

Экспериментальные исследования прочности и теплофизических характеристик материалов для теплотехнических расчетов ограждающих конструкций на их основе

Ш.С. Тагойбеков, З.В. Кобулиев З.В., Ф.Х. Саидов

Задачи экспериментальных исследований, опытные образцы бетона, приборы и оборудование. Для создания методов теплотехнических расчетов и конкретных расчетов теплозащиты и теплопотерь зданий с наружными стенами из легкого бетона, задачи экспериментальных исследований, в частности, материалов на основе местного сырья Республики Таджикистан должны определяться содержанием необходимой информации о прочностных и теплофизических характеристиках этих материалов. В данном случае мы имеем дело с легким бетоном на основе материалов с применением местного сырья Республики Таджикистан.

Для реализации предложенных методов теплотехнических расчетов бетонной стены необходима информация о свойствах бетона, которая позволяет определять величины $\rho_{\omega_p}^p$; $c_{\omega_p}^p$ и $\lambda_{\omega_p\delta}^p$.

В связи с известной стабильностью удельной теплоемкости бетонов, допустимо вычислять $c_{\omega_p}^p$ по известной формуле [1, 2, 4, 5]. Потребность в новых экспериментах по определению цельной теплоемкости исследуемого бетона отсутствует.

Для оценки $\rho_{\omega_p}^p$ необходимо определить экспериментальных характеристик материала $\bar{\rho}_{\omega_0}$; $\sigma_{\rho_{\omega_0}}$ и $\sigma_{\rho_{\omega_1}}$.

Для оценки $\lambda_{\omega_p\delta}^p$ необходимо знание значительного количества экспериментальных характеристик бетона [3]: $\bar{\lambda}_{\omega_i}$; $\bar{\lambda}_{\omega_{1t=20^\circ C}}$; $\sigma_{\lambda_{\omega_1}}$; $\hat{a}^{(-)}$; $\hat{a}^{(+)}$; $\hat{a}^{(-)}$; $\hat{a}^{(+)}$.

В свою очередь, величины $a^{(-)}$; $a^{(+)}$; $v^{(-)}$ и $v^{(+)}$ могут быть получены лишь на основе экспериментальных данных о коэффициентах теплопроводности бетона при некоторой его влажности для положительных и отрицательных температур.

Задачи экспериментальных исследований исследуемого бетона конкретного состава должны, таким образом, состоять в получении достоверных значений:

- средней плотности бетона при влажности $\omega_o = 0$, $\bar{\rho}_{\sigma_o}$, кг/м³; $\bar{\rho}_{\omega_o}$, кг/м³;

- среднего квадратического отклонения плотности бетона при влажности $\omega_o = 0$, $\sigma_{\rho_{\omega_o}}$;

- среднего квадратического отклонения плотности бетона при влажности $\omega_1 \neq 0$, $\bar{\rho}_{\sigma_o}$, кг/м³; $\sigma_{\rho_{\omega_o}}$;

- среднего коэффициента теплопроводности бетона при влажности $\omega_o = 0$, $\bar{\lambda}_{\omega_o}$, Вт/(м·°C);

- среднего коэффициента теплопроводности бетона при влажности $\omega_1 \neq 0$ и температуре, $t = 20$ °C, $\bar{\lambda}_{\omega_{t=20^\circ C}}$, Вт/(м·°C);

- среднего квадратического отклонения коэффициента теплопроводности бетона при влажности $\omega_o = 0$, $\sigma_{\rho_{\omega_o}}$, Вт/(м·°C);

- среднего квадратического отклонения коэффициента теплопроводности бетона при влажности $\omega_1 \neq 0$ и температуре $t = 20$ °C, $\sigma_{\rho_{\omega_1}}$;

- коэффициентов теплопроводности бетона при влажности $\omega \neq 0$ в достаточно широком интервале положительных и отрицательных температур, $\lambda_{\omega}^{(\pm)}$, Вт/(м·°C);;

- постоянных для конкретного бетона характеристик $a^{(-)}$; $a^{(+)}$; $\epsilon^{(-)}$ и $\epsilon^{(+)}$.

Опытные образцы бетона, приборы и оборудование. При экспериментальных исследованиях теплопроводности бетона по методу линейного источника тепла возможно использование образцов, состоящих из пары кубов.

Кубы из бетона с минерально-химическими добавками для исследования его плотности и теплопроводности были изготовлены в производственных условиях ЖБК-3 Треста "Душанбестрой» г.Душанбе (ныне ДСК-3). Для кубов отбирался бетон проектной марки по прочности на сжатие 75. Материалы выбраны на основе местного сырья месторождения г.Душанбе и ее окрестностях, в качестве мелкого заполнителя - песок Гиссарского месторождения с насыпной плотностью 1200 кг/м^3 , в качестве вяжущего - портландцемент марки 400 Душанбинского цементного завода. Состав бетона приведен в табл. 1.

Таблица 1

Состав бетона

Марка бетона, по прочности на сжатие	Расходы материалов, кг/м^3				Плотность сухого бетона, кг/м^3
	Цемент	Песок	Щебень фр. 5÷20	Вода	
75	260	550	653	290	1450

Бетонные кубы размером 0,1x0,1x0,1 м готовились в деревянных формах в течение месяца в июне-июле 2011 г. Уплотнение бетона в формах и его термообработка выполнялись по принятой на производстве технологии.

Всего было изготовлено 150 кубов для 75 образцов по следующей схеме: в первый, девятый и семнадцатый дни изготовили по 22 куба, причем по 18 кубов в первых сменах и по 2 куба во вторых и третьих сменах; в остальные дни готовили по 6 кубов, причем по 2 в каждой смене.

Сложность схемы подбора образцов для экспериментальных исследований обуславливалась необходимостью достоверных оценок изменчивостей характеристик бетона внутризамесных, внутрисменных, от швы к смене и общих. Для определения достаточного количества образцов использовалась методика вычисления количества образцов необходимого для нахождения коэффициента вариации [8], в соответствии с которой:

$$n = \frac{\eta^2 \cdot \sigma_x^2}{\Delta_x^2}, \quad (1)$$

где n - объем выборки или общей пробы;

Δ_x - предельное отклонение среднего значения характеристики \bar{x} от генерального среднего \bar{x} в принятой для x размерности;

σ_x - среднее квадратическое отклонение x в генеральной совокупности;

η - табличный параметр, зависящий от избранной доверительной вероятности P .

В частности, при определении количества образцов для оценки коэффициента теплопроводности бетона в общем случае было принято:

$\Delta_\lambda = 0,0081 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot ^\circ\text{C})$; $\sigma_\lambda = 0,041 \text{ Вт} \cdot ^\circ\text{C}$; $P = 0,95$, при котором $\eta = 1,65$.

По (1):

$$n_\lambda = \frac{1,65^2 \cdot 0,041^2}{0,0081^2} \approx 69$$

При определении количества образцов для оценки плотности бетона в общем случае было принято: $\Delta_\rho = 100 \text{ кг}/\text{м}^3$; $\sigma_\rho = 52 \text{ кг}/\text{м}^3$; $\eta = 1,65$.

По (1):

$$n_\rho = \frac{1,65^2 \cdot 52^2}{100^2} \approx 74.$$

В результате экспериментальных исследований было установлено, что принятая схема подбора образцов обеспечила их количества необходимые для определения значений характеристик бетона внутризамесных, внутрисменных, от смены к смене.

Экспериментальные исследования характеристик бетона проводились в июнь-август 2011 г. и март-апрель 2012 г. на лабораторной базе кафедры "Производство строительных материалов, технологии и организация строительства», «Промышленное и гражданское строительство», «Теплотехника и теплотехническое оборудование» Таджикского технического университета

имени академика М.С.Осими. Для достоверности отдельные образцы были подвергнуты исследованию в лаборатории теплового и воздушного режима зданий ЦНИИЭПжилища г.Москвы.

Установка для определения коэффициентов теплопроводности материалов (рис. 1), в состав которой входят: низкотемпературная камера НСЛ 250/70; нагреватель; источники тока; мост сопротивлений; реостат; амперметр; вольтметр; электрический термометр сопротивления; гальванометр.

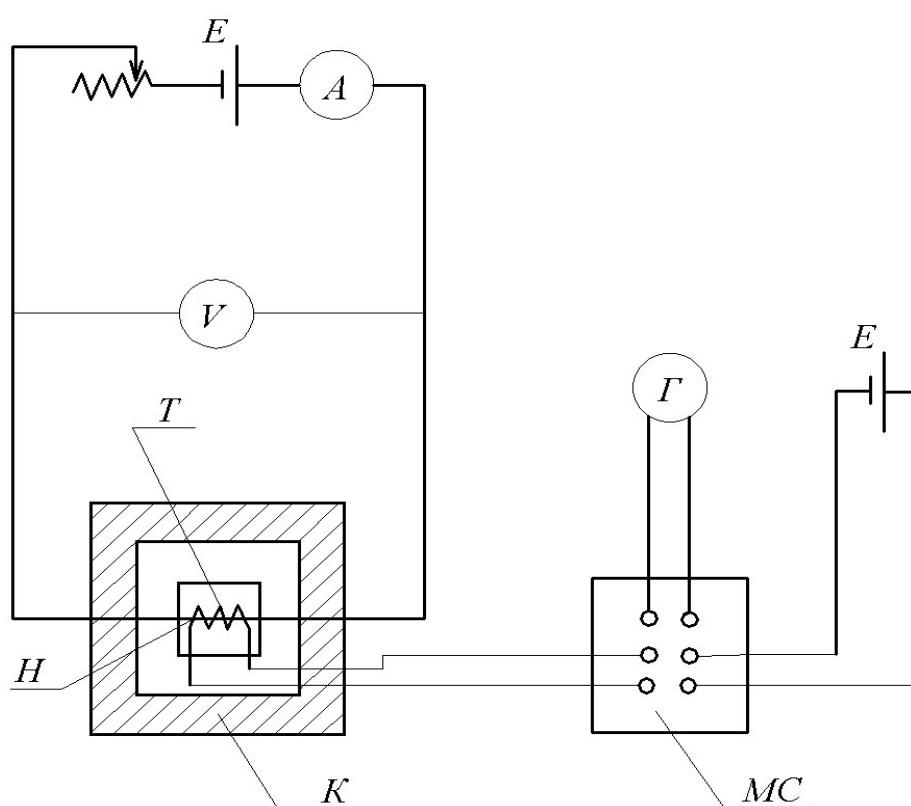


Рис. 1. - Схема установки для определения коэффициентов теплопроводности материалов.

Теоретические основы исследований и методика определения плотности и коэффициента теплопроводности бетона в опытном образце.

Выбор методов и, следовательно, теоретических основ экспериментальных исследований обуславливается задачами эксперимента.

Определение характеристик плотности бетонов связано со взвешиванием и обмерами образцов бетона вычислением среднего значения плотности и среднего квадратического отклонения по общеизвестной формуле [3, 8]:

$$\sigma_x = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum (x_i - \bar{x})^2}, \quad (2)$$

n - количество испытываемых образцов;

x_i - значение характеристики бетона в конкретном образце;

—

\bar{x} - среднее значение характеристики бетона, установленное на основе результатов ее определения для всех образцов.

Определение коэффициентов теплопроводности влажных материалов следует производить на основе методов экспериментальных исследований, в рамках которых предусматриваются кратковременные тепловые воздействия, когда практически исключаются изменения влажностного состояния образцов испытываемых материалов. Этому требованию удовлетворяют методы нестационарного теплового потока.

В настоящее время наиболее точным методом определения коэффициента теплопроводности, в частности, влажных легких бетонов является усовершенствованный метод линейного источника тепла [6-10].

Применение этого метода позволяет определять коэффициент теплопроводности материала с помощью кратковременного и малого величины теплового импульса, в связи с чем образец исследуемого материала не нуждается в тепловой изоляции и обеспечивается некая точность измерений.

Метод состоит в том, что по всей длине линейного источника тепла, введенного в неограниченное изотропное тело, обеспечивается выделение некоторого количества тепла в коротком промежутке времени, в связи с чем вокруг источника тепла в теле образца материала образуется нестационарное цилиндрическое температурное поле. Наблюдая за характером изменения температур и используя законы распространения тепла, вычисляют коэффициент теплопроводности материала тела.

Таким образом, в основе метода линейного источника тепла лежит решение задачи об изменении температур в неограниченном теле: действии внутри его линейного источника тепла.

В усовершенствованном методе линейного источника тепла [7, 9] коэффициент теплопроводности материала вычисляется с использованием зависимости:

$$\lambda = \frac{0,086Q}{4\pi \cdot \Delta T} \ln \frac{z_i}{z_i - z_n}, \quad (3)$$

где Q - удельная мощность нагревателя, Вт/п.м;

ΔT - разность между температурами на нагревателе, замеренными в момент времени z_i и перед началом действия нагревателя, в момент времени z_o ; $^{\circ}C$;

z_n - время действия линейного нагревателя $z_n < z_i$, час.

Средние квадратические отклонения значений коэффициентов теплопроводности бетона можно вычислять в соответствии с (2).

Методика определения плотности и коэффициента теплопроводности бетона в опытном образце. Для определения плотности бетона в опытном образце производись измерения его габаритов штангенциркулем, обеспечивающим точность $\pm 0,01$ мм, и взвешивание с точностью $\pm 0,05$ грамма.

При известных массе и объеме образца определены плотности материала.

Методика экспериментального определения коэффициента теплопроводности бетона связана с вводом формулы (3), где

$$Q = \frac{n \cdot I \cdot U}{l_n}; \quad (4)$$

$$\Delta \dot{O} = \frac{R_i - R_o}{\alpha R_{(o^{\circ}C)}}. \quad (5)$$

Здесь: I - сила тока в цепи нагревателя, A ;

U - напряжение, B ;

l_n - длина нагревателя, м ;

R_o - сопротивление термометра сопротивления перед включением нагревателя в момент времени z_o , Ом;

R_i - сопротивление термометра сопротивления в момент времени z_i , Ом;

$R_{(0^{\circ}C)}$ - сопротивление термометра сопротивления при $0^{\circ}C$, Ом;

α - температурный коэффициент материала термометра сопротивления, $1/^{\circ}C$.

При собранной схеме установки для определения теплопроводности, измерения выполнялись в такой последовательности:

1. При помощи моста постоянного тока и гальванометра определялось (в момент времени z_o , перед включением нагревателя) сопротивление термометра сопротивления, R_o , Ом .

2. Включались одновременно нагреватель и секундомер.

3. Через 60 сек . после включения нагревателя производились измерения напряжения U , V , и силы тока I , A , в цепи нагревателя.

4. Через 120 сек . после включения нагреватель отключался (в момент времени z_n).

5. Через 20-60 сек . после отключения нагревателя начиналась серия из 5-7 замеров сопротивлений термометра сопротивления R_i , Ом . Время замеров z_i , сек ., фиксировалось секундомером.

Информация об исследованиях образца заносилась в ведомость испытаний и табл. 2.

Из (3), (4) и (5) следует, что измеренная величина $R_i - R_o$ может представлена как

$$R_i - R_o = \frac{n \cdot I \cdot U \cdot \alpha \cdot R_{(0^{\circ}C)}}{4\pi \cdot \lambda \cdot l_i} \ln \frac{z_i}{z_i - z_i}, \quad (6)$$

В (6) коэффициент, стоящий перед \ln - величина постоянная. Анализ (6) показывает, что "теоретически" кривая функции $R_i - R_o$ при графиче-

ской ее интерпретации в осях $R_i - R_o$ и $\ln = \frac{z_i}{z_i - z_n}$ должна проходить через точку начала координат. Действительно, при $z_n \rightarrow 0$ величины $R_i \rightarrow R_o$ и $\ln = \frac{z_i}{z_i - z_n} \rightarrow 0$ так что момент включения нагревателя должен характеризоваться уравнением (6), у которого обе части равны нулю.

Фактически, как это было уже отмечено у Репьева Э.Н. и Шарабидзе Я.Г. [7], кривые вида (6), построенные по результатам измерений в опыте как правило не проходят через ноль координат. Иллюстрируют это положение графики на рис. 2, построенные по результатам измерений в опыте первом с образцом 1-1/15:6 (табл. 2) и измерений во втором опыте. Такие графики строились по результатам измерений во всех опытах.

Таблица 2

Ведомость испытания исследуемого образца

Шрифт образца					1-1/15:16	
Характеристики нагрева тела:					$l_n = 0,195 \text{ м} ; R(0^\circ\text{C}) = 5,353 \text{ см}$ $R_o = 5,648 \text{ см} ; \alpha = 0,0043 \frac{1}{^\circ\text{C}}$	
Время нагрева					$z_n = 120 \text{ сек}$	
Средние электрические характеристики в цепи нагревателя:					$I = 61 \text{ мА},$ $V = 104 \text{ мВ}.$	
№ опытов	№ замеров	$z_i, \text{сек}$	$R_i, \text{Ом}$	$z_i - z_n, \text{сек}$	$\ln = \frac{z_i}{z_i - z_n}$	$R_i - R_o, \text{Ом}$
1.	2	3	4	5	6	7
Опыт №2	1	176	5,673	56	1,14	0,025
	2	183	5,671	63	1,06	0,023
	3	190	5,669	70	1,00	0,021
	4	199	5,667	79	0,94	0,019
	5	210	5,665	90	0,84	0,017
	6	217	5,664	97	0,81	0,016
	7	222	5,663	102	0,78	0,015

Графики на рис. 2 свидетельствуют о том, что экспериментально установленные значения $R_i - R_o$, могут отличаться от теоретически верных на некоторую величину $\pm \Delta R$. Это значит, что величину λ по результатам измерений в одном опыте следует вычислять как

$$\lambda_j = \frac{n \cdot I \cdot U \cdot \alpha \cdot R_{(o^2c)}}{4\pi \cdot \lambda \cdot l_n} \left(\frac{\ln \frac{z_i}{z_i - z_H}}{R_i - R \pm \Delta R_i} \right)_{cp} = \frac{n \cdot I \cdot U \cdot \alpha \cdot R_{(o^2c)}}{4\pi \cdot \lambda \cdot l_n} Ctg\beta_j, \quad (7)$$

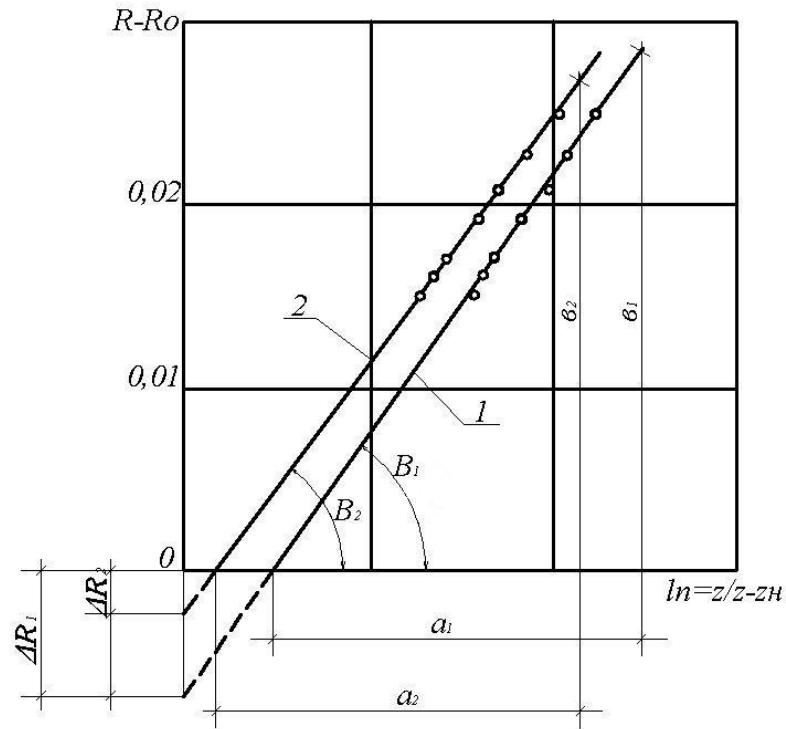


Рис. 2. - Графики связей $R - R_0$ и $\ln \frac{z}{z - z_H}$ по результатам экспериментов с образцом 1-1/15:16; 1 - в первом опыте; 2 - во втором опыте.

В частности, по результатам исследований образца 1-1/15:16 в рамках первого опыта: $\tilde{N}tg\beta_1 = \dot{a}_1 / \hat{a}_1 = 1 / 0,028 = 35,71$;

$$\lambda_2 = \frac{2 \cdot 0,61 \cdot 1,04 \cdot 5,353 \cdot 0,0043 \cdot 35,71}{2T \cdot 0,195} = 0,427, \text{ Вт}/(\text{м} \cdot ^\circ\text{C})$$

По результатам второго опыта:

$$Ctg\beta_2 = \frac{a_1}{e_2} = \frac{1}{0,027} = 37,1; \quad \lambda_2 = 0,430, \text{ Вт}/(\text{м} \cdot ^\circ\text{C}).$$

Значение λ для образца принималось как среднее:

$$\lambda_{1-1/15:16} = \frac{\lambda_1 + \lambda_2}{2} = 0,428, \text{ Вт}/(\text{м} \cdot ^\circ\text{C})$$

Влажные образцы содержались, для уменьшения потерь влаги, полиэтиленовых мешках.

Для определения коэффициентов теплопроводности бетона в диапазоне температур от +20 до -25°C образцы помещались в низкотемпературную камеру НСЛ 250/70.

Объем и результаты экспериментальных работ. Плотности и коэффициенты теплопроводности бетона при температуре 20°C определялись для всех изготовленных образцов в сухом и влажном состояниях.

Коэффициент теплопроводности бетона в диапазоне температур +20 до -25°C были определены для 6 образцов. Результаты испытаний приведены в табл. 3 и на рис. 3.

На основании экспериментальных данных о плотностях и коэффициентах теплопроводности бетона в сухих образцах при температуре 20°C были вычислены по (2) средние квадратические отклонения плотностей и коэффициентов теплопроводности внутризамесной, внутрисменной, "от смены к смене" и общей. Результаты расчетов были использованы для определения количеств образцов, необходимых при вычислениях коэффициентов вариации плотностей бетона, U_p , и коэффициентов теплопроводности бетона, U_λ , внутризамесных, внутрисменных, «от смены к смене» и общих.

Количества образцов вычислялись по формуле (1), где $j = \lambda_{\omega=5,5} / \lambda_{\omega=5,5, t=20^\circ}$.

Результаты расчетов приведены в табл. 4.

Коэффициенты вариации определялись как

$$v_x = \frac{\sigma_x}{x} 100\%, \quad (8)$$

Результаты расчетов представлены вместе с другими наиболее показательными характеристиками изменчивости легкого бетона на основе местного сырья Республики Таджикистан в табл. 5 максимальное.

Сопоставление средних квадратических отклонений и коэффициентов вариации характеристик бетона, приведенных в табл. 4 и 5, показывает, что максимальные их величины присущи общей изменчивости бетона. Это значит, что при определении расчетных значений характеристик бетона для вероятностных теплотехнических расчетов следует ориентироваться на показатели общей изменчивости материала.

Таблица 3

Результаты проведения испытания по определению коэффициент теплопроводности бетона в диапазоне температур - +20 до -25°C

№	Шифры образцов	Даты		Плотность в сухом состоянии, кг/м ³	Характеристики влажных образцов				
		изготовления	испытаний во влажн. сост.		Массовое отношение влаги, %	Коэффициенты теплопроводности при различных температурах, Вт/(м·°C)			
						+20°C	+2°C	-10°C	-23°C
1.	1-1/2-03	25.06.11	27.03.12	1440	8	0,679	0,597	0,597	0,580
2.	4-2/1:2	06.07.11	31.03.12	1493	6	0,604	0,565	0,539	0,557
3.	5-3/1:2	02.07.11	28.03.12	1541	5	0,565	0,528	0,522	0,464
4.	7-3/1:2	05.07. 11	30.03.12	1549	6	0,662	0,610	0,534	0,592
5.	6-3/1:2	03.07.11	29.03.12	1603	3	0,685	0,604	0,639	0,604
6.	5-2/1:2	02.08.11	01.04.12	1650	5	0,731	0,685	0,699	0,627
Среднее				1547	5,5	0,66	0,60	0,59	0,57
%						100	91	89	87

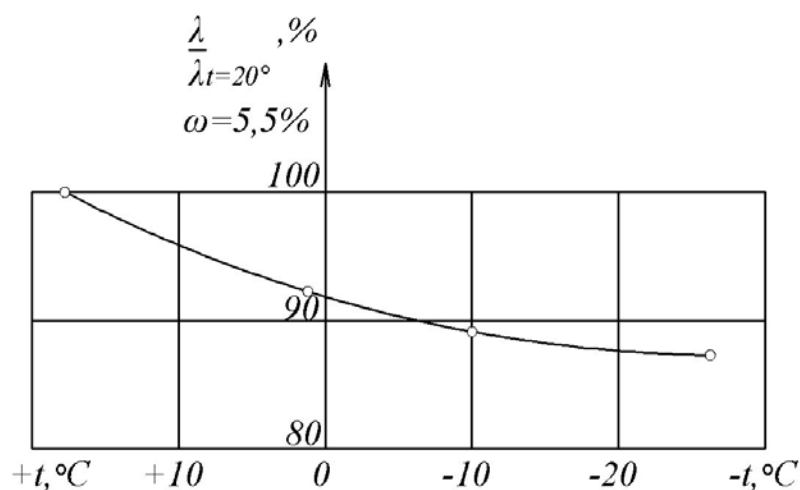


Рис. 3. - График зависимости λ для бетона с минерально-химическими добавками при массовом отношении влаги 5,5%.

Таблица 4

Результаты расчетов количества образцов

Наименования коэффициентов вариации	Данные для вычисления количества образцов в исследованиях изменчивостей плотностей			Количество образцов, n_p	Данные для вычисления количества образцов в исследованиях изменчивостей коэффициент теплопроводности			Количество образцов, n_λ
	Δ , $\frac{кг}{м^3}$	η при $P = 0,95$	σ , $\frac{кг}{м^3}$		Δ , $\frac{Вт}{(м \cdot ^\circ C)}$	η при $P = 0,95$	σ , $\frac{Вт}{(м \cdot ^\circ C)}$	
Внутри-замесный	13	1,65	22	8	0,009	1,65	0,016	9
Внутри-сменный	14	1,65	32	16	0,013	1,65	0,031	17
От смены к смене	45	1,65	47	3	0,035	1,65	0,036	3
Общий	100	1,65	52	74	0,008	1,65	0,041	69

Таблица 5

Характеристики изменчивости бетона

№ пп.	Состояние бетона	Наименование характеристики бетона	Ед. изм.	Сред. значение	Максимальное значение	Минимальное значение	Среднее квадратическое отклонение	Коэффициент вариации U , %			
								Общий	От смены к смене	Внутри-сменный	Внутри-замесный
1.	Сухой	Плотность	$\frac{кг}{м^3}$	1513	1649	1421	52	3,4	3,2	2,2	1,2
2.		К-нт теплопроводности	$\frac{Вт}{(м \cdot ^\circ C)}$	0,46	0,54	0,368	0,041	8,8	8,1	6,7	4,0
3.	Влажный	Массовое отношение влаги	%	13,0	19,2	2,3	3,6	27,6	24,2	22,5	16,2
4.		Плотность	$\frac{кг}{м^3}$	1682	1777	1575	46	2,7	2,3	2,0	1,4
5.		К-нт теплопроводности	$\frac{Вт}{(м \cdot ^\circ C)}$	0,67	0,81	0,57	0,058	9,1	7,2	6,1	6,1

Анализ графика, характеризующего зависимость изменения теплопроводности влажного бетона от его температуры (рис. 3), показывает, что эта зависимость может дифференцироваться по зонам положительных и отрицательных температур и приниматься для каждой как линейная. Аппроксимация соответствующих участков графика для исследуемого бетона:

$$\lambda_{\omega=5,5}^{(-)}(t) = \lambda_{\omega=5} \left(0,002t + 0,92 \right); \quad (9)$$

$t=20^{\circ}$

$$\lambda_{\omega=5,5}^{(+)}(t) = \lambda_{\omega=5} \left(0,004t + 0,92 \right), \quad (10)$$

$t=20^{\circ}$

где индексами (-) и (+) отмечены коэффициенты теплопроводности бетона в зонах соответственно отрицательных и положительных температур.

Коэффициенты при t и свободные члены в скобках в правых частях уравнений (9) и (10) - это характеристики конкретного материала, которые в общем случае обозначены как $a^{(-)}$; $a^{(+)}$; $\nu^{(-)}$ и $\nu^{(+)}$.

Заключение

1. При определении характеристик изменчивости легкого бетона целесообразно ориентироваться на исследования общей изменчивости.
2. По результатам экспериментальных исследований характерно - легкого бетона марки 75 в теплотехнических расчетах наружных стен из этого бетона следует принимать:

$$\bar{\rho}_{\omega_i} = 1521 \text{ } \acute{e}\tilde{a} / \grave{i}^3; \quad \sigma_{\rho_{\omega_i}} = 53 \text{ } \acute{e}\tilde{a} / \grave{i}^3; \quad \sigma_{\rho_{\omega=13}} = 45 \text{ } \acute{e}\tilde{a} / \grave{i}^3;$$

$$\bar{\lambda}_{\omega_i} = 0,458 \text{ } \acute{A}\grave{o} / (\grave{i} \cdot \acute{o}\tilde{N}); \quad \lambda_{\omega=13} = 0,068 \text{ } \acute{A}\grave{o} / (\grave{i} \cdot \acute{o}\tilde{N});$$

$t=20^{\circ}$

$$\sigma_{\lambda_{\omega_i}} = 0,042 \text{ } \acute{A}\grave{o} / (\grave{i} \cdot \acute{o}\tilde{N}); \quad \sigma_{\lambda_{\omega=13}} = 0,057 \text{ } \acute{A}\grave{o} / (\grave{i} \cdot \acute{o}\tilde{N});$$

$$a^{(-)} = 0,002; \quad \nu^{(-)} = 0,92; \quad a^{(+)} = 0,004; \quad \nu^{(+)} = 0,92.$$

Литература

1. Богословский В.Н. Строительная теплофизика [Текст] / В.Н. Богословский. –М.: «Высшая школа», 1970. -348 с.
2. Бутов А.М. Определение теплофизических коэффициентов строительных материалов методом постоянного линейного источника тепла [Текст] / А.М.Бутов // Сб. трудов Одесского инженерно-строительного института, вып. 9. -Киев, 1959. -С.70-80.
3. Иванов Г.С. Вероятностный метод расчета теплозащитных качеств ограждающих конструкций зданий [Текст] / Г.С.Иванов // Жилищное строительство. -1980. -№10. -С.34-37.
4. Kobuliev Z.V. Modeling of process of karring heat and account of heat conductivity of composite materials [Text] / Z.V.Kobuliev, A.Sh.Sharifov, M.M.Safarov // ICCE/6, Sixth annual international conference on composites engineering. -Orlando, Florida, 1999. -P.761-762.
5. Kockal N.U. Properties and microstructure of porous ceramic bodies containing fly ASH [Text] / N.U. Kockal // Journal of building physics. -2012. –Т.35. -№4. –p.338-352.
6. Наумов А.А. Морозостойкий керамический кирпич полусухого пресования из глинистого сырья Шахтинского завода / А.А.Наумов, А.Н.Юдин [Электронный ресурс] // «Инженерный вестник Дона», 2012, №3. – Режим доступа: <http://www.ivdon.ru/magazine/archive/n3y2012/960> (доступ свободный) – Загл. с экрана. – Яз. рус.
7. Репёв Э.Н. Усовершенствованная методика измерения коэффициента теплопроводности [Текст] / Э.Н.Репёв, Г.Я.Шарабидзе // Информационный листок УкрНИИНТИ, Госплана УССР, №4. -Киев, 1974. -4с.
8. Рекомендации по применению математической статистики при установлении норм и допусков на показатели качества продукции в Государственных стандартах и других нормативно-технических документах [Текст]. - М., 1973. -148 с.
9. Шарабидзе Г.Я. Исследование влияние основных технологических факторов на коэффициенты теплопроводности керамзитобетона и керамзитоперлитобетона [Текст] / Г.Я.Шарабидзе Информационный листок УкрНИИНТИ, Госплана УССР, №6. -Киев, 1975. -4с.
10. Шеина С.Г. Анализ и расчет «мостиков холода» с целью повышения энергетической эффективности жилых зданий / С.Г. Шеина, А.Н. Миненко [Электронный ресурс] // «Инженерный вестник Дона», 2012, №1. – Режим доступа: <http://www.ivdon.ru/magazine/archive/n4p1y2012/1097> (доступ свободный) – Загл. с экрана. – Яз. рус.