

## ТЕПЛО-ВЛАЖНОСТНЫЕ СВОЙСТВА СТЕН ИЗ СЛАНЦЕЗОЛЬНОГО МИКРОПОРИТА И СИЛИКАТНОГО КИРПИЧА

А. Э. АЛУМЯЭ

В настоящей статье излагаются результаты павильонных исследований тепло-влажностных свойств стен из сланцезольного микропорита и силикатного кирпича, производившихся в 1955—1956 гг. [1].\*

Крупные стеновые блоки из сланцезольного микропорита были изготовлены из обыкновенного кукуермита и воды (без пенообразователя) путем пропарки в продолжение 40 часов при  $80^{\circ}\text{C}$ .

Блоки состояли из слоя микропорита толщиной 35 см и наружного фактурного слоя тяжелого бетона толщиной 5 см. Объемный вес микропорита в высушенном до постоянного веса состоянии ( $\gamma_{\text{сух}}$ ) составлял  $1300\text{ кг/м}^3$ .

Одновременно в этом же павильоне испытывалась стена из силикатного кирпича толщиной 51 см (2 кирпича). Объемный вес кирпича колебался в пределах  $1900\text{—}2000\text{ кг/см}^3$ .

Параллельно производились определения тепловых свойств материалов стен, знание которых необходимо для более полной оценки теплозащитных свойств вышеуказанных конструкций.

### Тепловые свойства материалов

Определение тепловых коэффициентов сланцезольного микропорита производилось первым и вторым методами регулярного режима на образцах, аналогичных ранее описанным [1]. Полученные зависимости коэффициента температуропроводности ( $a$ ) и коэффициента теплопроводности ( $\lambda$ ) от влажности ( $w$ ) представлены на рис. 1 и в табл. 1 и по своему характеру аналогичны таковым же для пенокукуермита [1].

Результаты определений приводятся в табл. 1. Там же приведены рекомендованные А. У. Француком значения  $\lambda$  для неорганических материалов такого же объемного веса и влажности.

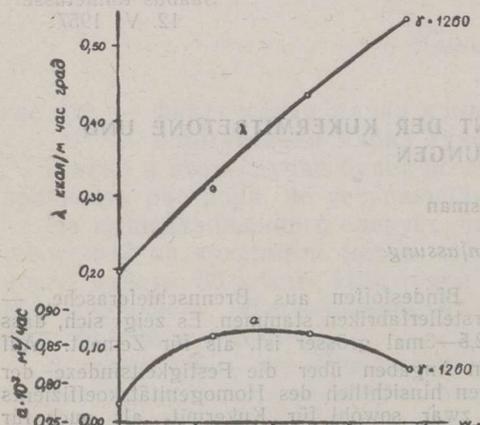


Рис. 1. Зависимость  $\lambda$  и  $a$  от влажности микропорита.

\* Работа выполнена в Институте строительства и строительных материалов АН ЭССР под руководством кандидата технических наук Р. П. Рейзмана.

Таблица 1

## Тепловые коэффициенты сланцезольного микропорита

Весовая влажность $w_v, \%$	Коэффициент температуропроводности $a \cdot 10^4, \text{ м}^2/\text{час}$	Удельная теплоемкость $c, \text{ ккал/кг } ^\circ\text{C}$	Коэффициент теплопроводности $\lambda, \text{ ккал/м час } ^\circ\text{C}$		
			по лабораторным опытам ( $\gamma = 1260 \text{ кг/м}^3$ )	по павильонным наблюдениям ( $\gamma = 1305 \text{ кг/м}^3$ )	по литературным источникам <sup>[2]</sup> ( $\gamma = 1250 \text{ кг/м}^3$ )
0	7,9	0,20	0,20	—	0,300
10	8,6	0,27	0,32	—	0,395
20	8,7	0,33	0,43	—	0,470
30	8,2	0,39	0,53	0,63	0,560*

\* Получено путем экстраполяции.

Как видно из этой таблицы, между данными, полученными в ходе наших исследований, и литературными данными имеются некоторые расхождения, причем особенно отличаются данные наблюдений в павильоне. Такое расхождение, очевидно, объясняется главным образом тем, что имелось некоторое различие в объемных весах и во влажности. Хотя образцы для определения коэффициента теплопроводности и изготовлялись одновременно с блоками, их объемный вес оказался несколько ниже, чем у блоков.

Тепловые свойства силикатного кирпича определялись третьим методом регулярного режима — методом двух точек. Этот метод основан на измерении разности температур между двумя произвольно взятыми точками образца и окружающей средой и на свойстве поля температур по достижении регулярного режима оставаться все время подобным самому себе. Вследствие этого отношение температур любых двух точек ( $\theta_1$  и  $\theta_2$ ) не зависит от времени, т. е.

$$\frac{\theta_1}{\theta_2} = b = \text{const.} \quad (1)$$

Знание величины  $b$  и темпа охлаждения  $m$  позволяет вычислить коэффициент температуропроводности  $a$  по соотношению, полученному Л. А. Комковой<sup>[4]</sup> для прямоугольного параллелепипеда:

$$\left(\frac{q_1}{0,5X}\right)^2 + \left(\frac{q_2}{0,5Y}\right)^2 + \left(\frac{q_3}{0,5Z}\right)^2 = \frac{m}{a}, \quad (2)$$

где  $X, Y, Z$  — длины ребер параллелепипеда и  $q_1, q_2, q_3$  — безразмерные величины, связанные между собой следующим образом:

$$\left. \begin{aligned} q_1 \operatorname{tg} q_1 &= F(q_1) & F(q_2) &= \frac{Y}{X} F(q_1) \\ q_2 \operatorname{tg} q_2 &= F(q_2) & & \\ q_3 \operatorname{tg} q_3 &= F(q_3) & F(q_3) &= \frac{Z}{X} F(q_1) \end{aligned} \right\}, \quad (3)$$

а  $q_1$  определяется из соотношения

$$e^{-b} = \cos q_1. \quad (4)$$

Достоинство этого метода состоит в том, что опыт можно вести в условиях естественной или вынужденной конвекции воздуха, благодаря чему отпадают требования о герметизации образца.

Один спай первой термопары помещался в центре кирпича в высверленном для этой цели канале глубиной 125 мм и заделывался жидким раствором гипса. На поверхности узкой грани кирпича делалась канавка глубиной 1,5—2 мм, в которой клеим БФ-2 крепился спай второй термопары. Второй спай термопар находился в окружающей среде — воздухе.

После прикрепления термопар весь кирпич оклеивался слоем алюминиевой фольги. Таким же слоем фольги обвертывались свободные спаи термопар, чтобы защитить их от воздействия случайных источников лучистого тепла. До проведения опытов образцы выдерживались в течение недели при комнатной температуре и только перед самым опытом нагревались. Для этого кирпич помещался в сушильный шкаф, где выдерживался при температуре около 40°С в течение часа. После этого кирпич помещался в камеру спокойного воздуха и концы дифференциальных термопар присоединялись к двум зеркальным гальванометрам типа М-21, отрегулированным на одну чувствительность.

В течение первых 10 минут для проверки работы термопар и гальванометров замеры производились через каждую минуту, а затем через каждые 3—5 минут в течение 1,5—2 часов.

По данным замеров строился обычным способом график в полупологарифмических координатах. Период достижения регулярного режима характеризовался получением на графике двух параллельных прямых, по которым вычислялись величины  $m$  и  $b$ .

Опыты проводились с двумя образцами, по 5—7 раз с каждым из них. В результате были получены значения коэффициентов температуропроводности ( $a$ ) и по формуле

$$\lambda = ac\gamma \quad (5)$$

был вычислен коэффициент теплопроводности  $\lambda$ , причем удельная теплоемкость  $c$  принималась равной 0,18. Полученные значения тепловых коэффициентов приводятся в табл. 2.

Таблица 2

## Тепловые коэффициенты силикатного кирпича

(по опытам в павильоне — для кладки)

Объемный вес $\gamma_{\text{сух}}$ , кг/м <sup>3</sup>	Влажность весовая $w_v$ , %	Коэффициент температуропроводности $a \cdot 10^4$ , м <sup>2</sup> /час	Удельная теплоемкость $c$ , ккал/кг °С	Коэффициент теплопроводности $\lambda$ , ккал/м час °С		
				по лабораторным опытам	по опытам в павильоне	по литературным источникам <sup>[2]</sup>
1900	2,1	25,6	0,18	0,875		0,780
2000	2,1	26,1	0,18	0,940		0,895
	2,5				1,00	
	6,0				1,35*	

\* Стена не была оштукатурена.

Как видно из этой таблицы, коэффициент теплопроводности силикатного кирпича очень высокий, особенно велика теплопроводность кладки, полученная по данным павильонных наблюдений.

## Тепло-влажностные свойства стен

Изучение тепло-влажностных свойств стен из вышеуказанных материалов проводилось в опытном павильоне по методике, описанной в работе [1]. Результаты определений приведены в табл. 3.

Таблица 3

Сопrotивление стен теплопередаче  
( $R_0 = R_{ст} + 0,183$  в м<sup>2</sup> час°С/ккал)

Материалы конструкций	Общая толщина, м	I год		II год		$R_0^{TP}$	$\frac{R_0^{TP} - R_0}{R_0^{TP}} \cdot 100, \%$
		$w_B, \%$	$R_0$	$w_B, \%$	$R_0$		
Сланцезольный микропорит	0,40	34	0,793	28	0,823	0,93	-11,8
Силикатный кирпич	0,51 (0,53)	7,5	0,535	2,3	0,713	0,93	-23,7

Как явствует из таблицы, обе рассматриваемые стены обладают недостаточными теплозащитными свойствами и поэтому не могут быть рекомендованы для применения.

Причиной большой теплопроводности стены из сланцезольного микропорита следует считать большую влажность материала. Можно полагать, что по достижении материалом стены нормальной влажности теплозащитные свойства ее также приблизятся к требуемым нормам. Однако поскольку высыхание микропорита происходит крайне медленно, то экспериментально определить теплозащитные свойства такой стены не удалось.

В течение первого года опытов стена из силикатного кирпича имела высокую влажность, на второй год она высохла до равновесной влажности (рис. 2).

Большая теплопроводность кладки в первый год опытов объясняется как повышенным коэффициентом теплопроводности влажного силикатного кирпича, так и продуваемостью швов кладки.

Как известно, повышенная воздухопроницаемость ограждения влечет за собой увеличение теплопотерь через ограждение, т. е. повышение коэффициента теплопередачи и смещения температурного поля в ограждении.

Температурное поле плоского ограждения при наличии инфильтрации воздуха описывается следующим дифференциальным уравнением:

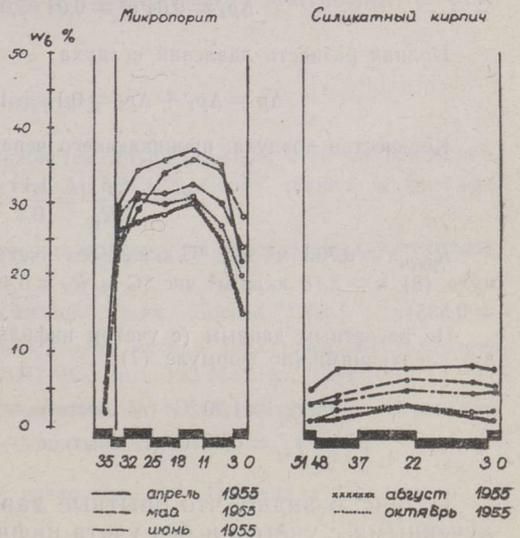


Рис. 2. Распределение влажности в стенах павильона.

$$\lambda \frac{d^2t}{dx^2} - Wc \frac{dt}{dx} = 0, \quad (6)$$

где  $W$  — количество воздуха, проходящего через ограждение (в  $\text{кг}/\text{м}^2$  час), а остальные обозначения общепринятые.

Решение этого дифференциального уравнения, полученное Ф. В. Ушковым [5], позволяет вычислить температуру  $\tau_x$  в любой плоскости ограждения при наличии инфильтрации

$$\tau_x = t_n + (t_b - t_n) \frac{e^{cWR_x} - 1}{e^{cWR_0} - 1} \quad [^\circ\text{C}], \quad (7)$$

где  $t_b$ ,  $t_n$  — температуры внутреннего и наружного воздуха (в  $^\circ\text{C}$ );  $R_x$  — термическое сопротивление ограждения от наружного воздуха до рассматриваемой плоскости при отсутствии инфильтрации воздуха (в  $\text{м}^2$  час  $^\circ\text{C}/\text{ккал}$ );  $R_0$  — сопротивление теплопередаче всего ограждения при отсутствии инфильтрации (в  $\text{м}^2$  час  $^\circ\text{C}/\text{ккал}$ ).

Величина коэффициента теплопередачи ограждения с учетом инфильтрации воздуха может быть вычислена по формуле

$$k = \frac{cWe^{cWR_0}}{e^{cWR_0} - 1}. \quad (8)$$

Для гор. Таллина средняя скорость ветра в марте составляет, как показывают многолетние наблюдения, 5 м/сек;  $t_b = 16,6$   $^\circ\text{C}$  и  $t_n = -2,0$   $^\circ\text{C}$  (средние по опытным данным). Сопротивление воздухопроницанию ( $R_n$ ) кирпичной кладки на легком растворе составляет по СНиП для стены толщиной более 1 кирпича 0,2  $\text{м}^2$   $^\circ\text{C}/\text{кг}$ .\*

Величина теплового напора при высоте помещения 2,5 м равна

$$\Delta p_1 = 0,5 H(\gamma_n - \gamma_b) = 0,5 \cdot 2,5(1,317 - 1,226) = 0,11 \text{ мм вод. ст.}$$

Величина ветрового напора

$$\Delta p_2 = 0,04 v^2 = 0,04 \cdot 5,0^2 = 1,00 \text{ мм вод. ст.}$$

Полная разность давлений воздуха

$$\Delta p = \Delta p_1 + \Delta p_2 = 0,11 + 1,00 = 1,11 \text{ мм вод. ст.}$$

Количество воздуха, проникающего через стену

$$W = \frac{\Delta p}{\Sigma R_n} = \frac{1,11}{0,2} = 5,55 \text{ кг}/\text{м}^2 \text{ час.}$$

$R_{\text{расч}} = 0,706$   $\text{м}^2$  час  $^\circ\text{C}/\text{ккал}$  (без учета инфильтрации), следовательно, по формуле (8)  $k = 2,18$   $\text{ккал}/\text{м}^2$  час  $^\circ\text{C}$  и  $R_0 = 0,46$ , т. е. немного ниже опытного ( $R_{\text{опыт}} = 0,535$ ).

По расчетным данным (с учетом инфильтрации), температуры в слоях стены будут следующими [по формуле (7)]:

$$\begin{aligned} \tau_{x_1} &= 1,70 \text{ }^\circ\text{C} \quad (t_3 \text{ опытное} = 2,2 \text{ }^\circ\text{C}) \quad \text{при } R_{x_1} = 0,204, \\ \tau_{x_2} &= 6,95 \text{ }^\circ\text{C} \quad (t_4 \text{ опытное} = 7,3 \text{ }^\circ\text{C}) \quad \text{при } R_{x_2} = 0,419. \end{aligned}$$

Из рис. 3 видно, что опытные данные лежат между расчетными, полученными с учетом и без учета инфильтрации. Это вполне понятно, поскольку инфильтрация не могла иметь место все время, а в ряде случаев имела место и эксфильтрация.

\* Эта величина принималась ввиду предполагающейся повышенной воздухопроницаемости стены из-за непластичности раствора, вызванной тем, что стена возводилась при отрицательных температурах, хотя кладка и велась на цементном растворе.

На второй год опытов, когда была нанесена наружная штукатурка, коэффициент теплопроводности кирпичной кладки несколько снизился, но все же остался высоким, что свидетельствует о большой теплопроводности местного силикатного кирпича.

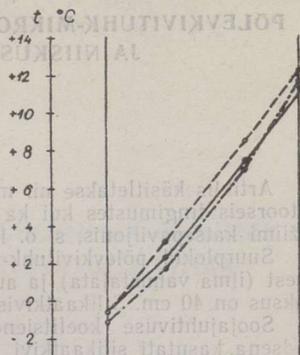


Рис. 3. Распределение температур в стене из силикатного кирпича по расчетным и опытным данным.

Условные обозначения:

- расчет без инфильтрации
- - - расчет с инфильтрацией
- по опытным данным.

### Выводы

1. Стена из сланцезольного микропорита толщиной 40 см по своим теплотехническим свойствам не соответствует требованиям СНиП и не может быть рекомендована к применению, поскольку высыхание стены происходит чрезвычайно медленно и при производстве теплотехнических расчетов необходимо учитывать повышенную влажность. Как показали павильонные опыты, за два года снижение влажности в этой стене составляло всего лишь 3—5%. Необходимо увеличение толщины стены до 45 см.

2. Еще раз определена теплопроводность стены из силикатного кирпича и экспериментально доказано, что стены толщиной 51 см (в 2 кирпича) в климатических условиях ЭССР имеют недостаточные теплозащитные свойства и не могут быть рекомендованы для жилищного строительства.

### ЛИТЕРАТУРА

1. А. Э. Алумяэ, Тепло-влажностные свойства крупноблочных стен из пенокукермита и пеносиликальцита, Известия АН ЭССР. Серия технич. и физ.-мат. наук, т. VI, № 1, 1957.
2. А. У. Франчук, Таблицы теплотехнических показателей строительных материалов, Стройиздат, 1949.
3. Г. М. Кондратьев, Регулярный тепловой режим, Москва, 1954.
4. Л. А. Комкова, Усовершенствованная теория метода двух точек. Исследования в области тепловых измерений, ЛИТМО, вып. 12, Машгиз, 1954.
5. Ф. В. Ушков, Влияние воздухопроницаемости на теплозащиту стен, «Строительная промышленность», № 8, 1951.

## PÕLEVKIVITUHK-MIKROPORIIDIST JA SILIKAATKIVIST SEINTE SOOJUSE JA NIISKUSE OLUKORDA MÄÄRAVAD OMADUSED

A. Alumäe

*Resüme*

Artiklis käsitletakse nii materjalide soojustehniliste näitajate uurimise tulemusi laboratoorseis tingimustes kui ka nendest materjalidest ehitatud seinte soojuse ja niiskuse režiimi katsepaviljonis, s. o. looduslikes tingimustes.

Suurplokid põlevkivituhk-mikroporiidist on valmistatud harilikust kukermiidist ja veest (ilma vahustajata) ja aurutatud 40 tundi aurukambris 80° C juures. Seinaploki kogu paksus on 40 cm. Silikaatkiviseina paksus on 51 cm (2 kivi).

Soojajuhtivuse koefitsiendid määrati regulaarse režiimi meetodeil [1], kusjuures uudsena kasutati silikaatkivi puhul kahe punkti meetodit.

Uurimised katsepaviljonis kulgesid analoogiliselt varem kirjeldatud meetodikale [1], välja arvatud infiltratsiooni arvutus, mis tehti ainult silikaatkiviseina kohta.

Saadud näitajad on paigutatud tabeelseis ja osaliselt esitatud joonistel. Nagu nähtub tabelist 3, ei vasta kumbki sein Eesti NSV kliimatilistele tingimustele. Mikroporiidist suurplokkssein kuivab väga aeglaselt, mistõttu tuleb soojustehniliste arvutuste puhul arvestada kõrgendatud niiskust. See tingib seina paksuse suurendamise 45 sentimeetrit.

Suure mahukaaluga silikaatkivi kasutamine massiivseinas võib tulla kõne alla vähemalt 2½ kivi paksuse seina puhul.

*Eesti NSV Teaduste Akadeemia  
Ehituse ja Ehitusmaterjalide Instituut*

Saabus toimetusse  
16. VII 1957

## MOISTURE AND HEAT CONDUCTIVITY OF WALLS BUILT OF LARGE BLOCKS OF "MICROPORITE" (VAPOUR TREATED OIL SHALE ASH CONCRETE WITHOUT FOAM) AND OF SANDLIME BRICKS

A. Alumäe

*Summary*

The article describes laboratory investigations regarding the thermal and moisture conductivity of the above mentioned materials and gives a determination of properties of walls made of these materials in a test house.

The thickness of large blocks of "microporite" is 40 cm, and the thickness of walls of sandlime bricks — 51 cm (two bricks).

For walls of sandlime bricks also a calculation of infiltration was determined.

The figures given in the tables indicate that neither of the walls meet the requirements for the climatic conditions of the Estonian SSR.

*Academy of Sciences of the Estonian SSR,  
Institute of Building and Building-Materials*

Received  
July 16, 1957