

Использование климатических диаграмм для расчетов

Рассмотрены вопросы использования различного рода графических представлений данных для проектировочных расчетов в области систем кондиционирования и вентиляции.

22. Я проектирую системы вентиляции и кондиционирования воздуха чаще всего для одного и того же пункта. Можно ли использовать в расчетах давно предложенную t_n - φ_n -диаграмму?

Если нет возможности разработать и передать информацию одновременно для разных пунктов, условий работы систем, технических решений и управления, то можно пойти другим путем. Он предусматривает специализированную информацию для данного пункта, отобранную из разных источников [7] и широко используемую при проектировании СКВ и СВ в данном географическом пункте. Поясним ответ на ваш вопрос в условиях проектирования Санкт-Петербурга, аналогичные данные можно представить для другого города.

Долгое время в нашей стране единственной общепринятой формой представления данных о повторяемости параметров в двумерных координатах была т.н. « t_n - φ_n -диаграмма» (рис. 1).

Первоначально ее предложила д.т.н. Л.Б. Успенская* применительно к климатическим условиям Ленинграда, обработанным за период 1945–1954 годов на основе материалов метеорологических наблюдений ГГО им. А.И. Воейкова. На таком графике в ортогональных координатах t_n - φ_n другие изолинии оказывались кривыми ($i_n = \text{const}$, $d_n = \text{const}$). Цифры в поле между линиями соответствуют искомой годовой повторяемости (ч/год) на каждой площадке. Кривые линии, напоминающие горизонтали (линии равной высоты на географических картах), по сути, есть линии равной плотности повторяемости [(ч/год)/(°С·%)] $\Delta t / (\Delta t_n \Delta \varphi_n)$, при условии, что принятая при построениях единичная площадка имеет размеры $\Delta t_n = 5^\circ\text{C}$ и $\Delta \varphi_n = 10\%$. По этим кривым нетрудно найти искомую повторяемость на любой интересующей площадке в поле t_n - φ_n -диаграммы.

В дальнейшем, в 1960–1980-х годах, в публикациях Л.Б. Успенской [10], а также А.Я. Креслин [2] и др. были отражены

результаты разработки и систематизации подобных данных для других крупных городов страны, всего около десяти. Однако в силу практической сложности использования t_n - φ_n -диаграммы в проектом деле не привилось, разве что в исключительных случаях и на весьма ответственных объектах. Основным недостатком такой диаграммы, помимо сложности и насыщенности цифрами, — отсутствие каких-либо данных о других важных метеоэлементах: солнечной радиации, ветре.

В силу практической сложности использования t_n - φ_n -диаграммы в проектом деле не привилось, разве что в исключительных случаях и на весьма ответственных объектах

23. Можно ли совместить наибольшее количество метеоданных на одной диаграмме?

Да, можно. Мы вернулись к этой идее совместить всю основную информацию с i - d -диаграммой (рис. 2). Последняя используется для построения отдельных процессов обработки воздуха и их последовательности. Таких построений немного, и поле обычно остается свободным. Совмещение данных о температуре, энтальпии и влагосодержании наружного воздуха в данном пункте в левом квадранте с i - d -диаграммой в правом квадранте [7] является другой разновидностью графической интерпретации климатологической информации. Основные зависимости, включая данные о среднемесячной радиации на горизонтальную поверхность и коэффициентах ее пересчета на поверхности разной ориентации по месяцам года представлены

* Автор этой рубрики пользуется приятной возможностью с благодарностью вспомнить д.т.н. Л.Б. Успенскую, когда она в далекие 1960-е годы, будучи молодым к.т.н. и старшим научным сотрудником, руководила дипломным проектом автора, посвятив его во многие таинства климатологии.

для Санкт-Петербурга на рис. 2. Левее вертикальной оси (ось температуры t_n), наносится вся информация:

- плотность повторяемости температуры (ступенчатые линии [ч/год·°С]) $\Delta t / \Delta t_n$, в т.ч. по сухому/мокрому термометрам;
 - суммарная и непрерывная продолжительность высоких температур наружного воздуха; последнюю используют в методике [5];
 - средняя многолетняя температура («норма») на каждое число по месяцам;
 - среднемесячная фактическая плотность потока падающей на горизонтальную поверхность радиации по данным [4], которая на среднемесячном уровне коррелирует со среднемесячной температурой $t_{n, \text{ср.мес}}$ (более высоким температурам соответствует более высокая падающая радиация $q_{\text{рад}}$ [Вт/м²], но различная в весенний и осенний периоды года);
 - поправка k_q для пересчета падающей радиации с горизонтальной поверхности на вертикальную произвольной ориентации по месяцам года [3, 9].
- Ниже обычно не используемого поля под линией насыщенности влажного воздуха — данные о плотности повторяемости энтальпии [(ч/год)/(кДж/кг)] $\Delta t / \Delta i_n$, и влагосодержания [(ч/год)/(г/кг)] наружного воздуха $d t / d d_n$.

В относительно свободном поле диаграммы нанесена граница t_n - φ_n -комплекса, наружные расчетные параметры для кондиционирования воздуха и вен-

тиляции разной обеспеченности в теплый период года, область оптимальных и допустимых параметров в помещении. Медианная линия климата $M(t_n, \varphi_n)$ делит всю область t_n - φ_n -комплекса на две примерно равные по повторяемости части. Чем ближе текущее состояние наружного воздуха (\cdot) H_i к медиане и среднегодовой, тем больше плотность повторяемости на площадке Δt_n - $\Delta \varphi_n$ вблизи состояния (\cdot) H_i .

24. Я встречал ранее такой термин как «климатический паспорт города». Что это такое?

Графическое представление основных климатологических величин предпочти-

тельнее и нагляднее, чем строго аналитические методы. Одна из разновидностей такого метода — т.н. «климатический паспорт города» [6], на котором нанесены линии суммарной (накопленной) повторяемости температур и энтальпий наружного воздуха, суммы произведений этих температур и энтальпий на по-

Совмещение данных о температуре, энтальпии и влагосодержании наружного воздуха в данном пункте в левом квадранте с t - d -диаграммой в правом квадранте является другой разновидностью графической интерпретации климатологической информации

вторяемость, медианная линия климата и др. (рис. 3). Использование климатического паспорта предполагает специальную, хотя и не сложную методику расчетов. Рассмотрим ее на примере, когда речь идет о годовом расходе теплоты на нагревание наружного воздуха, а сам нагрев производится до конечной температуры, определяемой по формуле:

$$t_k = t_b - \frac{Q_{\text{изб}} + \Delta Q_{\text{пр}}}{G_n c_b}, \quad (1)$$

где $Q_{\text{изб}}$ — текущие теплоизбытки помещения, кВт; $\Delta Q_{\text{пр}} = c_b G_{\text{пр}} \Delta t_{\text{пр}}$ — теплота при нагреве приточного воздуха в вентиляторе и двигателе, размещенном в потоке воздуха [°С]:

$$\Delta t_{\text{пр}} = \frac{0,8 P_{\text{вент}}}{\eta_{\text{вент}} \eta_{\text{дв}}},$$

где $P_{\text{вент}}$ — полное давление вентилятора, кПа; $\eta_{\text{вент}}$, $\eta_{\text{дв}}$ — КПД вентилятора и двигателя; G_n , $G_{\text{пр}}$ — расход наружно-

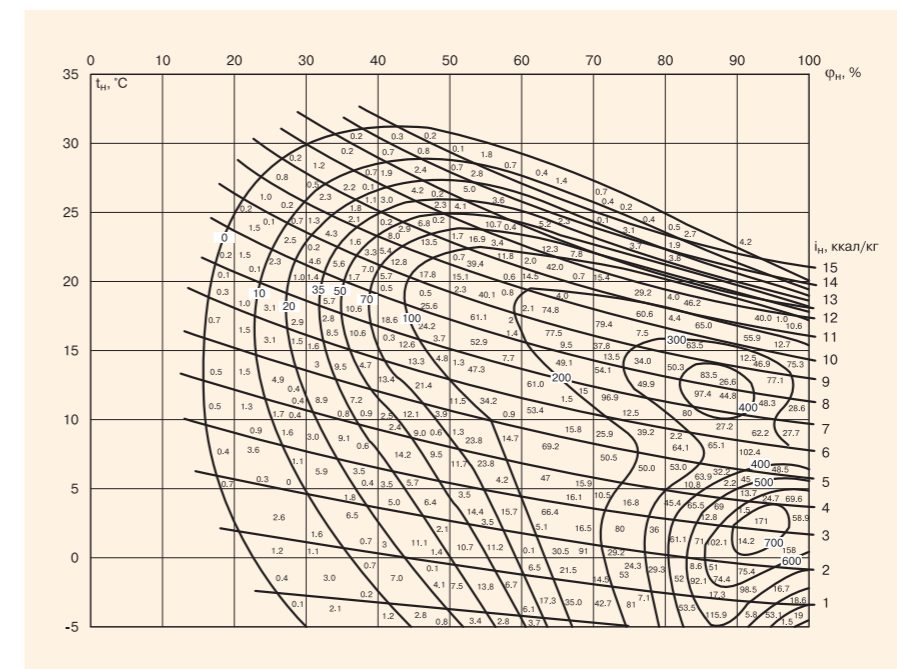


Рис. 1. Специализированная t_n - φ_n -диаграмма для Ленинграда (Санкт-Петербурга) по данным срочных замеров за период 1945–1954 годов, разработанная Л.Б. Успенской (для удобства пользования и прочтения многочисленных цифр представлена не вся диаграмма, а только ее часть, соответствующая наружным температурам $t_n > -5^\circ\text{C}$)

го и приточного воздуха в системе, кг/с. Продолжительность периода нагревания воздуха [ч/год], от $t_{н.абс.мин}$ (от $-\infty$) до t_k определяют по формуле:

$$\sum_{-\infty}^{t_k} \tau_i = 8766 - \sum_{t_k}^{\infty} \tau_i \quad (2)$$

Сумма произведений температур наружного воздуха на продолжительность [ч·°C/год], от $t_{н.абс.мин}$ (от $-\infty$) до t_k определяют по формуле:

$$\sum_{-\infty}^{t_k} t_{н,i} \tau_i = 8766 t_{н.ср.год} - \sum_{t_k}^{\infty} t_{н,i} \tau_i \quad (3)$$

После вычисления этих величин годовой расход теплоты [кВт·ч/год] определяют по зависимости:

$$Q_{т.год} = \psi_{см} c_p G_{н} \left(t_k \sum_{-\infty}^{t_k} \tau_i - \sum_{-\infty}^{t_k} t_{н,i} \tau_i \right) \quad (4)$$

где все три переменные величины предварительно определяют по формулам (1)–(3). Аналогично ведут расчет при нагреве наружного воздуха до энтальпии, а также при охлаждении или охлаждении–осушении наружного воздуха в теплый период года. В последнем случае вычисления по формулам (2) и (3) не производят, а данные о повторяемости непосредственно определяют по рис. 2. Поясним методику расчета годового расхода теплоты примером.

Пример. В производственном помещении температура воздуха $t_b = 20^\circ\text{C}$, теплоизбытки $Q_{изб} = 8$ кВт. Система вентиляции работает круглосуточно ($\psi_{см} = 1$), расходы приточного и наружного воздуха: $G_{пр} = 2$ кг/с, $G_{н} = 1$ кг/с; нагрев приточного воздуха в вентиляторе и двигателе $\Delta t_{пр} = 1^\circ\text{C}$, чему соответствует количество теплоты $\Delta Q_{пр} = 2 \times 1 \times 1 = 2$ кВт. Пользуясь климатическим паспортом города (рис. 3), определить годовой расход теплоты на нагревание наружного воздуха, если объект находится в Санкт-Петербурге, среднегодовая температура $t_{н.ср.год} = 4,4^\circ\text{C}$. Предварительно по формуле (1) определяем конечную температуру нагреваемого наружного воздуха:

$$t_k = 20 - \frac{8+2}{1 \times 1} = 10^\circ\text{C}.$$

Зная эту температуру, по рис. 3 определяем продолжительность периода $t_{н} > t_k = 10^\circ\text{C}$, которая равна:

$$\sum_{10}^{\infty} \tau_i \approx 2700 \text{ ч/год}.$$

Соответственно, по (3) период, когда требуется нагревание, равен:

$$\sum_{-\infty}^{10} \tau_i = 8766 - 2700 = 6066 \text{ ч/год}.$$

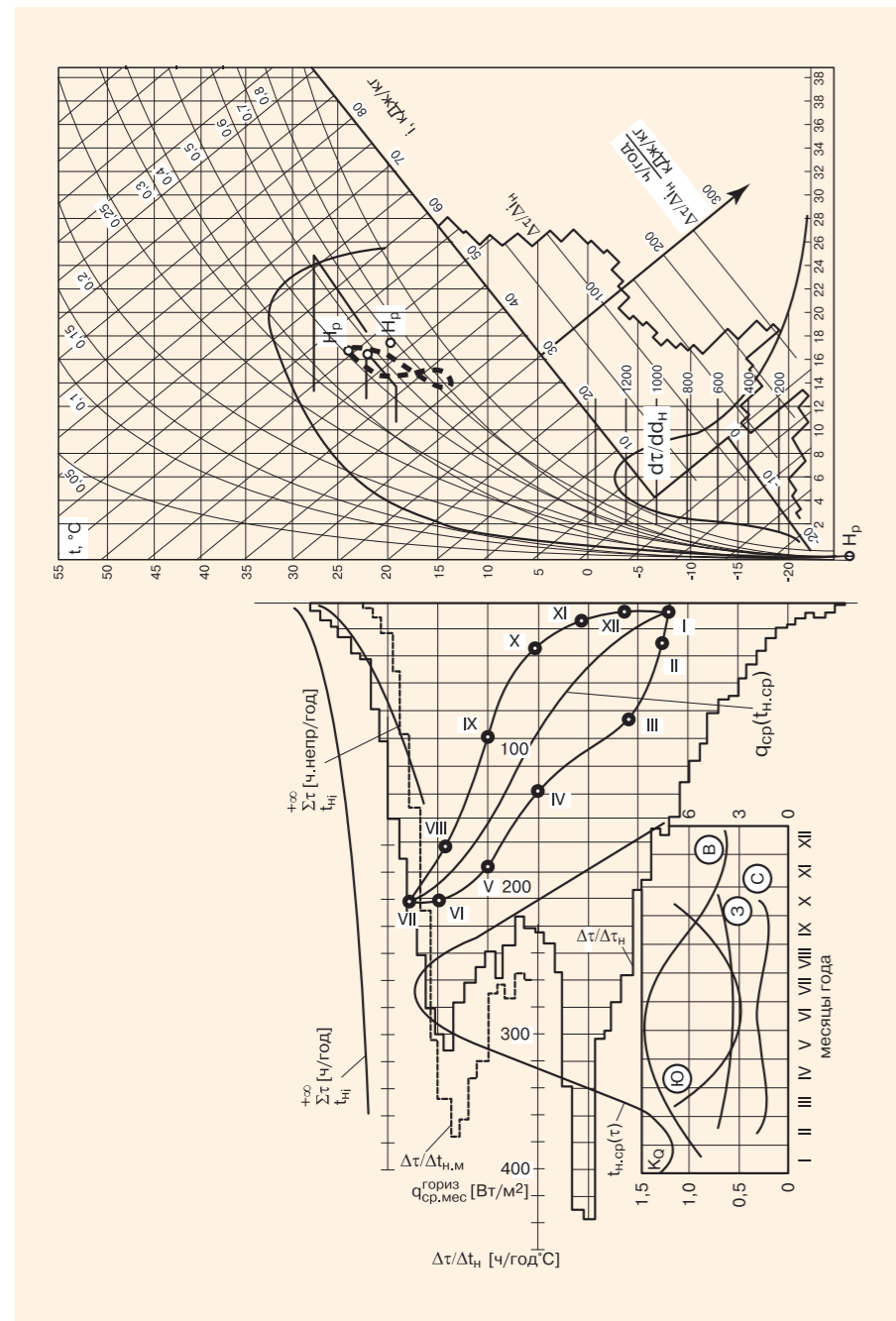


Рис. 2. Графическое представление основной климатологической информации (о температуре по сухому и мокрому термометрам, ее повторяемости, интенсивности солнечной радиации и других величинах для Санкт-Петербурга — левый квадрант; $i-d$ -диаграмма влажного воздуха и данные повторяемости энтальпий и влагосодержаний наружного воздуха — правый квадрант)

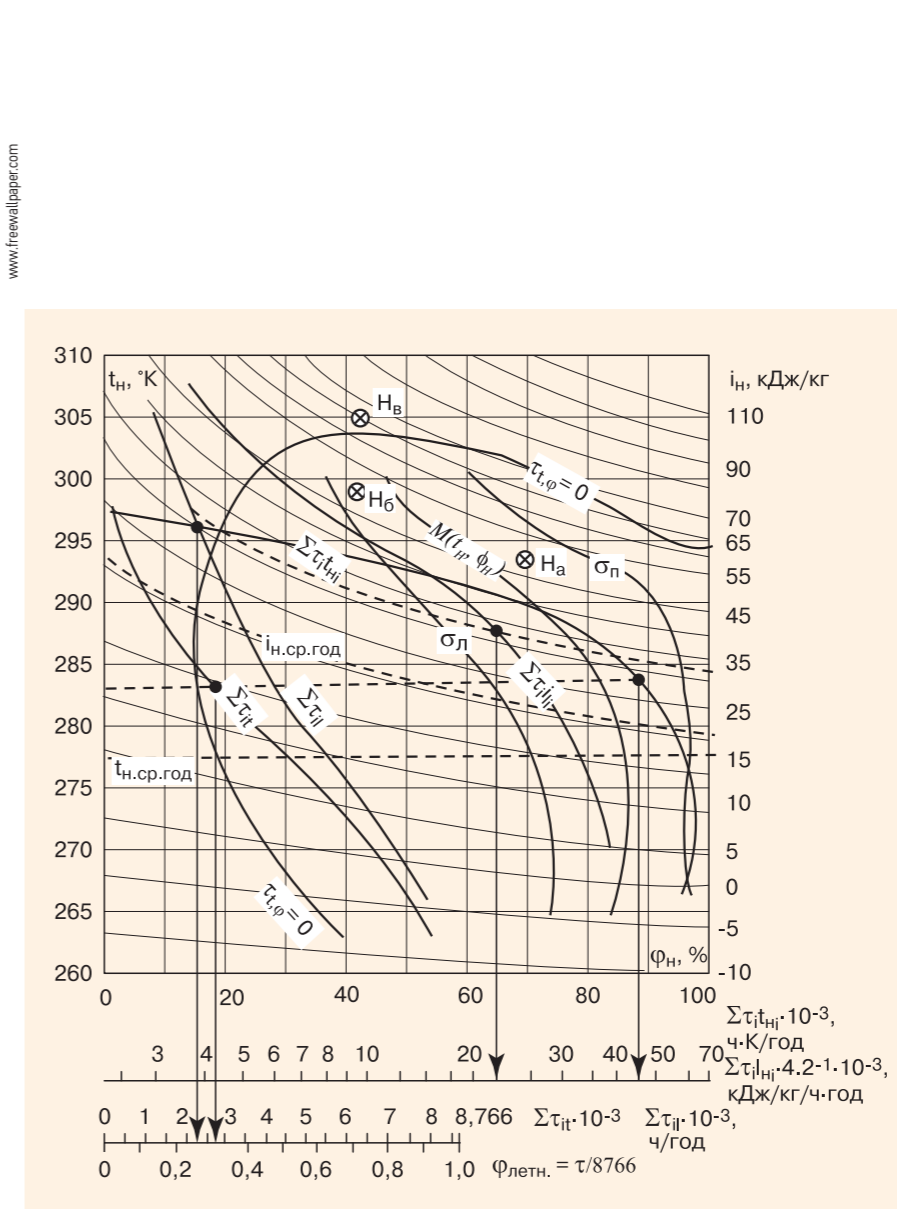


Рис. 3. Климатический паспорт Санкт-Петербурга (построен в прямоугольных координатах ϕ_n-t_n как графическая интерпретация основных зависимостей:

представляют собой линии суммарной повторяемости температур или энтальпий наружного воздуха выше заданных, ч/год;

представляют собой линии сумм произведений температур и энтальпий наружного воздуха на повторяемость, ч·°C/год, кДж/(кг·ч)·год; $M(t_n, \phi_n)$ — медианная линия $t_n-\phi_n$ -комплекса; $\sigma_n, \sigma_{\phi_n}$ — изолинии среднеквадратических отклонений параметра от медианы)

По рис. 3 определяем сумму произведений по следующему выражению:

$$\sum_{10}^{\infty} t_{н,i} \tau_i \approx 46000 \text{ ч} \cdot \text{C} / \text{год},$$

откуда по (3) получаем:

$$\sum_{-\infty}^{10} t_{н,i} \tau_i = 8766 \times 4,4 - 46000 = -7400 \text{ ч} \cdot \text{C} / \text{год}.$$

Знак «минус» указывает на то, что средняя температура за режим нагревания ($t_{н} < 10^\circ\text{C}$) отрицательна и равна:

$$t_{н.ср} = \frac{-7400}{6066} \approx -1,2^\circ\text{C}.$$

Искомый годовой расход теплоты на нагревание наружного воздуха в условиях данного примера по (4) равен:

$$Q_{т.год} = 1 \times 1 \times 1 \times [10 \times 6066 - (-7400)] \approx 68 \text{ тыс. кВт} \cdot \text{ч} / \text{год}.$$

Заметим, что годовой расход теплоты не зависит от того, нагревается ли только наружный воздух, только рециркуляционный или их смесь. Еще раз подчеркнем распространенное ошибочное утверждение о том, что рециркуляция экономит теплоту. Чтобы экономить последнюю, надо уменьшить расход холодного наружного воздуха и только.

Более подробно возможности и примеры определения различных величин, связанных с климатологической информацией, описаны в книге автора этой рубрики [8, т. II, ч. 1].

1. Климат Ленинграда / Под ред. Ц.А. Швер, Е.В. Алтыкиса, Л.С. Евтеевой. — Л.: Гидрометеоиздат, 1982.
2. Креслинъ А.Я. Автоматическое регулирование систем кондиционирования воздуха. — М.: Стройиздат, 1972.
3. Пивоварова З.И. Оценка суммарного прихода коротковолновой радиации на стены здания // Труды ГГО им. А.И. Воейкова. Вып. 321. — Л.: Гидрометеоиздат, 1973.
4. СНиП II-A.6-72. Строительная климатология и геофизика. — М.: Стройиздат, 1973.
5. Сотников А.Г. Расчет отклонений параметров в помещении при летних и зимних нарушениях // Холодильная техника, №8/1986.
6. Сотников А.Г. Климатический паспорт города и его применение в расчетах кондиционирования воздуха и вентиляции // Водоснабжение и санитарная техника, №11/1979.
7. Сотников А.Г. Климатологическая информация, совмещенная с диаграммой $i-d$ -влажного воздуха // Инженерные системы, №2/2001.
8. Сотников А.Г. Процессы, аппараты и системы кондиционирования воздуха и вентиляции / Теория, техника и проектирование на рубеже столетий. — СПб.: АТ-Publishing. Т. I, 2005; Т. II, ч. 1, 2006; Т. II, ч. 2, 2007.
9. 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.: Гидрометеоиздат, 1988.
10. Успенская Л.Б. Статистические закономерности изменения состояний наружного воздуха // В кн.: Вопросы проектирования и монтажа СО, СВ и КВ. Вып. 26. — Л.: ВНИИГС; ЦБТИ, 1968.