

АКТУАЛЬНОСТЬ СОЗДАНИЯ АЛЬТЕРНАТИВНЫХ ЭКОЛОГИЧНЫХ КОМПОЗИТНЫХ МАТЕРИАЛОВ

ПИКУЛА А.И.

Брестский государственный технический университет
Брест, Беларусь

Необходимость создания альтернативных строительных материалов является актуальным направлением технологии строительного производства, которое позволит уменьшить стоимость строительства и улучшить экологическую обстановку на планете в целом.

Жизненный цикл строительных материалов – последовательный и взаимосвязанный эффект от продукта, учитывающий все направления влияния, начиная с извлечения из природных ресурсов и до окончательного захоронения с ликвидацией всех последствий их применения. В настоящее время жизненный цикл является очень длительным, с большим количеством стохастических составляющих, усиливающих вероятность повреждения естественных экосистем. По различным оценкам последствия применения наиболее распространенных строительных материалов оказывают существенное влияние на окружающую среду в течении 3 – 500 лет после начала их производства, и за счет наложения на другие факторы приводят к значительным негативным воздействиям на экологию.

Сегодня, учитывая всё возрастающее давление на природные процессы «благодаря» развитию технологий и так называемого пассивного эволюционирования человечества, его экологический след становится все более тяжелым, необратимым и на первый взгляд незаметным. Причем в ряде случаев вреднее для природы и человека не означает дешевле для потребителя, просто так удобней для технологии и проще для исполнителей.

Экологичность любых материалов не является статическим, не изменяющемся 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 ма-

териалом, 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 является одной из наиболее энергоёмких сфер человеческой деятельности, локомотивом экономики большинства государств и, вместе с этим, источником большой части неблагоприятных экологических последствий для мировых и локальных экосистем.

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 фаворитами для любого применения. Однако главным препятствием на пути их повсеместного использования в развитых странах является низкая экологичность сырья, производства, самого материала либо продуктов его разложения. Причём, в случае именно с полимерными материалами (которые не безосновательно называют убийцами всего человечества) последствия их производства либо применения начинают выявляться только спустя значительное время, что связано с токсическим действием микродоз, выявление влияния которых является очень дорогим и сложным. Поэтому многие из полимеров или добавок, применяемых сегодня для производства 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 антипирены гексабромциклододекан [1], [2], да и любой полимер, имеют множество вариантов негативного воздействия на экологию. Безопасных полимеров нет, есть плохо изученные полимеры.

Другими, менее эффективными, но широко распространёнными недорогими теплоизоляционными материалами являются ячеистые бетоны на основе цемента либо извести автоклавного твердения. Эти материалы имеют более предсказуемое влияние за счёт гораздо меньшей токсикологической активности, однако влияют на экологию.

гию большим количеством загрязняющих выбросов, сопровождающих их жизненный цикл (например, для теплоизоляции 1 м^2 стены до стандартных значений ($R=3.2 \text{ м}^2\text{С/Вт}$) необходимо $2,5 \text{ кг}$ полистирола плотностью 20 кг/м^3 либо 250 кг газосиликата с плотностью 550 кг/м^3), имея так называемый большой углеродный след. Основным загрязнителем является цемент, при изготовлении 1 т которого в атмосферу выбрасывается от 500 до 1000 кг CO_2 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. 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_2) учитывает все выбросы газов (например, CO_2 , CH_4 , N_2O и других), которые содействуют парниковому эффекту.

2. ADP (абиотический потенциал истощения ресурсов, $\text{кг эквивалент Sb (кг)}$) используется как индикатор потребления природных, не живых, не возобновляемых ресурсов (например, металлические руды, сырая нефть).

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

Цемент содержится во многих ячеистых бетонах, его добавляют в значительных количествах (до 25%) и в газосиликат для упрощения технологии производства и ускорения набора пластической прочности сырцом, что делает эти материалы опасными для экологии и человека, учитывая всю технологию их производства.

Общим фактором для 2 ранее перечисленных 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 сколько

времени его теплоизоляция окупится и начнёт приносить прибыль в виде сэкономленных энергоресурсов. Если принять среднюю стоимость материалов и работ по устройству теплоизоляции для Республики Беларусь на уровне 30 у.е./м², условия теплообмена в соответствии с требованиями ТКП 45-2.04-43-2006 [6], и увеличении коэффициента сопротивления теплопередачи стены за счёт теплоизоляции на $R=2,4\text{ м}^2\text{С/Вт}$, то при условиях последнего отопительного периода (2014-2015г.) срок может составить 18 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. Причем проводимые в настоящее время обследования зданий с утеплителем из пенополистирола показывают в ряде случаев его значительную потерю свойств (более 50%) через 8-12 лет и, даже создание опасных условий для жизни людей (сырость, плесень, разрушение стен и т.д.).

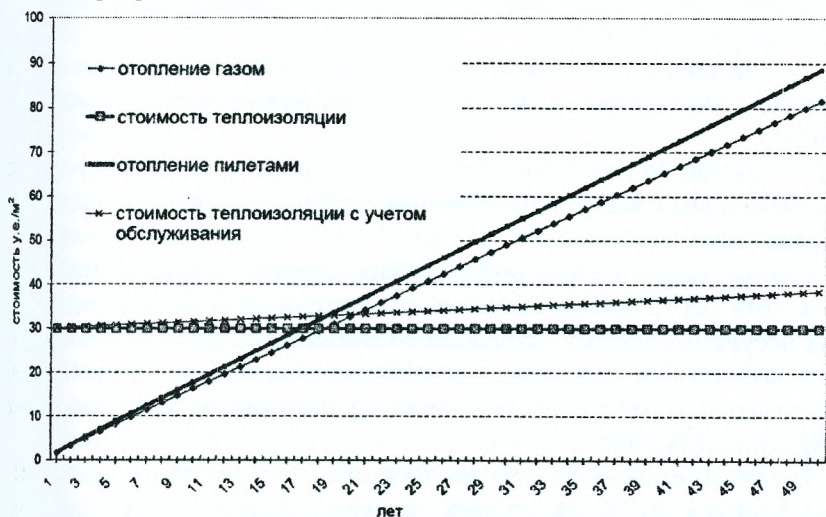


Рис. 1. Соотношение стоимости создания и обслуживания полимерной или ячеистобетонной теплоизоляции со стоимостью сэкономленных энергоресурсов при отоплении древесными пилетами или газом

Основными направлениями для получения более безопасных экологических и быстрее окупаемых теплоизоляционных материалов, чем полимерные или ячеистые, с применением минеральных вяжущих являются:

1. Применение отходов производства.

2. Применение растительных волокнистых наполнителей (как в роли наполнителей, так и в роли объемного армирования).

3. Применение щелочно-активированных вяжущих или геополлимеров.

Применение 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, зола, не технологичные глины, побочные горные породы, отходы стеклообработки, отходы керамической промышленности, силикатных производств. А также щелочестойкие волокнистые полимерные материалы, минеральные волокна, отходы органических волокон.

Применение этих 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 очень 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 процессе 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 всю не успевают использовать. Солома представи-

ет 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, -- относительно новое направление строительного материаловедения. Это вещества, производимые на основе различных Al и Si содержащих сырьевых композиций или отходов производств (например, шлак, зола), позволяющие получать материалы, имеющие показатели равные или даже лучше чем у цементных бетонов. При этом значительно (по отдельным показателям на 40-60%) меньшем негативном влиянии на окружающую среду и на 10-30 % меньшей себестоимости.

Европейский опыт применения геополимеров очень богат. Вот лишь небольшой список фирм, имеющих практический задел в этой области: Renotech (Финляндия), Camfil HQ (Швеция), Pyromeral (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 следующие:

1. значительная усадка;
2. большая водопотребность для создания нужной степени пластичности;
3. очень маленькие 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 связи с вышеперечисленными предпосылками хотелось бы рассмотреть следующие материалы, которые удалось получить в лабораторных и полевых условиях.

Композитный конструкционно-теплоизоляционный фибробетон с органическими фибровыми наполнителями растительного происхождения. В принципе этот материал может рассматриваться как современный аналог самана (саманного кирпича), леппача, используемого веками для строительства мазанок. Саманный кирпич изготавливался из глины с примесью соломы и добавок, повышающих pH.

В настоящее время для его изготовления можно использовать глинистую суспензию (либо метакаолин), известь гидратную, известь негашеную порошкообразную без добавок, мелкий либо молотый кварцевый песок (Si содержащие отходы), костру льна и рубленую солому (до 70мм), жидкое стекло, щёлочь при необходимости.

Из технологии производства данного композита необходимо отметить промывку, разволокнение и первичное насыщение растительных наполнителей водой с минерализатором, а также использование качественной активной извести и реакционно способного Al и Si компонента (глины или метакаолина), что требует начальной оптимизации в различных новых условиях по массовому составу.

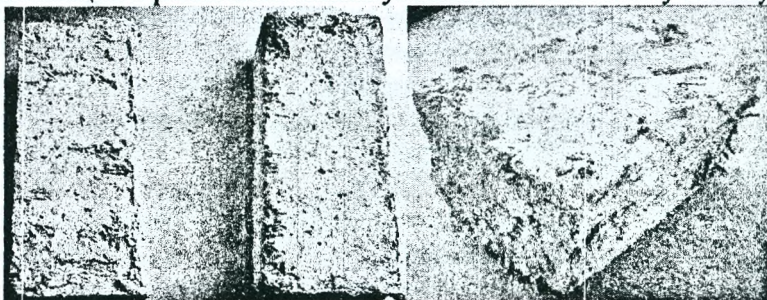


Рис. 2. Образцы из геополимерного конструкционно-теплоизоляционного фибробетона с органическими фибровыми наполнителями растительного происхождения, изготовленные в формах (слева) и выпиленный из массива (справа)

Характеристики полученного композита: плотность 600-750кг/м³, прочность при сжатии 1,4 -2,2 МПа, теплопроводность в сухом состоянии 0,16-0,19 Вт/м²С. Этот состав характеризуется прочностью, достаточной для конструкционно-теплоизоляционного материала, способного нести кроме своего веса и дополнительные нагрузки.

Еще одним перспективным материалом является неавтоклавный газифибробетон на смешанном вяжущем с органическими фибровыми наполнителями. Является более пористым эффективным теплоизоляционным композитом, который также можно получить, используя выше приведенное сырьё с добавкой газообразователя -- алюминиевой пудры. Однако для закрепления начальной структуры и компенсации значительной усадки в данный композит необходимо вводить небольшое количество цемента (15-20%), что

несколько ухудшает экологические показатели получаемого материала, но позволяет получить приемлемые усадочные деформации.

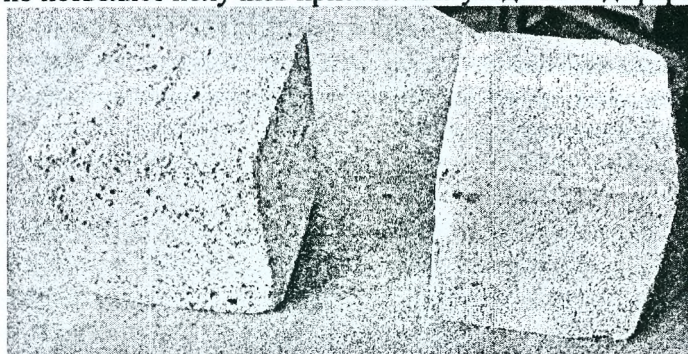


Рис. 3. Образцы из неавтоклавнога газифибробетона на смешанном вяжущем с органическими фибровыми наполнителями растительного происхождения различных составов

Характеристики полученного композита: плотность 300-450 кг/м³, прочность при сжатии 0,3 - 0,6 МПа, теплопроводность в сухом состоянии 0,09-0,12 Вт/м²С. Этот состав характеризуется небольшой прочностью, достаточной только для восприятия собственного веса. Этот материал можно использовать для изготовления стеновых не несущих блоков или монолитных конструкций, заливаемых непосредственно на объекте ограниченными по размерам захватками (до 20 см).

Современное состояние производства многих теплоизоляционных и конструктивно-теплоизоляционных материалов нельзя признать удовлетворительным в плане воздействия на экологию. Поэтому сегодня необходимо развивать технологии, позволяющие получать материалы с аналогичными характеристиками при меньшем влиянии на экологию, что обычно также и уменьшает их стоимость. Примеры полученных композитов не являются идеальными, однако после оптимизации и привязки составов к местным глинистым ресурсам и имеющимся Al, Si, Ca содержащим отходам производства они могут быть отличной эффективной, экологичной и недорогой альтернативой наиболее распространенным материалам.

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 если мы хотим, 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. <http://chm.pops.int/Portals/0/download.aspx?d=UNEP-POPS-POPRC8FU-COMM-LE-HBCD-Recommend.Ru.pdf>
2. <http://www.allbeton.ru/wiki/Гексабромциклододекан+характеристика+рисков/>
3. ISO 14040 (2006): Environmental management – Life cycle assessment – Principles and framework. International Organization for Standardization (ISO).
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. ТКП 45-2.04-43-2006: Строительная теплотехника. Строительные нормы проектирования.