

Строительная теплотехника

Преподаватель:

Соколов Александр Николаевич

Основные нормативные документы

- **СП 50.13330.2012 «Тепловая защита зданий»** - Актуализированная версия **СП 50.13330.2012**
- **СП 23-101-2003** Свод правил по проектированию и строительству. Проектирование тепловой защиты зданий. М, 2004.
- Фокин К.Ф. Строительная теплотехника ограждающих частей зданий. М.: Строиздат, 1973. 240 с.

Строительная теплотехника

изучает теплопередачу и воздухопроницание через ограждающие конструкции (ОК) зданий, влажностный режим ОК, связанный с процессом теплопередачи, что необходимо для рационального проектирования наружных ОК

Процессы переноса тепла и вещества, происходящие в конструкциях и помещениях зданий

- Процесс переноса тепла
- Процесс переноса влаги
- Процесс переноса воздуха

Потенциалы переноса

— термодинамические параметры,
вызывающие перенос, т.е.
определяющие направление и
интенсивность процессов теплообмена
и массообмена

Система, в которой устанавливается **постоянное** распределение значений температур или давлений, приходит в состояние постоянного равновесного обмена теплом или веществом с окружающей средой. Установившийся процесс такого постоянного обмена называется **стационарным**.

Исходными данными для теплотехнического проектирования ОК являются

- Климатические особенности местности (наружный климат)
- Назначение здания (микроклимат здания)

Тепловой режим здания

- совокупность всех факторов и процессов, определяющих тепловую обстановку в его помещениях
- Тепловой режим определяет ощущение теплового комфорта людей

Микроклимат помещений

создается

воздушным

и радиационным режимами

Воздушный режим

– взаимодействие

температуры,

влажности

и подвижности воздуха

Температура внутреннего воздуха

- Пониженная – 8-12 °С – слабо отапливаемые помещения
- Нормальная – 12-15 °С – помещения, где люди заняты физической работой
- - 18-20 °С – помещения, где люди находятся в малоподвижном состоянии, не требующем физического напряжения
- Повышенная – 21-23 °С – помещения для точной работы, не связанной с физическими усилиями

Радиационный режим

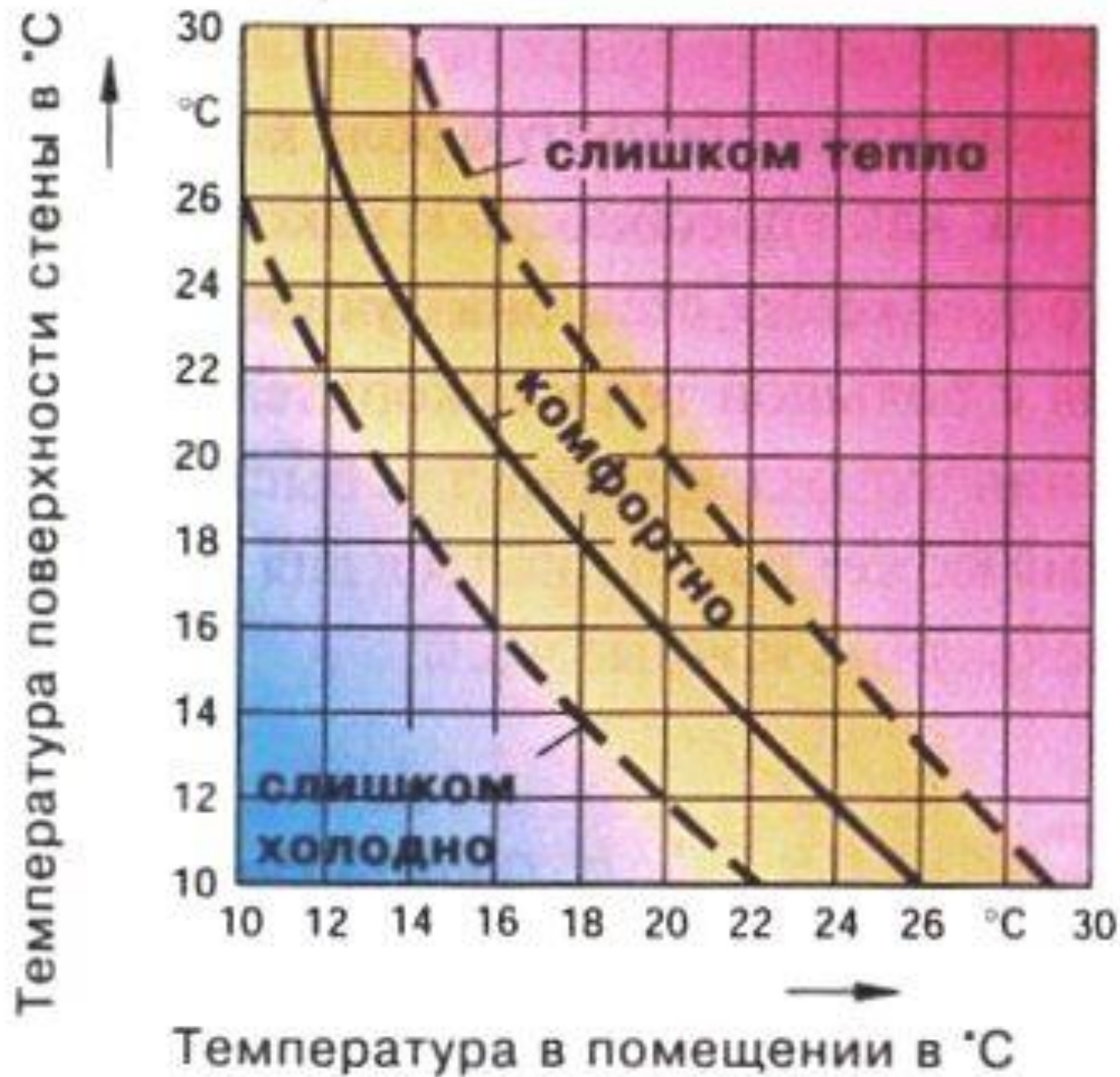
– теплообмен излучением между человеком и окружающими его ОК

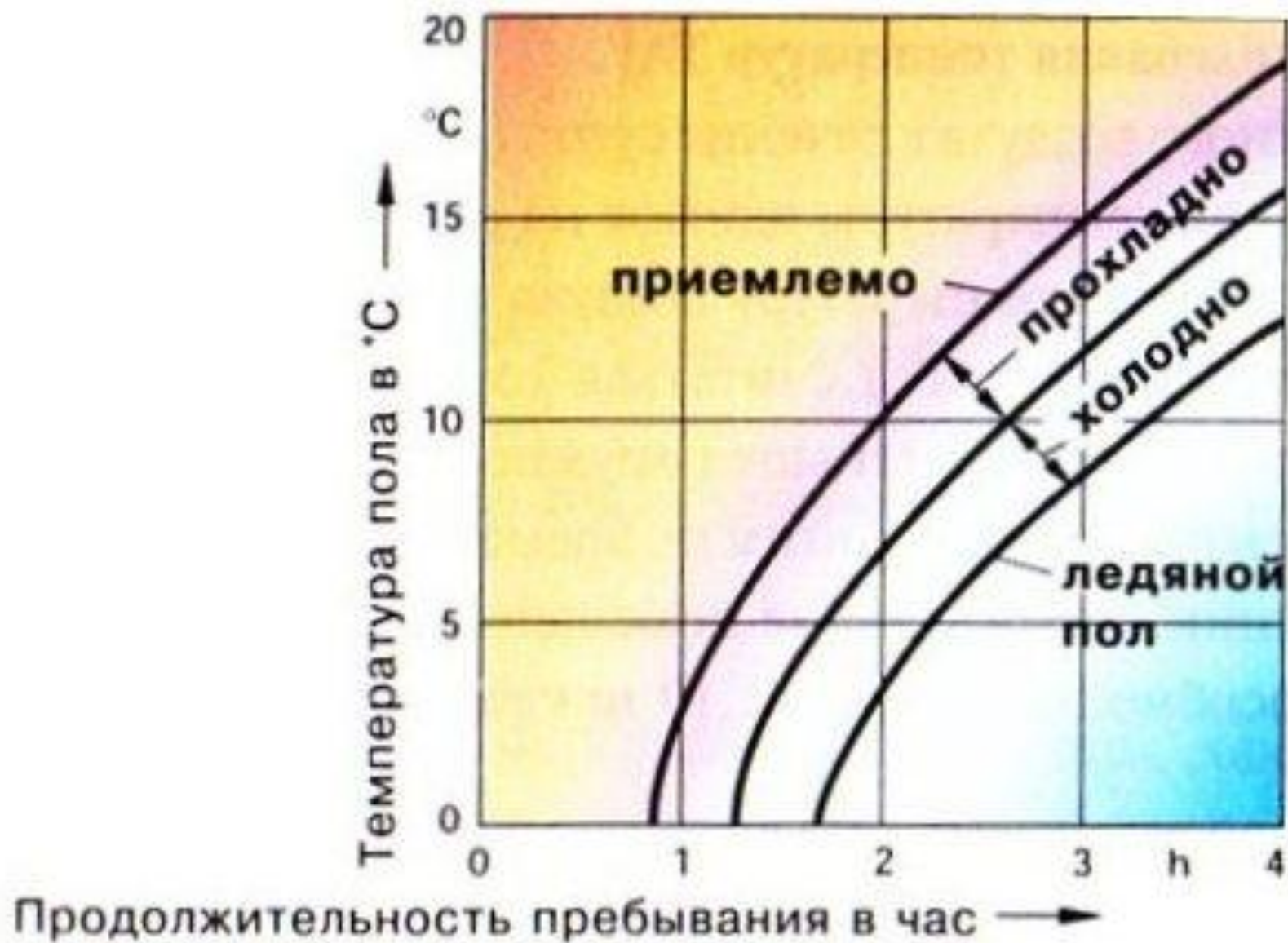
и между человеком и наружным пространством через открытые проёмы.

Радиационная температура

— усреднённая температура
внутренних поверхностей помещения

$$t_R = \frac{\sum t_i S_i}{\sum S_i}$$





Влажность воздуха

Влагосодержание

— масса водяного пара, приходящаяся
на единицу массы сухого воздуха

$$d = \frac{m_{\text{вод.пара}}}{m_{\text{сух.воздуха}}} \left[\frac{g}{kg} \right]$$

Абсолютная влажность

— масса влаги (водяного пара), содержащаяся
в единице объёма воздуха

$$a = \frac{m_{\text{вод.пара}}}{V} \left[\frac{\text{г}}{\text{м}^3} \right]$$

Упругость водяного пара

— парциальное давление водяного пара

$$e \quad [Pa]$$

Упругость насыщенного водяного пара (максимальная упругость)

— парциальное давление

насыщенного водяного пара

$$E \quad [Pa]$$

Уравнение состояния идеального газа

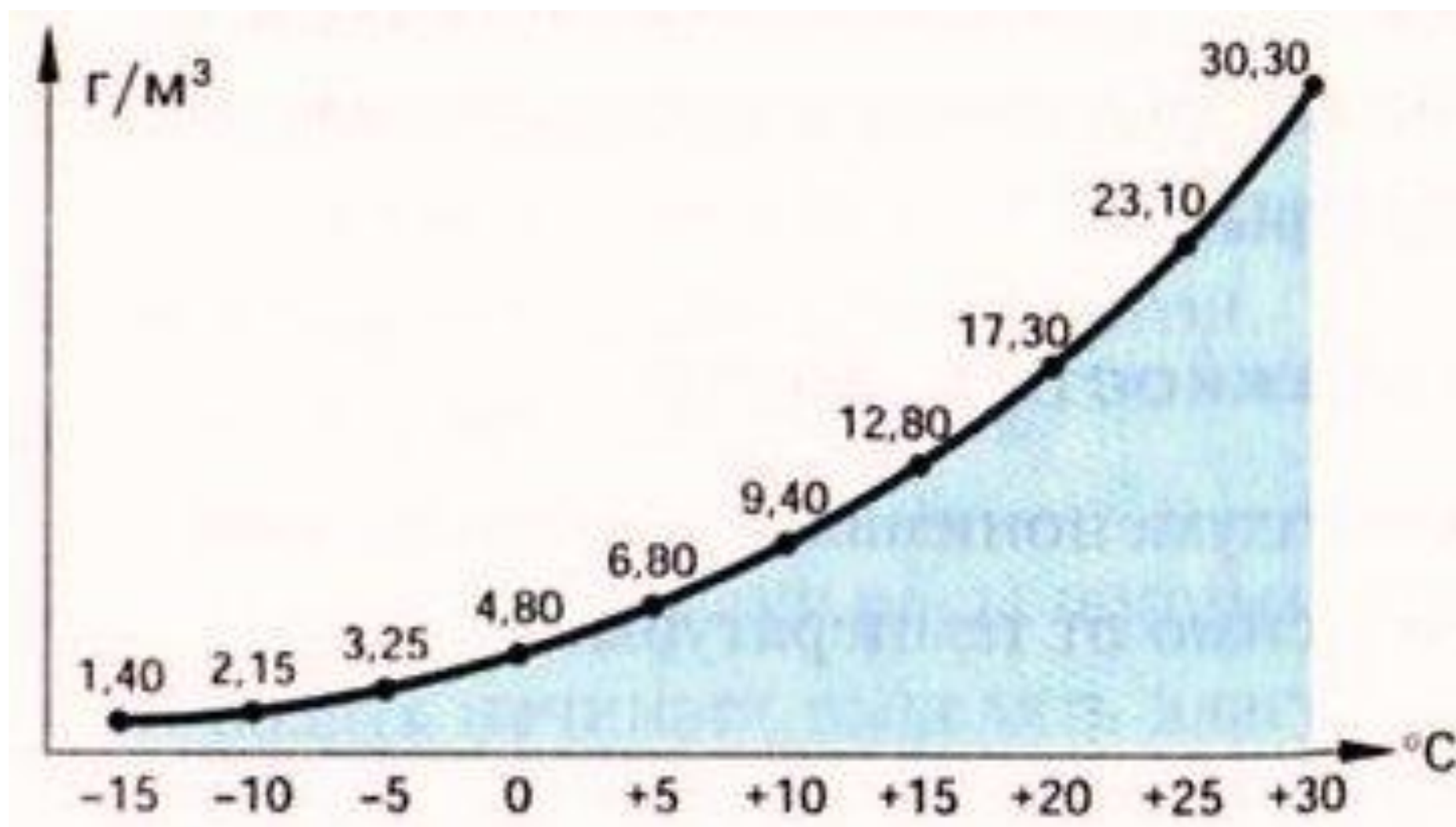
Из уравнения $PV = \frac{m}{\mu}RT$

Можно выразить $\alpha = e \frac{\mu}{RT}$

где μ – молярная масса водяного пара;

R – универсальная газовая постоянная;

T – абсолютная температура воздуха (по шкале Кельвина).



Т а б л и ц а М.2 — Значения упругости насыщенного водяного пара E , Па, для температуры t от 0 до 30,9 °С (над водой)

t , °С	0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9
0	611	615	620	624	629	633	639	643	648	652
1	657	661	667	671	676	681	687	691	696	701
2	705	711	716	721	727	732	737	743	748	753
3	759	764	769	775	780	785	791	796	803	808
4	813	819	825	831	836	843	848	855	860	867
5	872	879	885	891	897	904	909	916	923	929
6	935	941	948	956	961	968	975	981	988	995
7	1001	1009	1016	1023	1029	1037	1044	1051	1059	1065
8	1072	1080	1088	1095	1103	1189	1117	1125	1132	1140
9	1148	1156	1164	1172	1180	1188	1196	1204	1212	1220
10	1228	1236	1244	1253	1261	1269	1279	1287	1285	1304
11	1312	1321	1331	1339	1348	1355	1365	1375	1384	1323
12	1403	1412	1421	1431	1440	1449	1459	1468	1479	1488
13	1497	1508	1517	1527	1537	1547	1557	1568	1577	1588
14	1599	1609	1619	1629	1640	1651	1661	1672	1683	1695
15	1705	1716	1727	1739	1749	1761	1772	1784	1795	1807
16	1817	1829	1841	1853	1865	1877	1889	1901	1913	1925
17	1937	1949	1962	1974	1986	2000	2012	2025	2037	2050

Относительная влажность

выражает степень насыщения воздуха

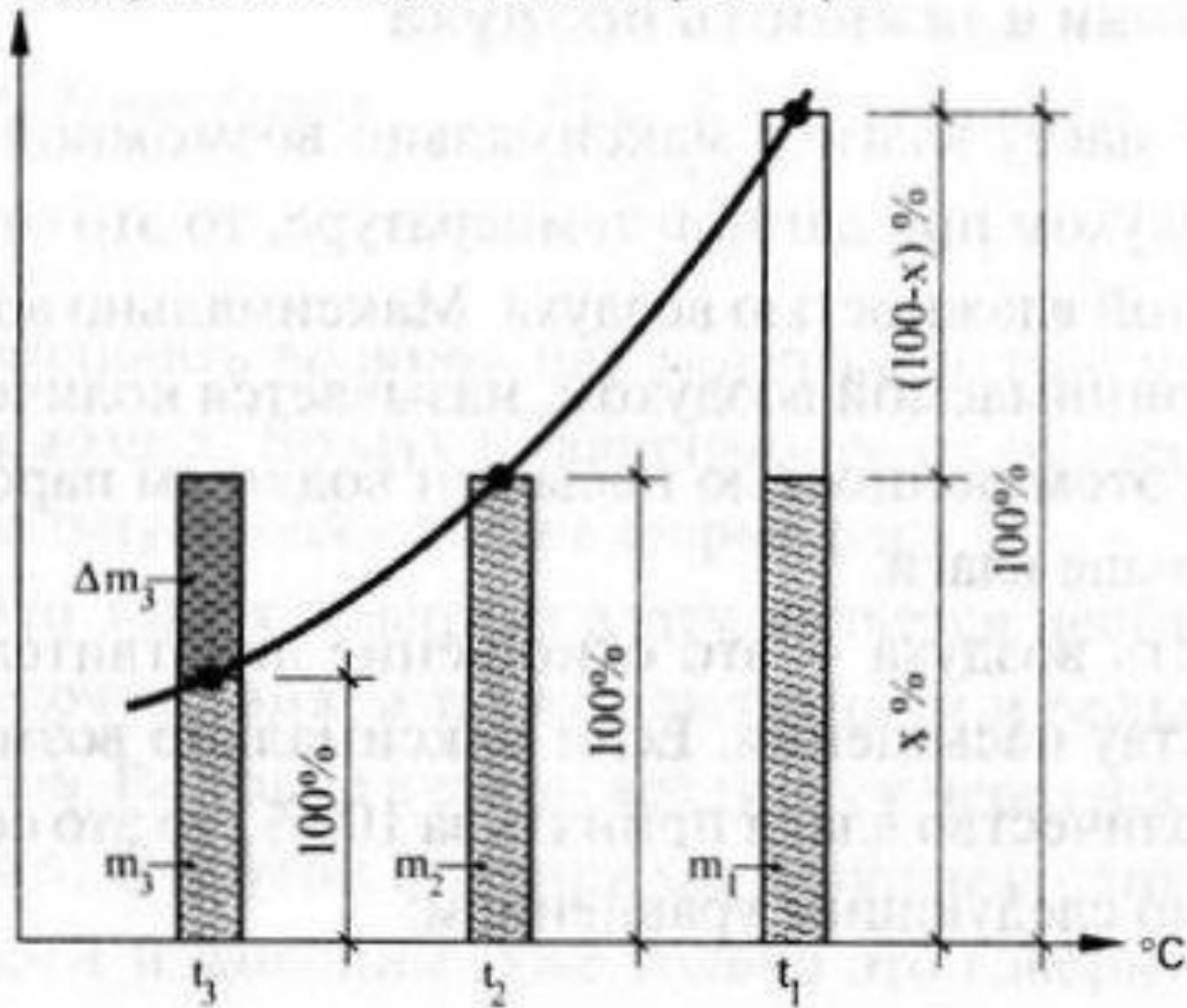
водяным паром

$$\varphi = \frac{a}{A} \cdot 100\% = \frac{e}{E} \cdot 100\%$$

Точка росы

– температура,
при которой водяной пар,
содержащийся в воздухе данной
влажности становится насыщенным

Содержание водяного пара в г/м³



ПРИЛОЖЕНИЕ Л

ТЕМПЕРАТУРА ТОЧКИ РОСЫ t_p , °C, ДЛЯ РАЗЛИЧНЫХ ЗНАЧЕНИЙ
ТЕМПЕРАТУРЫ t_{int} И ОТНОСИТЕЛЬНОЙ ВЛАЖНОСТИ ϕ_{int} , %, ВОЗДУХА В ПОМЕЩЕНИИ

t_{int} , °C	t_p , °C, при ϕ_{int} , %											
	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95
-5	-15,3	-14,04	-12,9	-11,84	-10,83	-9,96	-9,11	-8,31	-7,62	-6,89	-6,24	-5,6
-4	-14,4	-13,1	-11,93	-10,84	-9,89	-8,99	-8,11	-7,34	-6,62	-5,89	-5,24	-4,6
-3	-13,42	-12,16	-10,98	-9,91	-8,95	-7,99	-7,16	-6,37	-5,62	-4,9	-4,24	-3,6
-2	-12,58	-11,22	-10,04	-8,98	-7,95	-7,04	-6,21	-5,4	-4,62	-3,9	-3,34	-2,6
-1	-11,61	-10,28	-9,1	-7,98	-7,0	-6,09	-5,21	-4,43	-3,66	-2,94	-2,34	-1,6
0	-10,65	-9,34	-8,16	-7,05	-6,06	-5,14	-4,26	-3,46	-2,7	-1,96	-1,34	-0,62
1	-9,85	-8,52	-7,32	-6,22	-5,21	-4,26	-3,4	-2,58	-1,82	-1,08	-0,41	0,31
2	-9,07	-7,72	-6,52	-5,39	-4,38	-3,44	-2,56	-1,74	-0,97	-0,24	0,52	1,29
3	-8,22	-6,88	-5,66	-4,53	-3,52	-2,57	-1,69	-0,88	-0,08	0,74	1,52	2,29
4	-7,45	-6,07	-4,84	-3,74	-2,7	-1,75	-0,87	-0,01	0,87	1,72	2,5	3,26
5	-6,66	-5,26	-4,03	-2,91	-1,87	-0,92	-0,01	0,94	1,83	2,68	3,49	4,26
6	-5,81	-4,45	-3,22	-2,08	-1,04	-0,08	0,94	1,89	2,8	3,68	4,48	5,25
7	-5,01	-3,64	-2,39	-1,25	-0,21	0,87	1,9	2,85	3,77	4,66	5,47	6,25
8	-4,21	-2,83	-1,56	-0,42	-0,72	1,82	2,86	3,85	4,77	5,64	6,46	7,24
9	-3,41	-2,02	-0,78	0,46	1,66	2,77	3,82	4,81	5,74	6,62	7,45	8,24
10	-2,62	-1,22	0,08	1,39	2,6	3,72	4,78	5,77	6,71	7,6	8,44	9,23
11	-1,83	-0,42	0,98	1,32	3,54	4,68	5,74	6,74	7,68	8,58	9,43	10,23
12	-1,04	0,44	1,9	3,25	4,48	5,63	6,7	7,71	8,65	9,56	10,42	11,22
13	-0,25	1,35	2,82	4,18	5,42	6,58	7,66	8,68	9,62	10,54	11,41	12,21
14	0,63	2,26	3,76	5,11	6,36	7,53	8,62	9,64	10,59	11,52	12,4	13,21
15	1,51	3,17	4,68	6,04	7,3	8,48	9,58	10,6	11,59	12,5	13,38	14,21
16	2,41	4,08	5,6	6,97	8,24	9,43	10,54	11,57	12,56	13,48	14,36	15,2
17	3,31	4,99	6,52	7,9	9,18	10,37	11,5	12,54	13,53	14,46	15,36	16,19
18	4,2	5,9	7,44	8,83	10,12	11,32	12,46	13,51	14,5	15,44	16,34	17,19
19	5,09	6,81	8,36	9,76	11,06	12,27	13,42	14,48	15,47	16,42	17,32	18,19
20	6,0	7,72	9,28	10,69	12,0	13,22	14,38	15,44	16,44	17,4	18,32	19,18

Исключение выпадения конденсата на внутренней поверхности ОК

$$\tau_{\text{в}} \geq t_{\text{р}}$$

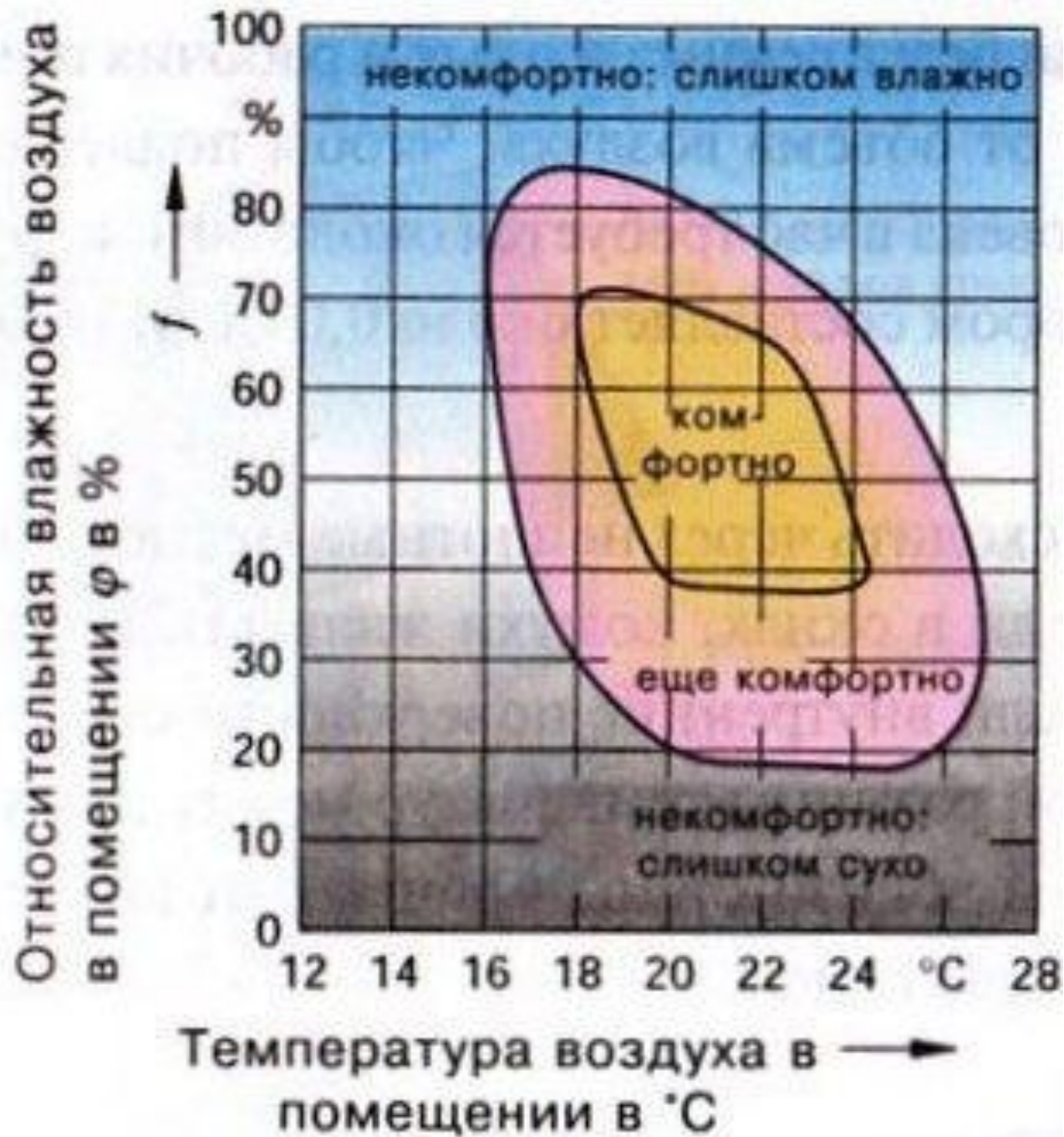
$$\tau_{\text{у}} \geq t_{\text{р}}$$

Таблица 2*

Здания и помещения	Нормируемый температурный перепад Δt_n , °С, для		
	наружных стен	покрытий и чердач- ных пере- крытий	перекры- тий над проезда- ми, подва- лами и подполь- ями
1. Жилые, лечебно- профилактические и детские учрежде- ния, школы, интер- наты	4,0	3,0	2,0
2. Общественные, кро- ме указанных в п.1, административные и бытовые, за ис- ключением поме- щений с влажным или мокрым режи- мом	4,5	4,0	2,5

Относительная влажность внутреннего воздуха

- Менее 50% - сухие помещения
- 50-60% - помещения с нормальной влажностью
- 61-75% - влажные помещения
- Более 75% - помещения с мокрым режимом



Влажностный режим помещения

	Влажность воздуха в % при температуре		
	До 12°	Св.12° до 24°	Св. 24°
Сухой	До 60	До 50	До 40
Нормальный	Св.60 до 75	Св.50 до 60	Св.40 до 50
Влажный	Св.75	Св.60 до 75	Св.50 до 60
Мокрый	-	Св.75	Св.60

Климат

– многолетний режим погоды,
характеризующийся однотипными
показателями метеорологических
элементов над обширными
территориями

Элементы климата

- Температура воздуха
- Влажность воздуха
- Ветер
- Солнечная радиация
- Осадки, снежный покров

- Климатология — наука о климате
- **Архитектурная климатология** — изучает взаимодействие климата, архитектурно-планировочной структуры городов и архитектуры зданий
- **СНиП 23-01-99 «Строительная климатология» - СП 131.13330.2012**

Таблица 1 - Климатические параметры холодного периода года

Республика край, область, пункт	Температура воздуха наиболее холодных суток, °С, обеспечен- ностью		Температура воздуха наиболее холодной пятидневки, °С, обеспечен- ностью		Температура воздуха, °С, обеспечен- ностью 0,99	Абсолют- ная минималь- ная темпера- тура воздуха, °С	Средняя суточная амплитуда температу- ры воздуха наиболее холодного месяца, °С	Продолжительность, сут, и средняя температура воздуха, °С, периода со средней суточной температурой воздуха					
								≤ 0°С		≤ 5°С		≤ 10°С	
								Продолжитель- ность	средняя температу- ра	Продолжитель- ность	средняя температу- ра	Продолжитель- ность	средняя температура
	0,98	0,92	0,98	0,92									
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ

Республика Адыгея													
Майкоп	-27	-22	-21	-19	-6	-34	9	40	-1	148	2,3	169	3,1
Республика Алтай													
Земельск	-44	-42	-41	-38	-23	-46	9,5	164	-11,5	216	-7,8	230	-6,7
Барнаул	-44	-42	-41	-39	-23	-52	10,2	168	-11,4	221	-7,7	235	-6,7
Белая	-27	-26	-25	-23	-14	-35	5,9	149	-6	223	-2,7	242	-1,7
Бийск	-45	-43	-41	-38	-23	-51	11	168	-11,6	222	-7,8	236	-6,7
Земельск	-44	-41	-40	-38	-20	-49	10,5	163	-10,2	217	-6,6	232	-5,6
Катанда	-43	-42	-42	-40	-28	-48	12,3	175	-14	237	-9,2	258	-7,8
Копейск	-49	-48	-48	-46	-36	-55	13	199	-18,1	262	-12,8	282	-11,2
Онгудай	-42	-41	-40	-38	-26	-46	11,1	168	-13	231	-8,3	249	-7,3
Родино	-44	-42	-41	-38	-23	-49	9,6	165	-11,8	215	-8,1	228	-7
Рубцовск	-44	-41	-41	-38	-23	-49	9,7	162	-11	213	-7,4	227	-6,4
Славгород	-43	-40	-41	-37	-24	-48	9,2	166	-12,5	215	-8,7	228	-7,7
Топул	-43	-41	-40	-37	-22	-48	8,6	170	-11	225	-7,3	240	-6,3
Хакасия область													
Архара	-42	-40	-38	-36	-32	-50	11,7	171	-16,4	219	-11,8	233	-10,6
Белогорск	-43	-40	-41	-37	-32	-48	10	174	-16,4	223	-11,9	236	-10,7
Благовещенск	-38	-37	-36	-34	-29	-45	10,5	170	-14,8	218	-10,6	232	-9,4
Боммак	-46	-45	-44	-42	-37	-52	11,1	194	-19,2	242	-14,7	259	-13,1
Братолюбская	-41	-40	-39	-37	-33	-51	11,2	179	-17,1	229	-12,4	242	-11,2
Бурятия	-44	-43	-43	-41	-36	-51	14,8	185	-18,4	235	-13,5	253	-13,3

Средняя местная относитель- ная влажность воздуха наиболее холодного месяца, %	Средняя местная относитель- ная влажность воздуха в 15 ч. наиболее холодного месяца, %.	Количество осадков за ноябрь- март, мм	Преобладаю- щее направление ветра за декабрь- февраль	Максимальная из средних скоростей ветра по румбам за январь, м/с	Средняя скорость ветра, м/с, за период со средние суточной темпера- турой воздуха $\leq 8^{\circ}\text{C}$
15	16	17	18	19	20

79	72	276	Ю	5,7	3
80	78	130	НС	6,8	—
79	76	146	НС	5,9	3,9
59	55	121	НВ	7	4,5
81	79	165	НС	4,7	3,7
78	74	204	Ю	6,9	3,7
81	79	81	С	1,8	1,7
76	74	20	В	4,1	1,7
79	71	46	З	2,3	9,1
80	79	76	НС	6	4,8
80	79	115	Ю	7,9	—
81	80	73	НС	6,2	5,2
79	77	146	НС	—	—

Характерные виды погоды

- Ниже -12° – очень холодная
- Ниже 8° – холодная, требующая отопления
- $8-15^{\circ}$ – прохладная
- $16-28^{\circ}$ – теплая
- Выше 28° – жаркая
- Выше 32° – очень жаркая

Температура наружного воздуха

Различают:

- Абсолютную температуру
- Среднюю, максимальную и минимальную температуры
- Среднюю температуру днём и ночью
- Среднемесячную температуру воздуха, характеризующую сезон

В качестве расчётных температур
принимаются:

- Для массивных конструкций — средняя наиболее холодной пятидневки;
- Для лёгких конструкций — средняя температура наиболее холодных суток;
- Для конструкций средней массивности — полусумма этих температур.

Температурное поле

– Одновременное распределение температур в рассматриваемой среде называется температурным полем, которое подразделяют на одномерное, двумерное и трёхмерное.

Градиентом температуры называется отношение разности температур к длине участка, на котором это изменение происходит

$$\left(grad\ t = \frac{\Delta t}{\delta} \right)$$

Размерностью градиента температуры может являться как °С/м, так и °К/м

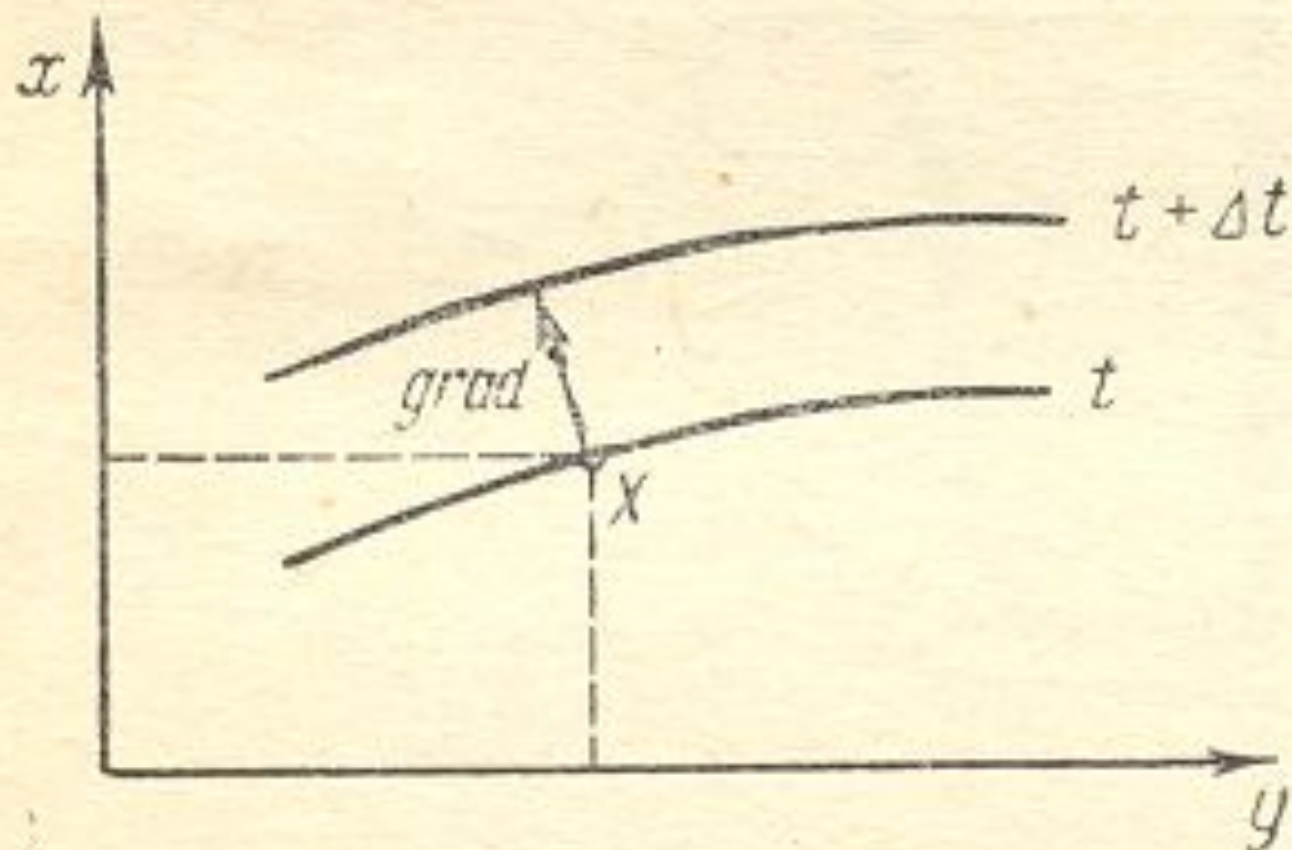


Рис. 1.2. Изолинии температур двумерного поля:

x, y — направления координат; $t = f(x, y)$

- Тепловой поток – количество теплоты, переносимое за единицу времени

$$Q, \text{ Вт}$$

- Плотность теплового потока – количество теплоты, переносимое за единицу времени через единицу площади

$$q, \text{ Вт/м}^2$$

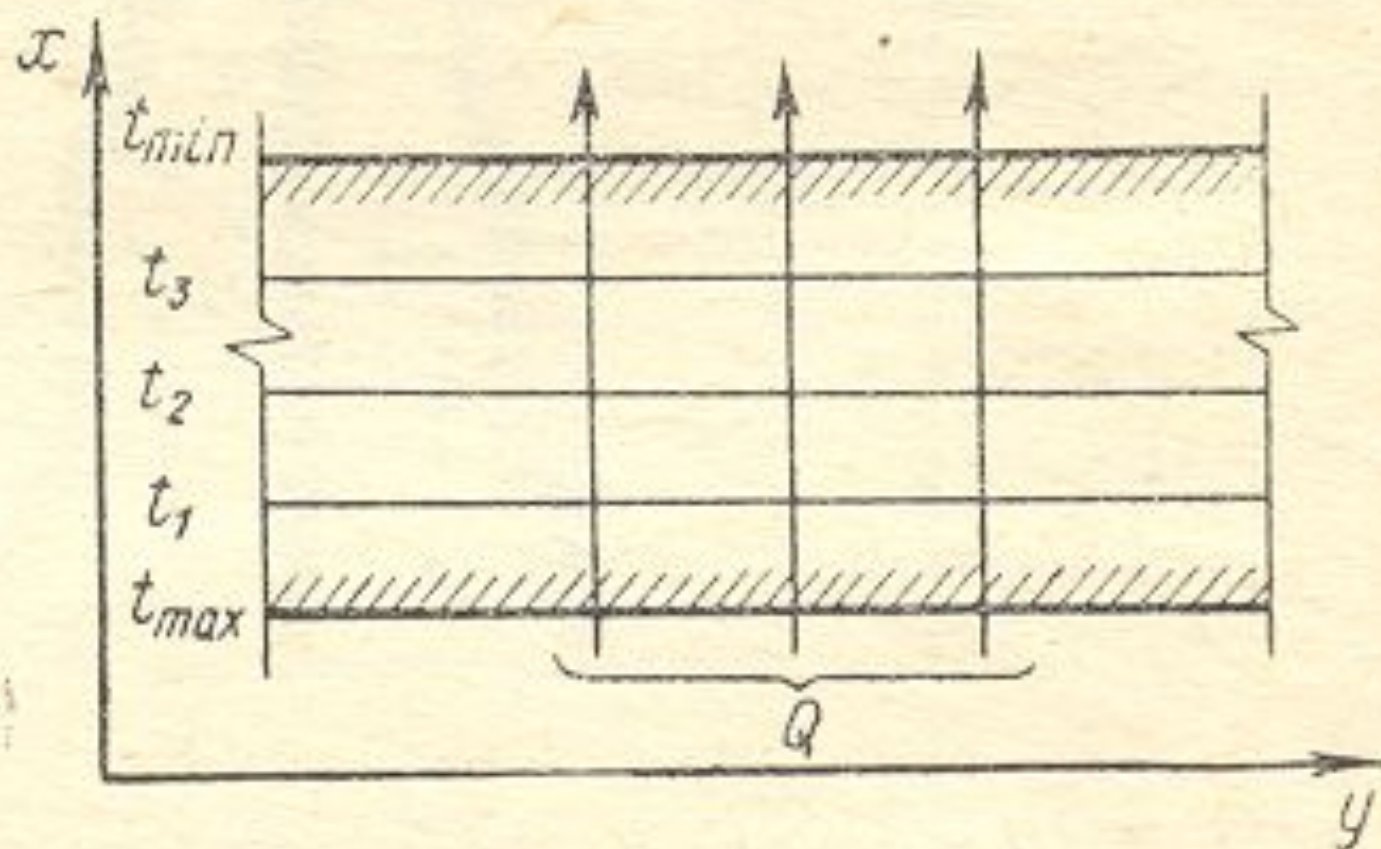


Рис. I.3. Однородное температурное поле в плоской протяженной стене:
 $t = f(x)$; t — изолинии температур; Q — направление потока тепла

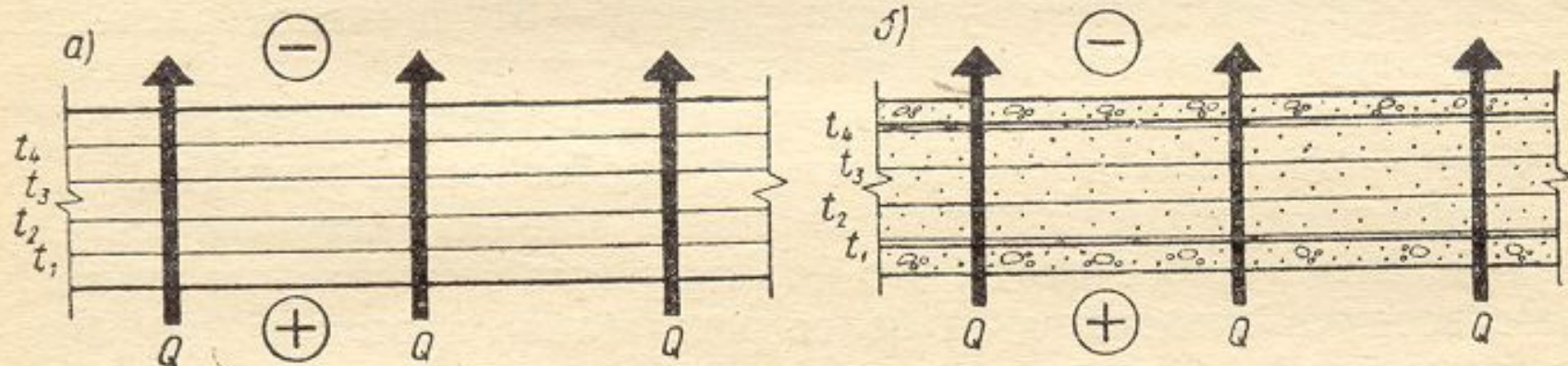


Рис. IV.1. Схема распределения температур и одномерного направления потоков тепла в плоских ограждающих конструкциях, однородных и теплофизическом отношении:

a — конструкция, выполненная из одного материала; *б* — конструкция слоистая, выполненная из различных материалов; t_1 — t_4 — изолинии распределения температур; Q — одномерное направление потока тепла, нормальное к изолиниям температур

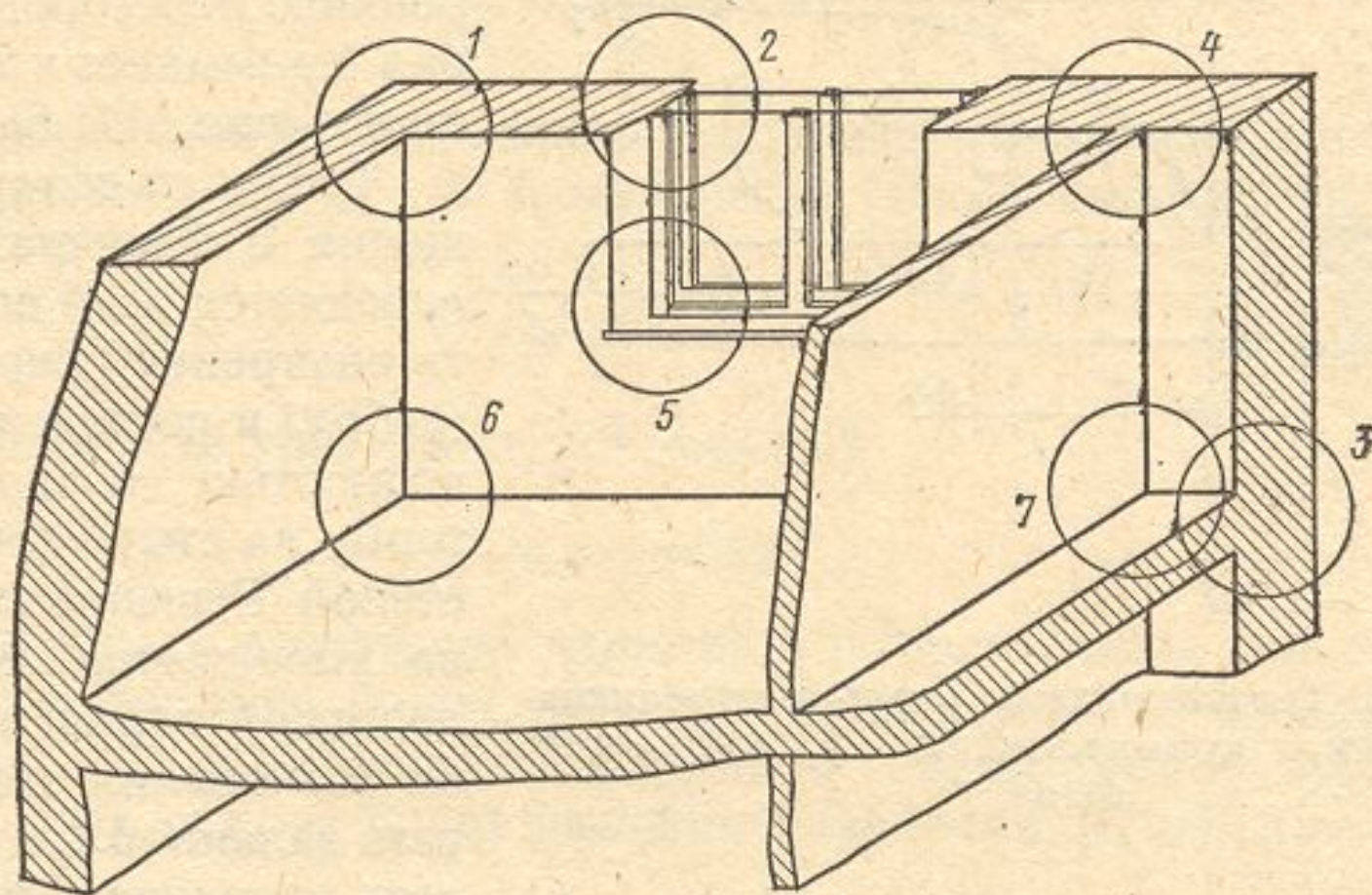
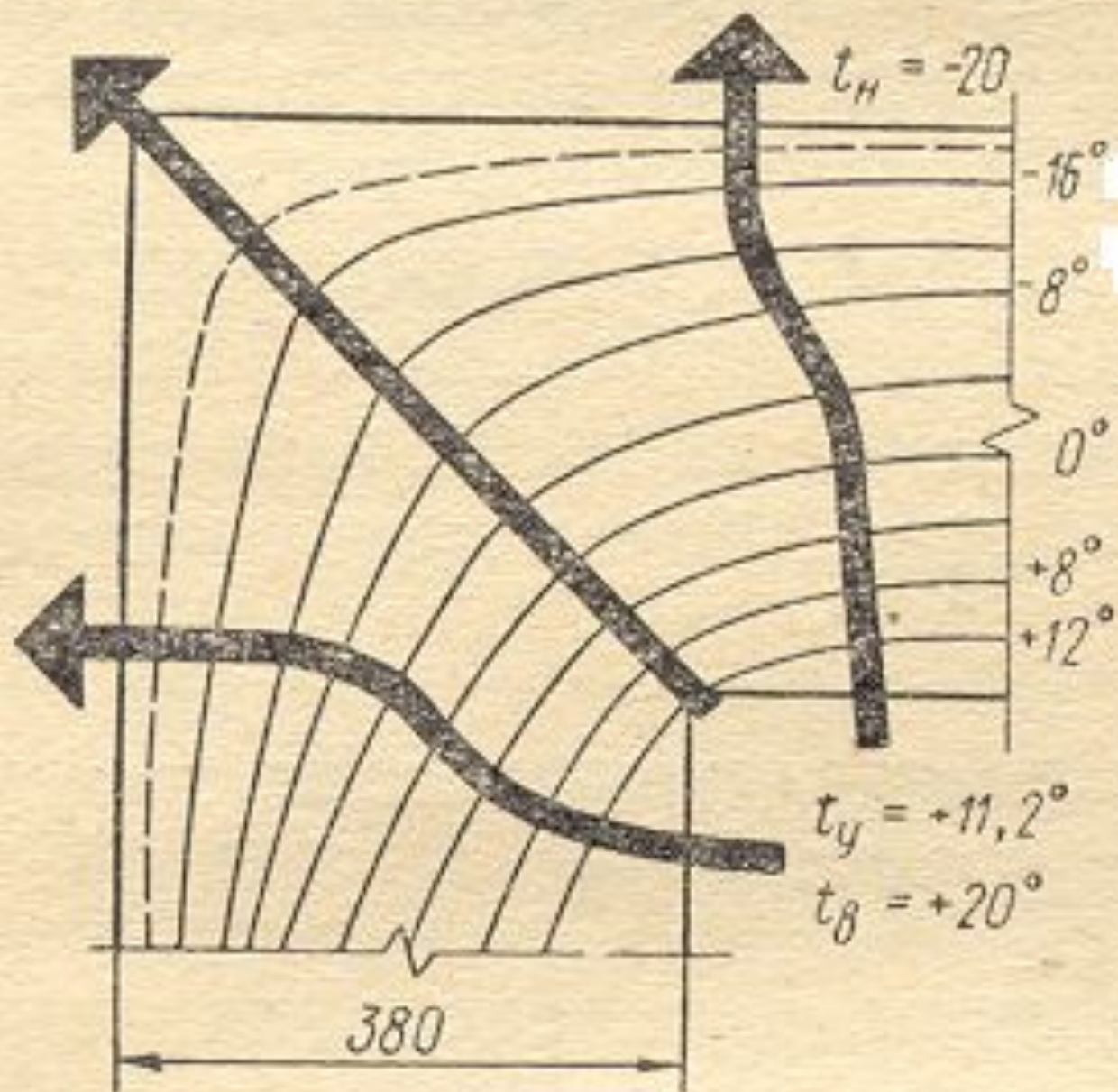


Рис. III.4. Элементы формирования двумерных (1, 2, 3, 4) и трехмерных (5, 6, 7) температурных полей в наружных ограждениях здания

a)



Теплопередача

– перенос тепла
из одной воздушной среды
(более нагретой)
в другую (менее нагретую)
через разделяющую эти среды ОК,
включающий все виды теплообмена

Виды теплопередачи

- Теплопроводность
- Конвекция
- Излучение

Виды теплопередачи

- Теплопроводность
закон Фурье

$$Q = - \lambda \text{ grad } t S \theta \quad (\text{Дж})$$

$$q = - \lambda \text{ grad } t \quad (\text{Вт/м}^2)$$

-

Часто для того, чтобы в уравнениях не фигурировали величины S и θ , удобно пользоваться величиной плотности теплового потока q :

$$q = \frac{Q}{S\theta} = -\lambda \frac{\Delta t}{\delta} = -\lambda \operatorname{grad} t \text{ [Дж/м}^2\cdot\text{с} = \text{Вт/м}^2\text{]}.$$

Плотность теплового потока

$$q = -\lambda \cdot \text{grad} t$$

$$q = -\lambda \frac{dt}{dx}$$

**Дифференциальное уравнение
теплопроводности при одномерном
распространении тепла (в направлении x)
уравнение Фурье**

$$\frac{\partial t}{\partial \theta} = \frac{\lambda}{c\rho} \frac{\partial^2 t}{\partial x^2}$$

Дифференциальное уравнение Фурье

является

уравнением нестационарного поля
любого потенциала переноса

При стационарных условиях

$$\frac{\partial t}{\partial \theta} = 0$$

При одномерной передаче тепла через однородный слой

$$\frac{d^2 t}{dx^2} = 0$$

- $t = f(x)$ – линейная функция

- Плотность теплового потока $q = \text{Const}$

Виды теплопередачи

- **Конвекция**

$$q = f(\Delta t, v)$$

- **Естественная конвекция**

(движение частиц обусловлено разностью температур, следовательно неодинаковой плотностью)

- **Вынужденная конвекция**

(движение частиц вызвано внешним воздействием)

Виды теплопередачи

- Излучение

— перенос энергии

в виде электромагнитных волн между двумя
взаимно излучающими поверхностями

(различно нагретыми поверхностями твёрдых тел,
разделённых лучепрозрачной средой)

Материалы характеризуются:

- **объёмным весом** (плотностью) материала

$$\gamma = \frac{m}{V_o}, \text{ кг/м}^3, \text{ при этом } V_o = V_{\text{вещ}} + V_{\text{пор}}$$

- **удельным весом** (плотностью вещества,

скелета) $\rho = \frac{m}{V_{\text{вещ}}}$ (не учитываются поры материала)

- **пористостью**, которая определяет процентное содержание пор в материале и выражается процентным соотношением объёма пор к общему объёму материала. Пористость также можно найти по формуле $p = \frac{\rho - \gamma}{\rho} \cdot 100\%$.

Влажность оказывает большое влияние на теплопроводность и теплоёмкость материала, имеет большое значение для оценки влажностного режима ограждающих конструкций.

Подразделяется на

- Весовую

$$\omega = \frac{m_{\text{влаги}}}{m_{\text{сух мат}}} \cdot 100\% = \frac{m_{\text{влаж мат}} - m_{\text{сух мат}}}{m_{\text{сух мат}}} \cdot 100\%.$$

- Объёмную

$$\omega_o = \frac{V_{\text{влаги}}}{V_{\text{сух мат}}} \cdot 100\%.$$

Связать w и w_0 материала можно соотношением:

- $$\omega_o = \frac{\omega \gamma}{\gamma_{\text{воды}}},$$

где γ – объёмный вес материала, а $\gamma_{\text{воды}} = 1000$ кг/м³.

