

## Лекция 1. Параметры наружного климата, измерения и расчеты параметров

Воздействие отдельных метеорологических элементов на тепловой, влажностный и воздушный режим здания и работу его инженерных систем является комплексным.

При проектировании и в процессе эксплуатации здания возникает ряд задач, решение которых сопряжено с использованием различных по номенклатуре и объему климатологических данных.

Основу климатологической информации составляют регулярные непрерывные измерения метеоэлементов в сети *метеостанций*. На станциях измеряют температуру воздуха и поверхности грунта, эффективное излучение, скорость и направление ветра, относительную влажность воздуха и барометрическое давление, а также интенсивность прямой и рассеянной радиации на горизонтальную поверхность.

Ряд климатических параметров, таких как парциальное давление водяного пара, влагосодержание и энтальпия воздуха, интенсивность радиации на вертикальные и наклонные поверхности разной ориентации, рассчитывают, используя имеющиеся значения измеряемых параметров.

Появление того или иного значения параметров обусловлено большим числом факторов и носит *случайный* характер. Поэтому для обобщения метеорологических элементов и получения тех или иных климатических параметров используются положения теории вероятностей и методы математической статистики.

При решении задач теплофизики здания и систем обеспечения микроклимата можно выделить два вида требуемой климатической информации: *в расчетных и эксплуатационных условиях*.

Под расчетными понимаются наиболее неблагоприятные погодные условия, при которых выбирается теплозащита здания и установочная мощность (производительность) систем обеспечения микроклимата. Расчетным условиям соответствует комплекс параметров наружного климата, за пределами которых система заведомо не обеспечивает поддержание расчетных параметров микроклимата.

Эксплуатационные условия характеризуются изменением параметров наружного климата во времени суток и года в интервале от расчетных летних до расчетных зимних и наоборот.

Для пересчета интенсивности измеряемой прямой радиации на нормальную к лучам поверхность пользуются формулами сферической геометрии. При этом интенсивность радиации на поверхность любой ориентации и положения определяется профильным углом. *Профильный угол* — это угол между лучом солнца и нормалью к поверхности (рисунок 1).

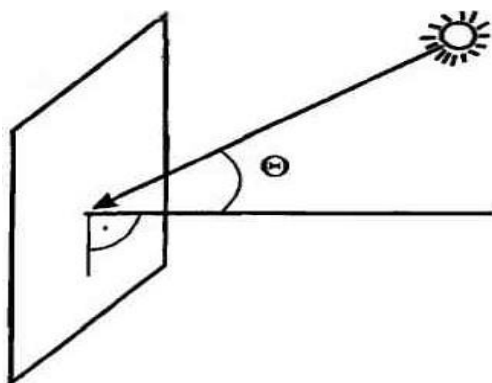


Рисунок 1 - Профильный угол

Величина интенсивности на горизонтальную, наклонную и вертикальную поверхности определяется как функция профильного угла по формуле:

$$S_i = S_n \cdot \cos\theta, \quad (1)$$

где  $S_n$  - интенсивность прямой радиации на нормальную к лучам поверхность, Вт/м<sup>2</sup>.

Для горизонтальной поверхности

$$\cos\theta_r = \sin\delta \sin\varphi + \cos\delta \cos\varphi \cos\gamma; \quad (2)$$

для вертикальной поверхности

$$\cos\theta_v = \cos\alpha (\cos\delta \cos\gamma \sin\varphi - \sin\delta \cos\varphi) + \sin\alpha \cos\delta \sin\gamma; \quad (3)$$

для наклонных поверхностей

$$\cos\theta_n = \sin\Delta \cos\theta_v + \cos\Delta \cos\theta_r, \quad (4)$$

где  $\alpha$  — азимут поверхности, град;

$\gamma$  — часовой угол, град;

$\varphi$  — географическая широта местности, град;

$\delta$  — склонение солнца, град;

$\Delta$  — угол наклона поверхности к горизонту, град.

Используя в качестве измеренной интенсивности прямой радиации на горизонтальную поверхность, коэффициент пересчета прямой радиации на вертикальные поверхности равен  $k_v = \cos\theta_v / \cos\theta_r$ .

Формулы (2) - (4) строго говоря, справедливы для безоблачного неба, однако без особой погрешности их можно использовать для средних условий обеспеченности. При этом надо иметь в виду, что при пересчете среднесуточных значений интенсивности следует учитывать нелинейность данных формул. Среднеинтегральные значения коэффициента пересчета  $k_v$ ,  $\cos\theta_r$  приведены в таблице 1.

Таблица 1 - Коэффициенты  $k_v$  и  $\cos\theta_r$  для пересчета на вертикальную поверхность интенсивности среднесуточной прямой солнечной радиации для горизонтальной поверхности.

Ориентация	Значение величин для географической широты (град)											
	40	45	50	55	60	65	40	45	50	55	60	65
	Январь						Октябрь					
Ю	1,79	2,58	2,94	3,1	6,01	11,22	1,25	1,54	1,89	2,38	2,98	3,87
В; З	0,51	0,67	0,68	0,61	1,02	1,36	0,51	0,57	0,64	0,72	0,83	0,98
ЮВ; ЮЗ	1,29	1,85	2,1	2,19	4,25	7,94	0,98	1,18	1,42	1,75	2,16	2,79
СВ; СЗ	0,03	0,03	0,02	0	0	0	0,09	0,09	0,08	0,07	0,06	0,05
$\cos\theta_r$	0,43	0,31	0,29	0,23	0,15	0,03	0,5	0,44	0,38	0,32	0,27	0,22
Апрель												
Ю	0,41	0,49	0,62	0,74	0,9	1,1						
С	0,02	0,02	0,02	0,02	0,03	0,05						
В; З	0,42	0,43	0,47	0,52	0,6	0,71						
ЮВ; ЮЗ	0,49	0,52	0,62	0,72	0,85	1,03						
СВ; СЗ	0,2	0,19	0,2	0,21	0,24	0,3						
$\cos\theta_r$	0,69	0,67	0,62	0,58	0,57	0,44						

**Рассеянная** солнечная радиация при средних условиях облачности одинаково распределена на поверхности разной ориентации. При безоблачном небе интенсивность рассеянной радиации на вертикальной поверхности оказывается разной для отражений, облучаемых солнцем и находящихся в тени.

Сумма рассеянной и отраженной радиации называется **диффузной** радиацией. Интенсивность отраженной радиации зависит от конкретных условий застройки, и ее расчет представляет определенные трудности. Поэтому в расчете принимают отраженную радиацию в количестве 20% от рассеянной на горизонтальную. Эта величина соответствует среднему альбедо (отношению отраженного потока к падающему в %) поверхности земли (альбедо асфальта 18,5%, старого снега 46%, травы 19—26%, пашни 14—26%, леса 12—19%).

При расчете интенсивности рассеянной радиации следует учитывать, что облученность вертикальной поверхности небосводом составляет 0,5, а горизонтальной 1. С учетом изложенного получим формулу для расчета диффузной радиации на произвольно расположенную поверхность:

$$(5) \quad D = D_r (0,5 + 0,5 \cos \Delta + 0,2 \sin \Delta),$$

где  $D_r$  - интенсивность рассеянной радиации на горизонтальную поверхность, Вт/м<sup>2</sup>.

Парциальное давление водяного пара рассчитывается по данным измерения относительной влажности по формуле:

$$(6) \quad P_{\text{вп}} = \frac{\varphi}{100} P_{\text{нас}},$$

где  $P_{\text{нас}}$  — парциальное давление водяного пара при полном насыщении — функция температуры наружного воздуха.

Влагосодержание наружного воздуха  $d$ , г/кг, определяется по формуле:

$$(7) \quad d = 622 \frac{P_{\text{вп}}}{B - C_{\text{вп}}},$$

где  $B$  - барометрическое давление, Па.

Энтальпия (теплосодержание) наружного воздуха  $I$ , кДж/кг, определяется по формуле:

$$(8) \quad I = 1,005t + (2500 + 1,807t)d \cdot 10^{-3}.$$

Приблизительно все параметры состояния влажного воздуха (как наружного, так и внутреннего) могут быть рассчитаны по следующим формулам:

парциальное давление водяного пара при полном насыщении, Па:

$$(9) \quad P_{\text{нас}} = A \cdot \exp\left(-\frac{c}{t + 273,15}\right)$$

где  $A = 1,8424 \cdot 10^{11}$  при  $t > 0$ ,  $A = 2,498 \cdot 10^{11}$  при  $t < 0$ ;

$c = 5331$  при  $t > 0$ ,  $c = 5419$  при  $t < 0$ ;

парциальное давление водяного пара, Па:

$$(10) \quad P_{\text{вп}} = P_{\text{нас}} \frac{\varphi}{100};$$

влагосодержание, г/кг:

$$d = 630 \left(\frac{P_{\text{вп}}}{B}\right); \quad (11)$$

энтальпия, кДж/кг:

$$I = 1,005 t + 2,49d; \quad (12)$$

температура точки росы, °С, т.е. температура, до которой нужно охладить воздух при  $d = \text{const}$ , чтобы в нем началась конденсация водяных паров:

$$(13) \quad t_p = \frac{c}{D - \ln P_{\text{вп}}} - 273,15,$$

где  $D = 25,94$  при  $t > 0$ ,  $D = 26,24$  при  $t < 0$ ;

температура мокрого термометра, °С, т.е. температура, которую приобретает смоченный шарик термометра в приборе для измерения относительной влажности воздуха:

$$(14) \quad t_m = 4,47\sqrt{I} - 13,83 \quad (\text{при } I > 0),$$

$$t_m = 0,82 \cdot I - 5,54 \quad (\text{при } I < 0).$$

Величина  $t_m$ , зависит только от  $I$ , поскольку является предельной температурой при увлажнении воздуха при  $I = \text{const}$ . При этом поток скрытой теплоты к воздуху с испаряющейся водой равен обратному потоку явной теплоты от воздуха к воде за счет возникшей разности температур, поскольку теплота на испарение отнимается сначала у самой воды и ее температура понижается до величины  $t_m$ . Равенство указанных потоков теплоты и означает, что в таком процессе  $I = \text{const}$ . Эти явления имеют место при обработке воздуха рециркулирующей водой и у смоченного шарика термометра.

Плотность воздуха,  $\text{кг}/\text{м}^3$ , определяется по формуле:

$$\rho = 353 / (t + 273). \quad (15)$$

Удельный вес,  $\text{Н}/\text{м}^3$ , определяют по формуле:

$$\gamma = 9,81 \cdot \rho. \quad (16)$$

Климатические параметры изменяются во времени, сохраняя определенные закономерности. Наиболее ярко закономерность изменения параметров проявляется, если их иллюстрировать средними многолетними значениями.

На рисунке 2 показан среднемесячный суточный ход температуры наружного воздуха в различных климатических зонах для разных сезонов года.

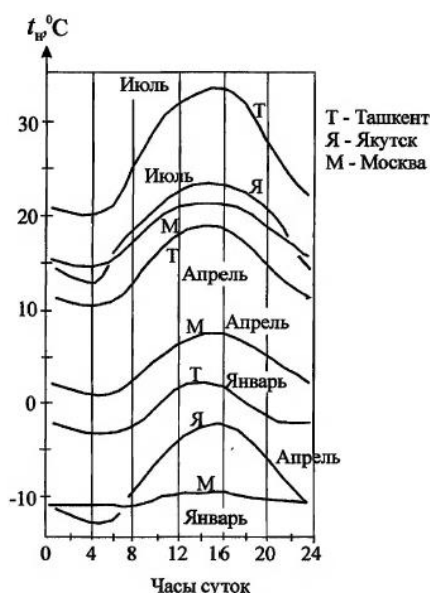


Рисунок 2 - Среднемесячный суточный ход температуры наружного воздуха

Аналогичные данные для скорости ветра показаны на рисунке 3, а для интенсивности солнечной радиации — на рисунке 4.

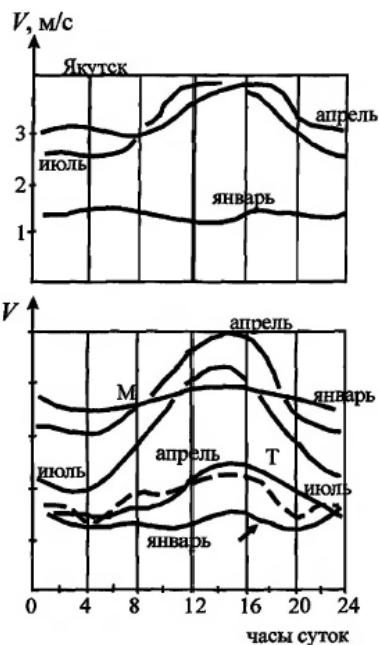


Рисунок 3 - Среднемесячный суточный ход средней скорости ветра

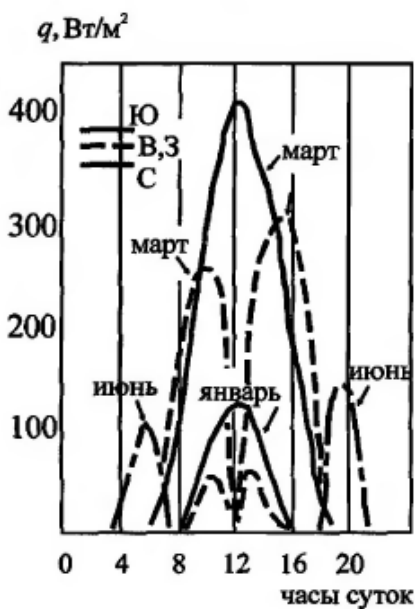
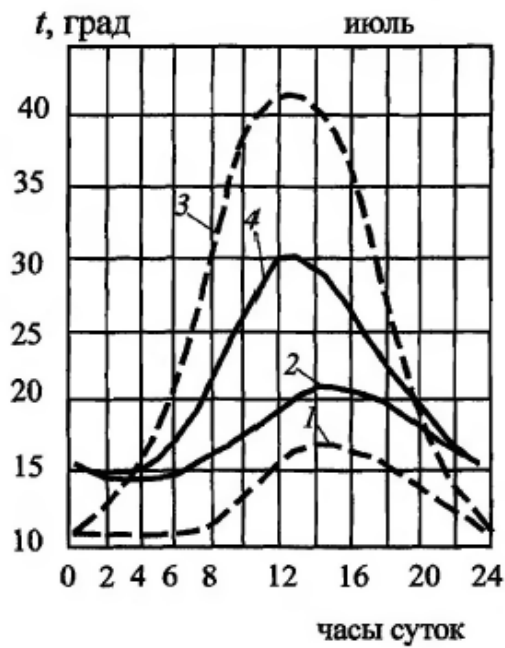


Рисунок 4 - Суточный ход среднемесячной суммарной солнечной радиации в Москве для разных месяцев года для горизонтальной поверхности

Приведенные данные показывают наличие общей закономерности суточного хода отдельных параметров для различных периодов года. На рисунке 5 показан пример суточного хода результирующей температуры. Как видно из рисунка 5, учет длинноволнового излучения в сторону небосвода приводит к довольно существенному различию результирующей температуры для вертикальной и горизонтальной поверхностей (линия 1 и 2 на рис. 5).



1 - наружная температура; 3 - условная температура для вертикальной поверхности;  
 2 - наружная; 4 - условная температура

Рисунок 5 - Суточный ход результирующей температуры в июле в Москве

В целом результирующая и условная температура, как и составляющие ее параметры, сохраняет общую закономерность суточного хода в отдельные периоды года.