

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОСТОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ СТРОИТЕЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ИСПЫТАТЕЛЬНАЯ ЛАБОРАТОРИЯ №2
Испытательного центра «Академстройиспытания»
(Аттестат аккредитации РОСС RU 0001.21СМ37 со сроком действия до 15.03.2015 г.)
344022, Ростов-на-Дону, ул. Социалистическая, 162
тел/факс 227-75-67

№ 07.02/1883

«22» 07 2011 г.

УТВЕРЖДАЮ:
Нач. Управления научно-исследовательских работ,
профессор Б.М.Языев



«22» июля 2011 г.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

**О ТЕПЛОТЕХНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИКАХ НАРУЖНЫХ ОГРАЖДАЮЩИХ
КОНСТРУКЦИЙ С ПРИМЕНЕНИЕМ ФИБРОПЕНОБЕТОНА**

В КАЧЕСТВЕ СЛОЯ УТЕПЛИТЕЛЯ

В соответствии с договором № 228/11 от 29 июня 2011 г. между Федеральным государственным бюджетным образовательным учреждением «Ростовский государственный строительный университет» и ООО «Сармат» были проведены испытания на теплопроводность фибропенобетона марок по плотности D500, D600, D700 и D800 при влажности, соответствующей условиям эксплуатации А и Б по СНиП 23-02-2003 Тепловая защита зданий.

Испытания на теплопроводность были выполнены в соответствии с методикой обязательного приложения Е свода Правил СП 23-101-2004 «Проектирование тепловой защиты зданий». Результаты определения теплопроводности приведены в приложении к данному Заключению.

В соответствии с конструктивными схемами, выданными Заказчиком, были выполнены теплотехнические расчеты наружных ограждающей конструкции с применением в качестве слоя утеплителя фибропенобетона марок по плотности D600 и D700. Расчеты выполнены для климатических условий г. Ростова-на-Дону (условия эксплуатации А).

1 Нормируемое сопротивление теплопередаче наружной стены для климатических условий г. Ростова-на-Дону

Определено по п.5.3 СНиП 23-02-2003.

Градусосутки отопительного периода для условий г. Ростова-на-Дону определены по формуле

$$D_d = (t_{int} - t_{ht})z_{ht}, \quad (1)$$

где t_{int} расчетная средняя температура внутреннего воздуха, °С, принимаемая по табл. 1 ГОСТ 30494 с учетом п. 5.3 СНиП 23-02-2003 равной плюс 20°С;

t_{ht} – средняя температура наружного воздуха за отопительный период, принимаемая по табл. 1 СНиП 23-01-99 равной минус 0,6°С;

z_{ht} – продолжительность, сут, отопительного периода, принимаемая по табл. 1 СНиП 23-01-99 равной 171.

$$D_d = (20+0,6)171 = 3523$$

Этому значению градусосутков отопительного периода соответствует нормируемое сопротивление теплопередаче, $\frac{m^2 \cdot C}{Bm}$, (табл. 4 СНиП 23-02-2003)

$$R = 0,00035D_d + 1,4 = 2,633$$

2. Исходные расчетные данные

№ п/п	Наименование показателя	Обозн.	Ед. Измер.	Значение	Источник
1.1 Внутренние условия					
1.1	Расчетная температура внутреннего воздуха	t_{int}	°С	+20	ГОСТ 30494 п. 5.3 СНиП 23-02-2003
1.2	Расчетная влажность внутреннего воздуха	φ_{int}	%	55	ГОСТ 30494

1.3	Парциальное давление пара внутреннего воздуха	e_{int}	Па	1286	
2. Наружные условия					
2.1	Средняя температура наружного воздуха наиболее холодной пятидневки	text	оС	-22,0	СНиП 23-01-99
2.2	Средняя температура наружного воздуха отопительного периода	t_{ht}	оС	-0,6	СНиП 23-01-99
2.3	Продолжительность отопительного периода	z_{ht}	сут	171	СНиП 23-01-99
2.4	Среднее парциальное давление пара наружного воздуха за годовой период	e_{ext}	Па	920	СНиП 23-01-99
2.5	Продолжительность периода влагонакопления, равная периоду с отрицательными средними месячными температурами наружного воздуха	сут	z_0	90	СНиП 23-01-99
2.6	Предельно допустимое приращение расчетного массового отношения влаги в материале увлажняемого слоя за период влагонакопления z_0	%	Δw_{av}	6	СНиП 23-02-2003
2.7	Продолжительность периодов года: - зимнего - весенне-осеннего - летнего	z_1 z_2 z_3	мес мес мес	1 4 7	СНиП 23-01-99
2.8	Среднее парциальное давление водяного пара наружного воздуха периода месяцев с отрицательными среднемесячными температурами	e_0^{ext}	Па	450	СНиП 23-01-99

1.1 Расчетная схема

Заказчиком предложена конструкция наружной стены, показанная на рис. 1.

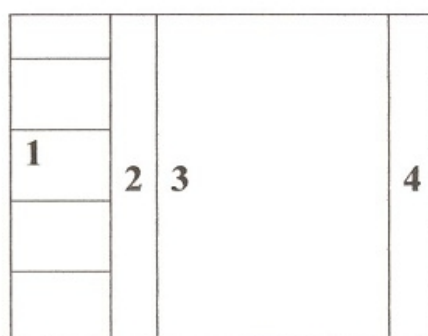


Рис. 1 Расчетная схема ограждающей конструкции: 1 – кирпичная кладка в $\frac{1}{2}$ кирпича; 2 – воздушная прослойка; 3 – фибропенобетонный блок; 4 – гипсоперлитовая штукатурка.

1.2 Характеристика материалов

№ п/п	Наименование показателя	Обозн.	Ед. Измер.	Значение	Источник
1	Кладка из пустотелого керамического кирпича плотностью 1000 кг/м^3 на цементно-песчаном растворе: - толщина - коэффициент теплопроводности для условий эксплуатации А - коэффициент паропроницаемости - коэффициент массового отношения влаги	δ_k	м	0,12	Проект
		λ_k	Вт/м ⁰ С	0,29	ГОСТ 530-2007
		μ_k	мг/м·ч·Па	0,15	СП 23-101-2004
		w_k	%	1,5	СНиП 23-02-2003
2	Невентилируемая воздушная прослойка: - толщина - термическое сопротивление	-	м	0,01	Проект СНиП 23-02-2003
		R_{al}	м ² °С/Вт	0,15	
3	Фибропенобетон марки по плотности D700: - толщина - коэффициент теплопроводности для условий эксплуатации А - коэффициент паропроницаемости - коэффициент массового отношения влаги	$\delta_{пб}$	м	0,3	Проект
		$\lambda_{пб}$	Вт/м ⁰ С	0,163	Лабораторные испытания
		$\mu_{пб}$	мг/м·ч·Па	0,16	СП 23-101-2004
		$w_{пб}$			

			%	6	СНиП 23-02-2003
4	<p>Гипсоперлитовая штукатурка плотностью 500 кг/м³:</p> <p>- толщина</p> <p>- коэффициент теплопроводности</p> <p>- коэффициент паропроницаемости</p>	<p>$\delta_{шт}$</p> <p>$\lambda_{шт}$</p> <p>$\mu_{шт}$</p>	<p>м</p> <p>Вт/м⁰С</p> <p>мг/м·ч·Па</p>	<p>0,02</p> <p>0,19</p> <p>0,43</p>	<p>Проект</p> <p>СП 23-101-2003</p> <p>СП 23-101-2003</p>

1.3 Приведенное сопротивление теплопередаче

Приведенное сопротивление теплопередаче рассматриваемой конструкции R_0 , $\frac{M^2 \cdot C}{Bm}$, определено по формуле

$$R_0 = \frac{1}{e_{ext}} + \frac{\delta_k}{\lambda_k} + R_{al} + \frac{\delta_{нб}}{\lambda_{нб}} + \frac{\delta_{шт}}{\lambda_{шт}} + \frac{1}{\alpha_{int}}, \quad (3)$$

где e_{ext} - коэффициент теплоотдачи (для зимних условий) наружной поверхности ограждающей конструкции, $\frac{Bm}{M^2 \cdot C}$, принимаемый по табл. 8 СП 23-101-2004 равным 23,0;

δ_k - толщина кирпичной кладки, м;

λ_k - коэффициент теплопроводности кирпичной кладки, $\frac{Bm}{M \cdot ^\circ C}$;

R_{al} - термическое сопротивление замкнутой воздушной прослойки, $\frac{M^2 \cdot C}{Bm}$, определяемое по табл. 7 СП 23-101-2004 равным 0,15;

$\delta_{нб}$ - толщина фибропенобетонного блока, м;

$\lambda_{нб}$ - расчетное значение коэффициента теплопроводности фибропенобетона для условий эксплуатации А, $\frac{Bm}{M \cdot ^\circ C}$;

$\delta_{шт}$ - толщина слоя штукатурки, м;

$\lambda_{шт}$ - расчетное значение коэффициента теплопроводности штукатурки для условий эксплуатации А;

e_{int} - коэффициент теплоотдачи внутренней поверхности ограждающей конструкции, принимаемый по табл.7 СНиП 23-02-2003 равным 8,7;

$$R_0 = \frac{1}{23} + \frac{0.12}{0.29} + 0,15 + \frac{0.30}{0.163} + \frac{0.02}{0.19} + \frac{1}{8.7} = 0,043 + 0,414 + 0,15 + 1,840 + 0,105 + 0,115 = 2,667$$

Полученное значение приведенного сопротивления теплопередаче не менее нормируемого.

1.4 Проверка внутренней поверхности стены на возможность конденсации влаги

Расчетный температурный перепад Δt_o , °С, между температурой внутреннего воздуха и температурой внутренней поверхности стены вычислен по формуле (4) СНиП 23-02-2003:

$$\Delta t_o = \frac{n(t_{int} - t_{ext})}{R_0 \alpha_{int}},$$

где n – коэффициент, учитывающий зависимость положения наружной поверхности ограждающей конструкции по отношению к наружному воздуху; согласно табл. 6 СНиП 23-02-2003 $n=1$.

$$\Delta t_o = \frac{n(20 + 22)}{2,667 \times 8,7} = 1,81$$

Это значение меньше нормируемого $\Delta t_n = 4^\circ\text{C}$ (табл. 5 СНиП 23-02-2003).

Температура внутренней поверхности $\tau_{int} = 20 - 1,81 = 18,19^\circ\text{C}$, что выше точки росы $t_d = 10,7$ (приложение Р СП 23-101-2004).

Конденсация влаги на внутренней поверхности стены происходить не будет.

1.5 Сопротивление паропрооницанию

Сопротивление паропрооницанию R_{vp} , $\frac{\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па}}{\text{мг}}$, ограждающей конструкции в пределах от внутренней поверхности до плоскости возможной конденсации (до воздушной прослойки):

$$R_{vp} = \frac{\delta_{um}}{\mu_{um}} + \frac{\delta_{nb}}{\mu_{nb}} = \frac{0,02}{0,43} + \frac{0,30}{0,16} = 1,922$$

Это значение сопротивления должно быть не менее наибольшего из следующих сопротивлений паропроницанию:

а) нормируемого сопротивления паропроницанию R_{vp1}^{req} , $\frac{м^2 \cdot ч \cdot Па}{мг}$ (из условия недопустимости накопления влаги в ограждающей конструкции за годовой период эксплуатации), определенное по формуле

$$R_{vp1}^{req} = \frac{(e_{int} - E)R_{vp}^e}{E - e_{ext}},$$

где e_{int} – парциальное давление водяного пара внутреннего воздуха, Па, при расчетной температуре и относительной влажности этого воздуха, определяемое по формуле

$$e_{int} = \frac{\varphi_{int}}{100} E_{int},$$

где E_{int} – парциальное давление насыщенного водяного пара, Па, при температуре t_{int} , принимаемое по приложению С СП 23-101-2004;

φ_{int} – относительная влажность внутреннего воздуха, %; $\varphi_{in} = 55\%$.

$$e_{int} = \frac{55}{100} \cdot 2338 = 1286$$

E – парциальное давление водяного пара, Па, в плоскости возможной конденсации за годовой период эксплуатации, определяемое по формуле:

$$E = \frac{E_1 z_1 + E_2 z_2 + E_3 z_3}{12},$$

где E_1, E_2, E_3 – парциальное давление водяного пара, Па, принимаемое по температуре в плоскости возможной конденсации, устанавливаемой при средних температурах наружного воздуха соответственно зимнего, весенне-осеннего и летнего периодов;

z_1, z_2, z_3 – продолжительность, мес, зимнего, весенне-осеннего и летнего периодов, определяемая по табл. 3 СНиП 23-01-99.

Продолжительности

Средние температуры

периодов:

в каждом периоде:

$z_1 = 1;$

$t_1 = -5,7;$

$$z_2 = 4;$$

$$t_2 = -1,1;$$

$$z_1 = 7;$$

$$t_3 = +16,6;$$

Температура и парциальное давление водяного пара в плоскости возможной конденсации:

$$\tau_1 = 20 - (20 + 5,7) \frac{2,06}{2,667} = +0,2; \quad E_1 = 620;$$

$$\tau_2 = 20 - (20 + 1,1) \frac{2,06}{2,667} = +3,70; \quad E_2 = 796;$$

$$\tau_3 = 20 - (20 - 16,6) \frac{2,06}{2,667} = +17,4; \quad E_3 = 1986;$$

$$E = \frac{620 \cdot 1 + 796 \cdot 4 + 1986 \cdot 7}{12} = 1476;$$

R_{vp}^e - сопротивление паропроницанию, $\frac{m^2 \cdot ч \cdot Па}{мг}$, части ограждающей конструкции, расположенной между наружной поверхностью ограждающей конструкции и плоскостью возможной конденсации, определяемое по формуле (79) СП 23-101-2004;

$$R_{vp}^e = \frac{\delta_k}{\mu_k} = \frac{0,12}{0,15} = 0,8;$$

e_{ext} - среднее парциальное давление водяного пара наружного воздуха, Па, за годовой период; согласно табл.табл. 7 СНиП 23-01-99 $e_{ext} = 920$.

e_{int} - парциальное давление водяного пара внутреннего воздуха, принимаемое согласно примечанию к п. 9.1 СНиП 23-02-2003 не ниже среднего парциального давления водяного пара наружного воздуха за летний период ($e_3 = 1070$); $e_{int} = 1286$.

Таким образом, нормируемое сопротивление паропроницанию

$$R_{vp1}^{req} = \frac{(1286 - 1476) \cdot 0,8}{1476 - 920} = \frac{-152}{556} = -0,27;$$

Отрицательное значение R_{vp1}^{req} свидетельствует о том, что накопление влаги в ограждающей конструкции за годовой период происходить не будет.

б) требуемого сопротивления паропрооницанию $R_{vp2}^{req}, \frac{м^2 \cdot ч \cdot Па}{мг}$, (из условия ограничения влаги в ограждающей конструкции за период с отрицательными средними месячными температурами наружного воздуха), определяемого по формуле

$$R_{vp2}^{req} = \frac{0,0024z_0(e_{int} - E_0)}{\rho_w \cdot \delta_w \cdot \Delta w_{av} + \eta},$$

z_0 – продолжительность, сут, периода влагонакопления, принимаемая равной периоду с отрицательными средними месячными температурами наружного воздуха (табл. 2 СНиП 23-01-99); $z_0 = 90$;

E_0 – парциальное давление водяного пара, Па, в плоскости возможной конденсации при средней температуре наружного воздуха периода месяцев с отрицательными средними температурами.

Средняя температура наружного воздуха периода месяцев с отрицательными средними температурами (табл. 2 СНиП 23-01-99); $t_{cp} = -4,4^\circ C$.

Этой температуре соответствует температура в плоскости возможной конденсации, $t_{конд} = t_{int} - (t_{int} - t_{cp}) \frac{R_x}{R_0} = 20 - (20 + 4,4) \frac{2,526}{2,667} = -3,1^\circ C$,

где R_x – термическое сопротивление части ограждающей конструкции от внутренней поверхности до плоскости возможной конденсации, $\frac{м^2 \cdot C}{Вт}$;

$$R_x = \frac{\delta_{nb}}{\lambda_{nb}} + \frac{\delta_{um}}{\lambda_{um}} + \frac{1}{e_{int}} = \frac{0,30}{0,127} + \frac{0,02}{0,41} + \frac{1}{8,7} = 2,526,$$

Этой температуре соответствует парциальное давление водяного пара $E_0 = 472$ Па.

ρ_{nb} – плотность материала увлажняемого слоя, принимаемая равной ρ_0 по СП 23-101-2004; $\rho_w = 700$ кг/м³;

δ_{nb} – толщина увлажняемого слоя ограждающей конструкции, м, принимаемая равной толщине теплоизоляционного слоя; $\delta_w = 0,3$;

Δw_{av} – предельно допустимое приращение расчетного массового отношения влаги в материале увлажняемого слоя, %, за период влагонакопления z_0 , принимаемое равным 6% (табл. 12 СНиП 23-02-2003);

R_{vp}^e – сопротивление паропроницанию, $\frac{m^2 \cdot s}{kg}$, части ограждающей конструкции, расположенной между наружной поверхностью и плоскостью возможной конденсации, определяемое по формуле

$$R_{vp}^e = \frac{\delta_k}{\lambda_k} = \frac{0.12}{0.15} = 0,8 \quad (11)$$

где e_0^{ext} – среднее парциальное давление водяного пара наружного воздуха, Па, периода месяцев с отрицательными температурами, определяемое по табл. 7 СНиП 23-01-99; $e_0^{ext} = 450$.

η – коэффициент, определяемый по формуле (20) СНиП 23-02-2003:

$$\eta = \frac{0,0024(E_0 - e_0^{ext}) \cdot z_0}{R_{vp}^e} \quad (12)$$

$$\eta = \frac{0,0024(472 - 450) \cdot 90}{0,8} = \frac{4,8}{0,8} = 6,0$$

Таким образом, нормируемое сопротивление паропроницанию

$$R_{vp2}^{req} = \frac{0,0024 z_0 (e_{int} - E_0)}{\rho_w \cdot \delta_w \cdot \Delta w_{av} + \eta} = \frac{0,0024 \cdot 90 (1286 - 472)}{700 \cdot 0,30 \cdot 6 + 6} = \frac{175,8}{1266} = 0,139;$$

Так как $R_{vp} > R_{vp2}^{req}$ (не меньше большего значения нормируемого сопротивления паропроницанию), накопление влаги в ограждающей конструкции происходить не будет.

2. Второй вариант конструкции наружной стены

Заказчиком предложена конструкция наружной стены, показанная на рис. 1.

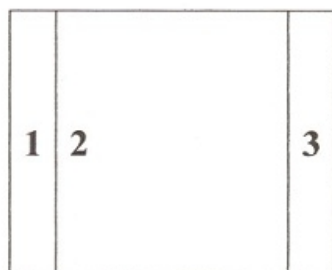


Рис. 1 Расчетная схема ограждающей конструкции: 1 –цементно-известковая штукатурка; 2 – монолитная фибропенобетонная стена; 3 – гипсовая штукатурка.

2.1 Характеристика материалов

№ п/п	Наименование показателя	Обозн.	Ед. Измер.	Значение	Источник
1	Цементно-известковая штукатурка плотностью 1700 кг/м ³ : - толщина - коэффициент теплопроводности - коэффициент паропроницаемости - коэффициент массового отношения влаги	$\delta_{шт}$	м	0,02	проект СП 23-101-2004 СП 23-101-2004 СНиП 23-02-2003
		$\lambda_{шт}$	Вт/м ⁰ С	0,70	
		$\mu_{шт}$	мг/м·ч·Па	0,098	
		$w_{шт}$	%	2	
2	Фибропенобетон марки по плотности D600: - толщина - коэффициент теплопроводности для условий эксплуатации А - коэффициент паропроницаемости - коэффициент массового отношения влаги	$\delta_{пб}$	м	0,35	Проект Лабораторные испытания СП 23-101-2003 СП 23-101-2003
		$\lambda_{пб}$	Вт/м ⁰ С	0,138	
		$\mu_{пб}$	мг/м·ч·Па	0,16	
		$w_{пб}$	%	6	
3	Гипсоперлитовая штукатурка плотностью 500 кг/м ³ : - толщина - коэффициент теплопроводности коэффициент паропроницаемости	$\delta_{гш}$	м	0,02	Проект СП 23-101-2003 СП 23-101-2003
		$\lambda_{гш}$	Вт/м ⁰ С	0,35	
		$\mu_{гш}$	мг/м·ч·Па	0,11	

2.2 Приведенное сопротивление теплопередаче

Приведенное сопротивление теплопередаче рассматриваемой конструкции R_0 , $\frac{m^2 \cdot C}{Bm}$, определено по формуле

$$R_0 = \frac{1}{e_{ext}} + \frac{\delta_{ци}}{\lambda_{ци}} + \frac{\delta_{пб}}{\lambda_{пб}} + \frac{\delta_{гип}}{\lambda_{гип}} + \frac{1}{\alpha_{int}}, \quad (3)$$

где e_{ext} - коэффициент теплоотдачи (для зимних условий) наружной поверхности ограждающей конструкции, $\frac{Bm}{m^2 \cdot C}$, принимаемый по табл. 8 СП 23-101-2004;

$\delta_{ци}$ - толщина слоя цементно-известковой штукатурки, м;

$\lambda_{ци}$ - расчетное значение коэффициента теплопроводности цементно-известковой штукатурки, $\frac{Bm}{m^2 \cdot C}$;

$\delta_{пб}$ - толщина фибропенобетонного блока, м;

$\lambda_{пб}$ - расчетное значение коэффициента теплопроводности фибропенобетона для условий эксплуатации А, $\frac{Bm}{m^2 \cdot C}$;

$\delta_{гип}$ - толщина слоя гипсоперлитовой штукатурки, м;

$\lambda_{гип}$ - расчетное значение коэффициента теплопроводности гипсоперлитовой штукатурки для условий эксплуатации А;

e_{int} - коэффициент теплоотдачи внутренней поверхности ограждающей конструкции, принимаемый по табл. 7 СНиП 23-02-2003;

$$R_0 = \frac{1}{23} + \frac{0,02}{0,70} + \frac{0,35}{0,138} + \frac{0,02}{0,35} + \frac{1}{8,7} = 0,043 + 0,029 + 2,536 + 0,057 + 0,115 = 2,78$$

Полученное значение приведенного сопротивления теплопередаче не менее нормируемого.

2.3 Проверка внутренней поверхности стены на возможность конденсации влаги

Расчетный температурный перепад Δt_o , °С, между температурой внутреннего воздуха и температурой внутренней поверхности стены вычислен по формуле (4) СНиП 23-02-2003:

$$\Delta t_o = \frac{n(t_{\text{int}} - t_{\text{ext}})}{R_0 \alpha_{\text{int}}},$$

где n – коэффициент, учитывающий зависимость положения наружной поверхности ограждающей конструкции по отношению к наружному воздуху; согласно табл. 6 СНиП 23-02-2003 $n=1$.

$$\Delta t_o = \frac{n(20 + 22)}{2,78 \times 8,7} = 1,74$$

Это значение меньше нормируемого $\Delta t_n = 4^\circ\text{C}$ (табл. 5 СНиП 23-02-2003).

Температура внутренней поверхности $t_{\text{int}} = 20 - 1,74 = 18,26^\circ\text{C}$, что выше точки росы $t_d = 10,7$ (приложение Р СП 23-101-2004).

Конденсация влаги на внутренней поверхности стены происходить не будет.

2.4 Сопротивление паропрооницанию

Сопротивление паропрооницанию R_{vp} , $\frac{\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па}}{\text{мг}}$, ограждающей конструкции в пределах от внутренней поверхности до плоскости возможной конденсации (до наружной штукатурки):

$$R_{\text{vp}} = \frac{\delta_{\text{шт}}}{\mu_{\text{шт}}} + \frac{\delta_{\text{об}}}{\mu_{\text{об}}} = \frac{0,02}{0,11} + \frac{0,35}{0,16} = 3,505$$

Сопротивление паропрооницанию R_{vp} , $\frac{\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па}}{\text{мг}}$, ограждающей конструкции (в пределах от внутренней поверхности до плоскости возможной конденсации) должно быть не менее наибольшего из следующих сопротивлений паропрооницанию:

- а) нормируемого сопротивления паропрооницанию $R_{\text{vpl}}^{\text{req}}$, $\frac{\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па}}{\text{мг}}$ (из условия недопустимости накопления влаги в ограждающей конструкции за годовой период эксплуатации), определенного по формуле

$$R_{vpl}^{req} = \frac{(e_{int} - E)R_{vp}^e}{E - e_{ext}},$$

где e_{int} – парциальное давление водяного пара внутреннего воздуха, Па, при расчетной температуре и относительной влажности этого воздуха, определяемое по формуле

$$e_{int} = \frac{\varphi_{int}}{100} E_{int},$$

где E_{int} – парциальное давление насыщенного водяного пара, Па, при температуре t_{int} , принимаемое по приложению С СП 23-101-2004;

φ_{int} – относительная влажность внутреннего воздуха, %; $\varphi_{in} = 55\%$.

$$e_{int} = \frac{55}{100} \cdot 2338 = 1286$$

E – парциальное давление водяного пара, Па, в плоскости возможной конденсации за годовой период эксплуатации, определяемое по формуле:

$$E = \frac{E_1 z_1 + E_2 z_2 + E_3 z_3}{12},$$

где E_1, E_2, E_3 – парциальное давление водяного пара, Па, принимаемое по температуре в плоскости возможной конденсации, устанавливаемой при средних температурах наружного воздуха соответственно зимнего, весенне-осеннего и летнего периодов;

z_1, z_2, z_3 – продолжительность, мес, зимнего, весенне-осеннего и летнего периодов, определяемая по табл. 3 СНиП 23-01-99.

Продолжительности

Средние температуры

периодов:

в каждом периоде:

зимнего $z_1 = 1;$

$t_1 = - 5,7;$

весенне-осеннего $z_2 = 4;$

$t_2 = - 1,1;$

летнего $z_3 = 7;$

$t_3 = + 16,6;$

Температура и парциальное давление водяного пара в плоскости возможной конденсации:

$$\tau_1 = 20 - (20 + 5,7) \frac{1,863}{2,780} = -2,8; \quad E_1 = 484;$$

$$\tau_2 = 20 - (20 + 1,1) \frac{1,863}{2,780} = +5,9; \quad E_2 = 929;$$

$$\tau_3 = 20 - (20 - 16,6) \frac{1,863}{2,780} = +17,7; \quad E_3 = 2025;$$

$$E = \frac{484 \cdot 1 + 929 \cdot 4 + 2025 \cdot 7}{12} = 1385;$$

R_{vp}^e - сопротивление паропроницанию, $\frac{м^2 \cdot ч \cdot Па}{мг}$, части ограждающей конструкции, расположенной между наружной поверхностью ограждающей конструкции и плоскостью возможной конденсации, определяемое по формуле (79) СП 23-101-2004;

$$R_{vp}^e = \frac{\delta_{ци}}{\lambda_{ци}} + \frac{1 \cdot \delta_{нб}}{3 \cdot \mu_{нб}} = \frac{0,02}{0,098} + \frac{0,35}{3 \cdot 0,16} = 0,20 + 0,729 = 0,929 \quad (7)$$

e_{ext} - среднее парциальное давление водяного пара наружного воздуха, Па, за годовой период; согласно табл.табл. 7 СНиП 23-01-99 $e_{ext} = 920$. e_{int} - парциальное давление водяного пара внутреннего воздуха, принимаемое согласно примечанию к 9.1 СНиП 23-02-2003 не ниже среднего парциального давления водяного пара наружного воздуха за летний период; $e_{int} = 1286$.

Таким образом, нормируемое сопротивление паропроницанию

$$R_{vp1}^{req} = \frac{(1286 - 1385) \cdot 0,2}{1385 - 920} = -\frac{19,8}{465} = -0,021;$$

Отрицательное значение R_{vp1}^{req} свидетельствует о том, что накопление влаги в ограждающей конструкции за годовой период происходить не будет.

б) требуемого сопротивления паропроницанию R_{vp2}^{req} , $\frac{м^2 \cdot ч \cdot Па}{мг}$, (из условия ограничения влаги в ограждающей конструкции за период с отрицательными средними месячными температурами наружного воздуха), определяемого по формуле

$$R_{vp2}^{req} = \frac{0,0024 z_0 (e_{int} - E_0)}{\rho_w \cdot \delta_w \cdot \Delta w_{av} + \eta}, \quad (8)$$

z_0 – продолжительность, сут, периода влагонакопления, принимаемая равной периоду с отрицательными средними месячными температурами наружного воздуха (табл. 2 СНиП 23-01-99); $z_0 = 90$;

E_0 – парциальное давление водяного пара, Па, в плоскости возможной конденсации при средней температуре наружного воздуха периода месяцев с отрицательными средними температурами.

Средняя температура наружного воздуха периода месяцев с отрицательными средними температурами (табл. 2 СНиП 23-01-99); $t_{cp} = -4,4^{\circ}\text{C}$.

Этой температуре соответствует температура в плоскости возможной конденсации, $t_{конд} = t_{int} - (t_{int} - t_{cp}) \frac{R_x}{R_0} = 20 - (20 + 4,4) \frac{1,863}{2,780} = +3,6^{\circ}\text{C}$, (9)

где R_x – термическое сопротивление части ограждающей конструкции от внутренней поверхности до плоскости возможной конденсации, $\frac{\text{м}^2\text{C}}{\text{Вт}}$;

$$R_x = \frac{\delta_{нб}}{\lambda_{нб}} + \frac{\delta_{ум}}{\lambda_{ум}} + \frac{1}{e_{int}} = \frac{2 \cdot 0,35}{3 \cdot 0,138} + \frac{0,02}{0,35} + \frac{1}{8,7} = 1,863, \quad (10)$$

Этой температуре соответствует парциальное давление водяного пара в плоскости возможной конденсации $E_0 = 791$ Па.

ρ_w – плотность материала увлажняемого слоя, принимаемая равной ρ_0 по СП 23-101-2004; $\rho_w = 600$ кг/м³;

δ_w – толщина увлажняемого слоя ограждающей конструкции, м, принимаемая равной толщине теплоизоляционного слоя; $\delta_w = 0,35$;

Δw_{av} – предельно допустимое приращение расчетного массового отношения влаги в материале увлажняемого слоя, %, за период влагонакопления z_0 , принимаемое равным 6% (табл. 12 СНиП 23-02-2003);

e_0^{ext} – среднее парциальное давление водяного пара наружного воздуха, Па, периода месяцев с отрицательными температурами, определяемое по табл. 7 СНиП 23-01-99; $e_0^{ext} = 450$.

η – коэффициент, определяемый по формуле (20) СНиП 23-02-2003:

$$\eta = \frac{0,0024(E_0 - e_0^{ext}) \cdot z_0}{R_{vp}^e} \quad (11)$$

$$\eta = \frac{0,0024(791 - 450) \cdot 90}{0,929} = \frac{73,7}{0,929} = 79,3$$

Таким образом, нормируемое сопротивление паропрооницанию

$$R_{vp2}^{req} = \frac{0,0024z_0(e_{int} - E_0)}{\rho_w \cdot \delta_w \cdot \Delta w_{av} + \eta} = \frac{0,0024 \cdot 90(1286 - 791)}{600 \cdot 0,35 \cdot 6 + 79,3} = \frac{106,9}{1339} = 0,08; \quad (12)$$

Так как $R_{vp} > R_{vp2}^{req}$ (не меньше большего значения нормируемого сопротивления паропрооницанию), накопление влаги в ограждающей конструкции происходить не будет.

Использованные нормативные документы:

1. СНиП 23-01-99 Строительная климатология
2. СНиП 23-02-2003 Тепловая защита зданий
3. СП 233-101-2004 Проектирование тепловой защиты зданий
4. ТСН 23-339-2002 Ростовской области. Энергетическая эффективность жилых и общественных зданий. Нормативы по энергопотреблению и теплозащите

Руководитель работы,

профессор



А.Н.Юндин

ПРОТОКОЛ

испытания фибропенобетна ООО «САРМАТ» на теплопроводность при нормируемых значениях сорбционной влажности для условий эксплуатации А и Б

(Приложение к заключению о теплотехнических характеристиках наружных ограждающих конструкций с применением фибропенобетона в качестве слоя утеплителя)

1. Общие положения

Для испытания на теплопроводность Заказчиком ООО «Сармат» (г.Батайск) были представлены четыре серии по два фибропенобетонных стеновых блока, обозначенных Заказчиком марками D500, D600, D700 и D800. Номинальные размеры блоков 300×300×600 мм. Из каждого блока для испытаний были выпилены по две-три пластины с номинальными размерами 150×150 мм и толщиной около 15 мм. Все образцы были высушены до постоянной массы, после чего была определена теплопроводность каждого образца в высушенном состоянии.

Испытание на теплопроводность при нормируемой влажности выполнено в соответствии с «Методикой определения расчетных значений теплопроводности строительных материалов при условии эксплуатации А и Б» (Обязательное приложение Е СП 23-101-2004 Проектирование тепловой защиты зданий).

Определение теплопроводности выполнено с использованием прибора ИТС-1 производства ООО НТП «Интерприбор» (г. Челябинск) по ТУ 4211-010-7453096769-2006 (заводской №32).

2. Обозначения

При определении расчетных значений теплопроводности использованы следующие обозначения:

λ_{oi} — теплопроводность образца в сухом состоянии;

λ_{om} — среднее арифметическое значение теплопроводности из пяти образцов в сухом состоянии;

λ_{fi} — значение теплопроводности образца при влажности w_f ;

$\lambda_{A,B}$ — расчетные значения теплопроводности для условий эксплуатации А и Б;

k_c — коэффициент учета влияния качества строительно-монтажных работ на теплопроводность строительных материалов и изделий, а также старения материала в реальных условиях эксплуатации; для жестких теплоизоляционных материалов и изделий (предел прочности на сжатие не менее 0,035 МПа) принимают равным 1,1, для мягких теплоизоляционных материалов и изделий (предел прочности на сжатие менее 0,035 МПа) — 1,2, для остальных материалов и изделий — 1;

k_t — коэффициент учета разницы теплопроводности материала при средней рабочей температуре материала в конструкции (в отопительный период) и при средней температуре испытаний, принимают равным 0,95 при температуре в конструкции 10 °С;

$w_{A,B}$ — влажность, % по массе, соответствующая значению расчетного массового отношения влаги в исследуемом материале при условиях эксплуатации А или Б;

m_{oi} — масса образца в сухом состоянии;

m_w — расчетная масса образца с влажностью, соответствующей условиям эксплуатации А или Б;

m_{bi} — масса увлажненного образца, определенная непосредственно перед его загрузкой в прибор для измерения теплопроводности;

m_{ei} — масса увлажненного образца материала, определенная непосредственно после выемки его из прибора для измерения теплопроводности;

w_{bi} — влажность образца, % по массе, определенная непосредственно перед загрузкой его в прибор для измерения теплопроводности;

w_{ei} — влажность образца, % по массе, определенная непосредственно после его выемки из прибора для измерения теплопроводности.

3 Увлажнение образцов

Перед увлажнением для каждого образца определяли массу m_{wi} , до которой его следует увлажнить, чтобы получить значения влажности, соответствующие условиям эксплуатации А или Б, по формуле:

$$m_{wi} = m_{oi} (1 + 0,01w_{A,B}) \quad (1)$$

После определения в сухом состоянии образцы были увлажнены до нормируемой влажности, соответствующей условию эксплуатации А (8% - ФПБ марок D500, D600, D700 и 10% - марки D800). После испытания этих образцов на теплопроводность они были увлажнены до влажности, соответствующей условию эксплуатации Б (12% - ФПБ марок D500, D600, D700 и 15% - марки D800)

Увлажнение каждого образца производилось путем просасывания водяного пара с помощью специально изготовленного для этого устройства, периодически переворачивая их каждой стороной в сторону поступающего пара. После завершения увлажнения до расчетной массы каждый образец для выравнивания влажности по объему материала был помещен в индивидуальную герметичную упаковку, состоящую из двух полиэтиленовых пакетов, в которых они хранились до испытания на теплопроводность в течение 5-7 сут.

4 Определение теплопроводности

Перед испытанием на теплопроводность влажного образца сразу же после извлечения из упаковки образец измеряли с погрешностью 0,1 мм, взвешивали и помещали в камеру прибора ИТС-1. Измерение теплопроводности производилось в соответствии с инструкцией к прибору. После завершения измерения теплопроводности образец немедленно взвешивали и снова помещали в герметичную упаковку (на тот случай, если необходимо было выполнить повторное измерение).

5 Обработка результатов измерений

Среднее арифметическое значение теплопроводности образцов в сухом состоянии рассчитано по формуле:

$$\lambda_{om} = 0,2 \sum_1^5 \lambda_{oi} \quad (2)$$

Для каждого образца вычислена теплопроводность при значении влажности, соответствующей условиям эксплуатации А и Б:

$$\lambda_{wi} = \lambda_{oi} + (\lambda_{fi} - \lambda_{oi}) w_{A,B} / w_{fi} . \quad (3)$$

Среднее арифметическое значение теплопроводности для пяти измерений для условий эксплуатации А и Б рассчитано по формуле: $\lambda_w = 0,2 \sum_1^5 \lambda_{wi} .$ (4)

Среднее квадратичное отклонение результатов пяти измерений теплопроводности для условий эксплуатации А и Б определено по формуле:

$$S = 0,2236 \sqrt{\sum_1^5 (\lambda_{wi} - \lambda_w)^2} . \quad (5)$$

Расчетное значение теплопроводности для условий эксплуатации А и Б вычислено по формуле:

$$\lambda_{A,B} = k_i (k_s \lambda_w + 2,571S) \quad (6)$$

При определении расчетных значений коэффициентов теплопроводности для условий эксплуатации А и Б приняты: $K_s = 1,0$; $k_i = 0,95$

6. Результаты испытаний

Первичные результаты испытаний приведены в табл. 1-12.

Таблица 1 - Теплопроводность фибропенобетона плотностью 465 кг/м³

в сухом состоянии

Шифр	Размеры, мм			Средн. размеры, см, мм			Масса, г	ρ_0 , кг/м ³	λ_0 , Вт/мК	S, в
	дли-на	шир.	толщ.	дл.	шир.	толщ.				
500-1			15,1, 14,2							
	149,6	150,0	14,9, 14,8	14,92	15,05	14,71	155,6	471	0,0967	
	148,8	151,0	15,3, 15,1							
			14,3, 14,0							
500-2			15,4, 15,3							
	150,0	149,1	15,3, 14,6	15,0	14,98	15,24	159,92	467	0,0953	
	150,0	150,4	15,2, 15,2							
			15,4, 15,3							
500-3			15,1, 15,0							
	150,0	149,6	16,3, 15,7	15,01	14,97	15,4	157,44	455	0,0915	
	150,2	149,8	15,6, 15,3							
			15,0, 15,2							
500-4			14,9, 15,0							
	149,5	149,4	14,8, 14,9	14,96	14,94	14,88	150,0	466	0,0957	
	149,6	149,4	15,0, 14,8							
			14,9, 14,7							
500-5			15,1, 15,0							
	149,4	149,9	15,2, 15,0	14,96	14,98	14,94	157,40	469	0,0953	
	149,7	149,7	14,7, 15,0							
			14,9, 14,6							
	Средние значения							465	0,0949	

v = 2,35%

S=0,002232 Вт/мК

Таблица 2 - Теплопроводность фибропенобетона плотностью 465 кг/м³

при влажности 8%

Показатель	Наименование показателя	Номера образцов				
		500-1	500-2	500-3	500-4	500-5
h	Толщина образца	14,71	15,24	15,40	14,88	14,94
m _{oi}	Масса сухого образца	158,80	160,05	157,35	158,20	158,60
λ _{oi}	Теплопроводность сухого образца	0,0967	0,0953	0,0915	0,0957	0,0953
λ _{om}	Среднее значение теплопроводности сухих образцов	0,0949				
m _{wi}	Расчетная масса образцов с влажностью, соответствующей условию	172,15	172,85	169,94	170,86	171,29
m _{bi}	Масса увлажненного образца непосредственно перед загрузкой в прибор	171,50	173,90	170,65	170,70	171,90
m _{ei}	То же, сразу после выемки из прибора	171,40	173,30	170,15	170,30	170,70
w _{bi}	Влажность образцов непосредственно перед загрузкой в прибор, %	8,00	8,65	8,45	7,90	7,94
w _{ei}	То же, сразу после выемки из прибора, %	7,93	8,28	8,13	7,65	7,31
w _{fi}	$w_{fi} = 0,5(w_{bi} + w_{ei})$	7,97	8,47	8,29	7,78	7,63
λ _{fi}	Теплопроводность при влажности w _{fi}	0,1064	0,1106	0,1066	0,1139	0,1092
λ _{wi}	$\lambda_{wi} = \lambda_{oi} + (\lambda_{fi} - \lambda_{oi}) \frac{W_a}{W_{fi}}$	0,1064	0,1115	0,1071	0,1129	0,1085
λ _w	$\lambda_w = 0,2 \sum \lambda_{wi}$	0,1093				
S	$S = 0,2236 \sqrt{\sum (\lambda_{wi} - \lambda_w)^2}$	0,00140				

$$\lambda_8 = K_t (K_s \lambda_w + 2,571 S); \quad K_t = 0,95; \quad K_s = 1,0; \quad \lambda_8 = 0,1073 \text{ Вт/мК}$$

Таблица 3 - Теплопроводность фибропенобетона плотностью 465 кг/м³

при влажности 12%

Показатель	Наименование показателя	Номера образцов				
		500-6	500-7	500-8	500-9	50010
h	Толщина образца	14,71	15,24	15,40	14,88	14,94
m _{oi}	Масса сухого образца	164,15	157,25	152,90	154,50	157,85
λ _{oi}	Теплопроводность сухого образца	0,0967	0,0953	0,0915	0,0957	0,0953
λ _{om}	Среднее значение теплопроводности сухих образцов	0,0949				
m _{wi}	Расчетная масса образцов с влажностью, соответствующей условию	183,85	176,12	171,25	173,04	176,79
m _{bi}	Масса увлажненного образца непосредственно перед загрузкой в прибор	183,40	176,20	170,90	174,45	177,05
m _{ci}	То же, сразу после выемки из прибора	182,55	175,65	170,70	173,70	176,40
w _{bi}	Влажность образцов непосредственно перед загрузкой в прибор, %	11,73	12,05	11,77	12,91	12,16
w _{ci}	То же, сразу после выемки из прибора, %	11,21	11,70	11,64	12,43	11,75
w _{fi}	w _{fi} = 0,5(w _{bi} + w _{ci})	11,48	11,88	11,71	12,67	11,96
λ _{fi}	Теплопроводность при влажности w _{fi}	0,1118	0,1188	0,1103	0,1222	0,1175
λ _{wi}	$\lambda_{wi} = \lambda_{oi} + (\lambda_{fi} - \lambda_{oi}) \frac{W_a}{W_{fi}}$	0,1139	0,1196	0,1118	0,1190	0,1176
λ _w	$\lambda_w = 0,2 \sum \lambda_{wi}$	0,1146				
S	$S = 0,2236 \sqrt{\sum (\lambda_{wi} - \lambda_w)^2}$	0,00169				

$$\lambda_{12} = K_1 (K_s \lambda_w + 2,571 S); \quad K_1 = 0,95; \quad K_s = 1,0; \quad \lambda_{12} = 0,1110 \text{ Вт/мК}$$

Таблица 4 - Теплопроводность фибропенобетона плотностью 579 кг/м³

в сухом состоянии

Шифр	Размеры, мм			Средн. размеры, см, мм			Масса, г	ρ_0 , кг/м ³	λ_0 , Вт/мК	S_v
	длина	шир.	толщ.	дл.	шир.	толщ.				
600-1			15,4;15,5							S = 0,001382Вт/мК v = 1,25 %
	150,2	150,0	15,4;15,8	15,0	15,02	15,26	194,61	566	0,1157	
	149,7	150,0	15,2;15,3							
		14,7;15,2								
600-2			15,0;14,7	15,02	14,97	15,14	198,16	582	0,1112	
	150,4	150,1	15,3;15,6							
	150,0	149,2	15,5;15,3							
600-3			15,2;15,6	15,0	15,02	15,24	188,60	578	0,1083	
	150,6	150,3	15,2;15,2							
	149,4	150,1	15,1;15,2							
600-4			15,3;15,7	15,09	15,04	15,33	190,9	589	0,1088	
	151,0	150,5	15,1;15,3							
	150,7	150,2	15,7;15,0							
600-5			14,5;15,0	14,94	14,85	14,94	192,8	582	0,1060	
	149,1	148,5	15,0;14,5							
	149,7	148,4	15,1;15,0							
			14,9;15,5							
Средние значения								579	0,1100	

Таблица 5 - Теплопроводность фибропенобетона плотностью 579 кг/м³

при влажности 8%

Показатель	Наименование показателя	Номера образцов				
		600-1	600-2	600-3	600-4	600-5
h	Толщина образца	15,26	15,14	14,54	14,63	14,94
m _{oi}	Масса сухого образца	194,61	198,16	188,60	190,90	192,80
λ _{oi}	Теплопроводность сухого образца	0,1157	0,1112	0,1083	0,1089	0,1060
λ _{om}	Среднее значение теплопроводности сухих образцов	0,1100				
m _{wi}	Расчетная масса образцов с влажностью, соответствующей условию	210,18	214,01	203,69	206,17	208,2
m _{bi}	Масса увлажненного образца непосредственно перед загрузкой в прибор	210,30	214,70	204,65	206,00	207,85
m _{ei}	То же, сразу после выемки из прибора	209,75	214,10	204,00	205,80	206,95
w _{bi}	Влажность образцов непосредственно перед загрузкой в прибор, %	8,00	8,35	8,51	7,91	7,81
w _{ei}	То же, сразу после выемки из прибора, %	7,78	8,04	8,17	7,81	7,34
w _{fi}	w _{fi} = 0,5(w _{bi} + w _{ei})	7,89	8,20	8,34	7,86	7,58
λ _{fi}	Теплопроводность при влажности w _{fi}	0,1249	0,1238	0,1255	0,1269	0,1238
λ _{wi}	$\lambda_{wi} = \lambda_{oi} + (\lambda_{fi} - \lambda_{oi}) \frac{W_a}{W_{fi}}$	0,1252	0,1235	0,1246	0,1279	0,1247
λ _w	$\lambda_w = 0,2 \sum \lambda_{wi}$	0,1252				
S	$S = 0,2236 \sqrt{\sum (\lambda_{wi} - \lambda_w)^2}$	0,000725				

$$\lambda_g = K_t (K_s \lambda_w + 2,571 S); \quad K_t = 0,95; \quad K_s = 1,0; \quad \lambda_g = 0,1207 \text{ Вт/мК}$$

Таблица 6 - Теплопроводность фибропенобетона плотностью 579 кг/м³

при влажности 12%

Показатель	Наименование показателя	Номера образцов				
		600-6	600-7	600-8	600-9	600-10
h	Толщина образца	15,26	15,14	15,24	15,33	15,94
m _{oi}	Масса сухого образца	194,61	198,16	188,6	190,90	192,80
λ _{oi}	Теплопроводность сухого образца	0,1157	0,1112	0,1083	0,1089	0,1060
λ _{om}	Среднее значение теплопроводности сухих образцов	0,1110				
m _{wi}	Расчетная масса образцов с влажностью, соответствующей условию	221,73	204,50	214,09	215,88	216,31
m _{bi}	Масса увлажненного образца непосредственно перед загрузкой в прибор	220,75	209,75	213,65	215,20	216,85
m _{ci}	То же, сразу после выемки из прибора	219,45	209,20	213,05	214,95	216,15
w _{bi}	Влажность образцов непосредственно перед загрузкой в прибор, %	11,51	12,13	11,77	11,65	12,28
w _{ci}	То же, сразу после выемки из прибора, %	10,85	11,84	11,48	11,52	11,92
w _{fi}	$w_{fi} = 0,5(w_{bi} + w_{ci})$	11,18	11,99	11,63	11,59	12,10
λ _{fi}	Теплопроводность при влажности w _{fi}	0,1225	0,1204	0,1254	0,1286	0,1332
λ _{wi}	$\lambda_{wi} = \lambda_{oi} + (\lambda_{fi} - \lambda_{oi}) \frac{W_a}{W_{fi}}$	0,1335	0,1304	0,1296	0,1293	0,1321
λ _w	$\lambda_w = 0,2 \sum \lambda_{wi}$	0,1310				
S	$S = 0,2236 \sqrt{\sum (\lambda_{wi} - \lambda_w)^2}$	0,003521				

$$\lambda_{12} = K_1 (K_s \lambda_w + 2,571 S); \quad K_1 = 0,95; \quad K_s = 1,0; \quad \lambda_{12} = 0,1330 \text{ Вт/мК}$$

Таблица 7 - Теплопроводность фибропенобетона плотностью 666 кг/м³

в сухом состоянии

Шифр	Размеры, мм			Средн. размеры, см, мм			Масса, г	ρ_0	λ_0	S, v
	длина	шир.	толщ.	дл.	шир.	толщ.				
700-1	149,8	150,5	15,2, 15,4	14,94	15,05	15,23	230,85	674	0,1410	S = 0,001417 Вт/мК v = 0,98%
	148,9	150,4	15,3, 15,1							
			15,4, 15,0							
			15,4, 15,0							
700-2	150,3	150,3	15,0, 15,4	15,02	15,05	15,21	233,1	678	0,1463	
	150,1	150,7	15,0, 15,3							
			15,1, 15,0							
			15,1, 15,8							
700-3	150,2	149,7	15,0, 15,0	15,05	14,93	15,06	217,20	642	0,1423	
	150,7	148,9	15,2, 15,1							
			14,9, 14,9							
			15,2, 15,2							
700-4	149,1	150,2	15,2, 14,5	14,97	15,0	14,60	214,15	653	0,1425	
	150,2	149,8	14,1, 14,3							
			14,8, 13,8							
			15,2, 14,9							
700-5	150,1	149,4	15,0, 14,9	14,98	14,95	15,09	230,15	681	0,1476	
	149,5	149,5	14,8, 15,6							
			15,3, 14,8							
			15,2, 15,1							
	Средние значения							666	0,1439	

Таблица 8 - Теплопроводность фибропенобетона плотностью 666 кг/м³

при влажности 8%

Показатель	Наименование показателя	Номера образцов				
		700-1	700-2	700-3	700-4	700-5
h	Толщина образца	15,23	15,21	15,06	14,60	15,09
m _{oi}	Масса сухого образца	230,85	233,10	217,2	214,15	230,15
λ _{oi}	Теплопроводность сухого образца	0,1410	0,1463	0,1423	0,1425	0,1476
λ _{ом}	Среднее значение теплопроводности сухих образцов	0,1439				
m _{wi}	Расчетная масса образцов с влажностью, соответствующей условию	249,32	251,75	234,48	231,28	248,56
m _{bi}	Масса увлажненного образца непосредственно перед загрузкой в прибор	249,95	251,60	235,20	232,30	248,50
m _{ci}	То же, сразу после выемки из прибора	249,20	251,30	234,9	231,85	248,20
w _{bi}	Влажность образцов непосредственно перед загрузкой в прибор, %	8,12	7,94	8,28	8,48	8,00
w _{ci}	То же, сразу после выемки из прибора, %	8,08	7,81	8,15	8,27	7,84
w _{fi}	= 0,5(w _{bi} + w _{ci})	8,10	7,88	8,21	8,38	7,92
λ _{fi}	Теплопроводность при влажности w _{fi}	0,1502	0,1495	0,1501	0,1491	0,1532
λ _{wi}	$\lambda_{wi} = \lambda_{oi} + (\lambda_{fi} - \lambda_{oi}) \frac{W_a}{W_{fi}}$	0,1505	0,1510	0,1499	0,1488	0,1533
λ _w	$\lambda_w = 0,2 \sum \lambda_{wi}$	λ_w = 0,1508				
S	$S = 0,2236 \sqrt{\sum (\lambda_{wi} - \lambda_w)^2}$	S = 0,001466				

$$\lambda_g = K_t (K_s \lambda_w + 2,571 S); \quad K_t = 0,95; \quad K_s = 1,0; \quad \lambda_g = 0,1468 \text{ Вт/мК}$$

Таблица 9 - Теплопроводность фибропенобетона плотностью 666 кг/м³

при влажности 12%

Показатель	Наименование показателя	Номера образцов				
		700-6	700-7	700-8	700-9	700-10
h	Толщина образца	14,85	14,85	14,98	14,95	14,86
m _{oi}	Масса сухого образца	230,85	233,10	217,20	214,15	230,15
λ _{oi}	Теплопроводность сухого образца	0,1410	0,1463	0,1423	0,1425	0,1476
λ _{om}	Среднее значение теплопроводности сухих образцов	0,1435				
m _{wi}	Расчетная масса образцов с влажностью, соответствующей условию	255,25	255,86	235,26	256,82	254,58
m _{bi}	Масса увлажненного образца непосредственно перед загрузкой в прибор	254,80	255,90	248,35	256,40	254,35
m _{ei}	То же, сразу после выемки из прибора	253,95	255,45	247,65	255,90	253,55
w _{bi}	Влажность образцов непосредственно перед загрузкой в прибор, %	11,8	12,0	12,86	11,80	11,9
w _{ei}	То же, сразу после выемки из прибора, %	11,4	11,8	12,54	11,6	11,5
w _{fi}	w _{fi} = 0,5(w _{bi} + w _{ei})	11,6	11,9	12,7	11,7	11,7
λ _{fi}	Теплопроводность при влажности w _{fi}	0,1563	0,1696	0,1584	0,1595	0,1673
λ _{wi}	$\lambda_{wi} = \lambda_{oi} + (\lambda_{fi} - \lambda_{oi}) \frac{W_a}{W_{fi}}$	0,1565	0,1698	0,1573	0,1598	0,1679
λ _w	$\lambda_w = 0,2 \sum \lambda_{wi}$	λ_w = 0,1629				
S	$S = 0,2236 \sqrt{\sum (\lambda_{wi} - \lambda_w)^2}$	S = 0,002728				

$$\lambda_{12} = K_1 (K_s \lambda_w + 2,571 S); \quad K_1 = 0,95; \quad K_s = 1,0; \quad \lambda_{12} = 0,1614 \text{ Вт/мК}$$

Таблица 10 - Теплопроводность фибропенобетона плотностью 823 кг/м³

в сухом состоянии

Шифр	Размеры, мм			Средн. размеры, см, мм			Масса, г	ρ_0 , кг/м ³	λ_0 , Вт/мК	S, v	
	длина	шир.	толщ.	дл.	шир.	толщ.					
800-1			14,2;14,9								
	149,8	149,7	14,6;14,7	15,0	14,99	14,70	280,30	847	0,1771	S = 0,00858 Вт/мК v = 5,09 %	
	150,2	150,1	14,6;14,8								
		15,0;14,8									
800-2			15,0;14,9								
	150,6	150,1	15,1;15,3	15,04	15,00	15,11	282,95	830	0,1749		
	150,1	149,4	15,0;15,4								
		14,8;15,4									
800-3			14,6;15,0								
	148,2	150,0	14,8;14,8	14,89	14,99	14,84	284,85	832	0,1732		
	149,6	149,8	14,8;14,9								
		14,8;15,0									
800-4			14,2;14,9								
	150,4	150,6	14,7;14,9	15,01	15,07	14,69	280,85	818	0,1659		
	149,8	150,7	14,5;14,8								
		14,8;14,7									
800-5			14,8;14,5								
	150,4	149,8	14,4;14,6	15,01	14,97	14,61	258,85	789	0,1571		
	149,8	149,5	15,0;14,4								
		15,0;14,2									
Средние значения								823	0,1686		

Таблица 11 -Теплопроводность фибропенобетона плотностью 823 кг/м³

при влажности 10%

Показатель	Наименование показателя	Номера образцов				
		800-1	800-2	800-3	800-4	800-5
h	Толщина образца	14,7	15,11	14,84	14,69	14,61
m _{oi}	Масса сухого образца	280,3	282,95	284,85	280,85	258,85
λ _{oi}	Теплопроводность сухого образца	0,1771	0,1749	0,1732	0,1659	0,1571
λ _{om}	Среднее значение теплопроводности сухих образцов	0,1686				
m _{wi}	Расчетная масса образцов с влажностью, соответствующей условию	308,33	311,25	313,34	308,94	284,74
m _{bi}	Масса увлажненного образца непосредственно перед загрузкой в прибор	307,60	311,15	313,9	309,25	286,55
m _{ci}	То же, сразу после выемки из прибора	307,30	311,05	313,55	308,65	285,80
w _{bi}	Влажность образцов непосредственно перед загрузкой в прибор, %	9,74	9,97	10,2	10,11	10,70
w _{ci}	То же, сразу после выемки из прибора, %	9,63	9,93	10,08	10,05	10,41
w _{fi}	w _{fi} = 0,5(w _{bi} + w _{ci})	9,68	9,95	10,14	10,08	10,56
λ _{fi}	Теплопроводность при влажности w _{fi}	0,1892	0,1881	0,1869	0,1810	0,1790
λ _{wi}	$\lambda_{wi} = \lambda_{oi} + (\lambda_{fi} - \lambda_{oi}) \frac{W_a}{W_{fi}}$	0,1899	0,1882	0,1866	0,1809	0,1778
λ _w	$\lambda_w = 0,2 \sum \lambda_{wi}$	0,1847				
S	$S = 0,2236 \sqrt{\sum (\lambda_{wi} - \lambda_w)^2}$	0,002291				

$$\lambda_{10} = K_t (K_s \lambda_w + 2,571 S); \quad K_t = 0,95; \quad K_s = 1,0; \quad \lambda_{10} = 0,1811 \text{ Вт/мК}$$

Таблица 12 - Теплопроводность фибропенобетона плотностью 823 кг/м³

при влажности 15%

Показатель	Наименование показателя	Номера образцов				
		800-6	800-7	800-8	800-9	800-10
h	Толщина образца	14,70	15,40	14,84	14,69	14,61
m _{oi}	Масса сухого образца	270,85	278,25	278,05	285,90	281,94
λ _{oi}	Теплопроводность сухого образца	0,1771	0,1749	0,1732	0,1659	0,1571
λ _{om}	Среднее значение теплопроводности сухих образцов	0,1686				
m _{wi}	Расчетная масса образцов с влажностью, соответствующей условию	311,48	320,00	319,76	328,74	324,23
m _{bi}	Масса увлажненного образца непосредственно перед загрузкой в прибор	311,95	320,95	319,80	329,85	325,00
m _{ci}	То же, сразу после выемки из прибора	310,65	320,30	319,10	329,15	324,75
w _{bi}	Влажность образцов непосредственно перед загрузкой в прибор, %	15,00	15,35	15,02	15,37	15,27
w _{ci}	То же, сразу после выемки из прибора, %	14,69	15,11	14,76	15,13	15,18
w _{fi}	$w_{fi} = 0,5(w_{bi} + w_{ci})$	14,86	15,23	14,89	15,25	15,23
λ _{fi}	Теплопроводность при влажности w _{fi}	0,1961	0,1903	0,2060	0,2122	0,2033
λ _{wi}	$\lambda_{wi} = \lambda_{oi} + (\lambda_{fi} - \lambda_{oi}) \frac{W_a}{W_{fi}}$	0,1964	0,1898	0,2063	0,2115	0,2028
λ _w	$\lambda_w = 0,2 \sum \lambda_{wi}$	0,2013				
S	$S = 0,2236 \sqrt{\sum (\lambda_{wi} - \lambda_w)^2}$	0,00379				

$$\lambda_{15} = K_t (K_s \lambda_w + 2,571 S); \quad K_t = 0,95; \quad K_s = 1,0; \quad \lambda_{15} = 0,2005 \text{ Вт/мК}$$

Таблица 13 – Измеренные значения теплопроводности сухих образцов и влажных при нормируемой сорбционной влажности (см. табл. 1-12

Шифр	№	Факт. плотность ρ_0 кг/м ³	Экспериментальные значения, полученные при влажности образцов												Расчетные значения $\lambda_{A,B}$ В/МК, для условий эксплуатации			
			0 %				8 %				12 %							
			λ_0	S, Вт/МК	v, %	λ_8	S, Вт/МК	v, %	λ_{12}	S, Вт/МК	v, %	A	B					
Д500	1	481	0,0967	0,002232	2,35	0,1064	0,00279	2,55	0,1139	0,00335	2,92	0,1073	0,1110					
	2	467	0,0953											0,1115	0,1196	0,1118	0,1190	0,1175
	3	455	0,0915											0,1071	0,1118	0,1190	0,1175	0,1146
	4	476	0,0957											0,1129	0,1085	0,1093	0,1335	0,1304
	5	474	0,0953											0,1085	0,1093	0,1252	0,1295	0,1293
Д600	1	566	0,1157	0,00416	3,78	0,1252	0,00189	1,51	0,1310	0,00167	1,28	0,1207	0,1330					
	2	582	0,1112											0,1235	0,1304	0,1295	0,1293	0,1321
	3	578	0,1083											0,1246	0,1279	0,1247	0,1252	0,1565
	4	589	0,1089											0,1279	0,1247	0,1252	0,1505	0,1698
	5	582	0,1060											0,1247	0,1252	0,1510	0,1499	0,1573
Д700	1	674	0,1410	0,002275	1,58	0,1508	0,001931	1,28	0,1629	0,005708	3,50	0,1468	0,1614					
	2	678	0,1463											0,1510	0,1698	0,1573	0,1598	0,1679
	3	642	0,1423											0,1499	0,1488	0,1533	0,1508	0,1629
	4	653	0,1425											0,1488	0,1533	0,1508	0,1629	0,1964
	5	681	0,1476											0,1533	0,1508	0,1899	0,1898	0,1898
Д800	1	848	0,1771	0,00858	5,09	0,1899	0,00526	2,85	0,2013 ^{**)}	00,00931	4,6	0,1811	0,2005					
	2	830	0,1749											0,1882	0,2063	0,2115	0,2028	0,2013 ^{**)}
	3	832	0,1732											0,1866	0,1809	0,1778	0,1847 ^{*)}	0,2013 ^{**)}
	4	818	0,1659											0,1809	0,1778	0,1847 ^{*)}	0,2013 ^{**)}	0,2013 ^{**)}
	5	789	0,1571											0,1778	0,1847 ^{*)}	0,2013 ^{**)}	0,2013 ^{**)}	0,2013 ^{**)}

Примечание: *) – теплопроводность определена при влажности 10%; **) – теплопроводность определена при влажности 15%.

Таблица 14 - Проверка аппроксимирующих уравнений (7 - 9)

($\lambda_{\text{ф}}$ - фактическая теплопроводность при данной плотности, $\lambda_{\text{р}}$ - расчетная теплопроводность при данной плотности)

Влажность	Аппрок- сими- рующее уравне- ние	Коэффициент теплопроводности, Вт/мК, при фактической плотности фибропенобетона, кг/м ³											
		465			579			666			823		
		$\lambda_{\text{ф}}$	$\lambda_{\text{р}}$	$\Delta\lambda, \%$	$\lambda_{\text{ф}}$	$\lambda_{\text{р}}$	$\Delta\lambda, \%$	$\lambda_{\text{ф}}$	$\lambda_{\text{р}}$	$\Delta\lambda, \%$	$\lambda_{\text{ф}}$	$\lambda_{\text{р}}$	$\Delta\lambda, \%$
0%	$\lambda_0 =$ 0,2095р - 0,0036	0,0949	0,0945	-0,32	0,1110	0,1161	+4,6	0,1439	0,1359	-5,56	0,1686	0,1695	+0,9
8%	$\lambda_8 =$ 0,2270 р + 0,002	0,1093	0,1083	+0,94	0,1252	0,1334	+6,5	0,1508	0,1532	+1,59	0,1811 ^{*)}	0,1888	+4,25
12%	$\lambda_{12} =$ 0,2351р + 0,0034	0,1110	0,1172	+5,6	0,1310	0,1395	+6,48	0,1629	0,1612	-1,04	0,2013 ^{**)}	0,1969	-2,18

Примечание: *) теплопроводность определена при влажности 10%;

**) теплопроводность определена при влажности 15%.

По результатам инструментального определения получены аппроксимирующие уравнения зависимости теплопроводности фибропенобетона от его плотности ($\tau/\text{м}^3$) в сухом состоянии:

для сухого бетона $\lambda_0 = 0,2095\rho_0 - 0,0036;$ (7)

для бетона влажностью 8% $\lambda_8 = 0,2270\rho_0 + 0,0020;$ (8)

для бетона влажностью 12% $\lambda_{12} = 0,2351\rho_0 + 0,0034;$ (9)


Таблица 15 – Коэффициенты теплопроводности фибропенобетона при нормируемой плотности и влажности, определенные по уравнениям (7-9)

Нормативная влажность, %	Коэффициент теплопроводности, Вт/мК, при нормируемой плотности фибропенобетона, кг/м ³			
	500	600	700	800
0	0,1012	0,1221	0,1431	0,1640
8	0,1155	0,1382	0,1609	-
12	0,1210	0,1445	0,1680	-
10	-	-	-	0,1836
15	-	-	-	0,1915

В связи с тем, что расчетные значения теплопроводности отличаются от фактических не более чем на 5%, нормируемые значения теплопроводности должны быть не более значений, рекомендованных в таблице 16.

Таблица 16 - Рекомендуемые расчетные значения коэффициентов теплопроводности фибропенобетона для условий эксплуатации А и Б

Марка по средней плотности	Сорбционная влажность, %, для условий эксплуатации		Теплопроводность, Вт/мК, не более		
			в сухом состоянии	для условий эксплуатации	
	А	Б		А	Б
500	8	12	0,101	0,116	0,121
600	8	12	0,122	0,138	0,144
700	8	12	0,143	0,163	0,168
800	10	15	0,164	0,184	0,192

Руководитель договора, профессор  А.Н.Юдин

