

УДК 666.973.2

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ АРБОЛИТА В ЭКОНОМИКЕ ЗАМКНУТОГО ЦИКЛА

*А.Н. Ягубкин, В.А. Алексин, Е.С. Власов, М.С. Кузьмина*

Полоцкий государственный университет имени Евфросинии Полоцкой, Республика Беларусь  
e-mail: [a.yagubkin@psu.by](mailto:a.yagubkin@psu.by)

*Экономика замкнутого цикла постепенно привлекает внимание научных и политических сообществ к поддержке разработки продуктов с большим количеством повторно используемых или восстановленных материалов, чтобы максимизировать эффективность использования ресурсов. В развивающихся странах растительные (или биологические) отходы образуются в больших количествах в сельскохозяйственной и лесной промышленности, а в некоторых случаях они просто сжигаются без какой-либо рекуперации энергии. Кроме того, общепринятой практикой является то, что процесс горения происходит на открытых пространствах, что приводит к негативным последствиям для окружающей среды и здоровья человека. Производство арболита как элемента экономики замкнутого цикла открывает новые перспективы для данного материала и рынка строительных материалов в целом. Дальнейшим направлением работы будет являться расчёт экологического эффекта от производства и эксплуатации изделий из арболита.*

**Ключевые слова:** *арболит, экономика замкнутого цикла, экономика строительства, стоимость, теплотехника, энергия, эффект*

## BIM-TECHNOLOGIES IN THE CONSTRUCTION ECONOMY

*A. Yagubkin, V. Aleksin, E. Vlasov, M. Kuzmina*

Euphrosyne Polotskaya State University of Polotsk, Republic of Belarus  
e-mail: [a.yagubkin@psu.by](mailto:a.yagubkin@psu.by)

*The circular economy is gradually attracting the attention of the scientific and political communities to support the development of products with more reusable or recovered materials in order to maximize resource efficiency. In developing countries, plant (or biological) wastes are generated in large quantities in the agricultural and forestry industries, and in some cases they are simply incinerated without any energy recovery. In addition, it is common practice that the combustion process takes place in open spaces, which leads to negative consequences for the environment and human health. The production of wood concrete as an element of the circular economy opens up new prospects for this material and the building materials market as a whole. A further direction of work will be the calculation of the environmental effect from the production and operation of wood concrete products.*

**Keywords:** *wood concrete, circular economy, construction economics, cost, heat engineering, energy, effect.*

**Введение.** Экономика замкнутого цикла постепенно привлекает внимание научных и политических сообществ к поддержке разработки продуктов с большим количеством повторно используемых или восстановленных материалов, чтобы максимизировать эффективность использования ресурсов. В развивающихся странах растительные (или биологические) отходы образуются в больших количествах в сельскохозяйственной и лесной промышленности, а в некоторых случаях они просто сжигаются без какой-либо рекуперации энергии. Кроме того, общепринятой практикой является то, что процесс горения происходит на открытых пространствах, что приводит к негативным последствиям для окружающей среды и здоровья человека [1, 2].

**Основная часть.** В стратегии экономики замкнутого цикла использование отходов в качестве сырья может быть ограничено в зависимости от их доступности и вида необходимой обработки. Хотя некоторые исследования [3-5] указывают на то, что основными ограничениями для распространения экономики замкнутого цикла являются нормативные и политические барьеры, с технической точки зрения повторное использование/переработка отходов может быть ограничена, главным образом, процессами переработки, местной доступностью и высокими транспортными расходами. Таким образом, эти аспекты должны быть определены количественно и оценены, чтобы оценить экологическую осуществимость повторного использования отходов и оценить, является ли использование первичных источников более выгодным.

Оценка жизненного цикла может быть очень полезным инструментом для измерения воздействия на окружающую среду, особенно изменения климата и смягчения последствий выбросов парниковых газов. Она считается надежным способом количественной оценки и оценки потенциального воздействия продуктов, процессов и услуг на окружающую среду на протяжении всего их жизненного цикла и широко используется в строительном секторе. В последние годы её использование стало привлекать внимание при оценке стратегий экономики замкнутого цикла, применяемых в строительном секторе для оценки преимуществ с точки зрения стратегий смягчения последствий изменения климата. Особый интерес представляет использование переработанных отходов строительства и сноса.

Проанализировав литературу [1–5], касающуюся экономики замкнутого цикла в строительном секторе с точки зрения смягчения последствий изменения климата, можно прийти к выводу, что, хотя замыкание контуров может быть хорошей стратегией с точки зрения сокращения выбросов парниковых газов, это сильно зависит от типа и эффективности процесса переработки и расстояния транспортировки.

Бетон является преобладающим материалом в строительном секторе в большинстве стран из-за его доступности, низкой стоимости, хороших характеристик и долговечности. Производство бетона привлекло особое внимание в исследованиях оценке жизненного цикла и экономики замкнутого цикла, исследуя в основном использование отходов для замены цемента или заполнителей. Большинство исследований указывают на то, что замена некоторых компонентов бетона, особенно портландцемента, снижает воздействие на окружающую среду, включая глобальное потепление. 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].

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 °C 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.

На рисунке 1 представлен теплотехнический расчёт стеновой конструкции из арболита (с помощью теплотехнического калькулятора ограждающих конструкций [19]).

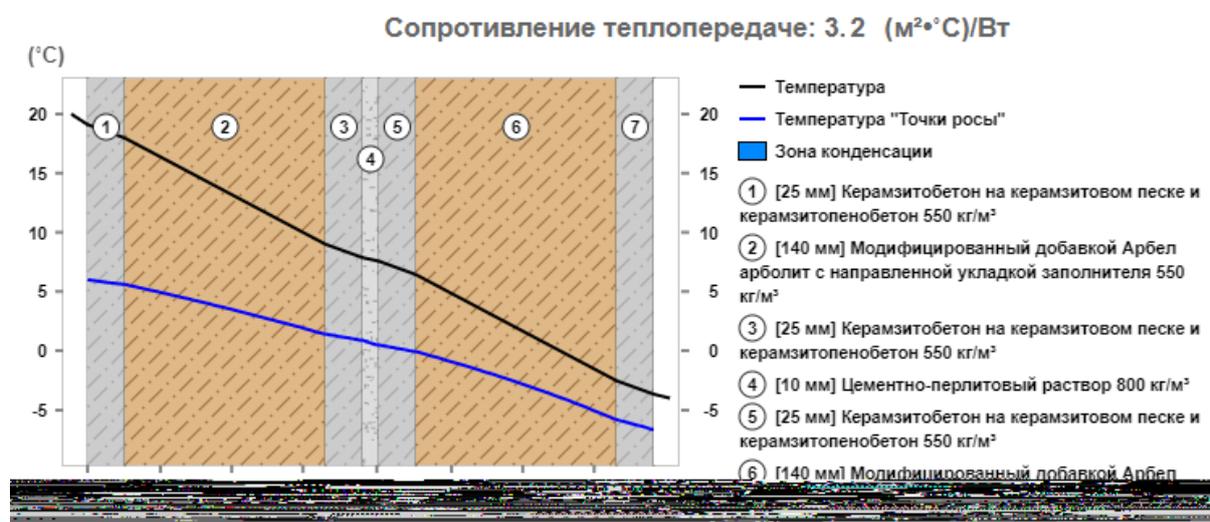


Рисунок 1. – Расчёт распределения температуры (верхняя кривая) и температуры точки росы (нижняя кривая) внутри стены из арболита с направленной укладкой заполнителя с отделочными слоями из керамзитобетона с кладкой блоков на цементно-перлитовый раствор

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

**Заключение.** Производство арболита как элемента экономики замкнутого цикла открывает новые перспективы для данного материала и рынка строительных материалов в целом. Дальнейшим направлением работы будет являться расчёт экологического эффекта от производства и эксплуатации изделий из арболита.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Gutkowski, R. Laboratory tests of composite wood–concrete beams / R. Gutkowski, K. Brown, A. Shigidi, J. Natterer // Construction and Building Materials. – 2008. – №22. – p. 1059-1066.
2. LeBorgne, M.R. Effects of various admixtures and shear keys in wood–concrete composite beams / M.R. LeBorgne, R. Gutkowski // Construction and Building Materials. – 2010. – №24. – p. 1730-1738.

3. Kevern, T.T. Effects of macrosynthetic fibers on pervious concrete properties / T.T. Kevern, D. Biddle, Q. Cao // *J Mater. Civ. Eng.* – 2015. - №27. – P. 9.
4. 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.
5. Okino, E.Y.A. Cement-bonded wood particleboard with a mixture of eucalypt and rubberwood / E.Y.A. Okino, Mario R. de Souza, Marcos A.E. Santana, Marcus V. da S. Alves, Maria Eliete de Sousa, Divino E. Teixeira // *Cement & Concrete Composites.* – 2004. – №26. – p. 729-734.
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. Dheilily, 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. Долгонож, А.В. Определение теплофизических свойств стеновых материалов на растительных заполнителях в климатической камере / А.В. Долгонож, 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. BIM-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. Бужевиц, Г.А. Арболит / Г.А. Бужевиц. – 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: 02.05.2022.