

УДК 666.973.2:666.972.1

**СТЕНОВЫЕ МАТЕРИАЛЫ НА ОСНОВЕ СОЛОМЫ И КОСТРЫ ЛЬНА
С ВЫСОКИМИ ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННЫМИ СВОЙСТВАМИ**

*канд. техн. наук, доц. А.А. БАКАТОВИЧ; Н.В. ДАВЫДЕНКО; А.В. ДОЛЖОНОК
(Полоцкий государственный университет)*

Рассматривается мировой опыт утилизации соломы и костры льна в промышленности, в частности использование в строительной отрасли. Исследованы экспериментальные составы арболита с различным содержанием растительных заполнителей. Определены основные характеристики арболита на основе соломы и костры льна. Установлена минимальная толщина наружной стены, равная 300 мм, из разработанных арболитовых блоков, обеспечивающая требуемое сопротивление теплопередачи. Невысокая прочность на сжатие 2...2,4 МПа обуславливает применение блоков для возведения несущих стен в каркасных зданиях.

Ключевые слова: *стенные материалы, арболит на основе соломы и костры льна, теплоизоляционные свойства, прочностные свойства.*

Введение. Существенный сегмент в производстве агропромышленного комплекса Республики Беларусь занимает растениеводство, включая выращивание зерновых культур и льна. По данным статистического ежегодника [1] в 2015 году на территории Беларуси посевные площади зерновых культур составили около 2,7 млн гектаров, льна-долгунца – 48 тыс. гектаров.

Количество целлюлозы в костре льна достигает 64% [2], тогда как в древесине лиственных пород ее содержание составляет около 47%, хвойных пород – 58% [3]. В костре льна содержится меньше сахаросодержащих соединений, чем в древесине, что делает возможным использование костры для производства строительных материалов на минеральных вяжущих, включая цемент. В ряде случаев костра льна позволяет заменить древесное сырье и получить плиты или блоки с более высокими физико-механическими характеристиками.

Основная фракция частиц 5...20 мм позволяет использовать костру для изготовления композитной фанеры и древесно-стружечных плит, а при высоком давлении формования и плит без вяжущего компонента. Физико-химическое строение дает возможность использовать костру в составах древесно-полимерных композитов в производстве деталей в автомобилестроении и конструкционных элементов.

Достаточно неэффективным применением является использование льняной костры как топливного сырья для специальных топок с полным сгоранием или с образованием золы для удобрения почвы. Также под высоким давлением из костры изготавливают топливные брикеты или пеллеты в качестве твердого топлива для обогрева жилых домов и производственных зданий [4].

Солома зерновых культур по объемам значительно превосходит получаемое количество костры льна. Большинство сельхозпредприятий солома заготавливается в качестве добавки к кормам, для чего предварительно измельчается, а также как подстилочный слой для скота на сельскохозяйственных фермах.

В последнее время широко применяется метод резки соломы непосредственно на поле с прицепными или навесными соломорезками с одновременным разбрасыванием измельченной соломы по полю в качестве органического удобрения почвы. Но такой способ эффективного применения соломы является весьма сомнительным, так как вместе с соломой перерабатываются сорняки и попадают в землю при перепашке, что приводит к дополнительному засорению почвы.

Обзор применения соломы и костры в строительстве. При строительстве домов из соломенных блоков существуют два конструктивных решения. Наиболее распространенной является конструкция здания из несущего деревянного каркаса с заполнением соломенными блоками наружных стеновых проемов. Второй вариант предусматривает использование соломенных блоков в качестве сборных элементов несущих стен. Блоки укладываются с перевязкой швов, как в кирпичной кладке, а для дополнительной жесткости и устойчивости стен в блоки вертикально вбивают деревянные колья. При устройстве стропильной системы по верху стены предварительно укладывают распределительные балки [5].

На рубеже XX–XXI веков актуальность использования растительных отходов приобрела новое переосмысление, обусловленное экологической чистотой материалов и быстрой возобновляемостью сырья. В связи с этим на сегодняшний день большое внимание уделяется научным исследованиям по рациональной утилизации отходов растениеводства в строительной отрасли, прежде всего в Европе и России.

На сырьевой базе Пензенской области проведены исследования свойств эффективных материалов с использованием в качестве заполнителя многотоннажных отходов растительного сырья [6]. В исследо-

ваниях отмечается, что одной из главных проблем при проектировании и производстве арболитовых изделий на цементе является низкая адгезионная прочность на границе «заполнитель – вяжущее», что обусловлено большими влажностными деформациями растительного заполнителя и выделением водорастворимых производных сахарозы, являющихся вредными для нормальной гидратации цемента. В качестве основного структурообразующего компонента для изготовления теплоизоляционного арболита крупнопористой структуры выбрана гречишная солома, обработанная комплексным минерализатором, с максимальным размером частиц до 30...40 мм, что препятствует значительному конвективному переносу тепла в сообщающихся порах. Мелким пористым заполнителем в разработанных составах служит овсяная лузга. Полученный материал обладает следующими характеристиками: плотность 544...617 кг/м³, предел прочности на сжатие 0,39...1,32 МПа, коэффициент теплопроводности 0,06...0,084 Вт/м·°С.

Возможно также применение соломы в виде гранулированного заполнителя в легком бетоне. При введении в бетон гранул из соломы обеспечиваются плотность 810 кг/м³, предел прочности на сжатие 5,2 МПа, коэффициент теплопроводности 0,28 Вт/м·°С. В результате легкий бетон на гранулированном растительном заполнителе по усадке и сжимаемости находится на уровне обычных легких бетонов на керамзитовом гравии и золошлаковой смеси, а также имеет существенные резервы восприятия нагрузки по сравнению с арболитом. Проявление эффекта смягчения способствует восприятию всех эксплуатационных воздействий и нагрузок без трещинообразования [7].

В технологии производства кострбетона для малоэтажного монолитного домостроения в качестве основных компонентов используются гипсоцементное вяжущее, костра, вода. Время укладки кострбетона регламентировано из-за ограничений по жизнеспособности смеси. Для решения данной проблемы потребовалось увеличение водовяжущего соотношения и введение воздухововлекающей добавки СДО (смола древесная омыленная) с целью повышения подвижности смеси. Данная технология позволяет получить кострбетон с плотностью 630...980 кг/м³, пределом прочности на сжатие 0,8...4,4 МПа. В результате получен гипсосодержащий кострбетон с широким диапазоном прочностных свойств, что позволяет использовать материал в различных по назначению конструкциях зданий [8].

Успешно развиваются производства по изготовлению стеновых соломенных панелей «Экобуд» (Россия) [9] и «ЕсоСосоп» (Литва) [10]. Панели производят из тюков ржаной соломы, запрессованных с помощью гидравлического пресса в деревянный каркас. Спрессованные соломенные тюки в каркасе не дают усадку с течением времени. Панели имеют теплопроводность 0,05...0,065 Вт/м·°С, коэффициент шумопоглощения 0,9 и высокую пожаробезопасность, так как солома в панелях спрессована настолько сильно, что в ней отсутствует воздух, который необходим для горения.

Известна технология получения соломенных плит под торговой маркой «Stramit» (Великобритания). Уникальная технология придает материалу ряд качественных преимуществ, включая прочность, огнестойкость. Соломенные плиты «Stramit» производятся в мире в соответствии с Британским Стандартом BS4046. Стандартные характеристики панелей «Stramit»: длина – 2500 мм, ширина – 1200 мм, толщина – 58 мм, масса около 67 кг, плотность – 398 кг/м³. Плиты могут быть использованы как самостоятельные несущие перегородки и наружные стены без конструктивных каркасов. Огнестойкость составляет 59 мин, класс по огнеупорности «0». Это обусловлено плотностью основы соломенной плиты, которая не содержит в необходимом количестве кислорода для поддержания горения. Материал также не содержит смолу, спиртовые компоненты или другие химические вещества, способствующие процессу горения. Экологически чистые панели «Stramit» изготавливаются из пшеничной соломы под высоким давлением и при высокой температуре без использования искусственных добавок, вредных для здоровья [11].

Анализ мирового опыта использования соломы и костры льна показывает, что разработки экологически безопасных эффективных стеновых арболитовых блоков на их основе будут востребованы на строительном рынке.

Методика испытаний. Основные физико-механические показатели арболита – плотность, прочность на сжатие – определяли в соответствии с ГОСТ 19222-84 «Арболит и изделия из него. Общие технические условия».

Теплопроводность стенового материала измеряли по СТБ 1618 -2006 «Материалы и изделия строительные. Методы определения теплопроводности при стационарном тепловом режиме».

Экспериментальные исследования. Для получения стеновых материалов с пониженной теплопередачей на основе растительного сырья проведены комплексные исследования по подбору составов, включая подготовку заполнителя определенной фракции, исследованы основные физико-механические характеристики полученных образцов.

В качестве крупного заполнителя для получения арболита использовали солому ржи или пшеницы фракцией 20...40 мм. Костра льна размером до 10 мм использовалась как мелкий заполнитель. Связующим компонентом являлась цементно-известковая композиция при расходе цемента и извести по 180 кг на 1 м³.

Формовка образцов производилась под давлением. Выдержка в форме составляла от 1 до 4 суток. После извлечения из форм образцы хранили в естественных условиях при температуре 20 ± 2 °С и влажности воздуха 60...65%. Испытания на прочность проводились на образцах – кубах размером 150×150×150 мм в возрасте 28 суток. Теплопроводность арболита на основе смеси соломы и костры определяли на плитах размером 250×250×30 мм (рис. 1). До испытания плиты хранились 28 суток при влажности воздуха 60...65%. Результаты испытаний арболита на основе смеси соломы и костры льна представлены в таблице.



Рисунок 1. – Плита на основе смеси соломы и костры льна

Таблица – Физико-механические характеристики арболитовых блоков

№ состава	Расход заполнителей на 1 м ³ , кг		Расход воды на 1 м ³ , кг	Плотность, кг/м ³	Прочность, МПа	Коэффициент теплопроводности, Вт/м·°С	Время выдержки в форме, сут
	солома	костра льна					
1	228	165	375	753	3,1	0,12	4
2	180	132	361	672	2,9	0,098	3
3	157	114	352	631	2,7	0,09	2
4	271	–	352	631	2,2	0,095	2
5	130	95	326	585	2,4	0,086	1
6	93	76	283	529	2	0,08	1
7	169	–	283	529	1,6	0,09	1

При увеличении количественной дозировки соломы и костры льна расход воды увеличивается соответственно с 283 до 375 кг на 1 м³ арболита. При этом соответственно возрастает плотность полученного арболита с 529 до 753 кг/м³.

Анализ составов 6 и 7 показал, что замена 40% соломы кострой при одинаковой плотности арболита позволяет увеличить прочность на 25% и уменьшить коэффициент теплопроводности на 0,01 Вт/м·°С; также наблюдается увеличение прочности на 23% и снижение коэффициента теплопроводности на 0,005 Вт/м·°С у состава 3 по сравнению с характеристиками состава 4.

При сопоставлении результатов анализа составов 6, 7 и 3, 4 получили, что плотность повышается на 19%, прочность на сжатие – на 35...38%, коэффициент теплопроводности – на 5...12%, а время выдержки в форме увеличивается до двух дней. Костра льна заполняет сообщающиеся пустоты, образуемые в структуре из трубок соломы, и формирует второй каркас, что обеспечивает повышение не только прочностных характеристик, но и позволяет снизить коэффициент теплопроводности за счет существенного снижения возникающих конвекционных воздушных потоков.

При сравнении составов 1 и 6 выявлены значительные изменения физико-механических характеристик. Так, для состава 1 плотность возросла на 42%, прочность на сжатие – на 55%, коэффициент теплопроводности – на 50%; однако время выдержки в форме возросло до четырёх дней.

В процессе исследований установлено: чем выше плотность арболита, тем больше времени необходимо для выдержки его в форме, что существенно снижает количество циклов оборачиваемости форм. Если произвести распалубку раньше минимально необходимого срока, происходит деформирование образцов-кубов в объеме, то есть разуплотнение арболита, за счет упругих деформаций соломы и недостаточной прочности цементно-известковой матрицы на момент распалубливания образцов.

Применение извести позволяет снизить негативное влияние сахаров на процесс формирования структуры цементного камня. Также присутствие извести обеспечивает увеличение объема вяжущего, в результате чего матрица вяжущего заполняет большее пространство в структуре композиции и расширяется площадь контакта цементно-известкового камня с соломой и кострой, и улучшается адгезия вяжущего с заполнителями, что способствует повышению прочности сцепления компонентов арболита. Для состава арболита, аналогичного составу 6, но с заменой цементно-известкового вяжущего на цемент в количестве 360 кг на 1 м³, получили прочность 1,6 МПа при коэффициенте теплопроводности, равный 0,095 (Вт/м·°С). Таким образом, прочность на сжатие образцов состава 6 выше на 25% именно за счет увеличения прочности сцепления вяжущего и соломы, так как прочность цементно-известкового камня на 21% ниже показателя цементного камня.

Основываясь на полученных данных и исходя из требований по обеспечению необходимых значений физико-механических характеристик, а также времени оборачиваемости форм, можно сделать вывод, что составы 5 и 6 являются наиболее оптимальными. Стеновые блоки из арболита (составы 5, 6) обладают достаточной прочностью для возведения ненесущих наружных стен высотой до 3 м в каркасных зданиях и при толщине стены 300 мм обеспечивают требуемое сопротивление теплопередаче.

Адгезия образцов арболита со штукатурным цементно-известковым раствором (рис. 2) изучалась визуально. Цементно-известковый раствор наносили вручную на боковую грань образца размером 150×150 мм. Образцы через 28 суток после нанесения раствора без следов отслоения штукатурного слоя.



Рисунок 2. – Поверхность арболита, оштукатуренная цементно-известковым раствором марки 50

При ударных воздействиях молотком по штукатурке отслоение раствора от поверхности арболита не установлено. В дальнейших исследованиях планируется определить прочность сцепления штукатурных растворов с арболитом, а также прочность сцепления кладки из арболитовых блоков.

Результаты визуальных исследований образцов дают основание предположить, что арболитовые стеновые блоки обладают высокой прочностью сцепления со строительными растворами.

Заключение. В результате проведенного исследования предложено техническое решение по рациональному использованию (утилизации) отходов растениеводства при получении строительного материала в виде экологически безопасных эффективных стеновых арболитовых блоков. Полученные костросоломенные блоки на цементно-известковом вяжущем при плотности 529...585 кг/м³ имеют прочность на сжатие 2...2,4 МПа и обладают низким коэффициентом теплопроводности для стеновых материалов из арболита, составляющим 0,08...0,09 Вт/м·°С.

Арболитовые блоки на основе соломы и костры льна обладают прочностью, необходимой для возведения ненесущих наружных стен высотой до 3 м в каркасных зданиях при толщине кладки 300 мм,

позволяющей обеспечить требуемое сопротивление теплопередаче. Кроме того, костросоломенные блоки обладают хорошей адгезией со штукатурными растворами.

По результатам исследований подана заявка на патент «Сырьевая смесь для изготовления арболита».

ЛИТЕРАТУРА

1. Статистический ежегодник 2015. – Минск : Нац. стат. ком. Респ. Беларусь, 2015. – 524 с.
2. Марков, В.В. Первичная переработка льна и других лубяных культур / В.В. Марков. – М. : Легкая и пищевая промышленность, 1981. – 375 с.
3. Уголев, Б.Н. Древесиноведение с основами лесного товароведения / Б.Н. Уголев. – М. : Лесная промышленность, 1986. – 386 с.
4. Клёсов, А.А. Древесно-полимерные композиты / А.А. Клёсов. – СПб. : Научные основы и технологии, 2010. – 736 с.
5. Широков, Е.И. Экотехнология биопозитивных ограждающих конструкций из соломенных блоков в Беларуси : в 2 ч. / Е.И. Широков. – Минск : Адукацыя і выхаванне, 2007. – Ч. 1 : Экодома из соломы: технология строительства. – 40 с.
6. Солдатов, С.Н. Создание и исследование свойств утеплителей на основе местного сырья : дис. ... канд. техн. наук : 05.23.05 / С.Н. Солдатов. – Пенза, 2001. – 67 с.
7. Авраменко, В.В. Легкие бетоны на основе растительного сырья и минеральных вяжущих для стеновых ограждений : дис. ... канд. техн. наук : 05.23.05 / В.В. Авраменко. – Новосибирск, 2010. – 89 с.
8. Гаврикова, Т.А. Совершенствование технологии малоэтажного монолитного домостроения из костробетона : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.23.08 / Т.А. Гаврикова. – Нижний Новгород, 2006. – 24 с.
9. Интернет портал [Электронный ресурс] / Производство и строительство каркасных домов из соломенных панелей. – Режим доступа: <http://eco-bud.com/>. – Дата доступа: 26.01.2016.
10. The Ecococon straw panel technology is unique, unmatched in the world [Electronic resource]. – Mode of access: <http://ecococon.lt/english>. – Date of access: 02.02.2015.
11. Интернет-портал [Электронный ресурс] / Энергоэффективное строительство. – Режим доступа: <http://straw.z42.ru/node/449>. – Дата доступа: 26.01.2016.

Поступила 06.06.2016

WALL MATERIALS ON THE BASIS OF STRAW AND FLAX BOON WITH HIGH HEAT-INSULATING PROPERTIES

A. BAKATOVICH, N. DAVYDENKO, A. DOLZHONOK

World experience of utilization of straw and flax boon in industry, particularly in construction sphere is observed. Experimental compositions of wood concrete with various contents of plant fillers are investigated. Main characteristics of wood concrete on the basis of straw and flax boon are defined. Minimum thickness of outside wall from developed wood concrete blocks is found out to be 300 mm that provides required heat transmission resistance. Low compression strength of 2...2,4 MPa determines application of such blocks for construction of structural walls in skeleton-type buildings.

Keywords: wall materials, cement wood-based straw and shive, thermal insulation properties.