

Макарук Д.Г., Пикула А.И.

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ ЭКОНОМИЧЕСКИЙ И ЭКОЛОГИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНЫХ СТЕНОВЫХ ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ

Введение. Сегодня в процессе выбора многих строительных материалов потребители в большинстве развитых стран, кроме экономических показателей, все больше учитывают и экологические показатели выбираемых строительных материалов. Причем все большее внимание уделяется не только системе МАТЕРИАЛ > ЛОКАЛЬНАЯ СРЕДА > ЧЕЛОВЕК но и более важной, глобальной системе ПРОИЗВОДСТВО МАТЕРИАЛА > ЭКОСИСТЕМА > ЛОКАЛЬНАЯ СРЕДА > ЧЕЛОВЕК. Это связано в первую очередь с получением новой информации о строительных материалах, технологиях, более глубокие исследования которых инициированы самой природой. Так, на многих территориях уже ведется борьба с последствиями производства строительных материалов, носящая не только локальный, но и постепенно перерастающая в глобальный характер [1, 2]. В том, что 2014 год признан самым жарким годом на Земле и 2015 имеет все шансы обновить максимумы, также частично виноваты строительные, а особенно теплоизоляционные, материалы. Это связано с тем, что в качестве теплоизоляционных используются материалы с высокой энергетической составляющей, которая обусловлена применением в технологии сложных химических процессов, высоких температур, цемента да и просто упрощения технологии. Также в ряде случаев в качестве теплоизоляционных строительных материалов используются конструкционно-теплоизоляционные материалы (например, газосиликат) в местах, где нет необходимости в их повышенной прочности.

Степень экологичности и экономичности любых строительных материалов не является статическим, не изменяющимся во времени свойством, а показывает лишь уровень изученности данного направления человеком в сложившихся условиях развития цивилизации при наиболее удобной реализации процесса производства и применения. 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 является одной из наиболее энергоёмких сфер человеческой деятельности, локомотивом экономики большинства государств и, вместе с этим, источником большей 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, гексабромциклодекан [1, 2], да и любой полимер, имеют множество вариантов негативного воздействия на экологию и далее на человека. Полностью 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 большим количеством загрязняющих выбросов, сопровождающих их жизненный цикл (например, для теплоизоляции 1 м² стены до стандартных значений (R=3.2 м²С/Вт) необходимо 2,5 кг полистирола плотностью 20 кг/м³ либо 250 кг газосиликата с плотностью 550 кг/м³), имея так называемый большой углеродный след. Основным загрязнителем является цемент, при изготовлении 1 тонны которого в атмосферу выбрасывается от 500 до 1000 кг CO₂ 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 количествах (до 25%) и в газосиликат для упрощения технологии производства и ускорения набора пластической прочности сырьём, что делает эти материалы опасными для экологии, учитывая всю технологию их производства.

Альтернативными и в настоящее время более экологичными строительными материалами могут являться материалы на основе органических фибровых наполнителей растительного происхождения, например костры льна, ржаной соломы, картофеля. В ряде случаев эти волокнистые наполнители являются отходами производств с низкоальтернативной возможностью использования и поэтому они просто сгнивают в отвалах.

В этой связи хотелось бы рассмотреть следующие материалы, которые удалось получить в лабораторных и полевых условиях.

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

В настоящее время для его изготовления можно использовать адаптированные к местным ресурсам составы, содержащие глинистую суспензию либо метакаолин, известь гидратную, известь воздушную негашеную, мелкий либо молотый кварцевый песок (Si содержащие мелкодисперсные отходы), костру льна и (или) рубленую солому (до 70 мм), жидкое стекло, щёлочь (при необходимости).

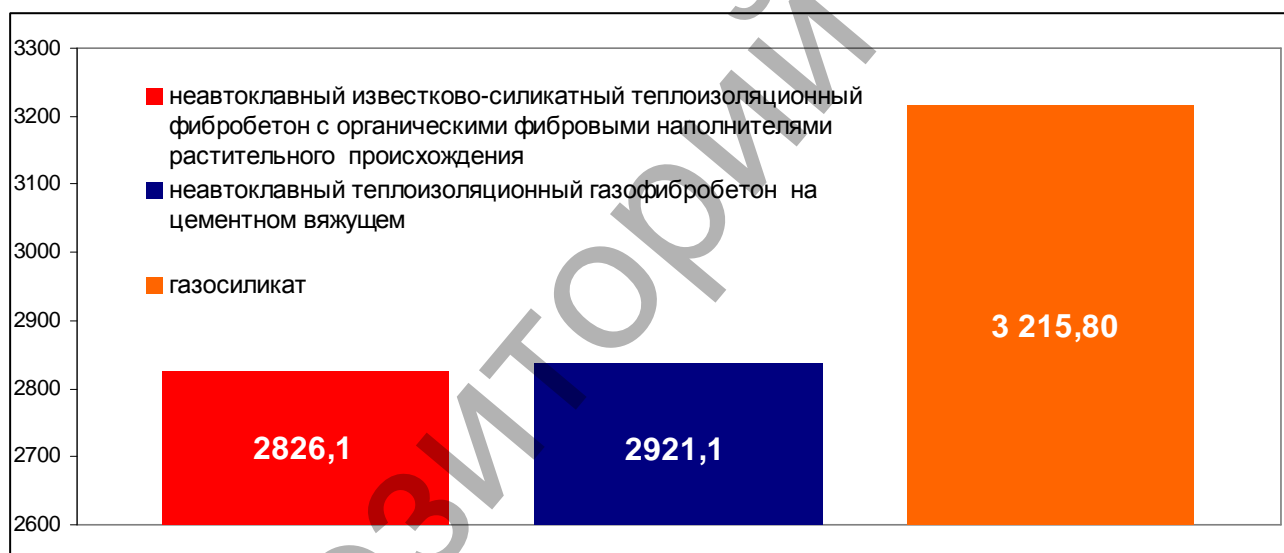
Из технологии производства данного композита необходимо отметить промывку, разволоknение и первичное насыщение растительных наполнителей водой с минерализатором, а также использование качественной активной извести и реакционно способного Al и Si компонента (глины или метакаолина), что требует начальной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

Макарук Дмитрий Георгиевич, начальник научно-исследовательской части Брестского государственного технического университета. Пикула Александр Иванович, старший преподаватель кафедры технологии бетона и строительных материалов Брестского государственного технического университета.

Беларусь, БрГТУ, 224017, г. Брест, ул. Московская, 267.

Таблица 1. Сравнительная стоимость материалов для строительных конструкций из расчета тыс. руб. на 1 м³

№	Наименование компонента	Характеристики сопоставимых составов		
		неавтоклавный известково-силикатный теплоизоляционный фибробетон с органическими фибровыми наполнителями растительного происхождения	неавтоклавный теплоизоляционный газобетон на цементном вяжущем	газосиликат
1	Известь воздушная, негашеная, порошкообразная, без добавок	387,5	-	238,5
2	Известь гидратная без добавок	10	7,4	-
3	Цемент СЕМ I 42.5R	-	372,1	153,2
4	молотый кварцевый песок	1 333,8	1 186,6	1 729,0
5	костра льна и ржаная солома в соотношении 3:5 соответственно	30	-	-
6	полипропиленовая фибра (ВСМ II 12)	-	72,0	-
7	жидкое стекло	52,8	-	-
8	газообразователь алюминиевая пудра	-	31,8	37,1
9	вода	1 012,0	1 251,2	1 058,0
10	Повышающий коэффициент	1,05	-	-
	ИТОГО	2 826,1	2 921,1	3 215,8

Рис. 1. Стоимость 1 м³ стеновой конструкции с учетом различных технологий, тыс. руб.

Характеристики полученного композита: плотность 600–850 кг/м³, прочность при сжатии 1,5–2,5 МПа, теплопроводность в сухом состоянии 0,16–0,21 Вт/м²С. Этот состав конструктивно-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 газобетон 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, возникающей вследствие большого 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.

Характеристики полученного композита: плотность 350–550 кг/м³, прочность при сжатии 0,3–0,6 МПа, теплопроводность в сухом состоянии 0,1–0,15 Вт/м²С. Этот состав характеризуется небольшой прочностью, достаточной для восприятия только собственного веса теплоизоляционного слоя. Этот материал можно использовать для изготовления стеновых не несущих блоков или монолитных конструкций, заливаемых непосредственно на объекте ограниченными по размерам захватками.

При оценке воздействия жизненного цикла LCA различных строительных материалов на экологию 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 CO₂) учитывает все выбросы газов (например, CO₂, CH₄, N₂O и других), которые содействуют парниковому эффекту.

2. ADP (абиотический потенциал истощения ресурсов, 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.

При экологической оценке вышеперечисленных материалов неавтоклавные композиты с органическими фибровыми наполнителями растительного происхождения показывают в зависимости от организации технологии производства и применяемого сырья улучшенные на 20-75% экологические показатели по сравнению с традиционными на сегодняшний момент пенополистиролом, минеральной ватой и газосиликатом.

Другой не менее важной и взаимосвязанной стороной эффективного применения теплоизоляционных материалов является их экономический положительный эффект. Основными экономическими показателями являются стоимость производства и время окупаемости, где так же более эффективными могут являться экологичные неавтоклавные композиты с органическими фибровыми наполнителями растительного происхождения представленные выше.

Общая стоимость материалов для строительных конструкций из неавтоклавного известково-силикатного теплоизоляционного фибробетона с органическими фибровыми наполнителями растительного происхождения, неавтоклавного теплоизоляционного газобетона на цементном вяжущем и газосиликата из расчета на 1 м³ в ценах сентября 2015 года представлена в таблице 1.

На рисунке 1 представлена конечная стоимость материалов для строительных конструкций на основании указанных выше технологий.

Самым дорогим стеновым материалом является газосиликат, по сравнению с которым неавтоклавный известково-силикатный теплоизоляционный фибробетон с органическими фибровыми наполнителями растительного происхождения дешевле на 12,15%, а неавтоклавный теплоизоляционный газобетон на цементном вяжущем на 9,16%.

С учетом того, что отличительной особенностью технологии производства фибробетона с органическими фибровыми наполнителями растительного происхождения является необходимость подготовки волокнистых наполнителей, конечная стоимость может несколько вырасти. Необходимы операции нарезки, промывки 2-3 раза и минерализации (известь, жидкое стекло).

По двум другим технологиям так же есть процессы, приводящие к удорожанию конечного материала. Так, при изготовлении газобетона на цементном вяжущем нужно точно подбирать температуру воды в зависимости от внешних условий, высока вероятность брака при несоблюдении технологии. Так же необходима абсолютно герметичная опалубка, так как смесь по консистенции как вода. Для газосиликата необходим автоклав и тонкий помол извести вместе с песком с высокими удельными затратами энергии, что последний материал делает еще более дорогим и неконкурентоспособным.

Если учесть, что стоимость стенового материала при возведении типового дома на одну семью составляет 30%, то при стоимости такого дома (коробка дома) из газосиликата 705,4 млн. руб., стоимость дома из фибробетона с органическими фибровыми наполнителями растительного происхождения составит 658,53 млн. руб. или на 6,64% дешевле, при использовании неавтоклавного теплоизоляционного газобетона на цементном вяжущем стоимость составит 686,0 млн. руб. или на 2,75% дешевле.

Кроме вышеуказанных ценовых преимуществ, использование фибробетона с органическими фибровыми наполнителями растительного происхождения сокращает выбросы CO₂, т.к. при данной технологии не используется цемент. Производство цемента выделяет около 5% мировых выбросов CO₂, связанных с деятельностью человека, и 3% глобальных выбросов всех парниковых газов. Для сравнения, на транспортный сектор приходится около 15% глобаль-

ных выбросов парниковых газов, поэтому производство цемента оказывает существенное влияние на экологию.

Заключение. 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 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. При этом более плотный фибробетон можно использовать для внутренних слоев ограждающих конструкций, повышая таким образом теплоемкость помещений, а менее плотный газобетон для наружных теплоизоляционных слоев.

Представленные расчеты являются ориентировочными, с возможным изменением стоимости в любую сторону при промышленной реализации в виде заводских или мобильных технологий. Для проверки их адекватности необходимо создание в местных условиях опытных объектов с оценкой их эксплуатационных характеристик и уточнением экономической эффективности.

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.

Работы выполнялись в рамках проекта «Разработка технологий 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 принимают участие Учреждение образования «Брестский государственный технический университет» (г. Брест, Беларусь) и Высшая государственная школа им. Папы Иоанна Павла II (г. Бяла-Подляска, Польша).

СПИСОК ЦИТИРОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Режим доступа: <http://chm.pops.int/Portals/0/download.aspx?d=UNEP-POPS-POPRC8FU-COMM-LE-HBCD-Recommend.Ru.pdf>
2. Режим доступа: <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

Материал поступил в редакцию 21.09.15

MAKARUK D.G., PIKULA A.I. Comparative economic and environmental analysis effective wall thermal insulation materials

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 in Brest. 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, which is to some extent a revival of the millennial experience in the use of crop waste when constructing low-rise buildings.