

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНСТВО ПО ОБРАЗОВАНИЮ РФ

МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ СТРОИТЕЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

КАФЕДРА АРХИТЕКТУРНО СТРОИТЕЛЬНОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ

**ВЛАЖНОСТНЫЙ РЕЖИМ НЕОДНОРОДНОГО
МНОГОСЛОЙНОГО ОГРАЖДЕНИЯ**

**Методические указания
к выполнению курсовой работы
для студентов специальности 270102
«Промышленное и гражданское строительство»**

Москва 2010

Составитель

доцент, кандидат технических наук С.В. Саргсян,
профессор, кандидат технических наук А.О. Ковалев

Рецензент

доцент, кандидат технических наук А.Г. Рымаров

Введение

Методические указания составлены в соответствии с учебным планом курса «Физика среды и наружных ограждений» для специальности 270102 «Промышленное и гражданское строительство». Курсовая работа по изучению влажностного режима неоднородной многослойной конструкции ограждения, является частью комплексного проекта по курсу «Физика среды и наружных ограждений».

Цель курсовой работы – закрепление и развитие знаний, полученных студентами при изучении теоретического курса. Студенты знакомятся со специальной нормативной и справочной литературой, а также проводят теоретические расчеты.

В курсовой работе определяют: возможности конденсации водяных паров в толще конструкции наружной стены и проводят расчеты по обоснованию ее допустимости.

Студент выполняет работу по индивидуальным заданиям. До начала выполнения работы, студент должен ознакомиться с нормативной и справочной литературой [1- 9], часть материалов представлена в библиографическом списке настоящего издания.

1. Условие отсутствия конденсации водяных паров на глади внутренней поверхности наружной стены

Приведенное сопротивление теплопередаче наружных ограждений, при расчете требуемого сопротивления теплопередаче по условиям энергосбережения увеличивается. При этом вероятность конденсации водяных паров на внутренней поверхности глади наружной стены уменьшается.

Конденсат выпадает при условии формирования, на какой либо поверхности или в толще ограждения, перпендикулярном направлению теплового потока температуры, ниже температуры точки росы. Следовательно, конденсация водяных паров возможна, если в какой, либо точке ограждения, значение парциального давления (упругости) водяного пара e_d больше значения максимальной упругости водяного пара E_d , соответствующей максимально возможному насыщению воздуха водяным паром. В этом случае водяной пар в рассматриваемом сечении превращается в сконденсированную воду.

Влажностные процессы протекают медленно и не успевают реагировать на короткие изменения температуры наружного воздуха. Исходя из этого, в качестве расчетного, наиболее опасного периода с точки зрения возможности выпадения конденсата, принимается наиболее холодный месяц года. А средние показатели самого холодного месяца определяются как расчетные.

Расчетная величина парциального давления водяного пара (e_d), определяется для средней температуры $t_{\text{ср}}$ и относительной влажности $\phi_{\text{ср}}$ воздуха самого холодного месяца. Учитывая, что средние величины парциального давления водяного пара и температуры воздуха, усредняются порознь а относительная влажность воздуха в холодный период года довольно высока, наблюдаются случаи, когда среднее за месяц парциальное давление водяных паров оказывается выше давления насыщения водяных паров при среднемесячной температуре наружного воздуха. В таких ситуациях в качестве расчетных принимаются парциальное давление водяных паров, которое не превышает максимально возможную ее величину при среднемесячной температуре.

Определение характера распределения температуры t_x по сечению стены, при температуре наружного воздуха, равной средней температуре наиболее холодного месяца осуществляется по формуле (1) и ведется для сечений ограждения, расположенных на границе слоев многослойной конструкции. Однослойная наружная стена разбивается на три слоя равной толщины, а слой утеплителя разбивается пополам.

$$t_x = t_n - \frac{R_x \cdot r}{R_0^{np}} (t_n - t_{x.m.}) \quad \text{или} \quad t_x = t_{x.m.} + \frac{R_x \cdot r}{R_0^{np}} (t_n - t_{x.m.}), \quad (1)$$

где R_x – сопротивление теплопередаче от воздуха помещения до рассматриваемого сечения x , $\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{Вт}$, определяемое по формуле:

$$R_x = R_n + \sum \frac{\delta_i}{\lambda_i} \quad \text{или} \quad R_x = R_n + \sum \frac{\delta_i}{\lambda_i} \quad (2)$$

r – коэффициент теплотехнической однородности «глади», «глухой» конструкции наружной стены, принимаемый по [2, 3].

Парциальное давление водяных паров влажного воздуха в состоянии насыщения, определяется при соответствующей температуре в расчетных сечениях наружной стены приложению 1.

Парциальное давление водяных паров в наружном и внутреннем воздухе определяется по формулам:

$$e_n = \left(\frac{\varphi_n}{100} \right) E_n, \quad (3)$$

$$e_m = \left(\frac{\varphi_{x.m.}}{100} \right) E_n, \quad (4)$$

где e_n – парциальное давление водяного пара внутреннего воздуха, Па, при расчетной температуре и относительной влажности этого воздуха, определяемое по формуле (3);

e_n , e_m – упругость водяных паров при φ_n и $\varphi_{x.m.}$;

E_n , E_m – парциальное давление насыщенного водяного пара, Па, при температуре t_n и $t_{x.m.}$ принимается по приложению 1;

φ_n – относительная влажность внутреннего воздуха (%), принимаемая: для помещений жилых зданий, больничных учреждений, диспансеров, амбулаторно-поликлинических учреждений, родильных домов, домов-интернатов для престарелых и инвалидов, общеобразовательных детских школ, детских садов, яслей, яслей-садов (комбинатов) и детских домов – 55 %, для помещений кухонь – 60 %, для ванных комнат – 65 %, для теплых подвалов и подполий с коммуникациями – 75 %, «теплых» чердаков жилых зданий – 55 %, для помещений общественных зданий (кроме вышеуказанных) – 50 % [3].

Для предотвращения выпадения конденсата на внутренней поверхности наружной стены и на внутренней поверхности наружного угла, необходимо обеспечить выполнения следующих условий:

$$t_n > t_p \quad \text{и} \quad t_y > t_p \quad (5)$$

Для нахождения температуры точки росы во внутреннем воздухе, определяем температуру при которой найденное парциальное давление водяных паров e_n , является давлением насыщения.

Общее сопротивление папропроницанию конструкции наружной стены определяется по формуле [7, 8, 9]:

$$R_{0.н.} = R_{0.н.} + \sum \frac{\delta_i}{\mu_i} + R_{0.н.}, \quad (6)$$

где $R_{0.н.} = 0,0267 \text{ м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па}/\text{мг}$, сопротивление влагообмену на внутренней поверхности конструкции наружной стены, $\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па}/\text{мг}$; $R_{0.н.} = 0,0053 \text{ м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па}/\text{мг}$, сопротивление влагообмену на наружной поверхности конструкции наружной стены, $\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па}/\text{мг}$.

Сопротивление папропроницанию тонких слоев пароизоляции или гидроизоляции, присутствующих в конструкциях наружных стен, определяется по приложению 2.

Соотношение (9), позволяет определить интенсивность потока водяного пара:

$$g = \frac{e_n - e_m}{R_{0.н.}}, \text{ мг}/(\text{м}^2 \cdot \text{ч}) \quad (7)$$

Расчет парциального давления водяных паров производится на границе каждого слоя конструкции наружной стены. Распределение парциальных давлений водяных паров, в любом сечении конструкции наружной стены определяется по формуле:

$$e_x = e_n - \frac{R_{n,x-n}}{R_{n,n}} \cdot (e_n - e_a) \quad \text{или} \quad e_x = e_n + \frac{R_{n,x-n}}{R_{n,n}} \cdot (e_a - e_n),$$

где: $R_{n,x-n}$ - сопротивление паропроницанию от воздуха помещения до рассматриваемого сечения x , в котором определяется упругость e_x $\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па} / \text{Мг}$, определяемое по формуле:

$$R_{n,x-n} = R_{n,n} + \sum \frac{\delta_i}{\mu_i} \quad (8)$$

$R_{n,x-n}$ - сопротивление паропроницанию от наружного воздуха до рассматриваемого сечения x , в котором определяется упругость e_x $\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па} / \text{Мг}$ определяемое по формуле:

$$R_{n,x-n} = R_{n,n} + \sum \frac{\delta_i}{\mu_i} \quad (9)$$

Значение E_x принимается по приложению 1. Рассчитанные значения t_x , e_x и E_x заносятся в таблицу 1

Таблица 1 Значения t_x , e_x и E_x

Номер сечения	$t_x, ^\circ\text{C}$	$e_x, \text{Па}$	$E_x, \text{Па}$

Если имеет место $e_x > E_x$ в любом сечении, то необходимо дополнительно построить график изменения t_x , e_x и E_x для определения зоны возможной конденсации водяных паров.

По полученным в таблице 1 данным строится график распределения температуры, парциального давления и давления насыщения в сечении стены (рис.1). Такой подход позволяет определять зону возможной конденсации водяного пара в конструкции наружной стены, графическим способом. При построении графика допускается накладывать друг на друга графики

температуры и парциального давления водяного пара. Желательно графики каждого параметра представить разными цветами.

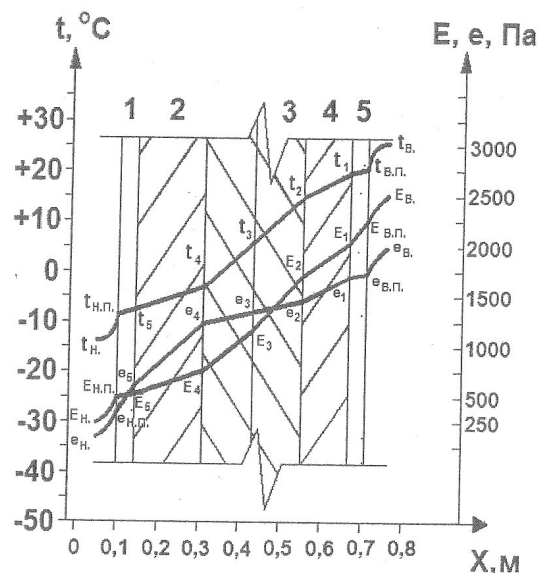


Рис.1. График распределения температуры, парциального давления водяного пара и давления насыщенного водяного пара в характерных сечениях ограждения

На участке от первого до третьего слоя (рис.1), парциальное давление водяных паров превышает максимально возможную величину (давление насыщения) для соответствующей температуры ($e_x > E_x$), что свидетельствует о существовании плоскостей возможности конденсации водяных паров, в толще ограждения.

Необходимость дополнительной пароизоляции с внутренней стороны конструкции наружной стены, должен быть обоснован расчетами.

2. Допустимость конденсации водяных паров в толще ограждающей конструкции

При условии, если сопротивление паропроницанию $R_{п.х-в}$ ограждающей конструкции (в пределах от внутренней поверхности от плоскости возможной конденсации) будет не менее наибольшего из следующих требуемых сопротивлений паропроницанию, конденсация водяных паров в толще ограждающей конструкции допускается [2, 3]:

- требуемого сопротивления паропроницанию $R_{п1}^{TP}$, $м^2 \cdot ч \cdot Па / мг$ (из условия недопустимости накопления влаги в ограждающей конструкции за годовой период эксплуатации), определяемого по формуле (16) [3];

$$R_{п1}^{TP} = R_{пн} \cdot (e_v - E_r) / (E_r - e_{нт}) \quad (10)$$

$$E_r = (E_3 \cdot Z_3 + E_{во} \cdot Z_{во} + E_{л} \cdot Z_{л}) / 12, \quad (11)$$

где $R_{пн}$ - сопротивление паропроницанию части ограждающей конструкции, расположенной между её наружной поверхностью и плоскостью возможной конденсации, определяемое в соответствии с п. 6.3 [2];

$e_{нт}$ - средняя упругость водяного пара наружного воздуха за годовой период;

E_r - упругость водяного пара в плоскости возможной конденсации за годовой период эксплуатации, приложение 1;

$E_3, E_{во}, E_{л}$ - упругости водяного пара, принимаемые по температуре в плоскости возможной конденсации, определяемой при средней температуре наружного воздуха соответственно зимнего (з), весенне-осеннего (во) и летнего (л) периодов, приложение 1;

$Z_3, Z_{во}, Z_{л}$ - продолжительность, мес., зимнего (при $t_H < -5$ °C), весенне-осеннего (-5 °C $< t_H \leq 5$ °C) и летнего (при $t_H > 5$ °C) периодов [1].

- требуемого сопротивления паропроницанию $R_{п2}^{TP}$, $м^2 \cdot ч \cdot Па / мг$, (из условия ограничения влаги в ограждающей конструкции за период с отрицательными среднемесячными температурами наружного воздуха), определяемого по формуле (12) [3].

9

$$R_{п2}^{TP} = \frac{0,0024 z_0 (e_a - E_0)}{\rho_w \delta_w \Delta w_{av} + \eta}, \quad (10)$$

где e_a - парциальное давление водяного пара внутреннего воздуха, Па, при расчетной температуре и относительной влажности этого воздуха, определяемое по формуле (3);

$R_{п2}^{TP}$ - сопротивление паропроницанию, $м^2 \cdot ч \cdot Па / мг$, части ограждающей конструкции, расположенной между наружной поверхностью ограждающей конструкции и плоскостью возможной конденсации, определяемое по своду правил;

e_a - среднее парциальное давление водяного пара наружного воздуха, Па, за годовой период, определяемое по таблице 5а [3];

z_0 - продолжительность, сут, периода влагонакопления, принимаемая равной периоду с отрицательными средними месячными температурами наружного воздуха по [3]

E_0 - парциальное давление водяного пара, Па, в плоскости возможной конденсации, определяемое при средней температуре наружного воздуха периода месяцев с отрицательными средними месячными температурами;

ρ_w - плотность материала увлажняемого слоя $кг \cdot м^{-3}$, принимается равной ρ_0

δ_w - толщина увлажняемого слоя ограждающей конструкции, м, принимаемая равной 2/3 толщины однородной (однослойной) стены или толщине теплоизоляционного слоя (утеплителя) многослойной ограждающей конструкции;

Δw_{av} - предельно допустимое приращение расчетного массового отношения влаги в материале увлажняемого слоя, %, за период влагонакопления z_0 , принимаемое по приложению 3;

При определении упругости E_r для летнего периода температуру в плоскости возможной конденсации во всех случаях следует принимать не ниже средней температуры конденсации и температуры наружного воздуха летнего периода, упругость водяного пара внутреннего воздуха e_a - не ниже средней упругости водяного пара наружного воздуха за этот период.

Плоскость возможной конденсации в однослойной ограждающей конструкции располагается на расстоянии, равном 2/3 толщины конструкции от её

внутренней поверхности, а в многослойной конструкции совпадает с наружной поверхностью утеплителя [2].

Необходимо отметить, что конденсация водяных паров в толще наружной стены в холодный период года приводит к снижению теплотехнических показателей стены и, следовательно, к увеличению тепловых потерь и разрушению конструкции.

Литература

1. СНиП 23-01-99*. Строительная климатология / Госстрой России. - М.: ГУП ЦПП, 2003.
2. СНиП II-3-79*. Строительная теплотехника / Госстрой России. - М.: ГУП ЦПП, 1998.
3. СНиП 23-02-2003. Тепловая защита зданий / Госстрой России.- М.:ФГУП ЦПП, 2004.
4. СП 23-101-2004. Проектирование тепловой защиты здания/ Госстрой России.- М.:ФГУП ЦПП, 2004.
5. ГОСТ 30494-96. Здания жилые и общественные. Параметры микроклимата в помещениях.
6. СНиП 2.08.01-89*. Жилые здания / Госстрой России.- М.: ГУП ЦПП, 1999.
7. Соловьев А.К., Физика среды: Учебник: - М.: Издательство АСП, 2008.-334с.
8. Богословский В.Н. Строительная теплофизика: Учебник для вузов.- 2-е изд., перераб. И доп. – М.: Высш. школа, 1982.-415 с.
9. Фокин К.Ф. Строительная теплотехника ограждающих частей зданий. М.: Стойиздат, 1973.

Приложение 1

Значения парциального давления насыщенного водяного пара E , Па, для температуры t от 0 до минус 41 °С, при барометрическом давлении 100,7 кПа. [4] таблица С.1

$t, ^\circ\text{C}$	E	$t, ^\circ\text{C}$	E	$t, ^\circ\text{C}$	E	$t, ^\circ\text{C}$	E	$t, ^\circ\text{C}$	E
0	611	-5,4	388	-10,6	245	-16	151	-23	77
-0,2	601	-5,6	381	-10,8	241	-16,2	148	-23,5	73
-0,4	592	-5,8	375	-11	237	-16,4	145	-24	69
-0,6	581	-6	369	-11,2	233	-16,6	143	-24,5	65
-0,8	573	-6,2	363	-11,4	229	-16,8	140	-25	63
-1	563	-6,4	356	-11,6	225	-17	137	-25,5	60
-1,2	553	-6,6	351	-11,8	221	-17,2	135	-26	57
-1,4	544	-6,8	344	-12	217	-17,4	132	-26,5	53
-1,6	535	-7	338	-12,2	213	-17,6	129	-27	51
-1,8	527	-7,2	332	-12,4	209	-17,8	128	-27,5	48
-2	517	-7,4	327	-12,6	207	-18	125	-28	47
-2,2	509	-7,6	321	-12,8	203	-18,2	123	-28,5	44
-2,4	400	-7,8	315	-13	199	-18,4	120	-29	42
-2,6	492	-8	310	-13,2	195	-18,6	117	-29,5	39
-2,8	484	-8,2	304	-13,4	191	-18,8	116	-	-
-3	476	-8,4	299	-13,6	188	-19	113	-30	38
-3,2	468	-8,6	293	-13,8	184	-19,2	111	-31	34
-3,4	460	-8,8	289	-14	181	-19,4	109	-32	34
-3,6	452	-9	284	-14,2	179	-19,6	107	-33	27
-3,8	445	-9,2	279	-14,4	175	-19,8	105	-34	25
-4	437	-9,4	273	-14,6	172	-	-	-35	22
-4,2	429	-9,6	268	-14,8	168	-20	103	-36	20
-4,4	423	-9,8	264	-15	165	-20,5	99	-37	18
-4,6	415	-	-	-15,2	163	-21	93	-38	16
-4,8	408	-10	260	-15,4	159	-21,5	89	-39	14
-5	402	-10,2	260	-15,4	159	-22	85	-40	12
-5,2	395	-10,4	251	-15,8	153	-22,5	81	-41	11

Значения парциального давления насыщенного водяного пара E , Па, для температуры t от 0 до +30 °С, при барометрическом давлении 100,7 кПа. таблица С.2 [4]

$t, ^\circ\text{C}$	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	1109	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
18	2064	2077	2089	2102	2115	2129	2142	2156	2169	2182
19	2197	2210	2225	2238	2252	2266	2281	2294	2309	2324
20	2338	2352	2366	2381	2396	2412	2426	2441	2456	2471
21	2488	2502	2517	2538	2542	2564	2580	2596	2612	2628
22	2644	2660	2676	2691	2709	2725	2742	2758	2776	2792
23	2809	2826	2842	2860	2877	2894	2913	2930	2948	2965
24	2984	3001	3020	3038	3056	3074	3093	3112	3130	3149
25	3168	3186	3205	3224	3244	3262	3282	3301	3321	3341
26	3363	3381	3401	3421	3441	3461	3481	3502	3523	3544
27	3567	3586	3608	3628	3649	3672	3692	3714	3796	3758
28	3782	3801	3824	4846	3869	3890	3913	3937	3960	3982
29	4005	4029	4052	4076	4100	4122	4146	4170	4194	4218
30	4246	4268	4292	4317	4341	4366	4390	4416	4441	4466

Приложение 2

Сопротивление паропрооницанию листовых материалов и тонких слоев пароизоляции [4] приложение III

№ п.п.	Материал	Толщина слоя, мм	Сопротивление паропрооницанию $R_{\text{пр}}, \text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па} / \text{мг}$
1	Картон обыкновенный	1,3	0,016
2	Листы асбестоцементные	6	0,3
3	Листы гипсовые обшивочные (сухая штукатурка)	10	0,12
4	Листы древесно-волоконистые жесткие	10	0,11
5	Листы древесно-волоконистые мягкие	12,5	0,05
6	Окраска горячим битумом за один раз	2	0,3
7	Окраска горячим битумом за два раза	4	0,48
8	Окраска масляная за два раза с предварительной шпательной и грунтовкой	-	0,64
9	Окраска эмалевой краской	-	0,48
10	Покрывание изоляной мастикой за один раз	2	0,60
11	Покрывание битумно-кукерсолной мастикой за один раз	1	0,64
12	Покрывание битумно-кукерсолной мастикой за два раза	2	1,1
13	Пергамин кровельный	0,4	0,33
14	Полиэтиленовая пленка	0,16	7,3
15	Рубероид	1,5	1,1
16	Толь кровельный	1,9	0,4
17	Фанера клееная трехслойная	3	0,15

Приложение 3

Предельно допустимые значения коэффициента $\mu_{\text{в}}$ [4] таблица 12

Материал ограждающей конструкции	Предельно допустимое приращение расчетного массового отношения влаги в материале $\Delta W_{\text{вн}}, \%$
1 Кладка из глиняного кирпича и керамических блоков	1,5
2 Кладка из силикатного кирпича	2,0
3 Легкие бетоны на пористых заполнителях (керамзитобетон, шугизитобетон, перлитобетон, шлакопемзобетон)	5
4 Ячеистые бетоны (газобетон, пенобетон, газосиликат и др.)	6
5 Пеногазостекло	1,5
6 Фибролит и арболит цементные	7,5
7 Минераловатные плиты и маты	3
8 Пенополистирол и пенополиуретан	25
9 Фенольно-резольный пенопласт	50
10 Теплоизоляционные засыпки из керамзита, шугизита, шлака	3
11 Тяжелый бетон, цементно-песчаный раствор	2

Содержание

Введение	3
1. Условие отсутствия конденсации водяных паров на глади внутренней поверхности наружной стены	Ошибка! Закладка не определена.
2. Допустимость конденсации водяных паров в толще ограждающей конструкции	9
Литература	12
Приложение 1	13
Приложение 2	15
Приложение 3	16