

Министерство образования и науки Российской Федерации

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«Воронежский государственный архитектурно-строительный университет»

Кафедра проектирования зданий и сооружений

**Расчет тепловой устойчивости
ограждающих конструкций зданий
в теплый период года**

Методические указания
для студентов направлений «Строительство»,
«Архитектура», «Дизайн архитектурной среды»
всех форм обучения

Воронеж 2014

УДК 699.86 (07)
ББК 38.637 я 7

Составитель М.Ф. Макеев

РАСЧЕТ ТЕПЛОВОЙ УСТОЙЧИВОСТИ ОГРАЖДАЮЩИХ КОНСТРУКЦИЙ ЗДАНИЙ В ТЕПЛЫЙ ПЕРИОД ГОДА : метод. указания для студ. направ. «Строительство», «Архитектура», «Дизайн архитектурной среды» всех форм обучения / Воронежский ГАСУ ; сост. М.Ф. Макеев. – Воронеж, 2014. - 22 с.

Рассматривается методика проверки тепловой устойчивости ограждающих конструкций зданий различного назначения в теплый период года.

Определен перечень населенных пунктов, для которых необходимо выполнение теплотехнического расчета по летним условиям, а также категория ограждающих конструкций, для которых требуется расчет тепловой устойчивости в соответствии с требованиями действующих нормативных документов. Приводятся примеры расчета, таблицы необходимых параметров.

Предназначены для студентов, обучающихся по направлениям «Строительство», «Архитектура», «Дизайн архитектурной среды» всех форм обучения при выполнении практических заданий, курсовых и дипломных проектов.

Ил. 3. Табл. 9. Библиогр.: 3 назв.

УДК 699.86 (07)
ББК 38.637 я 7

*Печатается по решению научно-методического совета
Воронежского ГАСУ*

Рецензент – А.Н. Ткаченко, к.т.н., доцент, зав. кафедрой технологии
строительного производства Воронежского ГАСУ

Введение

В летних условиях наружная поверхность ограждения периодически нагревается прямыми солнечными лучами, что в сочетании с высокой температурой наружного воздуха вызывает прогрев конструкций, повышение температуры в помещении и нарушение нормальных условий жизнедеятельности людей и функционирования технологического оборудования.

Для южных районов со среднемесячной температурой июля $t_n > 21^\circ\text{C}$ при проектировании жилых, общественных зданий, а также производственных с постоянным температурно-влажностным режимом следует проверять теплоустойчивость, т.к. в этих условиях при низких значениях показателя тепловой инерции D воздействие высоких наружных температур в сочетании с солнечной радиацией может вызвать перегрев помещений. Одним из способов защиты от перегрева может служить применение вентилируемых фасадов. Теплоустойчивость ограждений можно не проверять для стен при значении показателя тепловой инерции $D > 4$, а для перекрытий при $D > 5$, т.е. для суровых климатических условий, где, как правило, конструкции имеют высокое значение параметра D .

Ниже рассматривается методика оценки тепловой устойчивости наружных ограждений зданий различного назначения, располагаемых в южных районах РФ.

1. Тепловая устойчивость ограждений

При проектировании ограждающих конструкций с учетом их теплоустойчивости необходимо руководствоваться следующими положениями:

- теплоустойчивость конструкции зависит от порядка расположения слоев материалов; величина затухания амплитуды колебаний температуры наружного воздуха ν в двухслойной конструкции увеличивается, если более теплоустойчивый материал расположен изнутри;

- наличие в конструкции ограждения воздушной прослойки увеличивает теплоустойчивости конструкции. В замкнутой воздушной прослойке целесообразно устраивать теплоизоляцию с теплоотражающей поверхностью; слои конструкции, расположенные между вентилируемой наружным воздухом воздушной прослойкой наружной поверхностью ограждающей конструкции, должны иметь минимально возможную толщину. Наиболее целесообразно выполнять эти слои из тонких металлических или асбестоцементных листов. Расчетный коэффициент теплоусвоения воздушных прослоек принимается равным нулю. Слои конструкции, расположенные между воздушной прослойкой, вентилируемой наружным воздухом, и наружной поверхностью ограждающей конструкции в расчете не учитываются.

2. Методика расчета тепловой устойчивости в теплый период года

В районах со среднемесячной температурой июля $21\text{ }^{\circ}\text{C}$ и выше расчетная амплитуда колебаний температуры внутренней поверхности ограждающих конструкций (наружных стен, перекрытий и покрытий) A_{τ} , $^{\circ}\text{C}$, зданий жилых, больничных учреждений (больниц, клиник, стационаров и госпиталей), диспансеров, амбулаторно-поликлинических учреждений, родильных домов, домов ребенка, домов-интернатов для престарелых и инвалидов, детских садов, яслей, яслей-садов (комбинатов) и детских домов, а также производственных зданий, в которых необходимо соблюдать оптимальные параметры температуры и относительной влажности воздуха в рабочей зоне в теплый период года или по условиям технологии поддерживать постоянными температуру или температуру и относительную влажность воздуха, не должна быть более нормируемой амплитуды колебаний температуры внутренней поверхности ограждающей конструкции A_{τ}^{TP} , $^{\circ}\text{C}$, определяемой по формуле

$$A_{\tau}^{TP} = 2,5 - 0,1(t_n - 21), \quad (2.1)$$

где t_n – среднемесячная температура в июле, определяемая по табл. П.1.

Амплитуду колебаний температуры внутренней поверхности ограждающих конструкций $A_{\tau B}$, $^{\circ}\text{C}$, следует определять по формуле

$$A_{\tau B} = A_{\tau n}^P / v, \quad (2.2)$$

где $A_{\tau n}^P$ - расчетная амплитуда колебаний температуры наружной поверхности, $^{\circ}\text{C}$;

v - величина затухания расчетной амплитуды колебаний температуры наружной поверхности $A_{\tau n}^P$ в ограждающей конструкции.

Расчетную амплитуду колебаний температуры наружной поверхности $A_{\tau n}^P$, $^{\circ}\text{C}$, следует определять по формуле

$$A_{\tau n}^P = 0,5 A_{\tau n} + \rho(I_{\max} - I_{\text{ср}}) / \alpha_n, \quad (2.3)$$

где $A_{\tau n}$ - максимальная амплитуда суточных колебаний температуры наружного воздуха в июле, $^{\circ}\text{C}$, принимаемая согласно табл. П.1;

ρ - коэффициент поглощения солнечной радиации материалом наружной поверхности ограждающей конструкции, принимаемый по табл. П.2;

I_{\max} , $I_{\text{ср}}$ - соответственно максимальное и среднее значения суммарной солнечной радиации (прямой и рассеянной), $\text{Вт}/\text{м}^2$, принимаемые по табл. П.1 для

наружных стен - как для вертикальных поверхностей западной ориентации, а для покрытий - как для горизонтальной поверхности;

α_n - коэффициент теплоотдачи наружной поверхности ограждающей конструкции по летним условиям, Вт/(м²·°C), определяемый по формуле (2.4).

$$\alpha_n = 1.16(5 + 10\sqrt{v}), \quad (2.4)$$

где v - минимальная из средних скоростей ветра по румбам за июль, повторяемость которых составляет 16% и более, принимаемая согласно табл. П.1, но не менее 1 м/с.

Величину затухания расчетной амплитуды колебаний температуры наружного воздуха в ограждающей конструкции, состоящей из однородных слоев, следует определять по формуле

$$v = 0,9 e^{D/2} \{[(S_1 + \alpha_v)(S_2 + Y_1) \dots (S_n + Y_{n-1})(\alpha_n + Y_n)] / [(S_1 + Y_1)(S_2 + Y_2) \dots (S_n + Y_n) \alpha_n]\}, \quad (2.5)$$

где $e = 2,718$ - основание натуральных логарифмов;

D - тепловая инерция ограждающей конструкции.

S_1, S_2, \dots, S_n , - расчетные коэффициенты теплоусвоения материала отдельных слоев ограждающей конструкции, Вт/(м²·°C) по табл. П.3;

Y_1, Y_2, \dots, Y_n - коэффициенты теплоусвоения наружной поверхности отдельных слоев ограждающей конструкции, Вт/(м²·°C);

α_v - коэффициент теплоотдачи внутренней поверхности по табл. П.4;

α_n - то же, что в формуле (2.4).

Порядок нумерации слоев в формуле (2,5) принят в направлении от внутренней поверхности к наружной.

Тепловую инерцию ограждающей конструкции следует определять как сумму значений тепловой инерции всех слоев многослойной конструкции, определяемых по формуле

$$D_i = R_i S_i, \quad (2.6)$$

где R_i - термическое сопротивление отдельного i -го слоя ограждающей конструкции, м²·°C/Вт

$$R_i = \delta_i / \lambda_i, \quad (2.7)$$

где δ_i - толщина i -го слоя конструкции, м;

λ_i - расчетный коэффициент теплопроводности материала i -го слоя конструкции, Вт/(м·°C) по табл. П.3.

Для определения коэффициентов теплоусвоения наружной поверхности отдельных слоев ограждающей конструкции следует предварительно вычислить тепловую инерцию каждого слоя D_i по формуле (2.6).

Коэффициент теплоусвоения наружной поверхности слоя Y , Вт/(м²·°C), с тепловой инерцией $D \geq 1$ следует принимать равным расчетному коэффициенту теплоусвоения S материала этого слоя конструкции.

Коэффициент теплоусвоения наружной поверхности слоя Y с тепловой инерцией $D < 1$ следует определять расчетом, начиная с первого слоя (считая от внутренней поверхности ограждающей конструкции) следующим образом:

а) для первого слоя - по формуле

$$Y_1 = (R_1 S_1^2 + \alpha_v) / (1 + R_1 \alpha_v), \quad (2.8)$$

б) для i -го слоя - по формуле

$$Y_i = (R_i S_i^2 + Y_{i-1}) / (1 + R_i Y_{i-1}), \quad (2.9)$$

где R_1, R_i - термические сопротивления соответственно первого и i -го слоев ограждающей конструкции, м²·°C/Вт, определяемые по формуле (2.7);

S_1, S_i - расчетные коэффициенты теплоусвоения материала соответственно первого и i -го слоев, Вт/(м²·°C);

α_v - то же, что в формуле (2.5);

Y_1, Y_i, Y_{i-1} - коэффициенты теплоусвоения наружной поверхности соответственно первого, i -го и $(i-1)$ -го слоев ограждающей конструкции, Вт/(м²·°C).

3. Примеры расчета теплоустойчивости ограждающих конструкций в теплый период года

3.1 Пример №1

Определить, удовлетворяет ли требованиям теплоустойчивости трехслойная панель на гибких связях с утеплителем из минераловатных матов, расположенная в жилом доме г. Астрахани (рисунок 3.1.1). Наружная поверхность панели облицована плиткой палевого цвета.

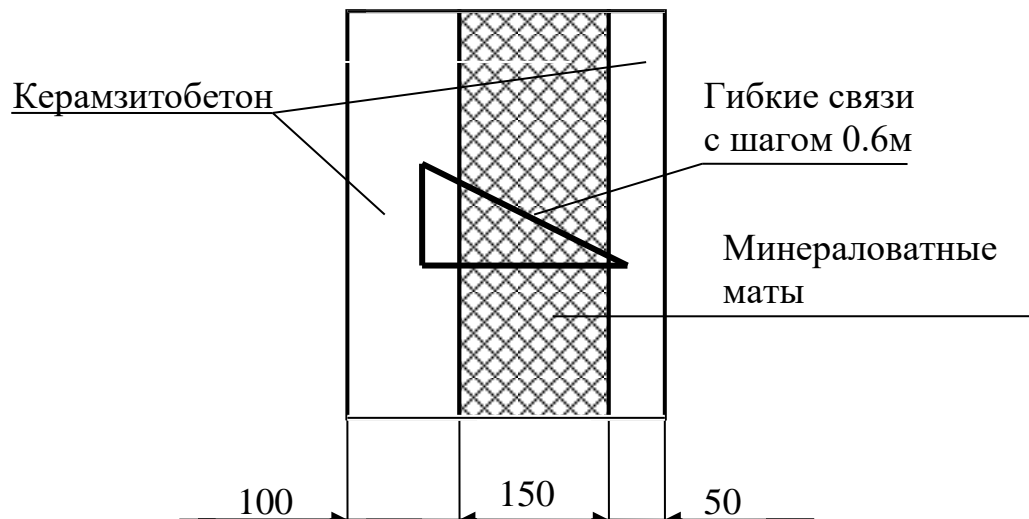


Рис. 3.1.1. Трехслойная стеновая панель

Исходные данные:

Район строительства – г. Астрахань.

Параметры внутреннего воздуха:

$t_{в} = 20^{\circ}\text{C}$, относительная влажность $\phi_{в}=55\%$ (табл.П.5).

Влажностный режим помещения– **нормальный** (по табл. П.6).

$t_5^{0.92} = -21^{\circ}\text{C}$, $t_{оп} = -0,8^{\circ}\text{C}$, $Z_{оп}=164\text{сут.}$ (по табл. П.1).

Зона влажности района строительства – **3 (сухая)**, (рис. П.1).

Условия эксплуатации ограждающих конструкций– **А** (по табл. П.7).

Расчетные коэффициенты теплопроводности и теплоусвоения материалов (по табл. П.3):

керамзитобетон $\rho=1200\text{ кг/м}^3$; $\lambda=0.52\text{ Вт/(м}^{\circ}\text{C)}$; $S=6,77\text{ Вт/(м}^2 \cdot ^{\circ}\text{C)}$;

минераловатные маты $\rho=100\text{ кг/м}^3$; $\lambda=0.061\text{ Вт/(м}^{\circ}\text{C)}$; $S=0,72\text{ Вт/(м}^2 \cdot ^{\circ}\text{C)}$.

Коэффициент теплотехнической неоднородности для панелей с гибкими связями по табл. П.8 : **$r = 0.87$** .

Средняя месячная температура наружного воздуха наиболее жаркого месяца (июля) согласно табл. П.1 $t_{н} = 25,4^{\circ}\text{C}$.

Максимальная амплитуда суточных колебаний температуры наружного воздуха по табл. П.1 $A_{тн} = 22^{\circ}\text{C}$.

Максимальное и среднее значения суммарной (прямой и рассеянной) солнечной радиации в июле при ясном небе для вертикальной поверхности западной ориентации согласно табл. П.1 $I_{\max} = 754\text{ Вт/м}^2$ и $I_{\text{ср}} = 182\text{ Вт/м}^2$.

Расчетная скорость ветра по табл. П.1 $v = 3,2\text{ м/с}$.

Коэффициент поглощения солнечной радиации наружной поверхностью (плитка облицовочная палевая) согласно табл. П.2 $\rho = 0,45$.

Порядок расчета:

1. Термические сопротивления отдельных слоев стеновой панели:
внутреннего керамзитобетонного слоя

$$R_1 = 0,1/0,52 = 0,192 \text{ м}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{Вт};$$

слоя минеральной ваты

$$R_2 = 0,15/0,061 = 2,459 \text{ м}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{Вт};$$

наружного керамзитобетонного слоя

$$R_3 = 0,05/0,52 = 0,096 \text{ м}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{Вт}.$$

2. Тепловая инерция каждого слоя и самой панели:
наружного керамзитобетонного слоя

$$D_1 = 0,096 \cdot 6,77 = 0,649 < 1$$

;

минеральной ваты

$$D_2 = 2,459 \cdot 0,72 = 1,770;$$

внутреннего керамзитобетонного слоя

$$D_3 = 0,192 \cdot 6,77 = 1,300;$$

всей панели

$$\Sigma D_i = 0,649 + 1,770 + 1,300 = 3,719.$$

Поскольку тепловая инерция стеновой панели $D < 4$, то требуется расчет панели на теплоустойчивость.

3. Нормируемая амплитуда колебаний температуры внутренней поверхности $A_{\text{тв}}^{\text{тр}}$ ограждающей конструкции определяется по формуле (2.1)

$$A_{\text{тв}}^{\text{тп}} = 2,5 - 0,1(25,4 - 21) = 2,06 \text{ }^{\circ}\text{C}.$$

4. Коэффициент теплоотдачи наружной поверхности α_n ограждающей конструкции по летним условиям определяется по формуле (2.4)

$$\alpha_n = 1,16(5 + 10\sqrt{3,2}) = 26,55 \text{ Вт/(м}^2\cdot^{\circ}\text{C)};$$

5. Расчетная амплитуда колебаний температуры наружной поверхности вычисляется по формуле (42.3)

$$A_{\text{тн}}^{\text{п}} = 0,5 \cdot 22 + [0,45(754 - 182)]/26,55 = 20,69 \text{ }^{\circ}\text{C}.$$

6. Коэффициент теплоусвоения наружной поверхности слоя Y с тепловой инерцией $D < 1$ определяется расчетом по формулам (2.8) и (2.9):

а) для внутреннего керамзитобетонного слоя

$$Y_1 = (R_1 S_1^2 + \alpha_n)/(1 + R_1 \alpha_n) = \\ (0,192 \cdot 6,77^2 + 8,7)/(1 + 0,192 \cdot 8,7) = 17,50/2,67 = 6,55 \text{ Вт/(м}^2\cdot^{\circ}\text{C)};$$

б) для среднего слоя из минеральной ваты, имеющего $D > 1$, коэффициент теплоусвоения наружной поверхности слоя принимается равным коэффициенту теплоусвоения материала $Y_2 = S_2 = 0,72 \text{ Вт/(м}^2\cdot^{\circ}\text{C)};$

в) для наружного керамзитобетонного слоя

$$Y_3 = (R_3 S_3^2 + Y_2)/(1 + R_3 Y_2) = \\ = (0,096 \cdot 6,77^2 + 0,72)/(1 + 0,096 \cdot 0,72) = 5,11/1,07 = 4,78 \text{ Вт/(м}^2\cdot^{\circ}\text{C)}.$$

7. Величина затухания расчетной амплитуды колебаний температуры наружного воздуха в ограждающей конструкции вычисляется по формуле (2.5)

$$v = 0,9e^{D/\sqrt{2}}[(S_1 + \alpha_n)(S_2 + Y_1)(S_3 + Y_2)(\alpha_n + Y_3)]/[(S_1 + Y_1)(S_2 + Y_2)(S_3 + Y_3)\alpha_n] = \\ = 0,9e^{3,72/\sqrt{2}}[(6,77 + 8,7)(0,72 + 6,55)(6,77 + 0,72)(26,55 + 4,78)]/$$

$$/[(6,77+6,55)(0,72+0,72)(6,77+4,78)26,55] =$$

$$= 0,9 \times 2,718^{2,63} [15,47 \times 7,27 \times 7,49 \times 31,33] / [13,32 \times 1,44 \times 11,55 \times 26,55] = 56,01.$$

8. Амплитуда колебаний температуры внутренней поверхности стеновой панели определяется по формуле (2.2)

$$A_{\text{тв}} = A_{\text{тн}}^P / v = 20,69 / 56,01 = 0,37^\circ\text{C} < A_{\text{т}}^{\text{TP}} = 2,06^\circ\text{C},$$

что отвечает требованиям норм.

3.2 Пример №2

Определить, удовлетворяет ли требованиям теплоустойчивости покрытие производственного здания, расположенного в г. Краснодаре (рисунок 3.2.1).

Рулонный ковер из 3-х слоев рубероида $\rho = 600 \text{ кг/м}^3$	15мм
Стяжка из цементно-песчаного раствора $\rho = 1800 \text{ кг/м}^3$	25мм
Вермикулит вспученный $\rho = 200 \text{ кг/м}^3$	150мм
Пароизоляция – 1 слой рубероида $\rho = 600 \text{ кг/м}^3$	5мм
Железобетонная плита покрытия $\rho = 2500 \text{ кг/м}^3$	100мм

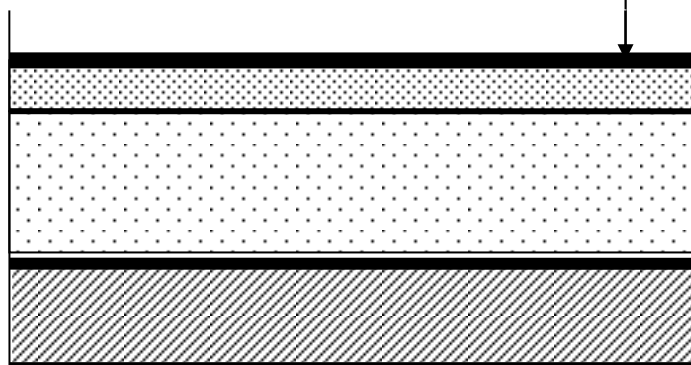


Рис.3.2.1 Конструкция покрытия

Исходные данные:

Район строительства – **г. Краснодар.**

Параметры внутреннего воздуха для категории работы «легкая 1б»:

$t_{\text{в}} = 21^\circ\text{C}$, относительная влажность $\phi_{\text{в}} = 55\%$ (табл.П.9).

Влажностный режим помещения– **нормальный** (по табл. П.6).

$t_s^{0,92} = -14\text{ }^{\circ}\text{C}$, $t_{\text{он}} = 2,5\text{ }^{\circ}\text{C}$, $Z_{\text{он}} = 145\text{сут.}$ (по табл. П.1).

Зона влажности района строительства – **3 (сухая)**, (рис.. П.1).

Условия эксплуатации ограждающих конструкций – **A** (по табл. П.7).

Расчетные коэффициенты теплопроводности и теплоусвоения материалов (по табл. П.3):

рубероид $\rho = 600\text{ кг/м}^3$; $\lambda = 0,17\text{ Вт/(м}^{\circ}\text{C)}$; $S = 3,53\text{ Вт/(м}^2 \cdot ^{\circ}\text{C)}$;

цементно-песчаный раствор $\rho = 1800\text{ кг/м}^3$; $\lambda = 0,76\text{ Вт/(м}^{\circ}\text{C)}$; $S = 9,6\text{ Вт/(м}^2 \cdot ^{\circ}\text{C)}$;

вермикулит вспученный $\rho = 300\text{ кг/м}^3$; $\lambda = 0,08\text{ Вт/(м}^{\circ}\text{C)}$; $S = 1,01\text{ Вт/(м}^2 \cdot ^{\circ}\text{C)}$;

железобетон $\rho = 2500\text{ кг/м}^3$; $\lambda = 1,92\text{ Вт/(м}^{\circ}\text{C)}$; $S = 17,98\text{ Вт/(м}^2 \cdot ^{\circ}\text{C)}$.

Средняя месячная температура наружного воздуха наиболее жаркого месяца (июля) согласно табл. П.1 $t_n = 23,8\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Максимальная амплитуда суточных колебаний температуры наружного воздуха по табл. П.1 $A_{\text{тн}} = 23\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Максимальное и среднее значения суммарной (прямой и рассеянной) солнечной радиации в июле при ясном небе для горизонтальной поверхности согласно табл. П.1 $I_{\text{max}} = 887\text{ Вт/м}^2$ и $I_{\text{ср}} = 330\text{ Вт/м}^2$.

Расчетная скорость ветра по табл. П.1.1 $v = 1,0\text{ м/с}$.

Коэффициент поглощения солнечной радиации наружной поверхностью (рубероид) согласно табл. П.2 $\rho = 0,9$.

Порядок расчета:

1. Термические сопротивления отдельных слоев покрытия:

- внутреннего железобетонного слоя (несущая плита)

$$R_1 = 0,10/1,92 = 0,052\text{ м}^2 \cdot ^{\circ}\text{C/Вт};$$

- слоя рубероида (пароизоляция)

$$R_2 = 0,005/0,17 = 0,029\text{ м}^2 \cdot ^{\circ}\text{C/Вт};$$

- слоя вермикулита вспученного (утеплитель)

$$R_3 = 0,15/0,08 = 1,875\text{ м}^2 \cdot ^{\circ}\text{C/Вт};$$

- стяжка из цементно-песчаного раствора (выравнивающий слой)

$$R_4 = 0,025/0,76 = 0,033\text{ м}^2 \cdot ^{\circ}\text{C/Вт};$$

- 3-слой рубероида (водоотталкивающий ковер)

$$R_5 = 0,015/0,17 = 0,088 \text{ м}^2 \cdot \text{°C/Вт}.$$

2. Тепловая инерция каждого слоя и всего покрытия:

- внутреннего железобетонного слоя (несущая плита)

$$D_1 = 0,052 \times 17,98 = 0,936 < 1;$$

- слоя рубероида (пароизоляция)

$$D_2 = 0,029 \times 3,53 = 0,102;$$

- слоя вермикулита вспученного (утеплитель)

$$D_3 = 1,875 \times 1,01 = 1,894;$$

- стяжка из цементно-песчаного раствора (выравнивающий слой)

$$D_4 = 0,033 \times 9,6 = 0,317;$$

- 3-слой рубероида (водоотталкивающий ковер)

$$D_5 = 0,088 \times 3,53 = 0,311.$$

Тепловая инерция покрытия

$$\sum D_i = 0,936 + 0,102 + 1,894 + 0,317 + 0,311 = 3,56.$$

Поскольку тепловая инерция покрытия $D < 4$, то требуется расчет на теплоустойчивость.

3. Нормируемая амплитуда колебаний температуры внутренней поверхности $A_{\text{тв}}^{\text{нр}}$ ограждающей конструкции определяется по формуле (2.1)

$$A_{\text{тв}}^{\text{нр}} = 2,5 - 0,1(23,8 - 21) = 2,22 \text{ °C}.$$

4. Коэффициент теплоотдачи наружной поверхности α_n ограждающей конструкции по летним условиям определяется по формуле (2.4)

$$\alpha_n = 1,16(5 + 10\sqrt{1,0}) = 17,4 \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{°C)};$$

5. Расчетная амплитуда колебаний температуры наружной поверхности вычисляется по формуле (42.3)

$$A_{\text{тн}}^p = 0,5 \cdot 23 + [0,9(887 - 330)]/17,4 = 40,31 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

6. Коэффициент теплоусвоения наружной поверхности слоя Y с тепловой инерцией $D < 1$ определяется расчетом по формулам (2.8) и (2.9):

а) для внутреннего железобетонного слоя

$$Y_1 = (R_1 S_1^2 + \alpha_v)/(1 + R_1 \alpha_v) = \\ (0,052 \cdot 17,98^2 + 8,7)/(1 + 0,052 \cdot 8,7) = 16,81/1,45 = 11,57 \text{ Вт/(м}^2 \cdot ^\circ\text{C)};$$

б) для слоя пароизоляции

$$Y_2 = (R_2 S_2^2 + Y_1)/(1 + R_2 Y_1) = \\ (0,029 \cdot 3,53^2 + 11,53)/(1 + 0,029 \cdot 11,53) = 11,89/1,33 = 8,94;$$

в) для слоя вспученного вермикулита ($D_3 > 1$)

$$Y_3 = S_3 = 1,01;$$

г) для слоя выравнивающей стяжки

$$Y_4 = (R_4 S_4^2 + Y_3)/(1 + R_4 Y_3) = \\ (0,033 \cdot 9,6^2 + 1,01)/(1 + 0,033 \cdot 1,01) = 4,05/1,03 = 3,92;$$

д) для водоотталкивающего ковра

$$Y_5 = (R_5 S_5^2 + Y_4)/(1 + R_5 Y_4) = \\ (0,088 \cdot 3,53^2 + 3,92)/(1 + 0,088 \cdot 3,92) = 5,02/1,34 = 3,73.$$

7. Величина затухания расчетной амплитуды колебаний температуры наружного воздуха в ограждающей конструкции вычисляется по формуле (2.5)

$$v = 0,9 e^{D/2} [(S_1 + \alpha_v)(S_2 + Y_1)(S_3 + Y_2)(S_4 + Y_3)(S_5 + Y_4)(\alpha_n + Y_5)] / \\ / [(S_1 + Y_1)(S_2 + Y_2)(S_3 + Y_3)(S_4 + Y_4)(S_5 + Y_5)\alpha_n] =$$

$$= 0,9e^{3,56/\sqrt{2}}[(17,98+8,7)(3,53+11,57)(1,01+8,94)(9,6+1,01)(3,53+3,92)(17,4+3,73)]/$$

$$/[(17,98+11,57)(3,53+8,94)(1,01+1,01)(9,6+3,92)(3,53+3,73)17,4] =$$

$$= 0,9 \times 2,718^{2,52}[26,68 \times 15,1 \times 9,95 \times 10,61 \times 7,45 \times 21,13]/$$

$$/[29,55 \times 12,47 \times 2,02 \times 13,52 \times 7,26 \times 17,4] = 58,88.$$

8. Амплитуда колебаний температуры внутренней поверхности покрытия определяется по формуле (2.2)

$$A_{\text{тв}} = A_{\text{ти}}^p / v = 40,31/58,88 = 0,68^\circ\text{C} < A_{\text{т}}^{\text{тп}} = 2,22^\circ\text{C},$$

что отвечает требованиям норм.

Библиографический список

1. СП 131.13330.2012 Строительная климатология. Актуализированная редакция СНиП 23-01-99*, М.: Минрегион России, 2012.-108с.
2. СП 50.13330.2012 Тепловая защита зданий. Актуализированная редакция СНиП 23-02-2003, М.: Минрегион России, 2012.-117с.
3. СП 23-101-2004 Проектирование тепловой защиты зданий, М.: ФГУП ЦПП, 2005.-141с.

Таблица П.1

Расчетные климатические параметры

Город РФ	Широта °с.ш.	t _{с.м.} июль °C	A _{тн} °C	v _{min} июль м/с	I _{ср} , Вт/м ²		I _{max} , Вт/м ²		t ₅ ^{0,92} °C	t _{сс} < 8°С		t _{сс} < 10°С	
					гор.	зап.	гор.	зап.		t _{оп} °C	Z _{оп} сут.	t _{оп} °C	Z _{оп} сут.
Астрахань	46,35	25,4	22	3,2	329	182	878	754	-21	-0,8	164	0,1	179
Белогорск (Амурская обл.)	50,92	21,1	20	3,1	329	190	856	777	-37	-11,9	223	-10,7	236
Благовещенск (Амур. обл.)	50,29	21,7	20	1,0	329	187	858	775	-33	-10,7	210	-9,4	225
Волгоград	48,72	23,9	21	1,0	328	186	863	769	-22	-2,3	176	-1,5	190
Грозный (ЧР)	43,31	24,0	24	1,0	331	178	902	753	-17	0,9	159	1,7	176
Дербент (Дагестан)	42,07	24,9	18	1,0	334	175	915	748	-9	3,7	138	4,5	161
Камышин (Волгоград. обл.)	50,1	23,2	21	4,6	328	187	859	774	-26	-4,1	188	-3,3	200
Комсомольск-на-Амуре	50,55	21,4	20	1,0	328	188	857	776	-35	-10,8	223	-9,5	238
Краснодар	45,02	23,8	23	1,0	330	181	887	754	-14	2,5	145	3,3	165
Махачкала (Дагестан)	42,98	24,6	18	3,7	332	178	905	752	-13	2,7	144	3,5	164
Новороссийск	44,72	23,0	18	1,0	330	181	887	754	-2	6,6	94	7,2	129
Оренбург	51,77	22,0	23	3,8	329	194	853	780	-32	-6,1	195	-5,1	207
Ростов-на-Дону	47,23	23,2	19	1,0	328	184	871	760	-19	-0,1	166	0,7	182
Саратов	51,53	22,3	21	4,4	329	193	854	779	-25	-3,5	188	-2,6	202
Сочи (Краснодарский край)	43,58	23,0	18	1,0	331	178	902	753	-2	6,6	94	7,2	129
Таганрог (Ростовская обл.)	47,23	23,6	19	1,0	328	184	871	760	-18	0	165	0,8	180
Хабаровск	48,47	21,3	20	1,0	328	185	864	767	-29	-9,5	204	-8,3	219
Черкесск (КЧР)	44,28	21,1	22	1,0	331	180	894	756	-18	0,6	169	1,5	189
Элиста (Калмыкия)	46,32	24,6	23	6,3	329	182	878	754	-23	-1	169	-0,1	184

Таблица П.2

**Коэффициент поглощения солнечной радиации материалом наружной
поверхности ограждающей конструкции**

№ п/п	Материал наружной поверхности ограждающей конструкции	К-т поглощения сол- нечной радиации ρ
1	Алюминий	0,5
2	Асбоцементные листы	0,65
3	Асфальтобетон	0,9
4	Белая фасадная краска , мрамор	0,3
5	Бетоны	0,7
6	Дерево неокрашенное	0,6
7	Защитный слой рулонной кровли из светлого гравия	0,65
8	Известняк, песчаник	0,5
9	Кирпич глиняный красный	0,7
10	Кирпич силикатный	0,6
11	Облицовка природным камнем белым	0,45
12	Окраска силикатная темно-серая	0,7
13	Окраска известковая белая	0,3
14	Плитка облицовочная керамическая	0,8
15	Плитка облицовочная стеклянная	0,6
16	Плитка облицовочная белая или палевая	0,45
17	Рубероид с песчаной посыпкой	0,9
18	Светло-серый бетон,очень светлые фасадные краски	0,6
19	Сталь листовая, окрашенная белой краской	0,45
20	Сталь листовая, окрашенная темно-красной краской	0,8
21	Сталь листовая, окрашенная зеленой краской	0,6
22	Сталь кровельная оцинкованная	0,65
23	Стекло облицовочное	0,7
24	Штукатурка известковая темно-серая или терракотовая	0,7
25	Штукатурка цементная светло-голубая	0,3
26	Штукатурка цементная темно-зеленая	0,6
27	Штукатурка цементная кремовая	0,4

Таблица П.3

Расчетные коэффициенты теплопроводности и теплоусвоения материалов

Материал	Плот- ност ρ , кг/м ³	Расчетные коэффициенты при условиях эксплуатации			
		теплопроводн. λ , Вт/(м · °С)		теплоусвоен. S , Вт/(м ² · °С)	
		А	Б	А	Б
1	2	3	4	5	6
Пенополистирол	150	0,052	0,06	0,89	0,99
Пенополистирол	100	0,041	0,052	0,65	0,82
Пенополистирол (ГОСТ 15588)	40	0,041	0,05	0,41	0,49
Пенополистирол ОАО «СП Радослав»	18	0,042	0,043	0,28	0,32
Экструдированный пенополистирол Стиродур	25	0,031	0,031	0,28	0,31
Пенополистирол Стиропор PS15	15	0,04	0,044	0,25	0,29
Пенополистирол Стиропор PS20	20	0,038	0,042	0,28	0,33
Экструдирован. пенополистирол «Стайрофоам»	28	0,03	0,031	0,31	0,34
Экструдирован. пенополистирол «Руфмат»	32	0,029	0,029	0,32	0,36
Экструдирован. пенополистирол «Флурмат 500»	38	0,028	0,028	0,34	0,38
Пенопласт ПХВ-1 и ПВ1	125	0,06	0,064	0,86	0,99
Пенопласт ПХВ-1 и ПВ1	<100	0,05	0,052	0,68	0,8
Пенополиуретан	80	0,05	0,05	0,67	0,7
Пенополиуретан	60	0,041	0,041	0,53	0,55
Плиты из резольно-фенолформальдегидного пенопласта (ГОСТ 20916)	90	0,053	0,073	0,81	1,1
То же	80	0,051	0,071	0,56	0,77
Перлитопластбетон	200	0,052	0,06	0,93	1,01
Перлитопластбетон	100	0,041	0,05	0,58	0,66
Перлитофосфогелевые изделия	200	0,07	0,09	1,1	1,43
Вспененного синтетическ. каучука «Аэрофлекс»	80	0,04	0,054	0,65	0,71
Экструзионный пено-полистирол «Пеноплэкс»	35	0,029	0,03	0,36	0,37
Маты минераловатные прошивные	100	0,061	0,067	0,72	0,49
Маты минераловатные на синтетич. связующем	225	0,072	0,082	1,04	1,19
Маты минераловатные на синтетич. связующем	125	0,064	0,07	0,73	0,82
Плиты минераловатные ЗАО «Минеральная вата»	180	0,045	0,048	0,74	0,81
Плиты минераловатные ЗАО «Минеральная вата»	80-125	0,042	0,045	0,53	0,59
Плиты минераловатные ЗАО «Минеральная вата»	40-60	0,041	0,044	0,37	0,41
Маты из стеклянного волокна прошивные	150	0,064	0,07	0,8	0,9
Маты из стеклян. штапельного волокна «URSA»	25	0,043	0,05	0,27	0,3
Маты из стеклян. штапельного волокна «URSA»	15	0,048	0,053	0,22	0,25
Плиты из стеклян. штапельного волокна «URSA»	85	0,046	0,05	0,51	0,57
Плиты из стеклян. штапельного волокна «URSA»	45	0,041	0,045	0,35	0,39
Пеностекло или газостекло	400	0,12	0,14	1,76	1,94
Плиты ДВП или ДСП	800	0,19	0,23	5,49	6,13
Плиты ДВП или ДСП	200	0,07	0,08	1,67	1,81
Плиты фибролитовые и арболит	400	0,13	0,16	3,21	3,7
Листы гипсовые обшивочные (сухая штукатурка)	800	0,19	0,21	3,34	3,66

Материал	Плотность ρ , кг/м ³	Расчетные коэффициенты при условиях эксплуатации			
		теплопроводн. λ , Вт/(м · °С)		теплоусвоен. S , Вт/(м ² · °С)	
		А	Б	А	Б
1	2	3	4	5	6
Изделия из вспучен. перлита на бит. связующем	200	0,078	0,09	1,23	1,32
Гравий керамзитовый (ГОСТ 9757)	600	0,17	0,19	2,62	2,83
Гравий керамзитовый (ГОСТ 9757)	500	0,15	0,165	2,25	2,41
Гравий керамзитовый (ГОСТ 9757)	300	0,12	0,13	1,56	1,66
Гравий шунгизитовый (ГОСТ 9757)	600	0,16	0,19	2,54	2,89
Гравий шунгизитовый (ГОСТ 9757)	400	0,13	0,15	1,87	2,1
Щебень из доменного шлака (ГОСТ 5578)	1000	0,24	0,31	4,02	4,67
Щебень шлакопемзовый и аглопоритовый	800	0,21	0,26	3,36	3,83
Щебень шлакопемзовый и аглопоритовый	400	0,14	0,16	1,94	2,12
Щебень и песок из перлита вспученного	400	0,087	0,095	1,5	1,6
Вермикулит вспученный (ГОСТ 12865)	200	0,08	0,095	1,01	1,16
Песок для строительных работ (ГОСТ 8736)	1600	0,47	0,58	6,95	7,91
Пемзобетон	1600	0,62	0,68	8,54	9,3
Пемзобетон	1000	0,3	0,34	4,69	5,2
Керамзитобетон на керамзитовом песке	1800	0,8	0,92	10,5	12,33
Керамзитобетон на керамзитовом песке	1000	0,33	0,41	5,03	6,13
Керамзитобетон на керамзитовом песке	800	0,24	0,31	3,83	4,77
Керамзитобетон на керамзитовом песке	500	0,17	0,23	2,55	3,25
Керамзитобетон на кварцевом песке с поризац.	1200	0,52	0,58	6,77	7,72
Керамзитобетон на кварцевом песке с поризац.	300	0,19	0,35	4,13	4,9
Перлитобетон	1200	0,44	0,5	6,96	8,01
Перлитобетон	600	0,19	0,23	3,24	3,84
Шлакопемзобетон (термозитобетон)	1400	0,44	0,52	7,9	8,78
Полистиролбетон	500	0,14	0,16	2,5	2,85
Газо- и пенобетон, газо- и пеносиликат	800	0,33	0,37	4,95	5,63
Газо- и пенобетон, газо- и пеносиликат	400	0,14	0,15	2,19	2,42
Кладка из кирпича глин. об. на цем.-песч. раств.	1800	0,7	0,8	9,2	10,12
Кладка из кирпича глин. об. на цем.-перл. раств.	1600	0,58	0,7	8,08	9,23
Кладка из кирпича силикат. на цем.-песч.раств.	1800	0,76	0,87	9,77	10,9
Железобетон (ГОСТ 26633)	2500	1,92	2,04	17,98	18,95
Бетон на гравии или щебне из природного камня	2400	1,74	1,86	16,77	17,88
Раствор цементно-песчаный	1800	0,76	0,93	9,6	11,09
Раствор сложный (песок, известь, цемент)	1700	0,7	0,87	8,95	10,42
Раствор известково-песчаный	1600	0,7	0,81	8,69	9,76
Листы асбестоцементные плоские (ГОСТ 18124)	1800	0,47	0,52	7,55	8,12
Рубероид, пергамин, толь	600	0,17	0,17	3,53	3,53
Сосна и ель поперек волокон	500	0,14	0,18	3,87	4,54
Дуб поперек волокон (ГОСТ 9462, ГОСТ 2695)	700	0,13	0,23	5,56	6,33
Фанера клееная (ГОСТ 8673)	600	0,15	0,18	4,22	4,73

Таблица П.4

Коэффициент теплоотдачи внутренней поверхности ограждающей конструкции

Внутренняя поверхность ограждения	Коэффициент теплоотдачи α_v , Вт/м ² °С
1. Стен, полов, гладких потолков с выступающими ребрами при отношении высоты h ребер к расстоянию a между гранями соседних ребер $h/a \leq 0,3$	8,7
2. Потолков с выступающими ребрами при отношении $h/a > 0,3$	7,6
3. Окон	8,0
4. Зенитных фонарей	9,9

Таблица П.5

Оптимальная температура и относительная влажность воздуха

Тип здания	Температура воздуха внутри здания, t_v , °С	Допустимая относительная влажность воздуха, ϕ_v , %
1. Жилые, школьные и другие общественные здания (кроме приведенных в строках 2 и 3)	20*+2	55+5
2. Поликлиники и лечебные учреждения	21+1	55+5
3. Детские дошкольные учреждения	22+1	55+5
* 21°С в районах с расчетной температурой наиболее холодной пятидневки минус 31 °С		

Таблица П.6

Влажностный режим помещений зданий

Режим	Влажность внутреннего воздуха, ϕ_v %, при температуре, t_v °С		
	до 12	св. 12 до 24	св. 24
Сухой	До 60	До 50	До 40
Нормальный	Св. 70 до 75	Св. 50 до 60	Св. 40 до 50
Влажный	Св. 75	> 60 > 75	> 50 > 60
Мокрый	—	Св. 75	Св. 60

Таблица П.7

Условия эксплуатации ограждающих конструкций

Влажностный режим помещения	Условия эксплуатации А и Б в зоне влажности		
	сухой	нормальный	влажной
Сухой	А	А	Б
Нормальный	А	Б	Б
Влажный или мокрый	Б	Б	Б

Таблица П.8

Минимально допустимые значения коэффициента теплотехнической однородности для конструкций промышленного изготовления

Ограждающая конструкция	Коэффициент α
Из однослойных легковесных панелей	0,90
Из легковесных панелей с термокладами	0,75
Из трехслойных железобетонных панелей с эффективным утеплителем и гибкими связями	0,70
Из трехслойных железобетон. панелей с эффективным утеплителем и гибкими связями и железобетон. шпонками или ребрами из керамзитобетона	0,60
Из трехслойных железобетонных панелей с эффективным утеплителем и гибкими связями и железобетонными ребрами	0,50
Из трехслойных металлических панелей с эффективным утеплителем	0,75
Из трехслойных асбестоцементных панелей с эффективным утеплителем	0,70

Таблица П.9

Оптимальные и допустимые нормы температуры, относительной влажности воздуха производственных помещений для холодного периода года

Категория работ	Температура, °С					Относит.влаж. %	
	оптимальная	допустимая				оптимальная	допустимая на рабочих местах
		верхняя граница		нижняя граница			
		на рабочих местах					
		постоянных	непостоянных	постоянных	непостоянных		
Легкая-Іа	22-24	25	26	21	18	40-60	75
Легкая-Іб	21-23	24	25	20	17	40-60	75
Сред.тяж.-Іа	18-20	23	24	17	15	40-60	75
Сред.тяж.-Іб	17-19	21	23	15	13	40-60	75
Тяжелая-ІІІ	16-18	19	20	13	12	40-60	75

Оглавление

Введение.....	3
1. Тепловая устойчивость ограждений.....	3
2. Методика расчета тепловой устойчивости в теплый период года.....	4
3. Примеры расчета теплоустойчивости ограждающих конструкций в теплый период года.....	7
3.1 Пример №1.....	7
3.2 Пример №2.....	10
Библиографический список.....	13
Приложение.....	14

Расчет тепловой устойчивости ограждающих конструкций зданий в теплый период года

Методические указания
для студентов направлений «Строительство»,
«Архитектура», «Дизайн архитектурной среды»
всех форм обучения

Составитель: Макеев Михаил Федорович

Подписано в печать 11.12. 2014. Формат 60х84 1/16. Уч.-изд.л. 1,5.
Усл.-печ. л. 1,6. Бумага писчая. Тираж 100 экз. Заказ № 502

Отпечатано: отдел оперативной полиграфии Воронежского
государственного архитектурно-строительного университета
394006 Воронеж, ул. 20-летия Октября, 84

