

Вопрос 19. Объясните, на основе каких исходных данных и формул правильно вести расчеты годовых расходов в СКВ и СВ и есть ли в этом свои «подводные камни»?

Ответ. Конечно, есть. Не все так просто, как кажется. Еще со времен учебы в институте, а, точнее, ранее из школьного курса физики, всем известна формула для расчета количества теплоты. Она бесспорно правильна и не обсуждается. С другой стороны – никак не привязана к условиям нагрева в СКВ и СВ, необходимого только потому, что в систему вводят то или иное количество холодного наружного воздуха. Только один специалист, проф. А.А. Рымкевич [6] давно обосновал и предложил мгновенные расходы записывать и вычислять по-другому, а именно через *исходные данные*. Напомним читателю, что к исходным данным объекта относят внутренние и наружные параметры воздуха вообще и в момент вычисления расходов, нагрузки помещения (тепловую, влажностную), расход наружного воздуха, потери теплоты и массы (утечки), вредные нагревы и др. К сожалению, эта методика до сих пор не привилась ни на кафедрах, ни в проектной практике, что вызывает большое сожаление.

В расчетах, однако, не всегда учитывают, что энергетические показатели систем не однозначны, т.к. зависят от ряда факторов и решений и могут существенно различаться, например, при наличии или отсутствии управления, при разных видах систем и способах обработки воздуха. Для экономических показателей имеют значение изменяющиеся ступенчато во времени тарифы, штрафы, льготы, плата за подключение энергоносителей и др., придающие задаче оптимизации *динамический* характер.

Минимально-неизбежные показатели (расходы) СКВ и СВ, согласно А.А. Рымкевичу [6], есть значения, достижимые в идеализированной центральной воздушной системе при отсутствии каких-либо ограничений. Они определяются по формулам, записанным ниже: (1) – (5). При такой форме представления учтены отдельные слагаемые расходов, можно оценить их доли в общей сумме, выполнить анализ изменения и путей их сокращения.

При нагреве до энтальпии: $Q_T = G_{H.min} (i_p - i_H) - Q_{ном} - i_{пара} G_{вл.ном}$, (1)

при нагреве до температуры: $Q_T = G_{H.min} c_B (t_p - t_H) - Q_{ном}$, (1')

$$Q_X = Q_{ном} + G_{вл} i_{пара} - G_H (i_p - i_H), \quad (2)$$

$$G_{увл} = G_{H.min} (d_p - d_H) - G_{вл.ном}, \quad (3)$$

$$G_{осуш} = G_H (d_H - d_p) + G_{вл.ном}, \quad (4)$$

$$N_{эл} = G_{пр} P_{вент} / \rho_B. \quad (5)$$

Фактические значения показателей (расходов) могут отличаться от минимально-неизбежных по разным причинам: за счет потерь энергии в вентиляторе ($\eta_B < 1$), двигателе ($\eta_{дв} < 1$), нагреве приточного воздуха $\Delta t_{пр} = 0,8 P_{вент} / \eta_B \eta_{дв}$, потерь воздуха по трассе ($\Delta L_{ум} > 0$), уноса влаги при осушении за контактный (смесительный) аппарат и ее нежелательного испарения ($\Delta G_{вл} > 0$), незавершенности процесса в контактном аппарате ($E < 1$),

своеобразного направления процесса в воздухоохладителе-испарителе холодильной машины ($\xi \geq 1$), потерь теплоты, холода и влаги в системе и других причин. На практике широко применяются формулы для расходов в другой традиционной форме — не через исходные данные, однако они не имеют таких преимуществ и не применимы для анализа. В частности, остается неясным, как инженеры в этих расчетах учитывают изменяющиеся от минимума до максимума тепло- и влаговыделения.

Система формул (1) – (4) является основой для определения необходимости каждого из аппаратов СКВ (например, нагревателя, охладителя-осушителя, увлажнителя) и тем самым – выбора технологической схемы системы [12, 11, т. I] без использования $i-d$ диаграммы влажного воздуха.

Вопрос 20. *Какая климатологическая информация нужна для расчета годовых расходов теплоты, холода и влаги СКВ и СВ? Всегда ли она одинакова и от чего зависит?*

Ответ. Конечно же, нет. Прежде всего, она зависит от пункта проектирования. Наиболее подробные сведения для разных пунктов можно найти в основном документе – «Научно-прикладном справочнике по климату СССР» [4], который по мере накопления метеоданных периодически переиздается. О его содержании и широких возможностях применения можно получить предварительное представление из нижеследующего оглавления:

Краткое содержание выпусков «Научно-прикладного справочника по климату СССР»:

Предисловие: Сборная карта выпусков, список метеорологических станций, карта метеорологических станций. Пояснения к таблицам:

Часть 1. Солнечная радиация (раздел 1) и солнечное сияние (раздел 2).

Часть 2. Температура воздуха (раздел 1) и почвы (раздел 2).

Часть 3. Ветер (раздел 1) и атмосферное давление (раздел 2).

Часть 4. Влажность воздуха, парциальное давление водяного пара, относительная влажность воздуха, дефицит насыщения (раздел 1). Осадки (раздел 2). Снежный покров (раздел 3).

Часть 5. Облачность (раздел 1). Атмосферные явления, туманы, грозы, метели, град (раздел 2). Гололедно-изморозевые образования (раздел 3).

Часть 6. Комплексы метеорологических величин. Температура воздуха – относительная влажность (раздел 1). Температура воздуха – скорость ветра (раздел 2). Таблицы климатических характеристик для частей 1–6.

Кроме этого справочника, имеются и другие многочисленные издания, содержащие в той или иной мере нужную информацию о климате, например, СНиП II А.6-72, серия книг «Климат городов» и др.

О точности и вариантах методик расчетов. Специалисты давно сошлись на мысли, что на разных стадиях разработки систем микроклимата (предпроектные предложения, проектная или рабочая документация) не требуется одинаково высокая точность расчета годового энергопотребления.

Поэтому при предварительной проработке (предпроектные предложения) можно использовать более простые и приближенные методы. На последних стадиях, где погрешность расчета энергопотребления (обычно полагают, что она допустима $\pm 10\%$) должна быть соизмерима с погрешностью расчета капитальных затрат (около $\pm 10\%$), необходимы более точные методы.

За последние десятилетия методиками расчетов расходов теплоты, холода и влаги в СКВ и СВ в той или иной мере занимались Л.Б. Успенская, А.Я. Креслинь, А.М. Сизов, Т.И. Садовская, Е.Е. Карпис, П.В. Участкин, Ю.Г. Шабловский, В.Н. Богословский, Ю.Я. Кувшинов, Б.Г. Шпиз, А.А. Рымкевич, Н.В. Котенков, Н.В. Кобышева, В.Э. Ницис, автор (А.С.) и др. Перечисленные авторы использовали различные виды климатической информации, от самых простых и оценочных до наиболее сложных и точных. Представление о возможностях современной климатологии и видах климатологической информации можно получить из приводимой ниже блок-схемы (табл. 1).

Таблица 1

Классификационная схема климатической информации, используемой при исследованиях, проектировании и оптимизации СКВ и СВ

Метеорологические величины						
$t_H, ^\circ\text{C}$	$\varphi_H, \%$	$d_H, \text{г/кг}$	$i_H, \text{кДж/кг}$	$v_H, \text{м/с}$	$q_{\text{рад}}, \text{Вт/м}^2$	
Временное разрешение значений метеорологических величин						
ежечасные	«срочные»	суточные	декадные	месячные	сезонные	годовые
Степень уплотнения эмпирических данных						
хронологические ряды	ранжированные ряды	дифференциальное распределение	интегральное распределение	усеченные распределения		
Мерность распределений						
одномерные			многомерные			
Выравнивающие функции распределения (одномерные и многомерные)						
нормальная	логнормальная	композиция нормальной и равномерной плотности		Моргенштерна-Гумбеля		
Направление использования климатических данных						
обработка воздуха		управление		энергосбережение		
Стадия использования						
предпроектные предложения		проект		рабочая документация		

Строго говоря, для наиболее полного учета климатической информации в решении рассматриваемых проблем следует использовать многомерные распределения срочных значений метеорологических величин за год (эмпирические или их теоретическое описание), изложенные в работах А.М. Сизова [7 – 9], Т.В. Катковой [2], Г.В. Карпухина и Н.В. Кобышевой [1] и др. В работе [3] увязаны энергосбережение при работе СКВ и характеристики климата, кроме того, в ней представлены требования к информации при разной сменности и других условиях работы объекта.

Однако такая информация для практических расчетов чаще всего недоступна, и поэтому в ряде случаев стараются воспользоваться упрощенными методами. Это объясняется тем, что составляющие расчетных формул зависят не от всего комплекса метеовеличин, а от одного основного параметра (например, температуры наружного воздуха), и в некоторой, обычно меньшей, мере — от другого (например, солнечной радиации, которую можно «привязать» к температуре наружного воздуха).

Можно представить такую последовательность расчетов. Первоначально рассматривают зависимость: средняя плотность потока падающей радиации на горизонтальную поверхность — температура наружного воздуха (на уровне среднемесячных). После этого учитывают взаимосвязь потока радиации на вертикальную поверхность заданной ориентации и на горизонтальную поверхность [5, 13]. Точно так же можно «привязать» к температуре наружного воздуха и скорость ветра по направлениям. Таким методом можно с достаточной точностью заменить сложную трехмерную задачу и климатологическую информацию существенно более простой — одномерной.

Комплексная методика расчетов была подготовлена автором (А.С.) для издания в Госстрое СССР еще в конце 80-х гг. XX века [10], но в дальнейшем что-то помешало ее публикации. В этой работе были обоснованы область применения и основные случаи использования метода расчета, описанные в данной главе. В частности, годовые расходы теплоты, холода, электроэнергии и воды по этой методике можно определять для:

- различных пунктов территории России и бывш. СССР;
- разного сочетания помещений здания и обслуживающих их систем;
- разных параметров воздуха в помещении, постоянных или переменных тепловлажностной и парогазовой нагрузок помещения, систем постоянной (CAV) или переменной (VAV) производительности по воздуху;
- совмещения СКВ или СВ с отоплением или независимой работы этих систем в холодный период года;
- разного оборудования систем (местные автономные и неавтономные, центральные кондиционеры, доводчики разных типов, водяные и паровые увлажнители);
- разного функционального назначения и условий использования аппаратов тепловлажностной обработки воздуха;
- разного алгоритма функционирования систем в течение года (см. далее);
- разных решений по управлению аппаратами и нагнетателями систем в том числе неуправляемых;
- работы систем в разных режимах при разной производительности и обработке воздуха в рабочее и нерабочее время, при разной сменности.

Дадим краткие комментарии к методике расчета годового расхода холода на охлаждение-осушение воздуха. Он может выполняться по-разному, в зависимости от:

- ◀ границы режима охлаждения-осушения воздуха: изотермы или изоэнтальпии; первый случай имеет место, если система поддерживает

только температуру воздуха, а влажность находится в комфортном диапазоне или поддерживается паровым увлажнителем, второй случай имеет место, если в помещении поддерживают строго заданные температуру и влажность при использовании изоэнтальпийного увлажнения;

- ◀ метода расчета — используют один из двух методов: отдельное определение расхода холода на охлаждение $Q_X(t_H)$ и осушение $Q_X(d_H)$ с последующим суммированием полученных величин или определение расхода холода в функции от энтальпии наружного воздуха;
- ◀ специального учета при расчете годовых расходов холода, с каким расходом наружного воздуха работает система: $G_{H.min}$, если $i_H > i_p$ или $G_{H.max} = G_{np}$, если $i_H < i_p$.

Описанные выше случаи определения годовых расходов холода поясняет рис. 1 с построением границ режимов в $i-d$ диаграмме влажного воздуха.

Рис. 1. Построение границ режимов и области охлаждения-осушения воздуха в $i-d$ диаграмме влажного воздуха для характерных случаев:

a — граница режима охлаждения-осушения воздуха изотерма;

б — граница режима охлаждения-осушения воздуха изоэнтальпия.

Вопрос 21. *Наиболее сложный для меня вопрос – как связана технологическая схема СКВ и алгоритм функционирования с режимами работы системы и требованиям к климатологической информации?*

Ответ. Действительно, это самый сложный вопрос. Дело в том, что проектирование, несмотря на всю критику, по-прежнему ведется «на две точки», т.е. для расчетных летних и зимних расчетных наружных параметров. При таком подходе инженер не представляет **режимы, т.е. определенные сочетания исходных данных, приводящие к той или иной последовательности процессов тепловлажностной обработки воздуха.** В простейшем случае в СКВ применяется либо нагрев, либо охлаждение, или охлаждение-осушение воздуха. В этом случае существуют граничные температуры, хотя и разные, зависящие от нагрузок, ниже которых неизбежен нагрев, а выше – охлаждение; тогда требуется информация только о повторяемости наружных температур и связанной с ней радиации.

В более сложных случаях технологическая схема СКВ с рециркуляцией может содержать воздухонагреватель первого и второго подогрева, воздухоохладитель, увлажнитель. Число регулирующих клапанов (воздействий) в системе управления может достигать 5 – 6, если учитывать оппозиционно-работающие воздушные клапаны наружного и рециркуляционного воздуха, а также устройство управления производительностью вентиляторов. При этом число комбинаций – режимов работы этих устройств в такой системе, согласно рис. 2, в, может достигать 12 [6]. Более детально режимы работы СКВ в разных условиях можно

представить из рис. 2 [11]. Границы отдельных режимов, в диаграмме $i-d$ это т.н. *зоны*, указывают на то, в каких двумерных интервалах нужно иметь информацию о повторяемости, например, $\Delta i_H - \Delta d_H$ и др. Необоснованное упрощение этих закономерностей приводит, в конечном счете, к искажению величин искомых годовых расходов.

Рис. 2. Основные алгоритмы функционирования центральных СКВ и СВ при различных исходных данных:

- a* – график (характеристика П-регулятора), поясняющий простейший алгоритм управления прамоточной СКВ (СВ), в технологической схеме которой использован нагреватель и охладитель, регулирование по отклонению;
- б* – расчетная схема ТДМ СКВ с рециркуляцией со следующими процессами обработки: 1 – $Q_T G_{вл} G_{H.min}$; 2 – $G_{вл} G_{H.var}$; 3 – $G_{вл} G_{H.max}$; 4 – $Q_X G_{H.max}$; 5 – $Q_X G_{H.min}$ (обозначения приняты по А.А. Рымкевичу);
- в* – графическое представление в поле $i-d$ диаграммы влажного воздуха о реализации двенадцати режимов работы с помощью алгоритма оптимального функционирования СКВ (по А.А. Рымкевичу) [6];
- г* – преобразование в поле $i-d$ диаграммы четырехугольника заданных параметров $B_1 B_2 B_3 B_4$ в линию (диагональ $B_1 B_3$) и соответствующие преобразования четырехугольников $\square П$ и $\square \bar{H}$ (последний построен при $G_H = G_{H.min}$);
- д* – расчетная схема ТДМ СКВ при круглогодично заданном постоянном отношении $G_H / G_{np} = const$: $\square C$ – область параметров смеси; $\square H$ – область параметров наружного воздуха; $B(t_B, d_B)$ – состояние воздуха в помещении; $C_1 A_1 ПВ$ – процессы нагревания и увлажнения воздуха; $C_2 A_2 ПВ$ – процессы увлажнения и охлаждения воздуха; $C_3 ПВ$ – процессы охлаждения-осушения и нагревания воздуха (смеси);
- е* – треугольник процессов в замкнутой СКВ специальной технологической камеры сушки: $П, У$ – состояния подаваемого и уходящего из камеры воздуха; $О$ – состояние воздуха после его охлаждения-осушения;
- ж* – расчетная схема ТДМ СКВ объекта с влаговыведениями и границы режимов расчетных зон тепловлажностной обработки воздуха: $1, 1'$ – режим нагревания наружного воздуха; 12_H – режим охлаждения-осушения и нагревания наружного воздуха; 12_p – режим охлаждения-осушения и нагревания рециркуляционного воздуха; 12 – короткий режим небольшого охлаждения наружного воздуха. Построения выполнены при $t_B = 28^\circ C$, $\phi_B = 75\%$ и $\Delta i_{BO} = 20-30$ кДж/кг. Если параметры состояния рециркуляционного воздуха (t_p, d_p) переменны, то алгоритм определения границы режимов $12_H, 12_p$ и 12 должен быть специально разработан и включать вычислительные и логические операции с целью экономии энергии на охлаждение-осушение воздуха и его последующее нагревание.

Таким образом, чем проще технологическая схема СКВ и СВ, чем меньше в ней тепло- и массообменных аппаратов, тем меньше число комбинаций и режимов работы такой системы, проще алгоритм функционирования и поэтому требуется более доступная климатологическая информация в виде одномерных распределений. Большинство технологических схем СКВ и СВ отвечают этому условию и расчет годовых расходов оказывается менее сложным.

Обсуждение этой актуальной темы будет продолжено в следующем номере журнала.

Литература:

1. Карпухин Г.В., Кобышева Н.В. Трехмерное распределение как одна из основных форм представления информации для строительного проектирования // Труды ГГО им. А.И. Воейкова. Вып. 458. Л.: Гидрометеиздат, 1984. С. 15–24.
2. Каткова Т.Ф. Некоторые характеристики комплекса температуры и относительной влажности воздуха (в годовой совокупности) на территории СССР // Труды НИИАК. Вып. 83. М., 1973. С. 48–79.
3. Коченков Н.В., Кобышева Н.В., Клюева М.В. Энергосберегающие режимы в СКВ и характеристика климата – взаимосвязанные задачи // Инженерные системы, АВОК-Северо-Запад. 2006. № 3 (24). С. 48–52.
4. Научно-прикладной справочник по климату СССР. Серия 3. Ч. 1–6. Вып. 1–35. Л.: Гидрометеиздат, 1990–1999.
5. Пивоварова З.И. Оценка суммарного прихода коротковолновой радиации на стены здания // Труды ГГО им. А.И. Воейкова. Вып. 321. Л.: Гидрометеиздат, 1973. 127 с.
6. Рымкевич А.А. Системный анализ оптимизации общеобменной вентиляции и кондиционирования воздуха. Изд. 1. М.: Стройиздат, 1990. 300 с.; Изд. 2. СПб.: АВОК-СЗ, 2003. 272 с.
7. Сизов А.М. Форма представления климатологических данных в виде двумерных комплексов для проектирования СКВ // В кн.: Вентиляция и кондиционирование воздуха. Сб. № 7. Рига: РПИ, 1975. С. 116–123.
8. Сизов А.М. Вероятностная модель наружного климата для расчета годовых расходов энергии СКВ // В кн.: Вентиляция и кондиционирование воздуха. Сб. № 8. Рига: РПИ, 1975. С. 141–149.
9. Сизов А.М. Связь вероятностной модели наружного климата и эмпирических распределений параметров // В кн.: Вентиляция и кондиционирование воздуха. Сб. № 8. Рига: РПИ, 1975. С. 150–156.
10. Сотников А.Г., Садовская Т.И. О проекте «Рекомендаций по расчету годовых расходов тепла, холода, электроэнергии и воды СКВ и СВ промышленных и гражданских зданий» // В кн.: Повышение экономической эффективности систем вентиляции и кондиционирования воздуха. Л.: ЛДНТП, 1987. С. 29–32.
11. Сотников А.Г. Процессы, аппараты и системы кондиционирования воздуха и вентиляции. /Теория, техника и проектирование на рубеже столетий. СПб.: АТ-Publiching. Т. I, 2005. – 504 с. Т. II, ч. 1, 2006. – 420 с. Т. II, ч. 2, 2007. – 512 с.
12. Сотников А.Г. Бездиаграммный выбор схемы СКВ. //С.О.К., 2010, №7, с. 59 – 61.
13. Стадник В.В., Гирбасова Л.В. Обобщение коэффициентов пересчета часовых сумм прямой солнечной радиации, поступающей на вертикальную поверхность // Труды ГГО им. А.И. Воейкова. Вып. 520. Л.: Гидрометеиздат, 1988. С. 41–49.