

УДК 666.97.031:693.542

ВЛИЯНИЕ НАПРАВЛЕНИЯ УКЛАДКИ ЗАПОЛНИТЕЛЯ НА ПРОЧНОСТНЫЕ И ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННЫЕ СВОЙСТВА АРБОЛИТА

А.Н. ЯГУБКИН

(Полоцкий государственный университет)

Рассматривается направление укладки заполнителя и его влияние на прочностные и теплоизоляционные свойства арболита. Ориентированная укладка древесного заполнителя в арболите позволит повысить прочность и снизить коэффициент теплопроводности при неизменной средней плотности. На образцах арболита, изготовленных с использованием различных технологий для уплотнения, проведены исследования по определению прочности, плотности и теплопроводности. Показано, что использование технологии колебательного уплотнения позволяет увеличить прочность от 5 до 50 % в зависимости от средней плотности, а также снизить коэффициент теплопроводности в среднем на 20 % за счёт ориентированной укладки древесного заполнителя. Представлен расчёт толщины стены с использованием стандартного коэффициента теплопроводности и с учётом возможного его снижения при использовании технологии колебательного уплотнения.

Введение. Одними из основных свойств лёгких бетонов является прочность и теплопроводность. Как указывается в [1], в зависимости от направления нагрузки сопротивление сжатию поперёк волокон в 6...8 раз меньше, чем вдоль волокон. В связи с этим предлагается использовать древесную дроблёнку с возможно меньшими размерами в радиальном направлении, однако в этом случае произойдёт увеличение коэффициента теплопроводности. Значения коэффициента теплопроводности приведены в ТКП «Строительная теплотехника» [2], методика определения представлена в СТБ «Материалы и изделия строительные. Методы определения теплопроводности при стационарном тепловом режиме» [3].

Для арболита значения коэффициента теплопроводности находятся в пределах 0,07...0,16 Вт/(м·°С) при плотности 300...800 кг/м³ соответственно. Поскольку арболит состоит на 90 % по объёму из древесины, а ТКП для древесины приводит значения теплопроводности в зависимости от расположения волокон, отличающиеся в 2 раза и более, то при ориентированной укладке древесного заполнителя возможно добиться снижения коэффициента теплопроводности для арболита.

Цель исследований – обеспечить ориентированную укладку древесного заполнителя в арболите и показать, что это снизит коэффициент теплопроводности и повысит прочность.

Основная часть. Исследования проводились на образцах размером 20×20×20 см, сформованных из щепы смешанных пород, соответствующей требованиям ГОСТ «Арболит и изделия из него» [4]. Использовался цемент Кричевского завода марки ПЦ500-Д0. Образцы подвергались термовлажностной обработке по следующему режиму: подъём температуры 10 °С в час; выдержка при температуре 55 °С в течение 6 часов.

На первом этапе изготавливались образцы по традиционным технологиям уплотнения арболита (технология виброуплотнения и технология виброуплотнения с пригрузом) [5] и по разработанной в Полоцком государственном университете технологии колебательного уплотнения [6]. Ориентированная укладка древесного заполнителя производилась на специально разработанной экспериментальной

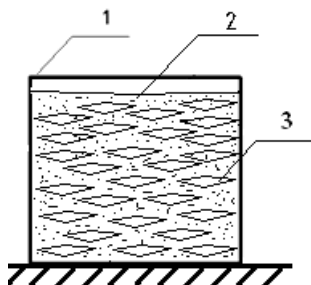


Рис. 1. Расположение смеси после горизонтальных колебаний:
1 – форма для образца 20×20×20 см;
2 – бетонная смесь для изготовления арболита; 3 – щепа

лабораторной установке [7]. Установка позволяет проводить двухэтапное уплотнение. На первом этапе смесь в форме подвергалась горизонтальным колебаниям, которые упорядочивают структуру крупного заполнителя. На втором этапе форма подвергалась виброуплотнению с пригрузом. Данное воздействие обеспечивает тиксотропное разжижение цементного теста. После завершения уплотнения древесный заполнитель занял положение, показанное на рисунке 1. Для того чтобы тепловой поток проходил поперёк волокон древесного заполнителя, необходимо повернуть образец на 90°. При традиционных методах уплотнения древесный заполнитель располагается в арболите хаотически, следовательно, обеспечить прохождение теплового потока только поперёк волокон не представляется возможным.

Результаты испытаний по определению плотности и прочности образцов при использовании различных способов уплотнения представлены в таблице 1.

Таблица 1

Определение основных физико-механических свойств арболита при различных способах уплотнения

Способ уплотнения	Состав арболита, кг/м ³	Плотность арболита, кг/м ³	Прочность арболита, МПа
Виброуплотнение	Цемент – 150; щепа – 135	300	0,12
Виброуплотнение с пригрузом	Цемент – 150; щепа – 135	300	0,15
Колебательное уплотнение	Цемент – 150; щепа – 135	300	0,17
Виброуплотнение	Цемент – 200; щепа – 180	400	0,68
Виброуплотнение с пригрузом	Цемент – 200; щепа – 180	400	0,71
Колебательное уплотнение	Цемент – 200; щепа – 180	400	0,75
Виброуплотнение	Цемент – 300; щепа – 270	600	2,51
Виброуплотнение с пригрузом	Цемент – 300; щепа – 270	600	2,55
Колебательное уплотнение	Цемент – 300; щепа – 270	600	2,82
Виброуплотнение	Цемент – 400; щепа – 360	800	4,06
Виброуплотнение с пригрузом	Цемент – 400; щепа – 360	800	4,11
Колебательное уплотнение	Цемент – 400; щепа – 360	800	6,10

Примечание: водоцементное отношение во всех составах принято 1,1; в качестве добавки использовался хлористый кальций (расход – 2 % от массы цемента).

Из таблицы 1 видно, что технология колебательного уплотнения позволяет не только обеспечить ориентированную укладку древесного заполнителя, но и повысить прочность арболита при неизменной плотности. При плотности 300 кг/м³ прочность увеличилась на 41,7 % по сравнению с технологией виброуплотнения и на 13,3 % по сравнению с технологией виброуплотнения с пригрузом; при плотности 400 кг/м³ прочность увеличилась на 10,3 % по сравнению с технологией виброуплотнения и на 5,6 % по сравнению с технологией виброуплотнения с пригрузом; при плотности 600 кг/м³ прочность увеличилась на 12 % по сравнению с технологией виброуплотнения и на 10,2 % по сравнению с технологией виброуплотнения с пригрузом; при плотности 800 кг/м³ прочность увеличилась на 50,2 % по сравнению с технологией виброуплотнения и на 48,4 % по сравнению с технологией виброуплотнения с пригрузом.

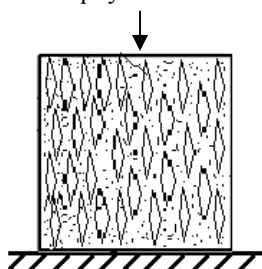


Рис. 2. Схема приложения нагрузки при определении прочности (технология колебательного уплотнения)

Прочность для образцов, изготовленных по технологии колебательного уплотнения, определяли поворачивая их на 90° (рис. 2).

Таким образом, предложенный способ уплотнения позволит проводить испытания по определению теплопроводности, пропускающей тепловой поток поперёк волокон древесного заполнителя. Определение теплопроводности проводили при стационарном тепловом режиме [2]. Сущность метода заключается в создании стационарного теплового потока, проходящего через плоский образец определенной толщины и направленного перпендикулярно к лицевым граням образца, и измерении плотности теплового потока, температуры противоположных лицевых граней и толщины образца. Для определения теплопроводности использовался прибор ИТП-МГ4 «250».

Образцы изготавливались размером 250×250×30 мм. Состав и способы уплотнения образцов представлены выше. Результаты испытаний образцов приведены в таблице 2.

Таблица 2

Результаты испытаний по определению теплопроводности

Способ уплотнения	Плотность арболита, кг/м ³	Коэффициент теплопроводности арболита по ТКП [2], Вт/(м·°С)	Коэффициент теплопроводности арболита по экспериментальным данным, Вт/(м·°С)
Виброуплотнение	300	0,07	0,068
Виброуплотнение с пригрузом	300	0,07	0,069
Колебательное уплотнение	300	0,07	0,052
Виброуплотнение	400	0,08	0,076
Виброуплотнение с пригрузом	400	0,08	0,077
Колебательное уплотнение	400	0,08	0,060
Виброуплотнение	600	0,12	0,120
Виброуплотнение с пригрузом	600	0,12	0,120
Колебательное уплотнение	600	0,12	0,091
Виброуплотнение	800	0,16	0,150
Виброуплотнение с пригрузом	800	0,16	0,152
Колебательное уплотнение	800	0,16	0,121

Из таблицы 2 следует, что теплопроводность арболита с ориентированной укладкой заполнителя ведет себя следующим образом:

- при плотности 300 кг/м^3 на 23,5 % меньше, чем при использовании виброуплотнения, и на 24,6 % меньше, чем при использовании виброуплотнения с пригрузом;
- при плотности 400 кг/м^3 на 21,1 % меньше, чем при использовании виброуплотнения, и на 22,1 % меньше, чем при использовании виброуплотнения с пригрузом;
- при плотности 600 кг/м^3 на 24,2 % меньше, чем при использовании виброуплотнения, и на 24,2 % меньше, чем при использовании виброуплотнения с пригрузом;
- при плотности 800 кг/м^3 на 19,3 % меньше, чем при использовании виброуплотнения, и на 20,4 % меньше, чем при использовании виброуплотнения с пригрузом.

На следующем этапе исследований был выполнен теплотехнический расчёт толщины стены с нормативным коэффициентом теплопроводности материала ограждающей конструкции в условиях эксплуатации [2] и с коэффициентом теплопроводности, сниженным на 20 %. Схема наружной ограждающей конструкции представлена на рисунке 3.

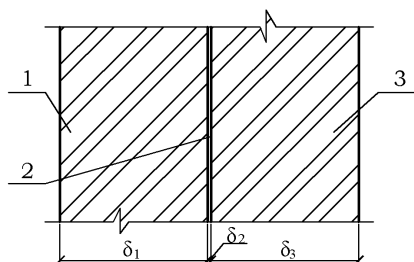


Рис. 3. Наружная ограждающая конструкция:

1 – арболитовый блок; 2 – известково-песчаный раствор; 3 – арболитовый блок

Характеристики материалов ограждающей конструкции:

- арболитовый блок (1): $\rho = 600 \text{ кг/м}^3$; $\delta_1 = x \text{ м}$; $\lambda = 0,23 \text{ Вт/(м} \cdot \text{°C)}$;
- известково-песчаный раствор: $\rho = 1600 \text{ кг/м}^3$; $\delta_2 = 0,01 \text{ м}$; $\lambda = 0,81 \text{ Вт/(м} \cdot \text{°C)}$;
- арболитовый блок (3): $\rho = 600 \text{ кг/м}^3$; $\delta_3 = x \text{ м}$; $\lambda = 0,23 \text{ Вт/(м} \cdot \text{°C)}$.

Сопrotивление теплопередаче R_m , $(\text{м}^2 \cdot \text{°C})/\text{Вт}$, ограждающей конструкции определяется как

$$R_m = \frac{1}{\alpha_e} + R_k + \frac{1}{\alpha_n}, \quad (1)$$

где α_e – коэффициент теплоотдачи внутренней поверхности ограждающей конструкции, $\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{°C})$ [2]; R_k – термическое сопротивление ограждающей конструкции, $(\text{м}^2 \cdot \text{°C})/\text{Вт}$; α_n – коэффициент теплоотдачи наружной поверхности ограждающей конструкции для зимних условий, $\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{°C})$ [2].

Термическое сопротивление многослойной ограждающей конструкции с последовательно расположенными однородными слоями R_k , $(\text{м}^2 \cdot \text{°C})/\text{Вт}$, определяется по формуле:

$$R_k = R_1 + R_2 + R_3, \quad (2)$$

где R_1, R_2, R_3 – термические сопротивления отдельных слоев конструкции, $(\text{м}^2 \cdot \text{°C})/\text{Вт}$.

Термическое сопротивление слоя многослойной конструкции R , $(\text{м}^2 \cdot \text{°C})/\text{Вт}$, определяется как

$$R = \frac{\delta}{\lambda}, \quad (3)$$

где δ – толщина слоя, м; λ – коэффициент теплопроводности материала ограждающей конструкции в условиях эксплуатации, $\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{°C})$.

Нормативное сопротивление теплопередаче наружных стен $R_{m, \text{норм}} = 3,2 \text{ (м}^2 \cdot \text{°C})/\text{Вт}$ [2].

Определяем толщину стены из арболитовых блоков из формулы:

$$R_m = \frac{1}{\alpha_e} + \frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_2}{\lambda_2} + \frac{\delta_3}{\lambda_3} + \frac{1}{\alpha_n} = R_{m, \text{норм}}. \quad (4)$$

Для нормативного коэффициента теплопроводности:

$$3,2 = \frac{1}{8,7} + \frac{x}{0,23} + \frac{0,01}{0,81} + \frac{x}{0,23} + \frac{1}{23},$$

откуда $x = 0,35$ м.

Для коэффициента теплопроводности λ , уменьшенного на 20 % ($\lambda = 0,18$ Вт/(м·°С)):

$$3,2 = \frac{1}{8,7} + \frac{x}{0,18} + \frac{0,01}{0,81} + \frac{x}{0,18} + \frac{1}{23},$$

откуда $x = 0,27$ м.

Из представленных расчётов следует, что толщина стены в первом случае будет равна 0,71 м, во втором – 0,55 м.

Таким образом, для обеспечения стеной из арболитовых блоков нормативного сопротивления теплопередаче $R_{т,норм} = 3,2$ (м²·°С)/Вт достаточно толщины стены 710 мм из блоков, изготовленных по известным технологиям уплотнения, и 550 мм из блоков, изготовленных по разработанной в Полоцком государственном университете технологии колебательного уплотнения.

Хлористый кальций, используемый в качестве традиционного модификатора для нейтрализации сахаров, которые выделяются из древесного заполнителя в цементное тесто, при этом обладает свойством притягивать воду. Следовательно, более эффективным будет использование добавки, которая также эффективно нейтрализует сахара, но не притягивает воду. Такая добавка разработана и получила название «Арбел» [8].

Далее был проведён микроскопический анализ структуры модифицированного цементного камня (рис. 4). Образцы изготавливались по разработанной в Полоцком университете экспресс-методике [9]. Вид и количество добавок представлены в таблице 3.

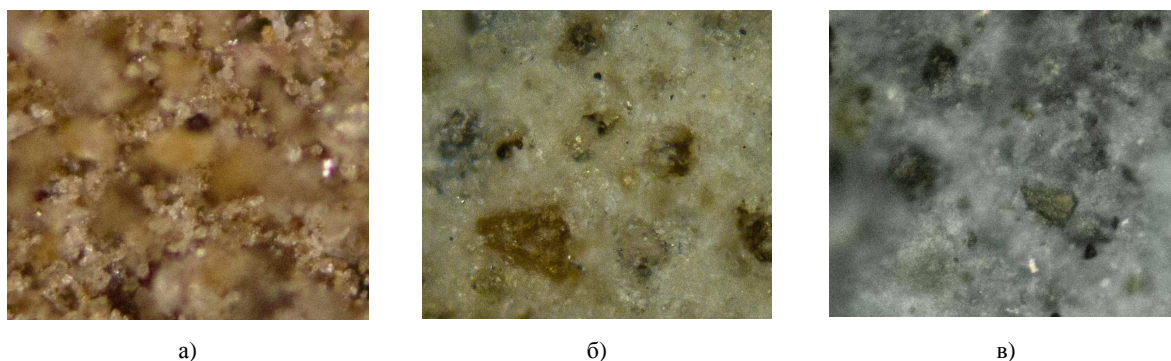


Рис. 4. Микроскопический анализ цементного камня при стократном увеличении:
а – состав № 1; б – состав № 2; в – состав № 3

Таблица 3

Вид и расход добавки для проведения микроскопического анализа цементного камня

№ состава	Вид добавки	Количество добавки, % от массы цемента
1	–	–
2	Хлористый кальций	2
3	Арбел	2

В образцах, изготовленных без добавок (состав № 1), наблюдается распределение сахаров (желтого цвета) по всему объёму цементного камня.

В образцах с добавкой хлористого кальция (состав № 2) сахара блокируются в виде больших жёлтых скоплений, при этом они не мешают процессам схватывания и твердения цементного камня.

В образцах с добавкой Арбел (состав № 3) сахара также блокируются в виде жёлтых скоплений. Таким образом, можно сделать вывод об эффективности разработанной нами добавки.

Заключение. Использование технологии колебательного уплотнения позволяет увеличить прочность от 5 до 50 % в зависимости от средней плотности; снизить за счёт ориентированной укладки древесного заполнителя коэффициент теплопроводности в среднем на 20 %.

В результате снижения коэффициента теплопроводности согласно теплотехническому расчёту толщину стены возможно уменьшить с 710 до 550 мм.

ЛИТЕРАТУРА

1. Коротаяев, Э.И. Производство строительных материалов из древесных отходов / Э.И. Коротаяев, В.И. Симонов. – М.: Лесная промышленность, 1972. – 144 с.
2. Строительная теплотехника. Строительные нормы проектирования: ТКП 45-2.04-43-2006. – Введ. 01.07.2007. – Минск: Минстройархитектуры, 2007. – 35 с.
3. Материалы и изделия строительные. Методы определения теплопроводности при стационарном тепловом режиме: СТБ 1618-2006. – Введ. 01.07.2006. – Минск: Минстройархитектуры, 2006. – 12 с.
4. Арболит и изделия из него. Общие технические условия: ГОСТ 19222-84. – Введ. 01.01.1985. – М.: Изд-во стандартов, 1985. – 21 с.
5. Наназашвили, И.Х. Строительные материалы из древесно-цементной композиции / И.Х. Наназашвили. – 2-е изд., перераб. и доп. – Л.: Стройиздат, 1990. – 415 с.
6. Способ уплотнения арболитовой смеси: заявка на изобретение, МПК В28В 1/08 / А.Н. Ягубкин, В.В. Бозылев; заявитель Полоц. гос. ун-т. – № а 20110322 от 15.03.11.
7. Ягубкин, А.Н. Оптимизация процесса уплотнения бетонной смеси при изготовлении арболита / А.Н. Ягубкин, В.В. Бозылев // Вестн. Полоц. гос. ун-та. Серия Ф. Прикладные науки. Строительство. – 2009. – № 12. – С. 61 – 68.
8. Добавка в бетонную смесь, преимущественно для изготовления арболита: заявка на изобретение, МПК С04В 22/14 С04В 24/20 С04В 26/32 / А.Н. Ягубкин, В.В. Бозылев; заявитель Полоц. гос. ун-т. – № а20110020 от 06.01.11.
9. Способ определения эффективности химических добавок в бетоне, преимущественно в арболите: заявка на изобретение, МПК Е 04С 2/26 С 07В 63/00 / А.Н. Ягубкин, В.В. Бозылев; заявитель Полоц. гос. ун-т. – № а20101203 от 09.08.10.

Поступила 30.05.2011

EFFECT OF DIRECTION OF LAYING FILLER ON THE STRENGTH AND INSULATING PROPERTIES OF ARBOLIT

A. YAGUBKIN

Oriented stacking wood filler Arbolit will increase strength and reduce the thermal conductivity at a constant average density. Arbolit on samples fabricated using different technologies for sealing (existing-vibrocompaction, vibrocompaction with cargo; developed in Polotsk State University of Technology vibratory compaction) conducted studies to determine the strength, density and thermal conductivity. It is shown that the use of technology vibratory compaction can increase strength from 5 to 50 %, depending on the average density. And also to reduce the thermal conductivity of an average of 20 % due to oriented stacking wood filler. The calculation of wall thickness using a standard thermal conductivity and with the possibility of its reduction when using the technology of vibratory compaction.