

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.

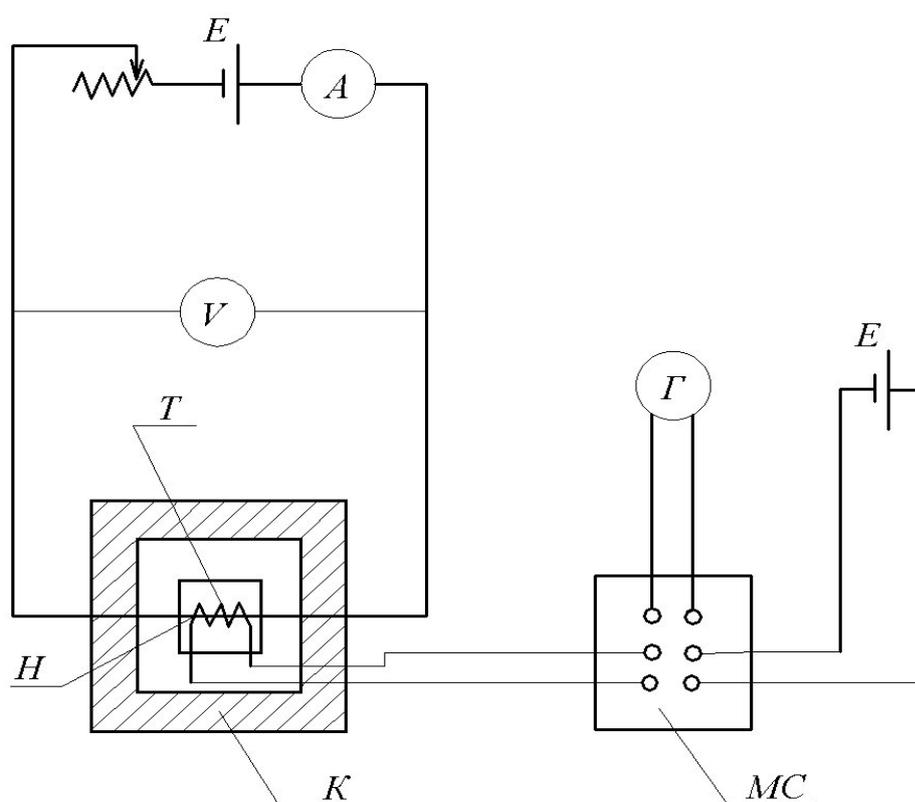


Рис. 1. - Схема установки для определения коэффициентов теплопроводности материалов.

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

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

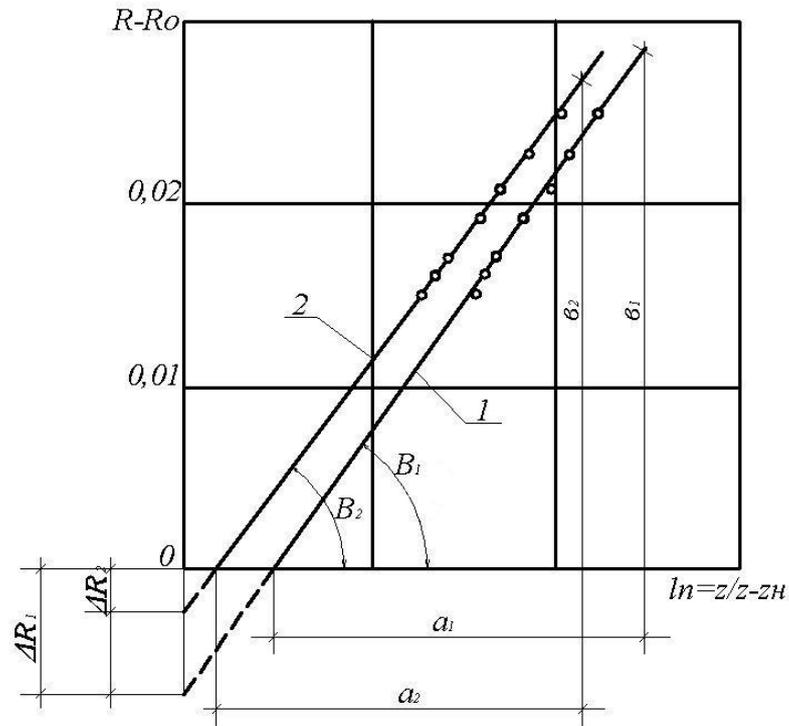


Рис. 2. - Графики связей $R - R_0$ и $\ln \frac{z}{z - z_H}$ по результатам экспериментов с образцом 1-1/15:16; 1 - в первом опыте; 2 - во втором опыте.

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.

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

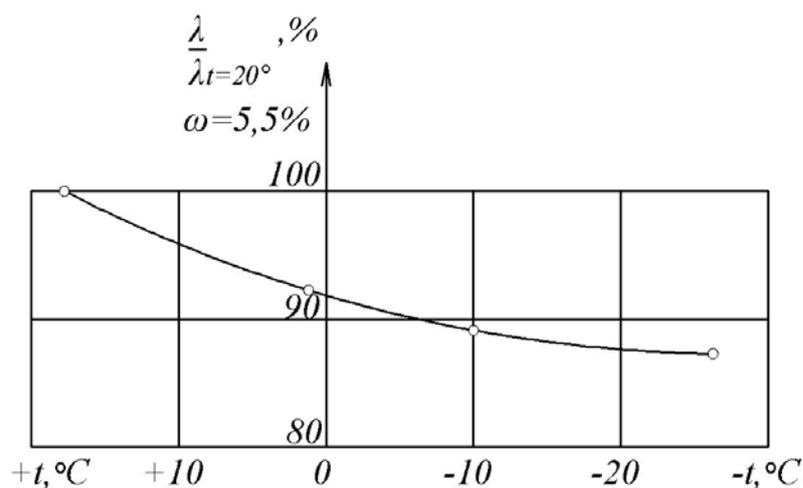


Рис. 3. - График зависимости λ для бетона с минерально-химическими добавками при массовом отношении влаги 5,5%.

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.