·ч/м², определяемое по формуле (3); $N_{э}$ — относительная доля мощности двигателей насосов и вентиляторов, используемых для выработки холода, по отношению к мощности холодильного компрессора; m — холодильный коэффициент водоохлаждающей машины, равный отношению холода, получаемого в испарителе к мощности компрессора; $h_{дв}$ — КПД электродвигателя компрессора. При сравнении ночного охлаждения помещения с охлаждением в дневное время с помощью холода, получаемого в водоохлаждающей машине, надо учитывать различие тарифов на электроэнергию в ночное и дневное время, которое может достигать двух- и трехкратного, и различие мощностей, потребляемых этой машиной и вентиляторами при ночном охлаждении. Поясним методику расчета ночного охлаждения помещения примером.

Пример

Расчитать режим охлаждения помещения размерами $l_b \cdot h = 5_4 \cdot 3$ м, объемом $V_{пом} = 60$ м³, площадью ограждений и оборудования $S_{Forp} = 94$ м², характерным размером:

при использовании механической приточно-вытяжной вентиляции, давлении вентиляторов $P_{в.пр} = 0,7$ кПа и $P_{в.выт} = 0,3$ кПа, производстве КПД $h_{вент}h_{дв} = 0,7$, при кратности воздухообмена в помещении $k_p = 4$ ч⁻¹, среднем коэффициенте конвективного теплообмена на поверхностях $ak_{ср} = 2$ Вт/(м²·°C), если в рассматриваемые сутки температура наружного воздуха изменится приближенно-гармонически по уравнению:

что показано на рис. 2. Время работы объекта — с 9 до 18 ч, время ночного охлаждения — с 22 до 4 ч утра, т.е. $D_{тн.охл} = 6$ ч. В расчетах принимаем согласно рис. 2:

$$(t_{в} - t_{н})_0 = 26 - 20 = 6^{\circ}\text{C},$$

$$\Delta t_{н} = 20 - 13 = 7^{\circ}\text{C}, \Delta t_{тпр} = 1^{\circ}\text{C},$$

избыточные тепловыделения в ночное время $\Delta Q_{изб.к} = 0$.

Теплофизические характеристики материалов вблизи внутренних поверхностей ограждений принять: $c_m = 840$ Дж/(кг·°C), $\rho_m = 1000$ кг/м³, $l_m = 0,7$ Вт/(м·°C). Определить удельный расход холода, аккумулируемый поверхностями ограждений [(Вт·ч)/м²], удельные затраты электроэнергии при работе вентиляторов в системе ночного охлаждения [(Вт·ч)/м²] и удельные затраты холода, вырабатываемого водоохлаждающей машиной, [(Вт·ч)/м²] при холодильном коэффициенте $m = 4$, КПД двигателя компрессора $h_{дв} = 0,85$ и относительной мощности двигателей насосов и вентиляторов, используемых водоохлаждающей машиной $N_{э} = 0,3$.

Предварительно вычисляем комплексный теплофизический критерий M к моменту времени $\Delta t_{н.охл} = 6$ ч:

чему соответствует величина $1 - q_{пов} = 0,65$. Снижение температуры воздуха в помещении по формуле (2) будет равно $-4,7^{\circ}\text{C}$:

Повторим расчет для моментов времени $\Delta t_{н.охл} = 2$ и 4 ч, чему соответствует критерий $M = 0,05$ и $0,10$, величина $1 - q_{пов} = 0,85$ и $0,78$, а снижение температуры $D_{тв} = -3^{\circ}\text{C}$ и -4°C . Усредняя эти данные, определим удельное количество аккумулируемого холода по формуле (3):

$$Dq_{акк} = 2_4,7_0,65_6 = 37 \text{ Вт}\cdot\text{ч}/\text{м}^2,$$

общий расход аккумулируемого холода:

$$DQ_{акк} = 37_94_10-3 = 3,5 \text{ кВт}\cdot\text{ч}.$$

Удельные затраты энергии на ночное охлаждение помещения при работе приточного и вытяжного вентиляторов по формуле (4) равны 22 Вт·ч/м²:

при использовании только вытяжного вентилятора эта величина снижается в три раза. При использовании в днев-

ное время водоохлаждающей машины удельный расход электроэнергии по формуле (5) составит $14 \text{ Вт}\cdot\text{ч}/\text{м}^2$:

Обсуждая результаты расчета, отметим, что при ночном охлаждении и открытых окнах можно использовать только вытяжной вентилятор, что значительно сократит расход энергии, однако это может быть недопустимым из-за отсутствия очистки поступающего наружного воздуха. Использование водоохлаждающей машины, работающей в дневное время при соответствующем тарифе, потребует больших затрат, чем ночное охлаждение помещения наружным воздухом при соответствующем льготном тарифе.

При оценке эффекта использования ночного охлаждения в теплое время года нужно принимать среднюю по повторяемости ночную температуру согласно рис. 1 и ее амплитуду по СНиП [8]. ●

1. Тихонов Б.С. Использование естественного холода и психрометрической разности температур ночного воздуха в системах технологического кондиционирования // Водоснабжение и санитарная техника, №6/1970.
2. Тихонов Б.С. Аккумуляционные системы кондиционирования воздуха // Водоснабжение и санитарная техника, №9/1971.
3. Колубков А.Н., Шилкин Н.В. Новый подход к кондиционированию. Опыт Германии // АВОК, №1/2009.
4. Маркевич А.С., Рымаров А.Г. Особенности учета факторов, влияющих на воздушно-тепловой режим помещения при применении ночного проветривания в теплый период года / В кн.: Материалы 3-й Международной конференции «Теоретические основы теплогаснабжения и вентиляции». — М.: МГСУ, 2009.
5. Карпис Е.Е. Энергосбережение в системах кондиционирования воздуха / Экономия топлива и электроэнергии. Изд. 2-е, перераб. и доп. — М.: Стройиздат, 1986.
6. Карпис Е.Е. Системы хладоснабжения с использованием наружного воздуха. (Обзор зарубежной техники) // Холодильная техника, №6/1989.
7. Шилькрот Е.О. Эффективное использование энергии — где и как? // АВОК, №7/2006.
8. СНиП 23-01-99*. Строительная климатология. — М.: Госстрой России, 2003.
9. Лыков А.В. Теория теплопроводности. — М.: Высшая школа, 1967.

DVM PLUS IIITM
DIGITAL VARIABLE MULTI

Одновременное охлаждение и обогрев с системой DVM HR III

Экономичная

Система DVM Plus III потребляет значительно меньше электроэнергии. Коэффициент энергоэффективности COP достигает 4,57.

Мощная

Комбинация из четырех наружных блоков обеспечивает системе DVM Plus III мощность до 200 кВт и дает возможность подключить до 64 внутренних блоков.

Надежная

За счет применения технологии прямой инъекции хладагента система DVM Plus III надежно работает в режиме обогрева даже при наружной температуре воздуха $-20 \text{ }^\circ\text{C}$.

Гибкая

Свободная комбинация наружных блоков и суммарная длина магистрали до 1 километра гарантирует удобство установки системы DVM plus III в самых сложных проектах.

Подробная информация на сайте: www.samsung.ru/business/climate

Единая служба поддержки Samsung Electronics: 8-800-555-55-55 (для бесплатных звонков из любого региона России). www.samsung.com. Товар сертифицирован. Реклама.

* Навстречу будущему.



TURN ON TOMORROW*