

УДК 691.316

**ЭФФЕКТИВНЫЕ СТЕНОВЫЕ КОМПОЗИТНЫЕ МАТЕРИАЛЫ  
С ПОВЫШЕННЫМ УРОВНЕМ ЭКОЛОГИЧНОСТИ****А.И. ПИКУЛА***(Брестский государственный технический университет)*

*Рассматриваются основные предпосылки для развития направлений по созданию и применению теплоизоляционных стеновых материалов с меньшим по сравнению с традиционными негативным влиянием на экологию. Показаны недостатки полимерных теплоизоляционных материалов, а также материалов на цементно-известковом вяжущем различных способов твердения. Приведен вариант расчета времени окупаемости наиболее распространенных теплоизоляционных материалов по их средневзвешенной стоимости, стоимости топливно-энергетических ресурсов, среднемесячным температурам для рассматриваемого отопительного сезона. Представлены варианты разработанных экологичных составов композитных теплоизоляционных материалов на альтернативных вяжущих. После адаптации к местным сырьевым ресурсам конкретного региона эти материалы будут перспективны для экологичного каркасного домостроения.*

Сегодня, учитывая всё возрастающее давление на природные процессы вследствие развития технологий и так называемого пассивного эволюционирования человечества, экологический след становится все более видимым и зачастую необратимым.

Экологичность любых материалов не является статическим, не изменяющимся во времени свойством, а показывает лишь степень или ступень изученности данного направления человеком в сложившихся условиях развития цивилизации. Например, обычный цемент ещё в начале прошлого столетия считался экологичным материалом, и лишь по мере изучения всего круговорота веществ и потоков энергии в природе, экологического мониторинга полного жизненного цикла материала его статус сменился на негативный. Строительство – одна из наиболее энергоёмких сфер человеческой деятельности, локомотив экономики большинства государств и вместе с этим источник большей части неблагоприятных экологических последствий для мировых и локальных экосистем.

**Основная часть.** В настоящее время наиболее эффективными из разработанных и применяемых в строительстве теплоизоляционных материалов являются полимерные. Возможность получения очень низких плотностей за счёт заключения воздуха в микропоры с тончайшими перегородками и снижающиеся цены (как результат развития промышленного производства) делают эти материалы на первый взгляд лидерами в применении. Однако главное препятствие на пути их повсеместного использования в развитых странах – низкая экологичность сырья, производства, самого материала либо продуктов его разложения. Причём в случае именно с полимерными материалами последствия их производства либо применения начинают проявляться спустя длительное время. Это связано с токсическим действием микродоз, определение влияния которых является дорогостоящим и сложным. Поэтому многие из полимеров или добавок к ним, применяемых сегодня при производстве строительных материалов и изделий, имеют высокий риск (уже доказанный либо изучаемый) негативного влияния на человека и должны применяться с высокой осторожностью. Например, наиболее токсичные, запрещённые в некоторых странах, но до сих пор применяемые пластификаторы для пластмасс на основе фталатов, добавки антипирена гексабромциклододекан [1; 2], как и любой полимер, имеют множество вариантов негативного воздействия на экологию, а следовательно и на человека. Полностью безопасных полимеров нет, поэтому важен вопрос их изучения.

Другими, менее эффективными, но широко распространёнными и недорогими теплоизоляционными материалами являются ячеистые бетоны на основе цемента либо извести автоклавного твердения. Эти материалы оказывают более предсказуемое влияние за счёт гораздо меньшей токсикологической активности, однако влияют на экологию большим количеством загрязняющих выбросов, сопровождающих их жизненный цикл (например, для теплоизоляции 1 м<sup>2</sup> стены до стандартных значений ( $R = 3,2 \text{ м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$ ) необходимо 2,5 кг полистирола плотностью 20 кг/м<sup>3</sup> либо 250 кг газосиликата с плотностью 550 кг/м<sup>3</sup>), имея так называемый большой углеродный след. Основной загрязнитель – цемент, при изготовлении 1 тонны которого в атмосферу выбрасывается от 500 до 1000 кг CO<sub>2</sub> и других газов в зависимости от технологии производства. Соответственно, составляемая для них экологическая оценка жизненного цикла LCA (Life-cycle assessment) в соответствии с европейскими нормами DIN ISO 14040 [3] и базой данных Ecoinvent [4] не является удовлетворительной для продолжения их использования по многим показателям. Цемент содержится во многих ячеистых бетонах, его добавляют в значительных коли-

чествах (до 25 %) и в газосиликат для упрощения технологии производства и ускорения набора пластической прочности сырьем, что делает эти материалы опасными для экологии, учитывая всю технологию их производства.

При оценке воздействия жизненного цикла LCA таких материалов может использоваться метод CML [5]. Метод учитывает различные воздействия на окружающую среду с соответствующими экологическими показателями эффективности. Для такого сравнения выделяются два основных экологических показателя:

1) GWP (потенциал глобального потепления, эквивалент кг CO<sub>2</sub>) учитывает все выбросы газов (CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O и др.), которые содействуют парниковому эффекту;

2) ADP (абиотический потенциал истощения ресурсов, кг эквивалент Sb (кг)) используется как индикатор потребления природных, неживых, невозобновляемых ресурсов (например, металлические руды, сырая нефть).

В зависимости от вида строительных материалов в экологический баланс также включаются разные наборы показателей, таких как подкисление, экологическая токсичность, эвтрофикация, ионизирующее излучение, разрушение озонового слоя и др.

Общим фактором для двух вышеперечисленных групп материалов, который должен приниматься во внимание в первую очередь, является стоимость положительного эффекта (экономия энергоресурсов) при их использовании. То есть потребителю важно знать, за какое время его теплоизоляция окупится и начнет приносить прибыль в виде сэкономленных энергоресурсов. Если принять среднюю стоимость материалов и работ по устройству теплоизоляции для Беларуси на уровне 30 у.е./м<sup>2</sup>, условия теплообмена в соответствии с требованиями ТКП 45-2.04-43-2006 [6] и увеличение коэффициента сопротивления теплопередачи стены за счёт теплоизоляции на  $R = 2,3 \text{ м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$ , то при условиях отопительного периода (2014–2015 гг.) этот период может составить 19 и более лет (рис. 1). А при возможности альтернативного использования не вложенных в теплоизоляцию средств и в 2–3 раза больше. Безусловно, при таких условиях эксплуатации ограждающих конструкций возникают другие вопросы, но тем не менее этот срок заставляет задуматься о стоимости, безопасности и общей эффективности использования наиболее распространённой сегодня теплоизоляции в жилых зданиях.

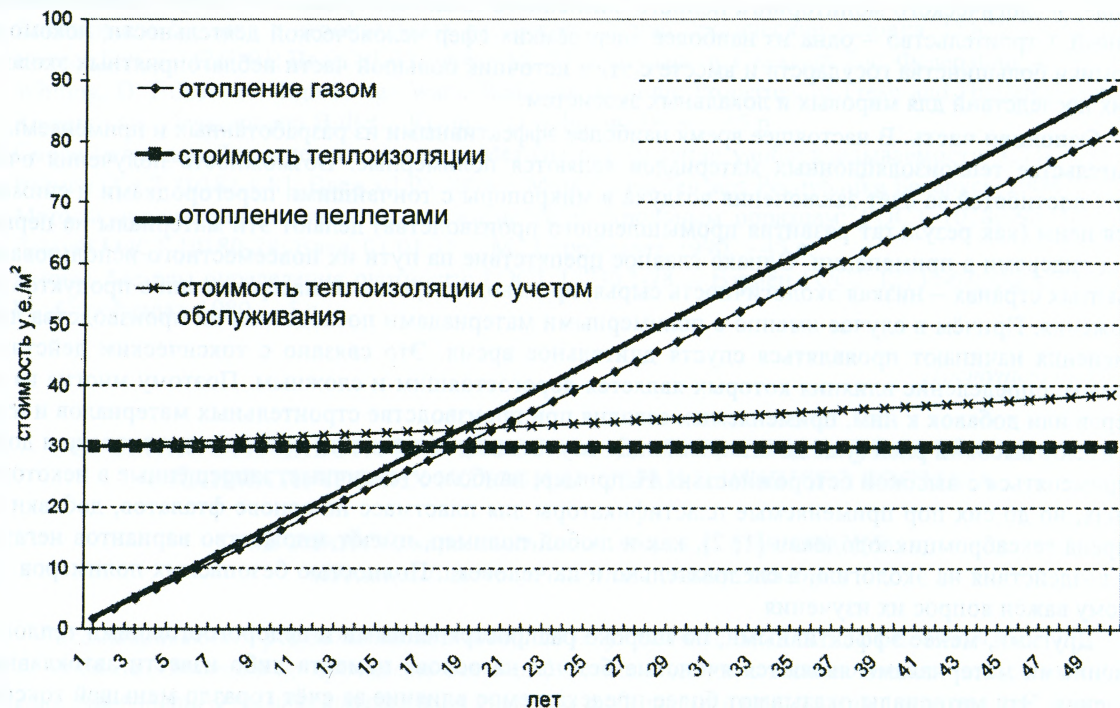


Рис. 1. Соотношение стоимости создания и обслуживания полимерной или ячеистобетонной теплоизоляции со стоимостью сэкономленных энергоресурсов при отоплении древесными пеллетами или газом

Основные направления для получения наиболее экологичных и наиболее быстро окупаемых теплоизоляционных материалов по сравнению с полимерными или ячеистыми с применением минеральных вяжущих:

- применение отходов производства;
- применение растительных волокнистых наполнителей;
- применение неавтоклавных известково-силикатных композиций или щелочно-активированных вяжущих (геополимеров).

Использование отходов производства может осуществляться в местах, где имеются побочные вещества различных производств, содержащие в значительном количестве Al, Si, Ca, щёлочь. Это отходы химических производств, воздухоочистки, водоочистки, шлаки, золы, нетехнологичные глины, побочные горные породы, отходы стеклообработки, отходы керамической промышленности, силикатных производств. А также щелочестойкие волокнистые полимерные материалы, минеральные волокна, отходы органических волокон. Применение таких материалов в строительстве может идти по двум направлениям:

- 1) пассивное (утилизация отходов, изменение физических свойств с незначительным влиянием на механические характеристики);
- 2) активное (участие в химических процессах как вяжущее со значительным изменением физико-механических свойств, придание специальных свойств).

Первое направление в редких случаях позволяет использовать хотя бы половину потенциала материалов либо вложенных в них ресурсов, поэтому основным современным направлением является именно использование их в качестве активных компонентов, например, как одних из компонентов, участвующих в процессах твердения (вяжущих).

В качестве растительных волокнистых наполнителей может использоваться рубленая солома злаковых культур ржи (наиболее стойкая), пшеницы, овса и ячменя, являющаяся многотоннажным отходом производственной деятельности сельскохозяйственных предприятий Республики Беларусь, которые обычно заготавливают её с избытком и не успевают всю использовать. Солома представляет собой сухие стебли злаковых зерновых культур, остатки соцветий, остающиеся после обмолота, а также стебли льна и других растений, освобождённые от листьев, соцветий, семян.

Применение щелочно-активированных вяжущих или геополимеров – наиболее перспективное направление строительного материаловедения, особенно в плане экологии. Это вещества, производимые на основе различных алюминий- и кремнийсодержащих сырьевых композиций или отходов производств (например, шлак, зола), которые позволяют получать материалы, имеющие показатели, равные или даже лучше, чем у материалов на основе цементов. Причем это материалы со значительно (по отдельным показателям на 40...60 %) меньшим негативным влиянием на окружающую среду и с меньшей себестоимостью (на 10...30 %).

Широко представлен европейский опыт применения геополимеров. Приведём лишь небольшой список фирм, имеющих практический задел в этой области: Renotech (Финляндия); Camfil HQ (Швеция); Ryomeral (Франция); Techn. Og Geopolymer (Чешская Республика); F. Willich GmbH (Германия); BPS-Zwickau (Германия); Keraguss (Германия); MC Bauchemie (Германия) и др.

Из основных проблем создания и применения геополимеров необходимо выделить такие, как значительная усадка; большая водопотребность для создания нужной степени пластичности; крайне малые либо сильно растянутые во времени сроки твердения (в зависимости от сырья и технологии).

Однако все эти недостатки при изготовлении малопрочных теплоизоляционных материалов не являются критическими и компенсируются более высокой экологичностью и долговечностью.

В этой связи рассмотрим материалы, которые удалось получить в лабораторных и полевых условиях.

**Композитный конструкционно-теплоизоляционный фибробетон с органическими фибровыми наполнителями растительного происхождения.** В принципе этот материал (рис. 2) может рассматриваться как современный аналог самана (саманного кирпича), лемпача, используемого с давних времён для строительства мазанок. Саманный кирпич изготавливался из глины с примесью соломы и добавок, улучшающих свойства композита.

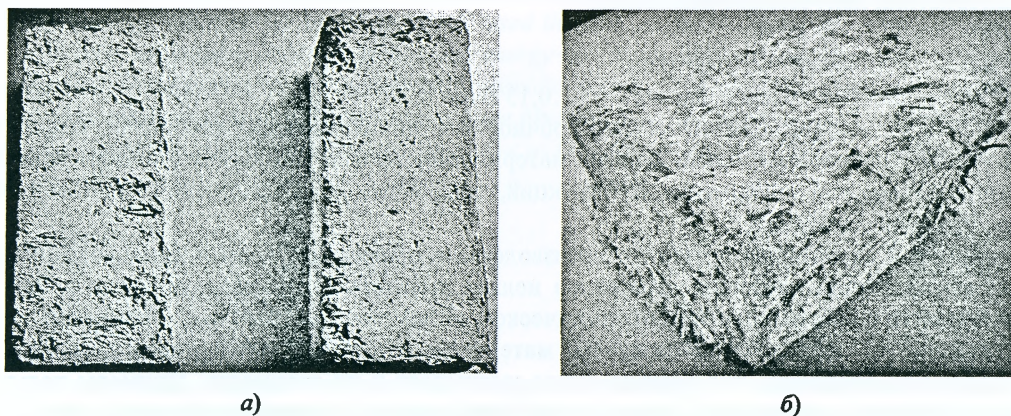


Рис. 2. Образцы из конструкционно-теплоизоляционного фибробетона с органическими фибровыми наполнителями растительного происхождения: а – изготовленные в формах; б – выпиленный из массива

В настоящее время для изготовления данного композита можно использовать адаптированные к местным ресурсам составы, содержащие глинистую суспензию либо метаксаолин, известь гидратную, известь воздушную негашеную, мелкий либо молотый кварцевый песок (кремнийсодержащие мелкодисперсные отходы), костру льна и (или) рубленую солому (до 70 мм), жидкое стекло, щёлочь (при необходимости). Из технологии его производства отметим промывку, разволокнение и первичное насыщение растительных наполнителей водой с минерализатором, а также использование качественной активной извести и реакционноспособного алюминий- и кремнийсодержащего компонента (глины или метаксаолина), что требует начальной оптимизации в различных новых условиях по массовому составу.

Характеристики полученного композита: плотность 600...850 кг/м<sup>3</sup>; прочность при сжатии 1,5...2,5 МПа; теплопроводность в сухом состоянии 0,16...0,21 Вт/м·°С. Этот состав конструкционно-теплоизоляционного материала характеризуется прочностью, достаточной для восприятия не только собственного веса, но и дополнительных нагрузок. Время достижения равновесной влажности в летний период 7...14 солнечных дней при толщине блоков до 25 см.

Еще одним перспективным материалом является неавтоклавный газифибробетон на смешанном вяжущем с органическими фибровыми наполнителями. Это более пористый по сравнению с фибробетоном с органическими фибровыми наполнителями растительного происхождения, эффективный теплоизоляционный композит (рис. 3), который также можно получить, используя вышеприведенное сырьё с добавкой газообразователя, алюминиевой пудры. Однако для закрепления начальной структуры и компенсации значительной усадки, возникающей вследствие большого водотвёрдого отношения (В/Т), в данный композит необходимо вводить небольшое количество цемента (15...20 %), что несколько ухудшает экологические показатели получаемого материала, но позволяет получить приемлемые усадочные деформации.

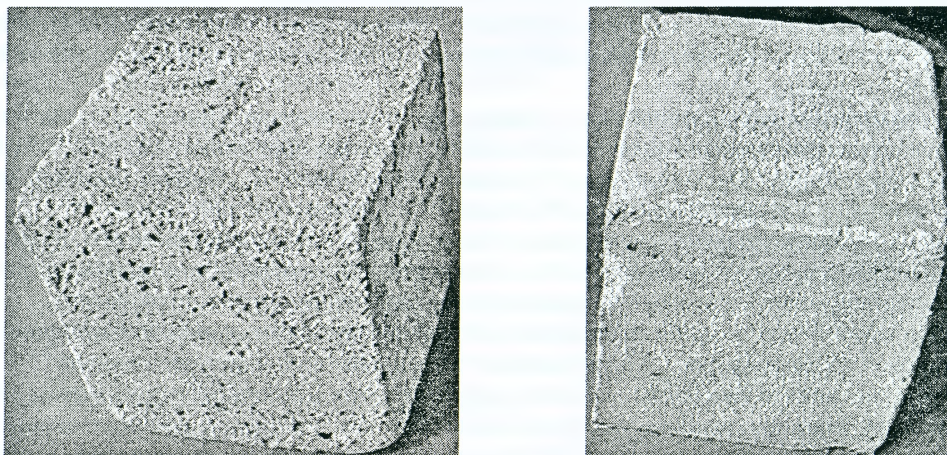


Рис. 3. Образцы из неавтоклавного газифибробетона на смешанном вяжущем с органическими фибровыми наполнителями растительного происхождения различных составов

Характеристики полученного композита:

- плотность 350...550 кг/м<sup>3</sup>;
- прочность при сжатии 0,3...0,6 МПа;
- теплопроводность в сухом состоянии 0,1...0,15 Вт/м·°С.

Этот состав характеризуется небольшой прочностью, достаточной для восприятия только собственного веса теплоизоляционного слоя. Данный материал можно использовать для изготовления стеновых не несущих блоков или монолитных конструкций, заливаемых непосредственно на объекте ограниченными по размерам захватками.

**Заключение.** Современное состояние производства и применения многих теплоизоляционных и конструкционно-теплоизоляционных материалов нельзя признать удовлетворительным в плане воздействия на экологию, долговечности и экономической эффективности. Поэтому сегодня необходимо развивать технологии, позволяющие получать материалы с аналогичными характеристиками при меньшем влиянии на экологию, что обычно также уменьшает и их стоимость. Примеры полученных композитов не являются идеальными, однако после оптимизации и привязки составов к местным глинистым ресурсам и имеющимся алюминий-, кремний-, кальцийсодержащим отходам производства они могут быть отличной эффективной, экологичной и недорогой альтернативой наиболее распространенным материалам. При этом более плотный фибробетон можно использовать для внутренних слоев ог-

раждающих конструкций, повышая таким образом теплоёмкость помещений, а менее плотный газобетон – для наружных теплоизоляционных слоев.

Конечно, серийное производство изделий на основе таких материалов создать труднее ввиду более сложной в организационном плане технологии, требующей большего внимания и квалификации специалистов, хотя бы на начальном этапе привязки к местным сырьевым ресурсам. Однако для того чтобы последующие поколения имели в плане экологии хотя бы то, что мы имеем сейчас, необходимо перейти от описания экологических проблем к их решению, причём на самом начальном уровне любого строительного (и не только) производства.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://chm.pops.int/Portals/0/download.aspx?d=UNEP-POPS-POPRC8FU-COMM-LE-HBCD-Recommend.Ru.pdf>.
2. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.allbeton.ru/wiki/> Гексабромциклододекан + характеристика + рисков/.
3. Environmental management – Life cycle assessment – Principles and framework. International Organization for Standardization: ISO 14040 (2006).
4. Ecoinvent (2010). Database. Ecoinvent version 2.1.
5. Guinée (2001): Life cycle assessment. An operational guide to the ISO standards. Part 1: LCA in perspective. Part 2a: Guide. Part 2b: Operational annex. Part 3: Scientific Background. Ministry of Housing, Spatial Planning and the Environment (VROM) and Centre of Environmental Science, Leiden, Niederlande
6. Строительная теплотехника. Строительные нормы проектирования: ТКП 45-2.04-43-2006. –

Работа выполнялась в рамках проекта «Разработка технологии для строительства экологически чистых и энергоэффективных домов с композитными наполняемыми конструкциями» (регистрационный номер – IPBU.02.01.00-06-704/11-00), реализуемого в рамках программы трансграничного сотрудничества «Польша – Беларусь – Украина 2007-2013».

В реализации проекта принимали участие Учреждение образования «Брестский государственный технический университет» (г. Брест, Беларусь) и Высшая государственная школа им. Папы Иоанна Павла II (г. Бяла-Подляска, Польша).

Поступила 25.05.2015

#### EFFECTIVE WALL COMPOSITE MATERIALS WITH A HIGH LEVEL OF ENVIRONMENTAL FRIENDLINESS

A. PIKULA

*Today lower environmental impacts and improved thermal insulation performance of innovative composite solutions are in building construction priority. The paper studies disadvantages in the usage of polymeric insulating materials, as well as materials on cement-lime different methods of hardening binder. The results in calculating the payback time for the most widely used thermal insulating materials were introduced in accordance with their weighted average cost, fuel and energy resources cost, and the average monthly temperatures during the last heating season. The article also provides eco-friendly composite thermal insulation materials designed as an alternative to traditional cement-lime binders. When adapted to local raw material resources of a particular region the designed materials can prove to be a promising material for eco-friendly timber frame housing construction in the Republic of Belarus.*