

УДК 69.022:691.327:536.24

А.П. ПИЧУГИН, А.С. ДЕНИСОВ, В.Ф. ХРИТАНКОВ, О.Е. СМИРНОВА

**ТЕПЛОТЕХНИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ СТЕН ИЗ БЕТОНА  
С ИЗМЕНЯЕМЫМ РАСПОЛОЖЕНИЕМ КРУПНОГО  
ЗАПОЛНИТЕЛЯ ИЗ РАСТИТЕЛЬНОГО СЫРЬЯ**

Ранее авторами были разработаны, практически и теоретически обоснованы рецептурно-технологические параметры получения легкобетонных крупнопористых блоков на основе гранулированного органического сырья в качестве крупного пористого заполнителя. Такие легкие бетоны плотностью до  $550\text{--}650\text{ кг/м}^3$ , коэффициентом теплопроводности от  $0,14$  до  $0,31\text{ Вт/(м}\cdot\text{°C)}$  достаточно эффективны для возведения малоэтажных зданий любого назначения. Использование гранулированного органического сырья в качестве заполнителя легких бетонов позволяет значительно улучшить его теплоизолирующие и звукопоглощающие свойства за счет повышенной пористости самого органического материала и волокнистого строения растительного сырья. В статье приводится описание теплотехнического расчета ограждающих конструкций из легкого крупнопористого бетона с интегральным расположением крупного заполнителя с учетом особенностей формирования направленно изменяемой пористой структуры данных изделий.

**Ключевые слова:** легкий крупнопористый бетон, теплотехнический расчет ограждения, коэффициент теплопроводности материалов, тепловой поток, пористая структура бетона, конденсатообразование.

DOI 10.32683/0536-1052-2021-748-4-103-113

Разработанные и теоретически обоснованные технические решения по созданию легких крупнопористых бетонов с направленной изменяемой пористостью на основе гранулированного растительного сырья и местных органических отходов производства в качестве крупного пористого заполнителя показали свои очевидные преимущества в эксплуатационный период экспериментальных объектов. Бетоны обладают низкой плотностью ( $550\text{--}650\text{ кг/м}^3$ ), достаточной прочностью при сжатии (от  $2,5$  до  $5,0\text{ МПа}$ ), удовлетворительным коэффициентом водостойкости ( $0,85\text{--}0,92$ ), низким коэффициентом теплопроводности (от  $0,14$  до  $0,31\text{ Вт/(м}\cdot\text{°C)}$ ) и высокими значениями коэффициента звукового поглощения ( $0,3\text{--}0,7$ ), достаточно эффективны для возведения малоэтажных зданий любого назначения.

Экспериментально установлено, что внутренняя поверхность стен зданий, возведенных из легкого бетона с гранулированными растительными материалами, сформированными по принципу направленно изменяемой структуры, теплее обычных легкобетонных стен в среднем на  $5,0\text{--}5,5\text{ °C}$ , а влажность материала на внутренней поверхности ограждения ниже в  $1,3\text{--}1,4$  раза, что свидетельствует об осушающем действии природного органического сырья в бетоне и улучшении микроклимата в помещениях в целом.

© Пичугин А.П., Денисов А.С., Хританков В.Ф., Смирнова О.Е., 2021

При равной толщине стен термическое сопротивление ограждений возрастет в 1,8–2,1 раза, сокращается их масса на 40–60 % и повышается шумозащита в 2–3 раза [1–7]. Однако для дальнейшего активного продвижения эффективных материалов в практику строительства требуются дополнительные расчетные и проектные обоснования, в том числе проведение теплотехнических расчетов ограждающих конструкций из блоков с направленно изменяемой пористой структурой. Данная статья посвящена этому важному вопросу.

До начала расчетов следует немного прояснить концепцию формирования структуры легкого бетона с изменяемой гранулометрией крупного пористого заполнителя. Структуру легкого бетона с изменяемой гранулометрией крупнопористого заполнителя и расчетную схему теплопередачи через ограждение можно представить на модели (рис. 1), где  $q$  – тепловой поток;  $w$  – поток инфилирующего наружного воздуха;  $t$  – температура. Исходя из рекомендаций по технологии крупнопористого бетона, крупный пористый заполнитель следует применять в виде дозируемых фракций 5–10, 10–20 и 20–40 мм. Наибольший размер зерен крупного заполнителя не должен превышать 1/4 толщины изделий. В соответствии с этим положением были приняты следующие минимальные толщины слоев бетона: 40 мм для заполнителя фракции 5–10 мм, 80 мм для заполнителя фракции 10–20 мм и 160 мм для заполнителя фракции 20–40 мм. Кроме того, каждый блок с наружной и внутренней стороны может иметь фактурный слой из крупного пористого песка.

Для выполнения предварительных теплотехнических расчетов по состоянию наружных и внутренних поверхностей ограждения используют общепринятые в теплотехнике формулы [8–13].

Формула для определения температуры наружной поверхности:

$$t_{n.z+1}^{н.п} = \frac{(c_b W + \alpha_n) t_n + (c_b W + \lambda / \Delta x) t_{n+1.z}}{\lambda / \Delta x + \alpha_n} \quad (1)$$

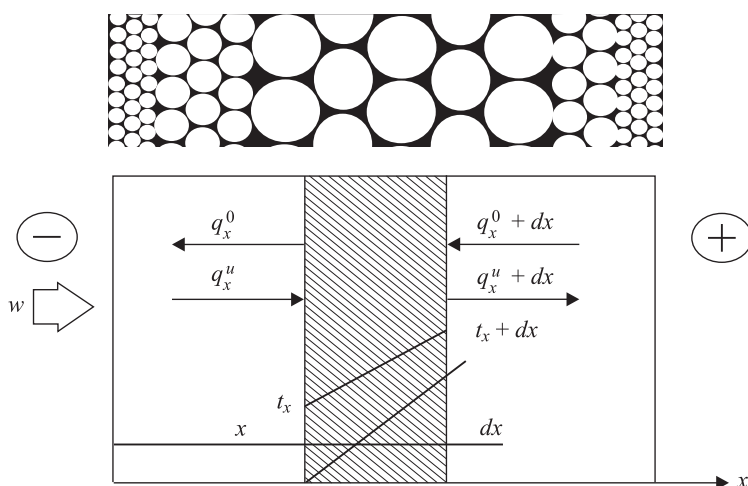


Рис. 1. Модель формирования крупнопористой структуры легкого бетонного блока с направленно изменяемой пористой структурой и расчетная схема теплопередачи через материал ограждения

Здесь  $c_B$  – теплоемкость воздуха;  $\lambda$  – коэффициент теплопроводности материала;  $\alpha_n, \alpha_B$  – соответственно коэффициенты теплоотдачи от наружного воздуха к ограждающей конструкции, от ограждающей конструкции к внутреннему воздуху.

Температура внутренней поверхности в заданном сечении в определенный промежуток времени

$$t_{n,z+1}^{в.п} = \frac{(c_B W + \alpha_B) t_B + (c_B W + \lambda / \Delta x) t_{n-1,z}}{\lambda / \Delta x + \alpha_B} \quad (2)$$

Для детального расчета необходимо представить более полную картину формирования слоев в крупнопористом легком бетоне с изменяемой гранулометрией. На рис. 2 приведены свойства такого материала в графическом изображении. Можно отметить, что теплофизические параметры крупнопористого легкого бетона с несколькими направленно формируемыми слоями имеют ярко выраженные характеристики, соответствующие гранулометрическим показателям крупного заполнителя.

Так, наибольшие значения коэффициента теплопроводности соответствуют тонким наружным слоям с фракцией гранул 5–10 мм, имеющих максимальную удельную поверхность с максимальным расходом минерального

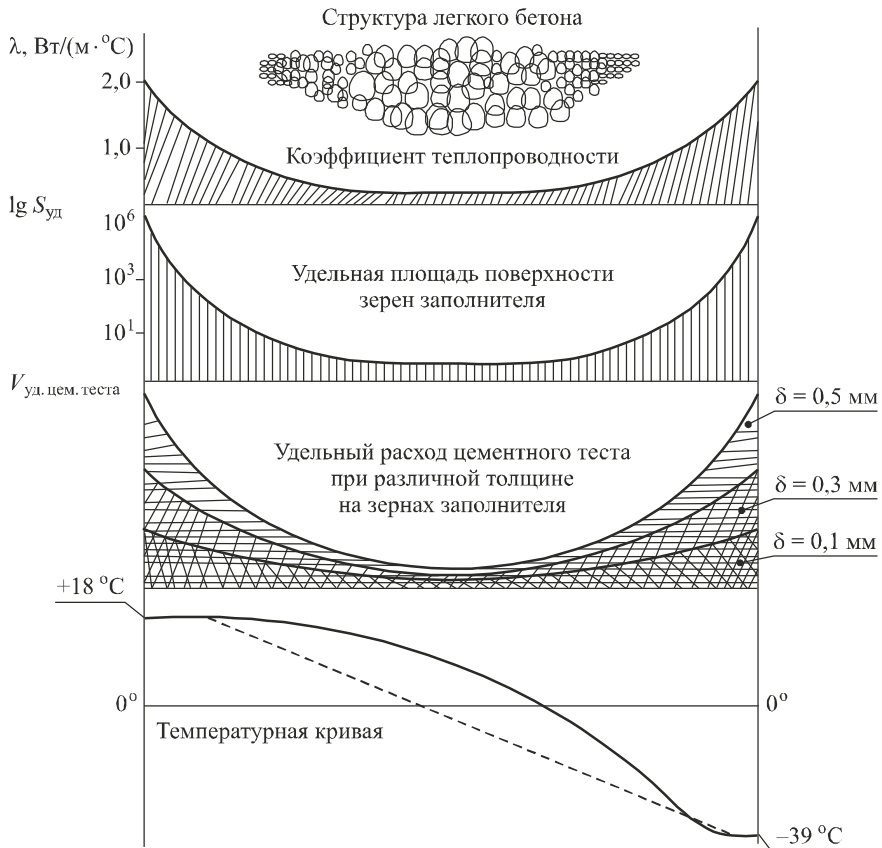


Рис. 2. Особенности формирования свойств легкобетонного крупнопористого блока на гранулированном растительном сырье

вяжущего. Наименьшие значения коэффициента теплопроводности относятся к центральной части блока, что соответствует фракции 20–40 мм крупного заполнителя с минимальной удельной поверхностью и, следовательно, минимальным расходом цементного вяжущего. Для фракций гранул 10–20 мм теплофизические показатели несколько хуже, чем для центрального слоя, однако в совокупности эти три слоя обеспечивают высокие средние параметры коэффициента теплопроводности всей системы, так как составляют большую часть сечения ограждения. Промежуточные теплофизические характеристики зависят от степени приближения к центральной или периферийной части блока [1–7].

Особенностью теплотехнического расчета ограждений из крупнопористого бетона на гранулированном растительном сырье с направленно изменяемой пористой структурой являются следующие условия. Во-первых, необходимо производить минимум три расчета для каждого слоя в отдельности, так как исходные показатели имеют существенные различия. Во-вторых, следует учитывать воздухопроницаемость и инфильтрацию холодного воздуха через ограждение, что может происходить за счет развитой крупнопористой структуры с сообщающимися порами. В-третьих, при сопряжении отдельных слоев крупнопористого блока может быть сформирован переходный слой с лучшими или худшими показателями, чем у центрального или среднего слоев [1, 9–14].

Согласно действующим нормам строительного проектирования, через толщину наружных стен допускается инфильтрация холодного воздуха до  $1,0 \text{ кг}/(\text{м}^2 \cdot \text{ч})$ , которая практически мало влияет на температурный режим ограждения. Экспериментально установлено, что расход инфильтрующегося воздуха даже в количестве  $3,0 \text{ кг}/(\text{м}^2 \cdot \text{ч})$  через пористые стенки при сквозном поровом проветривании не вызывает увеличения дополнительных теплопотерь более чем на 5 %. В то же время проявление осушающего эффекта поровой инфильтрации начинается с расхода  $0,1 \text{ кг}/(\text{м}^2 \cdot \text{ч})$  и более. Таким образом, расход воздуха в диапазоне до  $1,0 \text{ кг}/(\text{м}^2 \cdot \text{ч})$  через ограждения практически не сказывается на их температурном режиме [8–11].

Рассмотрим процесс трансмиссионной передачи тепла. Отвод тепла от слоя  $dx$  за единицу времени составит  $q_x^0$ , а приток тепла к слою за это же время –  $q_{x+dx}^0$ . Разность между входящими и выходящими потоками равна

$$q^0 = q_x^0 - q_{x+dx}^0. \quad (3)$$

Величина  $q_{x+dx}^0$  есть функция  $x$ . Если ее разложить в ряд Тейлора и ограничиться двумя первыми членами ряда, то можно написать

$$q_{x+dx}^0 = q_x^0 + \frac{\partial q_x^0}{\partial x} dx. \quad (4)$$

Согласно закону Фурье,

$$q_x^0 = -\lambda \frac{\partial t}{\partial x}, \quad (5)$$

где  $t$  – температура в сечении ограждения, °C;  $\lambda$  – коэффициент теплопроводности материала ограждения, Вт/(м · °C).

Тогда

$$q_{x+dx}^0 = -\lambda \frac{\partial t}{\partial x} - \lambda \frac{\partial}{\partial x} \frac{\partial t}{\partial x} dx. \quad (6)$$

Разность этих потоков будет

$$q^0 = \lambda \frac{\partial^2 t}{\partial x^2} dx. \quad (7)$$

Количество тепла, внесенного фильтрующимся воздухом в элементарный слой  $dx$  за единицу времени с учетом его удельной теплоемкости, составит  $q_x^u = c_B W t_x$ , а унесенного из слоя –  $q_{x+dx}^u = c_B W t_{x+dx}$ .

Разность фильтрующихся потоков тепла

$$q^u = c_B W (t_x - t_{x+dx}). \quad (8)$$

Так как величина  $t_{x+dx}$  есть функция от  $x$ , то

$$t_{x+dx}^u = t_x + \frac{\partial t_x}{\partial x} dx \quad (9)$$

или, подставив выражение (9) в уравнение (8), получим

$$q^u = -c_B W \frac{\partial t}{\partial x} dx. \quad (10)$$

За интервал времени  $dz$  в результате трансмиссионного и фильтрационного переносов тепла в слое будет накапливаться или рассеиваться тепло в количестве, равном

$$dq = \left( \lambda \frac{\partial^2 t}{\partial x^2} dx - c_{\rho, \infty} W \frac{\partial t}{\partial x} dx \right) dz. \quad (11)$$

Это тепло будет изменять температуру слоя. К концу интервала температура слоя материала толщиной  $dx$  с объемной теплоемкостью  $\rho$  изменится на величину  $\frac{\partial t}{\partial z} dz$ . При этом

$$\rho dx \frac{\partial t}{\partial z} dz = \lambda \frac{\partial^2 t}{\partial x^2} dx dz - c_B W \frac{\partial t}{\partial x} dx dz \quad (12)$$

или

$$\rho \frac{\partial t}{\partial z} = \lambda \frac{\partial^2 t}{\partial x^2} - c_B W \frac{\partial t}{\partial x}. \quad (13)$$

Выражение (13) представляет собой дифференциальное уравнение переноса тепла через плоскую стену при нестационарном режиме в условиях фильтрации воздуха. По данным формулам были рассчитаны теплофизические характеристики как отдельных слоев крупнопористого бетона, так и в

Таблица 1. Характеристики легких бетонов с направленно изменяемой гранулометрией крупного заполнителя из растительного сырья

Заполнители бетона	Марка бетона по средней плотности, кг/м <sup>3</sup>	Класс (марка) бетона по средней прочности на сжатие, МПа	Марка бетона по плотности наружного, среднего и внутреннего слоев, кг/м <sup>3</sup> , и фракции заполнителя, мм	Класс (марка) бетона по прочности на сжатие наружного, среднего и внутреннего слоев блоков, МПа	Коэффициент теплопроводности бетона в сухом состоянии, Вт/(м · К)	Марка бетона по морозостойкости <i>F</i>
Гранулированное растительное сырье	D500	В3,5 (М50)	Наружный слой (5–10) D750	Наружный слой В7,5 (М50)	0,332	F25
			Средний слой (10–20) D550	Средний слой В2 (М25)	0,278	
			Внутренний слой (20–40) D350	Внутренний слой В1 (М50)	0,125	
Кора деревьев	D600	В3,5 (М50)	Наружный слой (5–10) D750	Наружный слой В7,5 (М50)	0,332	F25
			Средний слой (10–20) D550	Средний слой В2 (М25)	0,278	
			Внутренний слой (20–40) D350	Внутренний слой В1 (М50)	0,125	

целом всего блока. Осредненные показатели крупнопористых бетонных блоков представлены в табл. 1 и 2.

Анализируя данные табл. 1, можно отметить, что прослеживается четкая тенденция по снижению значения коэффициента теплопроводности в зависимости от гранулометрического состава легкого крупнопористого бетона, т.е. чем крупнее гранулы крупного заполнителя, тем меньше показатели теплопроводности. Следовательно, использование крупного пористого заполнителя в легком бетоне по предлагаемой схеме рационально и вполне обосновано. Оценивая прочностные качества легкого крупнопористого бетона с изменяемой пористостью, можно утверждать, что предлагаемая конструкция блоков, состоящая из трех разных по гранулометрическому составу рецептур, обладает достаточным набором физико-механических характеристик, позволяющих рекомендовать данные блоки для практического применения.

Рассматривая данные табл. 2, можно констатировать, что предлагаемый вариант стеновых блоков, выполненный по принципу направленного изменения пористости материала, обладает высокими теплоизоляционными свойствами, близкими к древесине и газобетону. Это относится к общему термическому сопротивлению ограждения и к тепловой инерции.

Процесс формирования стенового многослойного блока из крупнопористого бетона осуществлялся на специальной виброустановке, позволяющей производить бетонирование с учетом разделения на фракции [14, 15]. После заполнения всех полостей опалубки бетонной смесью и предварительного виброуплотнения в течение 10–15 с частотой 45–50 Гц удаляли

Таблица 2. Теплофизические показатели стен из различных материалов

Материал	Плотность, кг/м <sup>3</sup>	Коэффициент теплопроводности $\lambda$ , Вт/(м <sup>2</sup> · °С)	Коэффициент теплоусвоения слоя $S$ , Вт/(м <sup>2</sup> · °С)	Толщина слоя $\delta_1$ , м	Толщина стены $\delta_2$ , м	Сопrotивление теплопередаче		Тепловая инерция слоя $\delta_1$ , Вт/(м <sup>2</sup> · °С)
						слоя $R_1$ , м <sup>2</sup> · °С/Вт	стены $R_2$ , м <sup>2</sup> · °С/Вт	
Сосна (ель)	500	0,14	3,87	0,30	0,30	2,14	2,30	8,29
Газобетон	450	0,07	1,68	0,3	0,60	4,29	4,95	7,21
Легкобетонный блок с изменяемой гранулометрией крупного заполнителя из растительного сырья	400–500	0,12–0,30	0,42–1,25	0,3–0,6	0,3–0,6	3,2–3,5	2,80–4,55	5,6–6,8

разделительные вставки и осуществляли окончательное виброуплотнение в течение 5–10 с для объединения всех слоев крупнопористого бетона различных фракций в единый массив. Многослойные блоки перемещали на площадку для естественного твердения либо в пропарочную камеру с температурой прогрева 60–70 °С на 8–12 ч. После термовлажностной обработки готовые стеновые блоки выгружали и укладывали в штабеля на складе готовой продукции.

Для контроля качества стеновых многослойных блоков из крупнопористого бетона с направленным изменением пористости слоев для каждой партии и каждого слоя формовали образцы-кубы размерами 200×200×200 мм, которые выдерживали в нормальных температурно-влажностных условиях при температуре  $18 \pm 2$  °С в течение 28 сут, после чего испытывали в лаборатории с выдачей заключения о классе бетона и его соответствии требуемым параметрам. При этом определяли не только его предел прочности при сжатии, среднюю плотность, морозостойкость, но и влажность, и характер разрушения при механическом воздействии, а также однородность распределения вяжущего и заполнителя.

По данным заводской лаборатории средний предел прочности при сжатии образцов крупнопористого бетона в 28-суточном возрасте составлял для фракций:

20–40 мм 2,5–2,7 МПа;

10–20 мм 5,0–5,3 МПа;

5–10 мм 7,5–7,7 МПа.

**Заключение.** На основе разработанной модели функционирования ограждающих конструкций из легкого бетона с направленно изменяемой пористой структурой за счет расположения крупного заполнителя учтены все аспекты и особенности работы ограждающих конструкций зданий.



С учетом классических представлений термодинамики методами математического моделирования определен порядок трансмиссионной передачи тепла через легкий крупнопористый бетон с изменяемой пористой структурой.

Получены дифференциальные уравнения зависимости переноса тепла через ограждающие конструкции в условиях фильтрации воздуха, позволяющие осуществить расчет объема тепла и распределение температурных полей в толще стен, а также теплотехнический расчет стен из легкого бетона с интегральным расположением крупного заполнителя. Это открывает возможность определять теплозащитные качества воздухопроницаемых конструкций и количество инфильтрующегося через них воздуха, обеспечивающих тепловлажностный режим помещения и поддержание нормативного температурного перепада.

Для практической реализации и расчетов разработан алгоритм теплофизического расчета фрагментов ограждающих конструкций из легкого крупнопористого бетона с направленно изменяемой структурой крупного заполнителя.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Патент № 2661168 РФ. С04В18/141; С04В20/10; С04В20/1085; С04В20/12. Способ подготовки шлакового заполнителя для легкого бетона / А.П. Пичугин, В.Ф. Хританков, А.Ю. Кудряшов, Е.Г. Пименов; опубл. 12.07.2018; Бюл. № 20.
2. *Дорофеев В.С., Выровой В.Н., Соломатов В.И.* Пути снижения материалоемкости строительных материалов и конструкций. Киев, 1989. 78 с.
3. *Алехин Ю.А., Люсов А.Н.* Экономическая эффективность использования вторичных ресурсов в производстве строительных материалов. М.: Стройиздат, 1988. 342 с.
4. *Крутов П.И., Склизов Н.И., Терновский А.Д.* Строительные материалы из местного сырья в сельском строительстве. М.: Стройиздат, 1978. 284 с.
5. *Смирнова О.Е. и др.* Эффективные технологии при использовании растительного сырья в строительстве: Моногр. Новосибирск: НГАСУ (Сибстрин), 2020. 224 с.
6. *Киселев Д.П.* Легкие бетоны в сельском строительстве. М.: Стройиздат, 1978. 96 с.
7. *Пичугин А.П., Бурковская Н.И.* Материалы для сельских строек. Омск, 1989. 144 с.
8. *Пичугин А.П., Хританков В.Ф., Смирнова О.Е., Пименов Е.Г.* Трещинообразование в крупнопористом бетоне с интегральным расположением крупного заполнителя // Эксперт: теория и практика, 2020. № 4. С. 47–51.
9. *Хвостенков С.И.* Теплотехнические критерии качества стеновых материалов // Строительные материалы. 1993. № 9-10. С. 14–17.
10. *Силаенков Е.С.* Нормативная база системы утепления наружных стен // Строительные материалы. 1998. № 6. С. 7–9.
11. *Матросов Ю.А., Бутовский И.Н.* Стратегия по нормированию теплозащиты зданий с эффективным использованием энергии // Жилищное строительство. 1999. № 1. С. 2–4.



12. Соломатов В.И., Выровой В.Н. и др. Композиционные строительные материалы и конструкции пониженной материалоемкости. Киев: Будивельник, 1991. 144 с.
13. Денисов А.С. Совершенствование технологии производства изделий из легких бетонов // Строительные материалы. 2006. № 3. С. 68–69.
14. Пичугин А.П., Денисов А.С., Хританков В.Ф. Экологические проблемы эффективного использования отходов и местного сырья в строительстве // Строительные материалы. 2005. № 5. С. 2–4.
15. Пичугин А.П., Хританков В.Ф., Смирнова О.Е., Пименов Е.Г., Никитенко К.А. Защитно-отделочные составы и композиции для ремонтных работ и обеспечения долговечности зданий // Известия вузов. Строительство. 2019. № 9. С. 109–122.

**Пичугин Анатолий Петрович**, д-р техн. наук, проф.

Новосибирский государственный аграрный университет

**Денисов Александр Сергеевич**, д-р техн. наук, проф.

Новосибирский государственный аграрный университет

**Хританков Владимир Федорович**, д-р техн. наук, проф.

Новосибирский государственный аграрный университет

**Смирнова Ольга Евгеньевна**, канд. техн. наук, доц.

Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет (Сибстрин)

Получено 17.03.2021

**Pichugin Anatoliy Petrovich**, DSc, Professor

Novosibirsk State Agrarian University, Russia

**Denisov Alexander Sergeevich**, DSc, Professor

Novosibirsk State Agrarian University, Russia

**Khritankov Vladimir Fedorovich**, DSc, Professor

Novosibirsk State Agrarian University, Russia

**Smirnova Olga Evgenievna**, PhD, Ass. Professor

Novosibirsk State University of Architecture and Civil Engineering (Sibstrin), Russia

## **THERMAL ENGINEERING CALCULATION OF CONCRETE WALLS WITH A VARIABLE LOCATION OF A LARGE BUILDING FILLER FROM VEGETABLE RAW MATERIALS**

Previously, the authors developed practically and theoretically justified the formulation and technological parameters for obtaining light-concrete large-porous blocks based on granular organic raw materials as a large porous aggregate. Such lightweight concretes with a density of up to 550–650 kg/m<sup>3</sup>, a thermal conductivity coefficient of 0,14 to 0,31 W/(m · °C) are quite effective for the construction of low-rise buildings for any purpose. The use of granulated organic raw materials as a filler of light concrete can significantly improve its heat-insulating and sound-absorbing properties due to the increased porosity of the organic material itself, its nature and the fibrous structure of plant raw materials. This article describes the thermal engineering calculation of enclosing structures made of light, coarse-pored concrete with an integral arrangement of a large aggregate, taking into account the features of the formation of a directionally variable porous structure of these products.

**К е у w o r d s:** light coarse-pored concrete, thermal engineering calculation of the fence, thermal conductivity coefficient of materials, heat flow, porous structure of concrete, condensation.

## REFERENCES

1. Patent No. 2661168 Russian Federation. C04B18/141; C04B20/10; C04B20/1085; C04B20/12. Sposob podgotovki shlakovogo zapolnitelya dlya legkogo betona [Method of preparation of slag aggregate for lightweight concrete]. A.P. Pichugin, V.F. Khritanov, S.A. Kudryashov, E.G. Pimenov; publ. 12.07.2018; Bull. No. 20. (in Russian)
2. *Dorofeev V.S., Vyrovoy V.N., Solomatov V.I.* Puti snizheniya materialoemkosti stroitel'nykh materialov i konstruktsiy [Ways of reducing the material consumption of building materials and structures]. Kiev, 1989. 78 p. (in Russian)
3. *Alyokhin Yu.A., Lyusov A.N.* Ekonomicheskaya effektivnost' ispol'zovaniya vtorichnykh resursov v proizvodstve stroitel'nykh materialov [Economic efficiency of the use of secondary resources in the production of building materials]. Moscow, Stroyizdat, 1988. 342 p. (in Russian)
4. *Krutov P.I., Sklizkov N.I., Ternovskiy A.D.* Stroitel'nye materialy iz mestnogo syr'ya v sel'skom stroitel'stve [Construction materials from local raw materials in rural construction]. Moscow, Stroyizdat, 1978. 284 p. (in Russian)
5. *Smirnova O.E. et al.* Effektivnye tekhnologii pri ispol'zovanii rastitel'nogo syr'ya v stroitel'stve: Monografiya [Effective technologies in the use of plant raw materials in construction. Monograph]. Novosibirsk, NGASU (Sibstrin), 2020. 224 p. (in Russian)
6. *Kiselyov D.P.* Legkiye betony v sel'skom stroitel'stve [Light concrete in rural construction]. Moscow, Stroyizdat, 1978. 96 p. (in Russian)
7. *Pichugin A.P., Burkovskaya N.I.* Materialy dlya sel'skikh stroek [Materials for rural construction projects]. Omsk, 1989. 144 p. (in Russian)
8. *Pichugin A.P., Khritanov V.F., Smirnova O.E., Pimenov E.G.* Treshchinoobrazovaniye v krupnoporistom betone s integral'nym raspolozheniyem krupnogo zapolnitelya [Crack formation in large-pored concrete with an integral arrangement of a large aggregate]. Ekspert: teoriya i praktika [Expert: theory and practice]. 2020. No. 4. Pp. 47–51. (in Russian)
9. *Khvostenkov S.I.* Teplotekhnicheskiye kriterii kachestva stenovykh materialov [Teplotekhnicheskie criteria for the quality of wall materials]. Stroitel'nye materialy [Construction materials]. 1993. No. 9-10. Pp. 14–17. (in Russian)
10. *Silayenkov E.S.* Normativnaya baza sistemy utepleniya naruzhnykh sten [Normative base of the external wall insulation system]. Stroitel'nye materialy [Construction materials]. 1998. No. 6. Pp. 7–9. (in Russian)
11. *Matrosov Yu.A., Butovskiy I.N.* Strategiya po normirovaniyu teplozashchity zdaniy s effektivnym ispol'zovaniem energii [Strategy for rationing heat protection of buildings with efficient use of energy]. Zhilishchnoye stroitel'stvo [Housing construction]. 1999. No. 1. Pp. 2–4. (in Russian)
12. *Solomatov V.I., Vyrovoy V.N. et al.* Kompozitsionnye stroitel'nye materialy i konstruktsii ponizhennoy materialoemkosti [Composite building materials and structures of reduced material consumption]. Kiev, Budivel'nik, 1991. 144 p. (in Russian)
13. *Denisov A.S.* Sovershenstvovaniye tekhnologii proizvodstva izdeliy iz legkikh betonov [Improving the production technology of light concrete products]. Stroitel'nye materialy [Construction materials]. 2006. No. 3. Pp. 68–69. (in Russian)

14. *Pichugin A.P., Denisov A.S., Khritanov V.F.* Ekologicheskiye problemy effektivnogo ispol'zovaniya otkhodov i mestnogo syr'ya v stroitel'stve [Ecological problems of effective use of waste and local raw materials in construction]. *Stroitel'nye materialy* [Construction materials]. 2005. No. 5. Pp. 2–4. (in Russian)
  15. *Pichugin A.P., Khritanov V.F., Smirnova O.E., Pimenov E.G., Nikitenko K.A.* Zashchitno-otdelochnye sostavy i kompozitsii dlya remontnykh rabot i obespecheniya dolgovechnosti zdaniy [Protective-finishing compositions and compositions for repair works and maintenance of building longevity]. *Izvestiya vuzov. Stroitel'stvo* [News of Higher Educational Institutions. Construction]. 2019. No. 9. Pp. 109–122. (in Russian)
-