

ТЕПЛОТЕХНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА МОДИФИЦИРОВАННОГО АРБОЛИТА С НАПРАВЛЕННОЙ УКЛАДКОЙ ЗАПОЛНИТЕЛЯ

Ягубкин А.Н.

Введение. В последние годы всё большую активность в мире набирает зелёное строительство (Green Building). Ряд стран уже вводят экологические стандарты по проектированию и строительству [1]. На первый план всё чаще выходят такие показатели как: экологичность, экономичность, энергоэффективность, обеспечение здорового образа жизни и комфортности [2].

Всё чаще появляются медицинские исследования о вреде здоровью от зданий и сооружений. Так с ростом высоты (от 7-го этажа и выше) из-за экранирования железобетонных конструкций уменьшается воздействие геомагнитного поля земли, что приводит к сердечно-сосудистым заболеваниям [3]. В многоэтажных зданиях интерференция от сетей wi-fi и bluetooth приводит к онкологическим заболеваниям и заторможенности развития детей [4]. Узкие маленькие комнаты вызывают склонность к депрессии, алкоголизму; у детей – замкнутость, аутизм. В помещениях из железобетонных конструкций низкая влажность, что приводит к астматическим заболеваниям. В помещениях со стенами из ячеистого бетона высокая влажность в течение первых 3-х лет эксплуатации приводит к аллергиям, грибкам, инфекционным заболеваниям. Пенополистирол при проветривании помещения может выделять пары, раздражающие глаза и слизистую оболочку. Поливинилхлорид (пвх) выделяет газы влияющие на нервную систему. Силикатный кирпич и фосфогипс выделяет газ влияющий на органы дыхания, поэтому необходимо постоянное проветривание. Для склеивания волокон минеральной ваты используются вещества содержащие фенолы и формальдегиды [5].

Общепризнанным лидером по экологичности является древесина и материалы на её основе, в т.ч. арболит (зарубежный аналог – woodconcrete). Данный материал распространился и активно применяется по всему миру [6-12].

Сочетание цемента и древесины приводит к созданию материала, который способен регулировать климат внутри помещения, в т.ч. регуляция влажности происходит из-за растительного происхождения заполнителя [6]. При этом материал обладает высокой долговечностью [7]. В качестве заполнителя могут использоваться различные отходы растительного происхождения [8], в качестве частичной замены цемента — зола или глина [8, 9]. Ещё одной особенностью использования этого материала является использование только местного сырья. Так, в Канаде используют опилки канадского клёна [10], в Республике Беларусь — отходы сельскохозяйственной деятельности [11].

Всё больше уделяется внимания изучению структурно-механических свойств данного материала, в т.ч. прочности, модуля Юнга, модуля объёмного сжатия, теплопроводности, теплоёмкости и др. [6-12].

Основная часть. Одними из главных свойств, вызывающие такую популярность материала являются теплотехнические свойства. В работе [9] проводится изучение теплопроводности материала, факторов на неё влияющих.

При направленной укладке заполнителя, благодаря анизотропным свойствам древесины, вертикальное расположение древесного заполнителя позволит снизить теплопроводность арболита [13].

Теоретически это можно обосновать, основываясь на электротепловой аналогии по теории Максвелла-Бургена и вытекающей из нее формулы Рэлея-Оделевского [14]:

$$\lambda = K_1 \lambda_1 \frac{2\lambda_1 + \lambda_2 - 2\phi(\lambda_1 - \lambda_2)}{2\lambda_1 + \lambda_2 + \phi(\lambda_1 - \lambda_2)}, \quad (1)$$

где λ , λ_1 , λ_2 – соответственно коэффициенты теплопроводности дисперсной системы, дисперсной среды и дисперсной фазы ($\lambda_1 = 0,87$ Вт/м \cdot °С – теплопроводность цементного камня с учетом открытых и закрытых пор [14];

$\lambda_2 = 0,18$ Вт/м \cdot °С – древесный заполнитель при горизонтальной ориентации [146], $\lambda_1 = 0,09$ Вт/м \cdot °С – древесный заполнитель при вертикальной ориентации [15]); $\phi = 0,7$ – объемная концентрация заполнителя, определена в [16];

K_1 - поправочный коэффициент, позволяющий рассчитать теплопроводность системы с взаимопроницаемыми компонентами, к которым относится в частности цементный камень, в

зависимости от отношения λ_2 / λ_1 и объемной концентрации заполнителя ϕ [14] ($K_1 = 0,41$ - при горизонтальной ориентации древесного заполнителя, $K_1 = 0,35$ - при вертикальной ориентации древесного заполнителя).

Подставив все значения в формулу 1, получим коэффициент теплопроводности для арболита с горизонтальной ориентацией заполнителя:

$$\lambda = 0,41 \cdot 0,87 \cdot \frac{2 \cdot 0,87 + 0,18 - 2 \cdot 0,7 \cdot (0,87 - 0,18)}{2 \cdot 0,87 + 0,18 + 0,7 \cdot (0,87 - 0,18)} = 0,14 \text{ Вт/м} \cdot \text{°С}$$

Для арболита с вертикальной ориентацией заполнителя:

$$\lambda = 0,35 \cdot 0,87 \cdot \frac{2 \cdot 0,87 + 0,09 - 2 \cdot 0,7 \cdot (0,87 - 0,09)}{2 \cdot 0,87 + 0,09 + 0,7 \cdot (0,87 - 0,09)} = 0,09 \text{ Вт/м} \cdot \text{°С}$$

Нормативное значение коэффициента теплопроводности для арболита с беспорядочной ориентацией заполнителя составляет $0,12 \text{ Вт/м} \cdot \text{°С}$ [15]. Следовательно, при вертикальной ориентации древесного заполнителя возможно добиться снижения коэффициента теплопроводности на 25 %.

В статье [9] предложено использовать формулу для определения коэффициента теплопроводности с учётом пористости:

$$\lambda = \frac{(1 - \varepsilon_c) \lambda_{sm} + \varepsilon_c \cdot \lambda_{air}}{\tau_{dry}} \quad (2)$$

где ε_c – макропористость материала, %; λ_{sm} – коэффициент теплопроводности матрицы (цементного камня), $\text{Вт/м} \cdot \text{°С}$; λ_{air} – коэффициент теплопроводности воздуха (цементного камня), $\text{Вт/м} \cdot \text{°С}$; τ_{dry} – коэффициент, зависящий от размера древесного заполнителя.

Подставив данные полученные в [9, 14-16] в формулу 2 получим:

$$\lambda = \frac{(1 - 0,7) \cdot 0,4321 + 0,7 \cdot 0,0259}{1,5} = 0,09 \text{ Вт/м} \cdot \text{°С}$$

Таким образом, арболит с направленной укладкой заполнителя может обеспечить достаточно низкий коэффициент теплопроводности при конструкционной прочности, что подтверждается экспериментальными исследованиями [15].

Кроме того, в работах [17, 18], приводятся данные об уникальных свойствах арболита, благодаря его высокой теплоемкости. Так например, для стены толщиной 40 см для нагрева до 18 °С требуются следующие расходы энергии:

- бетон тяжелый с утеплителем — 10000 кДж;
- камни керамические с утеплителем — 9000 кДж;
- ячеистый бетон — 4000 кДж;
- арболит — 9000 кДж.

При сопоставимых расходах на нагрев с тяжелым бетоном и керамическими камнями арболит при этом удерживает (аккумулирует) теплоту в течении 27 часов. В то время как остальные материалы при отрицательной наружной температуре остывают до 0 °С через:

- бетон тяжелый с утеплителем — 6 часов;
- камни керамические с утеплителем — 9 часов;
- ячеистый бетон — 3 часа.

Таким образом, арболит является стеновым тепловым аккумулятором и требует значительно меньших энергетических затрат на создание и поддержание комфортных условий проживания. Т.е. остальные материалы при прочих равных условиях потребляют в течении суток больше энергии на:

- бетон тяжелый с утеплителем — 30000 кДж;
- камни керамические с утеплителем — 15000 кДж;
- ячеистый бетон — 25000 кДж.

С помощью теплотехнического калькулятора ограждающих конструкций [19] можно также подтвердить хорошие теплотехнические свойства арболита с направленной укладкой заполнителя.

На рисунке 1 представлен расчёт утепления и точки росы.

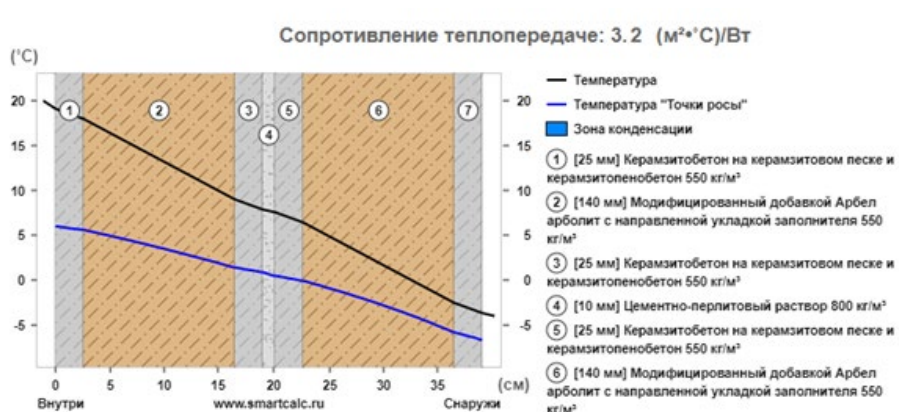


Рисунок 1 — Расчёт распределения температуры (верхняя кривая) и температуры точки росы (нижняя кривая) внутри стены из арболита с направленной укладкой заполнителя с отделочными слоями из керамзитобетона с кладкой блоков на цементно-перлитовый раствор

Как видно из рисунка 1 графики распределения температуры и температуры точки росы не пересекаются, следовательно влага не будет накапливаться внутри стены.

На рисунке 2 приведен расчет защиты от переувлажнения методом безразмерных величин. Расчёт показывает, что плоскость максимального увлажнения внутри стены не появляется, и слой ограждающей конструкции удовлетворяет нормам по защите от переувлажнения.

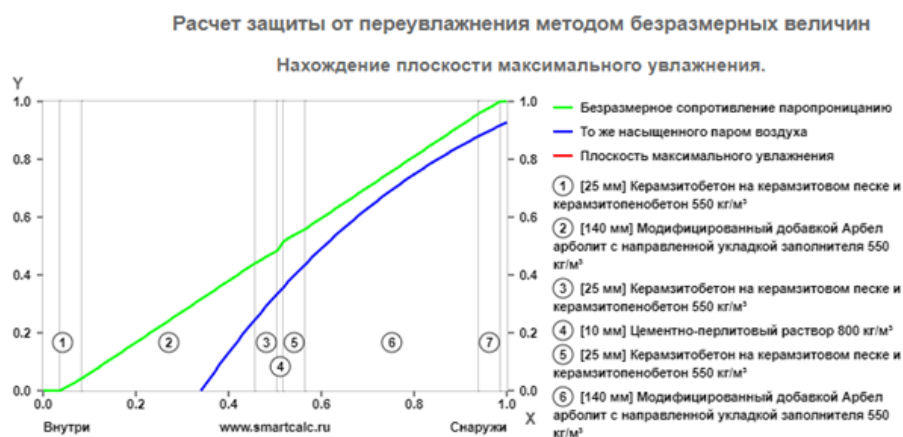


Рисунок 2 – Расчет защиты от переувлажнения методом безразмерных величин (верхняя кривая — безразмерное сопротивление паропроницанию, нижняя кривая - безразмерное сопротивление насыщенного паром воздуха) для арболита с направленной укладкой заполнителя с отделочными слоями из керамзитобетона с кладкой блоков на цементно-перлитовый раствор

На рисунке 3 выполнен расчёт тепловых потерь через квадратный метр ограждающей конструкции.

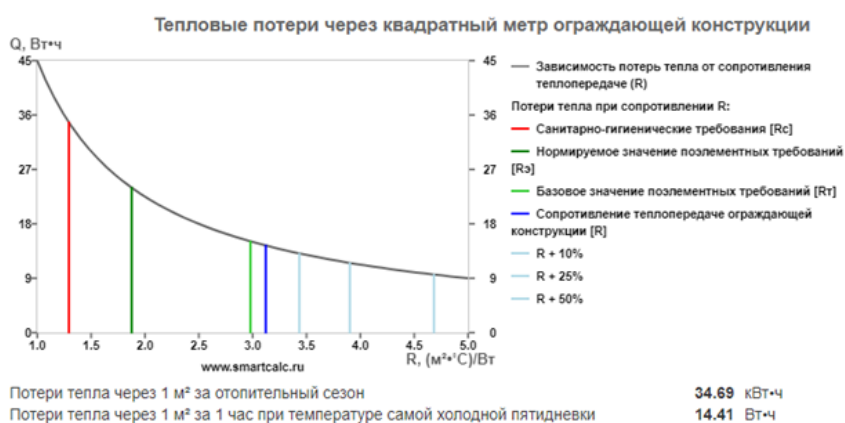


Рисунок 3 — Расчет тепловых потерь через квадратный метр для арболита с направленной укладкой заполнителя с отделочными слоями из керамзитобетона с кладкой блоков на цементно-перлитовый раствор

Расчёт подтверждает эффективность ограждающей конструкции из арболита с направленной укладкой заполнителя.

Расчёт выполненный в программе [20] позволяет определить основные теплотехнические свойства арболита с направленной укладкой заполнителя (рисунок 4).

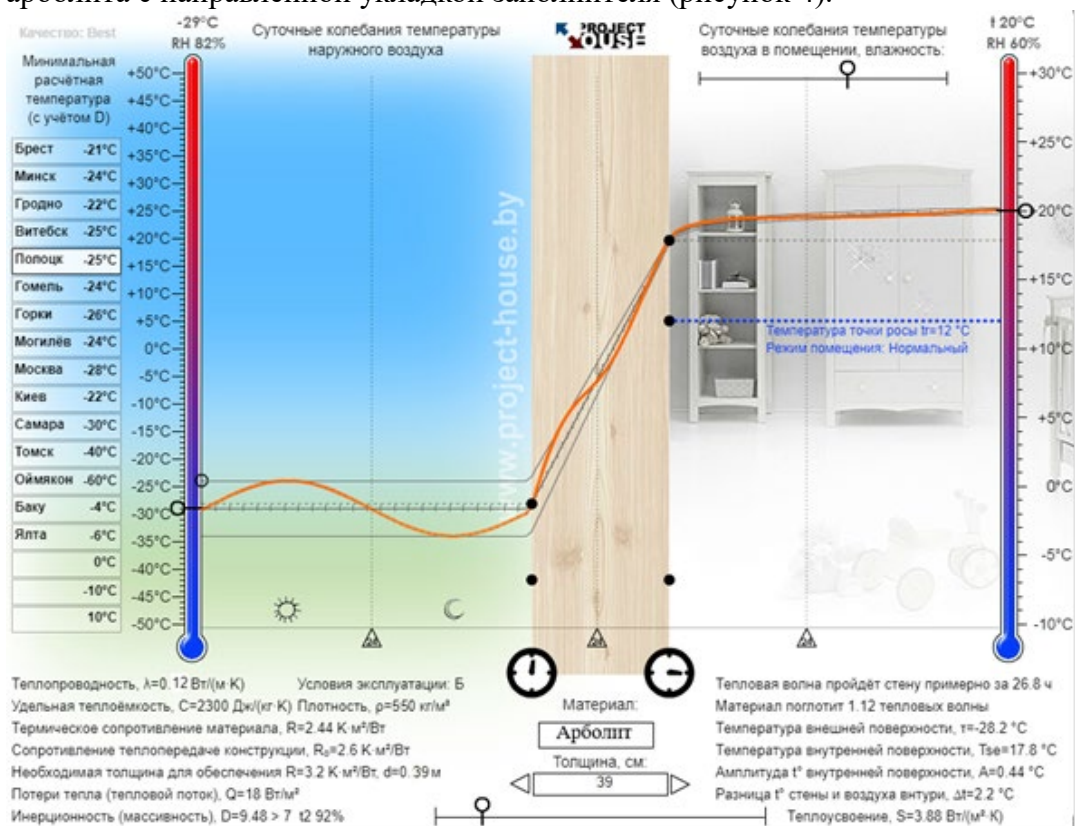


Рисунок 4 — Расчет определение основных теплотехнических свойств арболита с направленной укладкой заполнителя с отделочными слоями из керамзитобетона с кладкой блоков на цементно-перлитовый раствор

По всем приведённым выше показателям арболит с направленной укладкой заполнителя не только соответствует требованиям нормативных документов, но и по многим превосходит традиционные аналоги.

Закключение. Зеленое строительство значительно активизировало процесс поиска и изучения экологически чистых материалов. Зарубежные исследования подтверждают эффективность сочетания цемента и древесины. Направленная укладка заполнителя в арболите позволяет получить уникальный по своим теплотехническим свойствам материал с низкой теплопроводностью, конструкционной прочностью и высокой теплоемкостью, что подтверждается теоретическими и экспериментальными исследованиями. Такой материал в стеновой конструкции является не только несущим элементом, но и тепловым аккумулятором.

Список источников

1. Green Awards [Электронный ресурс] / Экологический стандарт BREEAM. – Режим доступа: <http://www.greenawards.ru/ru/green-awards-history/green>. – Дата доступа: 02.10.2018.
2. Журнал «Архитектура и строительство» [Электронный ресурс] / Зелёное строительство. – Режим доступа: <http://ais.by/article/zelenoe-stroitelstvo>. – Дата доступа: 02.10.2018.
3. Медицинский форум [Электронный ресурс] / Высота и здоровье. – Режим доступа: <https://www.medikforum.ru/medicine/61010-zhit-vyshe-7-etazha-opasno-dlya-zdorovya.html>. – Дата доступа: 02.10.2018.
4. Wilson, J. D. Modeling the effects of biological tissue on RF propagation from a wrist-worn device / J. D. Wilson, J. A. Blanco, S. Mazar, M. Bly // 36th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society. doi:10.1109/embc.2014.6944290. – 2014. – p. 3146-3149.

5. Правда-TV[Электронный ресурс] / Экология строительных материалов. – Режим доступа: <http://www.pravda-tv.ru/2013/03/11/22874/e-kologiya-stroitel-ny-h-materialov>. – Дата доступа: 02.10.2018.
6. Li, M. Mechanical characterization of concrete containing wood shavings as aggregates / M. Li, M. Khelifa, M. El Ganaoui // International Journal of Sustainable Built Environment. – 2017. – №6. – p. 587-596.
7. Coatanlem, P. Lightweight wood chipping concrete durability / P. Coatanlem, R. Jauberthie, F. Rendell // Construction and Building Materials. – 2006. – №20. – p. 776-781.
8. Chowdhury, S. The incorporation of wood waste ash as a partial cement replacement material for making structural grade concrete: An overview / S. Chowdhury, M. Mishra, O. Suganya // Ain Shams Engineering Journal. – 2015. – №6. – p. 429-437.
9. Bouguerra, A. Effect of microstructure on the mechanical and thermal properties of lightweight concrete prepared from clay, cement, and wood aggregates / A. Bouguerra, A. Ledhem, F. de Barquin, R.M. Dheilly, M. Que'neudec // Cement and Concrete Research. – 1998. – Vol. 28. - №8. – p. 1179-1190.
10. Koohestani, B. Experimental investigation of mechanical and microstructural properties of cemented paste backfill containing maple-wood filler / B. Koohestani, A. Koubaa, T. Belem, B. Bussière, H. Bouzahzah // Construction and Building Materials. – 2016. – №121. – p. 222-228.
11. Должнонок, А.В. Определение теплофизических свойств стеновых материалов на растительных заполнителях в климатической камере / А.В. Должнонок, Н.В. Давыденко, А.А. Бакатович // Архитектурно-строительный комплекс: проблемы, перспективы, инновации : электронный сборник статей международной научной конференции, посвященной 50-летию Полоцкого государственного университета, Новополоцк, 5–6 апр. 2018 г. / Полоцкий государственный университет ; под ред. А. А. Бакатовича, Л. М. Парфеновой. – Новополоцк, 2018. – С. 263–271.
12. Akkaoui, A. Experimental and micromechanical analysis of the elastic properties of wood-aggregate concrete / A. Akkaoui, S. Caré, M. Vandamme // Construction and Building Materials. – 2017. – №134. – p. 346-357.
13. Ягубкин, А.Н. Модифицированный арболит с направленной укладкой заполнителя как стеновой тепловой аккумулятор / А.Н. Ягубкин // Архитектурно-строительный комплекс: проблемы, перспективы, инновации : электронный сборник статей международной научной конференции, посвященной 50-летию Полоцкого государственного университета, Новополоцк, 5–6 апр. 2018 г. / Полоцкий государственный университет ; под ред. А. А. Бакатовича, Л. М. Парфеновой. – Новополоцк, 2018. – С. 281–288.
14. Довжик В.Г. Учет эксплуатационной влажности бетонов при расчете и нормировании их теплопроводности / В.Г.Довжик // Бетон и железобетон. – 2008. – № 3. – С. 6–10.
15. Строительная теплотехника. Строительные нормы проектирования: ТКП 45-2.04-43-2006. – Введ. 01.07.2007. - Минск.: Минстройарх, 2007. – 35 с.
16. Ягубкин, А.Н. Инновационный конструкционно-теплоизоляционный арболит с заданными свойствами / А.Н. Ягубкин // Материалы IV международной научно-практической конференции «Методология и принципы ценообразования в строительстве. Инновационные технологии в строительной отрасли и их внедрение. ВІМ-технологии», Минск, 24-25 мая 2017г. / РУП "РНТЦ"; редкол.: Кручанова Л.Ф. и др. – Минск, 2017. – С.68-70.
17. Наназашвили, И.Х. Строительные материалы из древесно-цементной композиции / И.Х. Наназашвили. – 2-е изд., перераб. и доп. – Л.: Стройиздат, 1990. – 415 с.: ил.
18. Бужевич, Г.А. Арболит / Г.А. Бужевич. – М.: Изд-во литер. по строительству, 1968. – 244 с.
19. Онлайн калькуляторы теплотехники ограждающих конструкций [Электронный ресурс] / Теплотехнический калькулятор. – Режим доступа: <https://www.smartcalc.ru>. – Дата доступа: 02.10.2018.
20. Project - House [Электронный ресурс] / Теплоёмкость, теплоусвоение и инерция. – Режим доступа: <https://www.project-house.by/heat-capacity>. – Дата доступа: 02.10.2018.