

УДК 691.14

ЭФФЕКТИВНЫЕ СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ И ИЗДЕЛИЯ ИЗ ТЕХНОГЕННЫХ ОТХОДОВ ДЛЯ ЖИЛИЩНОГО СТРОИТЕЛЬСТВА

А. А. Лукаш, Н. П. Лукутцова

Брянский государственный инженерно-технологический университет (г. Брянск)

Аннотация. Рассмотрены вопросы повторного использования техногенных промышленных и бытовых отходов в строительстве, обоснована возможность получения новых теплоизоляционных строительных материалов из отходов от обработки древесины и отходов от гофрокартонной упаковки, что позволит уменьшить себестоимость продукции за счет повышения полезного выхода и снижения издержек на утилизацию отходов. Проведена идентификация компонентов, содержащихся в мелких древесных частицах, полученных при измельчении отходов из древесины березы. С помощью спектрометрического метода установлено наличие в ней мономерных сахаридов (д-эритрозы), которые негативно влияют на процесс гидратации цемента. Экспериментально негативное влияние мономерных сахаридов на процесс гидратации цемента подтверждено тем, что прочность арболита при сжатии из древесины березы в два раза ниже прочности арболита из сосны. Применение в качестве вяжущего водостойкого карбамидоформальдегидного клея обеспечивает возможность получения теплоизоляционного материала из древесины березы, которая раньше не использовалась при производстве арболита из-за большого содержания в ней мономерных сахаридов. Обоснована возможность использования в жилищном строительстве клееного арболита. Проведено исследование хромато-масс-спектрометрическим методом с использованием газового хроматографа содержания токсичных веществ в клееном арболите. Установлено, что после выдержки клееного арболита на открытом воздухе в проветриваемом помещении в течение 12 дней в составе паровоздушной смеси отсутствуют микропримеси формальдегида.

Разработаны условия получения арболита из древесины лиственных пород. Приведены результаты исследования влияния расхода клея, древесины и продолжительности выдержки на прочность клееного арболита, установлены оптимальные значения этих параметров для получения арболита заданной прочности при сжатии. Доказана возможность применения мелких древесных отходов для изготовления картоностружечной плиты, которая выполнена из наружных слоев из листов гофрированного картона и внутренних слоев из осмоленных древесных частиц по технологии, аналогичной технологии древесностружечных плит, установлены прочностные и теплоизоляционные ее характеристики. Обоснована возможность получения нового, экологически чистого теплоизоляционного материала – гофрокартонной плиты из отходов от упаковки товаров из гофрированного картона, выполнен расчет ее толщины, при которой конструкция стены отвечает санитарно-гигиеническим и строительным требованиям к теплопередаче ограждающих конструкций по температурному перепаду.

Ключевые слова: жилищное строительство; техногенные отходы; переработка и утилизация; теплоизоляционные материалы; арболит; гофрокартон

Введение. Постоянный рост количества техногенных отходов представляет угрозу для самого существования человечества. Заражение грунтовых вод, увеличивающиеся площади свалок делают все менее благоприятными условия проживания. Производство недорогих и экологически безопасных строительных материалов будет способствовать выполнению

Государственной программы «Доступное и комфортное жилье – гражданам России». Важным аспектом производства строительных материалов и изделий из древесины являются вопросы расширения сырьевой базы строительной отрасли [1, 2].

Техногенные отходы подразделяются на промышленные и бытовые. К техногенным от-

носятся и отходы от обработки древесины. Древесина является самым экологически чистым строительным материалом. Использование древесных материалов в строительстве обеспечит благоприятные условия проживания. Переработка отходов экономически целесообразна: повышается полезный выход продукции, снижаются издержки на утилизацию отходов, а в результате – и себестоимость продукции.

Одним их способом переработки древесных отходов является получение плитных материалов. Но при больших расстояниях до плитных предприятий транспортировка отходов не будет рентабельна. Использование отходов для отопления зданий эффективно только в холодное время года.

Представляет интерес способ повторного использования древесных отходов, основанный на прессовании изделий из измельченной древесины с одновременным облицовыванием. Это дает возможность сократить число технологических операций, создать наиболее благоприятные условия для механизации и автоматизации производственного процесса. В отделочном материале композиционной профильной фанере внутренние слои состоят из осмоленых мелких древесных отходов [3, 4].

Другим из массовых видов техногенных отходов является гофрированный картон. Это один из наиболее распространённых в мире материалов, применяемых в качестве упаковки. Гофрокартон, используемый в промышленности как упаковочный материал, отличается небольшой плотностью и дешевизной. В крупных магазинах отходы от упаковки из гофрокартона собирают и направляют на вторичную переработку. Но население и мелкие магазины предпочитают отправлять отходы от упаковки из гофрокартона на свалку, что ухудшает экологию и экономически нецелесообразно.

Из-за дешевизны и доступности данных отходов, постоянного спроса на продукцию строительной индустрии актуальность их переработки возрастает. Количество древесных отходов с каждым годом увеличивается. Поэтому **целью** данного **исследования** является обоснование возможности получения эффек-

тивных теплоизоляционных строительных материалов и изделий из техногенных отходов:

- клееного арболита и картоностружечной плиты из мелких частиц мягколиственной древесины;
- гофрокартонной плиты из отходов от упаковки из гофрокартона.

При обработке древесины образуется отходов до 40 % от объема перерабатываемого сырья. Чаще всего из мелких древесных частиц получают арболит. Но для его производства необходимо учитывать химическое строение древесины. В состав клеточной стенки входят водорастворимые сахараиды, содержание которых составляет до 23 % в хвойной древесине и до 38 % – в лиственной. Щелочная среда цементного теста способствует выделению из древесины этих веществ, называемых «цементными ядами». Для уменьшения их отрицательного влияния на прочность древесно-цементных композиций широко применяются технологические способы, основанные: на частичном удалении этих веществ из древесного заполнителя; переводе сахараидов в нерастворимые или безвредные для цемента соединения; ускорении твердения портландцемента. В большинстве своем эти технологические процессы «минерализации» древесного заполнителя достаточно сложны и требуют многоступенчатой обработки заполнителя различными химикатами или длительной выдержки.

При идентификации компонентов, содержащихся в березовой дробленке, спектрометром «Infalum FT-801» установлено наличие мономерных сахараидов (д-эритрозы) в количестве 1 % (рис. 1).

Экспериментально негативное влияние мономерных сахараидов на процесс гидратации цемента подтверждено тем, что прочность арболита при сжатии из древесины березы в два раза ниже прочности арболита из сосны. Для уменьшения содержания водорастворимых сахаров обработка березовой дробленки производилась двумя способами: водой при 100 °С и ультразвуком. Прочность арболита увеличилась незначительно: с 0,2 до 0,5 МПа.

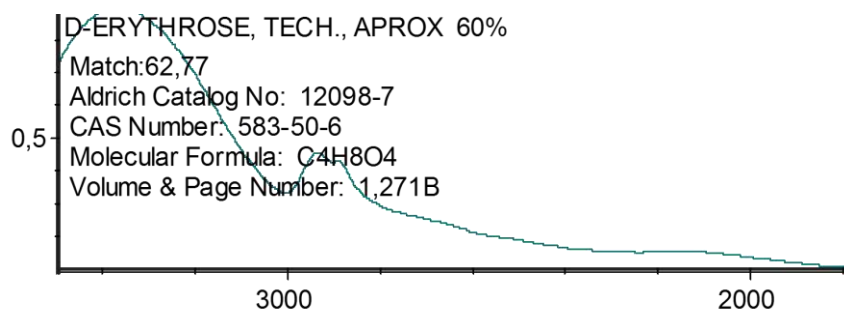


Рис. 1. Наличие д-эритрозы в экстракте березовой дробленки

Данный способ получения арболита из отходов не является совершенным, т.к. прочность арболита из древесины березы в два раза ниже прочности арболита из сосны (1 МПа). Поэтому разработана технология получения клееного арболита из березы (рис. 2) с использованием в качестве вяжущего водостойкого карбамидоформальдегидного клея, на которое не оказывают негативного воздействия содержащиеся в древесине полисахариды и моносахариды.



Рис. 2. Клееный арболит

Наряду с низкой прочностью арболита из древесины мягких лиственных пород технология его изготовления имеет и другие недостатки. Процесс изготовления арболита достаточно длителен. Достижение расплубочной прочности составляет около 5 суток. Затем арболит высушивают в течение нескольких суток до достижения эксплуатационной влажности. Все это делает процесс производства арболита металлоемким из-за необходимости применения большого количества пресс-форм. А применение сушки увеличивает энергозатраты.

Для изготовления арболита из древесины березы разработан более простой и совершенный в техническом отношении способ, основанный на использовании клеев холодного отверждения. Водостойкие карбамидоформальдегидные клеи имеют хорошую адгезию к древесине и низкую стоимость. Использование малотоксичных марок клеев обеспечит экологическую безопасность. Для ускорения процесса твердения связующего применяют слабые органические кислоты – щавелевую или лимонную – в количестве 4-6 м.ч. на 100 м.ч. смолы.

Изучение взаимодействия клея с древесиной производилось на срезе древесных частиц. Для исследования применялся стереоскопический МБС-10 с увеличением в 50 раз. Установлено, что в частицах древесины диаметром 0,003 м и более пропитываются клеем внутренние слои на глубину 0,002...0,003 м (рис. 3а). Частицы древесины диаметром менее 0,001 м полностью пропитываются клеем (рис. 3б). При интенсивном поглощении клея мелкими частицами снижается количество клея на поверхности древесины, что уменьшает прочность арболита. Поэтому частицы арболита диаметром менее 0,003 м должны быть удалены из дробленки отсеиванием.

Как установлено в результате поисковых исследований, прочность арболита в основном зависит от количества древесины, количества связующего и продолжительности выдержки после формования. Количество компонентов определялось для пресс-формы размером 0,07×0,07×0,07 м.

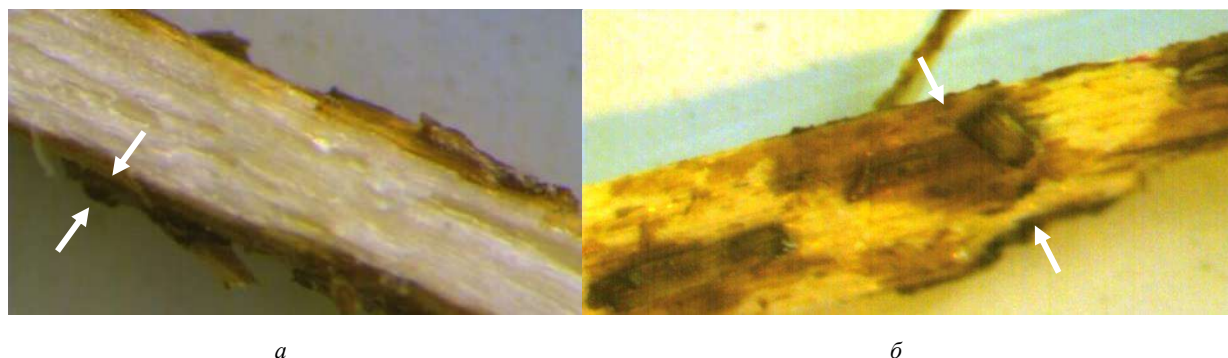


Рис. 3. Проникновение клея в частицы: *a* – размером 0,003 м; *б* – 0,001 м

Исследование влияния расхода древесины, расхода клея и продолжительности выдержки после формования на прочность клееного арболита проводилось путем реализации плана второго порядка В-3.

Постоянные факторы: порода – береза; влажность древесины 8 %; клей на основе смолы КФ120-65. На основании поисковых экспериментов установлены диапазоны варьирования расхода древесины, клея, а так-

же продолжительности выдержки после формования.

Переменные факторы варьировались в следующих пределах: расход древесины для изготовления 1 м³ арболита (X_1) от 175 до 233 кг/м³; расход клея для изготовления 1 м³ арболита (X_2) от 262 до 380 кг/м³; время выдержки после формования (X_3) от 3 до 9 суток. Уровни и интервалы варьирования переменных факторов приведены в таблице 1.

Таблица 1

Уровни и интервалы варьирования переменных факторов

Факторы	Обозначения		Интервал варьирования	Уровни варьирования		
	натур. вид	кодир. вид		нижн. -	основ. 0	верхн. +
Расход древесины, кг/м ³	Д	X_1	29	175	204	233
Расход клея, кг/м ³	К	X_2	59	262	321	380
Продолжительность выдержки после формования, сут.	Т	X_3	3	3	6	9

На основании поисковых экспериментов установлено, что зависимость прочности клееного арболита от расхода древесины, клея и продолжительности выдержки после формования имеет нелинейный характер. Поэтому для проведения эксперимента принят план второго порядка. Планы второго порядка позволяют аппроксимировать поверхность отклика уравнения регрессии второго порядка. Условием выбора является то, что план ВЗ имеет хорошие статистические характеристики и включает небольшое число экспериментальных точек. В результате эксперимента получены уравнения регрессии, которые адекватно описывают при 5 % уровне значимости зависимость прочности клееного арболита (Y) от расхода древесины (X_1), клея (X_2)

и продолжительности выдержки после формования (X_3) в кодированном виде:

$$Y = 1,1 + 0,12X_1 + 0,32X_2 + 0,084X_3 + 0,04X_1^2 - 0,035X_2^2 - 0,038X_3^2. \quad (1)$$

$$-1 \leq X_i \leq +1; \quad i = 1, 2, 3.$$

Зависимость прочности клееного арболита (Y) от расхода древесины (D), клея (K) и продолжительности выдержки после формования (t) в натуральном виде:

$$Y = -0,912 - 0,015D + 0,0118K + 0,079t + 0,000047D^2 - 0,00001K^2 - 0,004T^2. \quad (2)$$

$$175 \leq D \leq 233; \quad 262 \leq K \leq 380; \quad 3 \leq T \leq 9.$$

Из уравнения регрессии (1) видно, что линейные коэффициенты при всех параметрах X_1, X_2, X_3 положительны, т.е. между выходной

величиной и входными параметрами существует прямая зависимость. Наибольшее влияние в исследуемом диапазоне оказывают на прочность арболита параметр X_1 – расход древесины и X_2 – расход клея. Меньшее влияние оказывает параметр X_3 – продолжительность выдержки после формования. Влияние переменных факторов на прочность клееного арболита проиллюстрировано на рисунке 4.

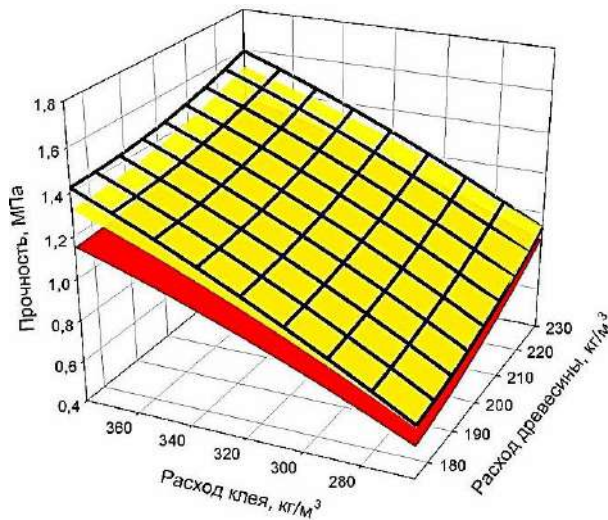


Рис. 4. Зависимость прочности при сжатии клееного арболита от расхода клея, древесины и продолжительности выдержки после формования соответственно: ■ – 3 суток; ■ – 6 суток; – 9 суток

Очевидно, что с увеличением значений переменных факторов прочность клееного арболита при сжатии возрастает.

Продолжительность выдержки после формования в исследуемом диапазоне в наименьшей степени оказывает влияние на прочность клееного арболита, что свидетельствует о практически полном завершении процессов отверждения клея после 6 суток. При увеличении времени выдержки после формования с 6 до 9 суток прочность клееного арболита возрастает всего на 3 %.

Установление рациональных условий получения клееного арболита марки М10 выполнено как решение оптимизационной задачи при ограничениях с учетом технико-экономических факторов процесса.

На основе исследования влияния расхода древесины, клея и продолжительности вы-

держки после формования на прочность клееного арболита получены уравнения, которые адекватно описывают процесс. Фактор выдержки после формования T фиксируется на основном уровне, т.к. при увеличении времени выдержки после формования с 6 до 9 суток прочность клееного арболита возрастает всего на 3 %. Расход клея должен в исследуемом диапазоне быть минимальным, т.к. стоимость клея значительно превосходит стоимость мелких древесных отходов. Поэтому второй фактор – расход клея – фиксируется на нижнем уровне. В качестве ограничения целевой функции принимаем значение прочности арболита при сжатии (Y) для марки М10 – 1 МПа.

Таким образом, рациональными условиями получения клееного арболита марки М10 являются: расход древесины – 190...195 кг/м³, расход карбамидоформальдегидного клея – 262...270 кг/м³, время выдержки после формования – 6 суток. Положительным фактором выступает также значительное снижение времени выдержки в форме до достижения распалубочной прочности (0,5 часа). При использовании низковязких карбамидоформальдегидных клеев с вязкостью менее 90 с по ВЗ–4 нет необходимости применения дополнительного количества воды. В результате этого влажность клееного арболита после склеивания составляет от 15 до 20 %, что практически соответствует эксплуатационной влажности.

Определены основные эксплуатационные показатели клееного арболита: плотность – 500 кг/м³, прочность при сжатии – 1 МПа, коэффициент теплопроводности – 0,095 Вт/(м·К), водопоглощение – 45 %.

При получении клееного арболита применялась низкотоксичная карбамидоформальдегидная смола КФ 120-65 с содержанием свободного формальдегида 0,13 %. Для обоснования возможности его использования в жилищном строительстве проведено исследование содержания токсичных веществ в клееном арболите. Для этого применялся хромато-масс-спектрометрический метод с использованием газового хроматографа модели «6850 Network GC System» с высокоэффективной капилляр-

ной колонкой HP-5MS (30 м × 0,25 мм) и квадрупольным масс-селективным детектором «5975C VL MSD» фирмы «Agilent Technologies» (США), с ионизацией электронным ударом (70 эВ). Хроматограмма паровоздушной смеси древесных частиц с клеем проводилась после нагревания до 100 °С в течение пяти минут. Результаты исследования

представлены на рисунках 5 и 6. Установлено, что в клееном арболите присутствуют микропримеси формальдегида. Однако после выдержки клееного арболита на открытом воздухе в проветриваемом помещении в течение 12 дней в составе паровоздушной смеси ранее обнаруженные микропримеси формальдегида отсутствуют.

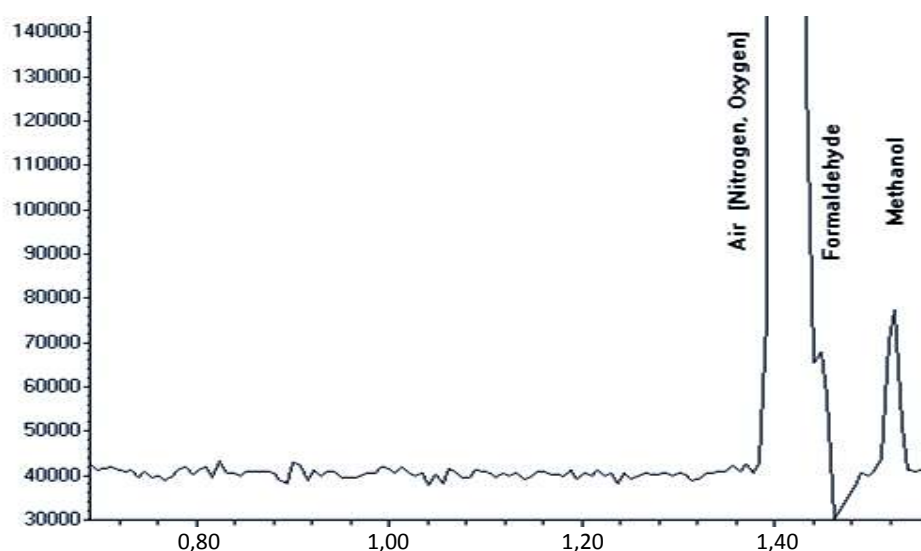


Рис. 5. Хроматограмма паровоздушной смеси клееного арболита после его изготовления

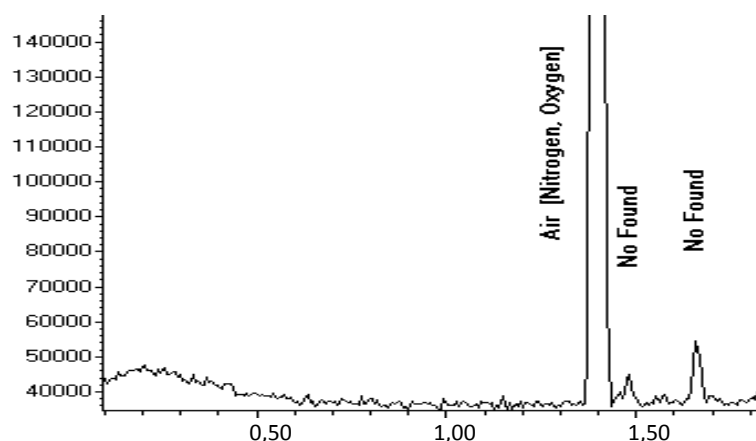


Рис. 6. Хроматограмма паровоздушной смеси клееного арболита после кондиционирования в проветриваемом помещении в течение 12 дней

Необходимо также учитывать и экономическую составляющую производства клееного арболита. Карбамидоформальдегидный клей имеет высокую скорость отверждения. Продолжительность формования клееного арболита составляет 0,5 часа, что в десятки раз меньше продолжительности формования традиционного арболита. Это снижает затраты на

производство из-за повышения производительности оборудования и его материалоемкости. Более высокая стоимость клея по сравнению с цементом компенсируется низкой стоимостью сырья из мягколиственной древесины по сравнению с хвойной в том же соотношении. Учитывая тенденцию к увеличению стоимости хвойной древесины из-за ее дефи-

цита, можно утверждать, что производство клееного арболита в дальнейшем будет становиться еще более целесообразным.

Вторым предлагаемым направлением использования мелких отходов от обработки древесины является получение картоностружечных плит (рис. 7).



Рис. 7. Картоностружечная плита

В этих плитах листы из гофрированного картона используют в качестве наружных слоев. Внутри плиты располагают осмоленные мелкие древесные отходы. Технология производства картоностружечных плит за исключением операции по укладке наружных листов аналогична технологии производства древесностружечных плит и включает основные технологические операции: подготовку древесных частиц, их осмоление, формирование ковра с наружными слоями из гофрокартона и внутренними слоями из осмоленной стружки, горячее прессование и форматную обрезку.

На основании проведенных исследований установлены технические показатели картоностружечной плиты (табл. 2).

Таблица 2

Технические показатели картоностружечной плиты

Показатель	Плотность, кг/м ³		
	350	550	750
Прочность при изгибе, МПа	1,2	11,2	18,2
Коэффициент теплопроводности, Вт/(м·°С)	0,09	0,10	0,11

В качестве третьего способа утилизации техногенных бытовых отходов от упаковки из гофрированного картона предлагается получение теплоизоляционных строительных материалов. Из отходов от упаковки из гофрокартона можно получать новый экологически чистый теплоизоляционный материал – гофрокартонную плиту [7] (рис. 8).



Рис. 8. Гофрокартонная плита

упаковки мебели: трехслойный гофрированный картон 1-го класса, марки Т11, с гофром В, толщиной 2,6 мм. Склеивание производилось холодным способом в гидравлическом прессе при помощи поливинилацетатной дисперсии в течение 30 мин. Плотность изготовленной плиты гофрированного картона составила 170 кг/м³. Коэффициент теплопроводности у полученных образцов – 0,052...0,057 Вт/(м·°С), что сопоставимо с теплопроводностью традиционных материалов.

Для обоснования возможности применения гофрокартонной плиты в качестве утеплителя проведем расчет технической эффективности его применения.

При расчете требуемой толщины утеплителя и вычисления приведенного сопротивления теплопередаче многослойной ограждающей конструкции для стены жилого помещения здания (табл. 3), расположенного в г. Москве, использовалась методика тепло-технического расчета, заключающегося в определении минимального достаточного значения сопротивления теплопередаче

При получении этого нового теплоизоляционного материала применялись отходы от

наружной ограждающей конструкции. При этом расчетное значение сопротивления теплопередаче ограждающей конструкции долж-

но быть не менее величины, требуемой по санитарно-гигиеническим и строительно-техническим показателям.

Таблица 3

Расчетные значения

Материал	Плотность, ρ_0 , кг/м ³	Толщина, δ , м	Коэффициент теплопроводности λ , Вт/(м·К)
1. Кладка из керамического кирпича	1600	0,12	0,64
2. Кладка из сплошного глиняного кирпича	1800	0,25	0,81
3. Штукатурка	1800	0,2	0,93

Требуется найти толщину гофрокартонной плиты плотностью 170 кг/м³ с коэффициентом теплопроводности 0,57 Вт/(м·К).

Расчетные параметры наружной среды, необходимые для определения сопротивления теплопередаче, приведены в СНиП 23-02-2003 «Тепловая защита зданий» [8] и находятся по СП 131.13330.2012 «Строительная климатология» [9]. К ним относятся:

- средняя температура воздуха периода со среднесуточной температурой воздуха меньше 8 °С, определяется по таблице 1 СП 131.13330.2012: $t_{ht} = -3,1$ °С;

- продолжительность периода со среднесуточной температурой воздуха меньше 8 °С, определяется по таблице 1 СП 131.13330.2012: $z_{ht} = 214$ суток;

- средняя температура наиболее холодной пятидневки обеспеченностью 0,92, определяется по таблице 1 СП 131.13330.2012: $t_{ext} = -32$ °С.

Параметры воздушной среды для обеспечения минимально допустимых условий комфорта внутри жилого помещения в холодный период года, определяемые по таблице 1 СП 23-101-20041, составляют: температура воздуха – $t_{int} = 20$ °С и относительная влажность воздуха $j_{int} = 55$ %.

Режим эксплуатации помещения в холодный период года в зависимости от относительной влажности и температуры внутреннего воздуха определяется по таблице 1 СНиП 23-02-2003: нормальный. Условия эксплуатации ограждающей конструкции определяются с учетом климатических показателей района строительства и режима эксплуатации зданий и помещений. Зона влажности района строительства (г. Москва) по климатическим пока-

зателям наружной среды (согласно приложению «В» к СНиП 23-02-2003) нормальная. Условия эксплуатации ОК определяются по таблице 2 СНиП 23-02-2003. Для нормального режима эксплуатации помещения и нормальной зоны влажности условия эксплуатации ОК соответствуют параметру «Б».

Для расчета требуемого значения R_{req} термического сопротивления теплопередаче ОК и толщины слоя утеплителя приведенное сопротивление теплопередаче R_0 , м²·°С/Вт, ограждающих конструкций, а также окон и фонарей (с вертикальным остеклением или с углом наклона более 45°) принимается из условия не менее нормируемых значений R_{req} , м²·°С/Вт, определяемых по таблице 4 СНиП 23-02-2003 в зависимости от градусо-суток отопительного периода района строительства D_d , °С·сут., по формуле [10]

$$D_d = (t_{int} - t_{ht}) \cdot z_{ht}. \quad (1)$$

Нормированное сопротивление теплопередаче. R_{req} , м²·К/Вт, определяется по формуле

$$R_{req} = a \cdot D_d + b, \quad (2)$$

где $a = 0,00035$; $b = 1,4$ согласно «Примечаниям» к таблице 4 СНиП 23-02-2003;

Требуемое условное сопротивление теплопередаче без учета теплотехнической неоднородности, $R_0^{усл.тр}$, м²·К/Вт, определяется по формуле

$$R_0^{усл.мп} = R_{req} / r, \quad (3)$$

где r – коэффициент теплотехнической неоднородности, «глади», глухой части стены. В рассматриваемом варианте принимаем $r = 0,87$.

Требуемое значение сопротивления теплопередаче слоя утеплителя из гофрокартон-

ной плиты, R_{ym}^{mp} , $m^2 \times K/Вт$, согласно п. 8 СП 23-101-2004 определяется по формуле

$$R_{ym}^{mp} = R_0^{yc.mp} - (R_B + \sum R_{T.ИЗВ} + R_H), \quad (4)$$

где $R_B = 1/\alpha_{int}$ – коэффициент сопротивления теплоотдаче внутренней поверхности ограждающих конструкций, принимаемый по таблице 7 СНиП 23-02-2003 ($\alpha_{int} = 8,7 m^2 \times K/Вт$);

$R_H = 1/\alpha_{ext}$ – коэффициент сопротивления теплоотдаче наружной поверхности ограждающих конструкций, принимаемый по таблице 8 СП 23-101-2004 для наружных стен, покрытий, перекрытий над проездами ($\alpha_{ext} = 23 m^2 \times K/Вт$);

$\sum R_{T.ИЗВ}$ – сумма сопротивления теплопередаче известных слоев ограждающей конструкции.

Сумма сопротивления теплопередаче известных слоев ограждающей конструкции

$$\sum R_{T.ИЗВ} = \frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_2}{\lambda_2} + \dots + \frac{\delta_n}{\lambda_n},$$

где δ_1 – толщина 1-го известного слоя ограждающей конструкции, м;

λ_1 – коэффициент теплопроводности 1-го известного слоя ограждающей конструкции, $Вт/(м \cdot ^\circ C)$;

n – количество слоев многослойной ограждающей конструкции.

Расчетную толщину утеплителя, $\delta_{ут}$, м, находим по формуле

$$\delta_{ym} = R_{ym}^{mp} \cdot \lambda_{ym}. \quad (5)$$

Подставляем в расчеты исходные данные из таблицы 3 и находим фактическую толщину утеплителя. Из конструктивных соображений округляем полученный выше результат до целых сантиметров в большую сторону:

$$\delta_{ym}^{\phi} = 0,17 \text{ м.}$$

Для проверки полученного результата находим приведенное сопротивление теплопередаче наружной стены, R_0 , $m^2 \cdot ^\circ C/Вт$, по формулам

$$R_0^{ycl.mp} = R_B + \sum R_{T.ИЗВ} + R_H \quad (6)$$

$$R_0 = R_0^{ycl.mp} \cdot r. \quad (7)$$

Фактическое приведенное сопротивление теплопередаче не меньше требуемого, т.к. выполняется условие

$$R_0 = 3,18 > R_{req} = 3,13.$$

Расчетный температурный перепад Δt_0 , $^\circ C$ между температурой внутреннего воздуха и температурой внутренней поверхности ограждающей конструкции в соответствии с п. 5.8 СНиП 23-02-2003 определяется по формуле

$$\Delta t_0 = n(t_{int} - t_{ext}) / (R_0 \cdot \alpha_{int}), \quad (8)$$

где n – коэффициент, учитывающий зависимость положения наружной поверхности ограждения по отношению к наружному воздуху. Принимаем по таблице 6 СНиП 23-02-2003: $n = 1$;

t_{int} – температура внутреннего воздуха здания, принимаемая по минимальным значениям оптимальной температуры для жилого помещения по таблице 1 СП 23-101-2004: $t_{int} = 20 \text{ } ^\circ C$;

t_{ext} – температура наружного воздуха в холодный период года, $^\circ C$, принимаемая равной средней температуре наиболее холодной пятидневки обеспеченностью 0,92. По таблице 1 СП 131.13330.2012: $t_{ext} = -32 \text{ } ^\circ C$.

Подставляя в формулу соответствующие значения, получим:

$$\Delta t_0 = 1 \cdot (20 - (-32)) / (3,2 \cdot 0,87) = 1,87.$$

Проверяем условие

$$\Delta t_0 \leq \Delta t_n,$$

где Δt_n – нормируемый температурный перепад между температурой внутреннего воздуха и температурой внутренней поверхности ограждающей конструкции, принимаемый по таблице 5 СНиП 23-02-2003: $\Delta t_n = 4 \text{ } ^\circ C$.

$$1,87 \text{ } ^\circ C < 4,0 \text{ } ^\circ C.$$

Следовательно, принятая конструкция стены отвечает санитарно-гигиеническим и строительным требованиям к теплопередаче ограждающих конструкций по температурному перепаду.

Выводы. Таким образом, по результатам проведенных исследований можно констатировать следующее:

1. Повторное использование техногенных экологически чистых промышленных и бытовых отходов в строительстве позволяет улучшить условия проживания человека, уменьшить себестоимость продукции за счет повышения полезного выхода и снижения издержек на утилизацию отходов.

2. Из промышленных и бытовых отходов можно получить новые теплоизоляционные строительные материалы: клееный арболит из отходов от обработки мягколиственной древесины; картоностружечную плиту из осмоленных древесных частиц и бытовых отходов от упаковки товара; гофрокартонную плиту из отходов от упаковки из гофрокартона.

3. Применение в качестве вяжущего водостойкого карбамидоформальдегидного клея обеспечивает возможность получения теплоизоляционного материала из древесины березы, которая раньше не использовалась при производстве арболита из-за большого содержания в ней экстрактивных веществ. Получение клееного арболита марки М10 обеспечивают следующие условия: расход древесины – 206...210 кг/м³; расход карбамидоформальдегидного клея – 262...270 кг/м³; время выдержки после формования – 6 сут.

4. Мелкие древесные отходы можно использовать для изготовления картоностружечной плиты, которая содержит наружные слои из листов гофрированного картона и внутрен-

ние слои из осмоленных древесных частиц. Картоностружечная плита может применяться в качестве теплоизоляционного материала. При плотности 550 кг/м³ прочность картоностружечной плиты при статическом изгибе составляет 11,2 МПа, коэффициент ее теплопроводности – 0,1 Вт/(м·°С).

5. Гофрокартонная плита является эффективным, дешевым и экологически чистым утеплителем. Коэффициент ее теплопроводности составил 0,052...0,057 Вт/(м·°С), что соизмеримо с коэффициентами теплопроводности традиционных теплоизоляционных материалов: минеральной ваты, пенополистирола, пенополиуретана и стекловаты.

6. Ограждающая конструкция с кладкой из керамического кирпича толщиной 0,12 м, утеплителем из гофрокартонной плиты толщиной 0,17 м с кладкой из сплошного глиняного кирпича отвечает санитарно-гигиеническим и строительным требованиям к теплопередаче ограждающих конструкций по температурному перепаду при условии герметичности утеплителя.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Лукаш А. А., Лукутцова Н. П. Новые строительные материалы и изделия из древесины: монография. М.: АСВ, 2015. 288 с.
2. Лукаш А. А., Лукутцова Н. П. Строительные материалы из древесины с ядровой гнилью // Проблемы инновационного биосферно-совместимого развития в строительном, жилищно-коммунальном и дорожном комплексах: материалы IV Междунар. науч.-практ. конф., посвящ. 55-летию строит. ф-та и 85-летию БГИТУ. Т. 1: Биосферная совместимость: человек, регион, технологии. Брянск: БГИТУ, 2015. С. 76–80.
3. Lukash A. A. The concept of creation of new building materials of wood // Scientific horizons: materials of the X International scientific and practical conference – 2014. Vol. 11: Technical sciences. Mathematics. Physics. Construction and architecture. Sheffield: Science and education LTD, 2014. 96 p.
4. Lukash A., Lukutsova N., Minko N. Determination of the Thermal Conductivity of Wood Insulation Materials in Conditions of Non-Stationary Heat Transfer // International Journal of Applied Engineering Research (IJAER). 2014. Vol. 9, № 22. Pp. 15791–15800.
5. Проблемы изготовления арболита из мягких лиственных пород / А. А. Лукаш, М. С. Черенкова, А. С. Шитикова, В. А. Матрос // Актуальные проблемы развития лесного комплекса и ландшафтной архитектуры: материалы Междунар. науч.-практ. конф. Брянск: БГИТУ, 2016. С. 151–156.
6. Лукаш А. А. Строительные материалы и изделия из древесины мягких лиственных пород // Интеллектуальные строительные композиты для зеленого строительства: сб. докладов Междунар. науч.-практ. конф., посвящ. 70-летию засл. деятеля науки, докт. техн. наук., проф. В. С. Лесовика. Ч. 2. Белгород: БГТУ, 2016. С. 187–193.
7. Лукаш А. А., Лукутцова Н. П. Гофрокартонная плита – эффективный теплоизоляционный материал // Строительные материалы. 2014. № 10. С. 24–29.
8. СНиП 23-02-2003. Тепловая защита зданий. Взамен СНиП 23-01-99. Введ. 01.10.2003. М.: НИИСФ РААСН, 2003. 36 с.
9. СП 131.13330.2012. Строительная климатология. Взамен СП 23-101-2000. Введ. 01.01.2013. М.: НИИСФ, 2012. 88 с.
10. Киселева Е. Г., Мягков М. С. Теплотехнический расчет ограждающих конструкций жилых и общественных зданий: учебно-методические указания к курсовой расчетно-графической работе по архи-

тектурной климатологии для студентов, обучающихся по специальности «Архитектура» и «Дизайн архитектурной среды». М.: МАРХИ, 2012. 36 с.

Информация об авторах

ЛУКАШ Александр Андреевич – кандидат технических наук, доцент кафедры технологии деревообработки, Брянский государственный инженерно-технологический университет. Область научных интересов – научные основы процессов создания новых строительных материалов из древесины мягких лиственных пород. Автор более 100 опубликованных работ, в том числе 3 монографий и 5 учебных пособий. E-mail: mg.luckasch@yandex.ru

ЛУКУТЦОВА Наталья Петровна – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой производства строительных конструкций, Брянский государственный инженерно-технологический университет. Область научных интересов – теория синтеза, модифицирования и оптимизации наноструктурирования экологически безопасных строительных композиционных материалов и несущих систем. Автор более 200 научных, учебных и методических трудов, в том числе 16 монографий и 8 учебных пособий. E-mail: natluk58@mail.ru

UDC 691.14

EFFECTIVE BUILDING MATERIALS FROM INDUSTRIAL WASTE FOR HOUSING

A. A. Lukash, N. P. Lukutsova

Bryansk State Engineering-Technological University (Bryansk)

Abstract. The article considers the reuse of anthropogenic industrial and domestic waste in construction, the possibility of obtaining new insulating building materials made of waste from wood processing and waste from corrugated cardboard packaging, which will reduce production costs by increasing the useful output and reduce costs for waste disposal. Identification of the components contained in small wood particles, obtained by grinding waste wood birch. Spectrometry established the presence of Monomeric sugars (d-erythrose) that negatively affect the hydration process of cement. Experimentally negative effect of monomer sugars on the hydration process of cement is confirmed by the fact that the strength of wood concrete produced from birch is half as high as that produced from pine when exposed to compression. The use of water-resistant urea-formaldehyde adhesive as a binder makes it possible to obtain insulating material from birch wood, which was not previously used in wood concrete production because of the high content of monomeric sugars. The possibility of using glued wood concrete in housebuilding is well-grounded. Chromato-mass-spectrometry aimed at detecting the contents of toxic substances in glued wood concrete was carried out using a gas chromatograph. It has been established that after holding wood concrete in a ventilated area for 12 days the composition of the air-steam mixture contains no impurities of formaldehyde.

The authors developed conditions for obtaining wood concrete from hardwood tree species. The paper also contains the research results of glue consumption, type of wood, waiting time and dependence of these parameters on the strength of the glued wood concrete. The optimal values for these parameters in order to obtain wood concrete of the target compressive strength are presented. The paper provides the grounds for the use of fine wood wastes in carton particle panels manufacture. The outer layer of the carton is made from corrugated cardboard, while the inner layers are made from glued wood particles according to the technology similar to the technology of wood particles panel production. The strength and insulating characteristics of a cardboard particle panel are defined. The authors validate the possibility of obtaining a new, environmentally-friendly heat insulation material produced from corrugated cardboard packaging wastes. The thickness of the cardboard panel under which the wall construction meets the sanitary-hygiene and construction requirements imposed to heat transfer of enclosing structures in terms of temperature difference has been calculated.

Keywords: construction; waste; recycling; cement wood; corrugated cardboard

REFERENCES

1. Lukash A. A., Lukutsova N. P. *Novye stroitelnye materialy i izdelija iz drevesiny* [New building materials and wood products]: monografija, Moscow: ASV, 2015, 288 p.
2. Lukash A. A., Lukutsova N. P. *Stroitelnye materialy iz drevesiny s jadrovoy gnilju* [Construction and building wooden materials with sound decay], *Problemy innovacionnogo biosferno-sovmestimogo razvitiya v stroitel'nom, zhilishhno-kommunal'nom i dorozhnom kompleksah: materialy IV Mezhdunar. nauch.-prakt. konf., posvjashh. 55-letiju stroit. f-ta i 85-letiju BGITU. T. 1: Biosfernaja sovmestimost: chelovek, region, tehnologii* [Problems of innovative biosphere joint development in construction, utility and road complexes: Proceedings of the 4th International research and practical conference devoted to 55th anniversary of the Faculty of Construction and 85th anniversary of BGITU. Vol. 1: Biosphere compatibility: people, regions, technologies], Brjansk: BGITU, 2015, pp. 76–80.
3. Lukash A. A. The concept of creation of new building materials of wood, *Scientific horizons: materials of the X International scientific and practical conference – 2014*, Vol. 11: Technical sciences. Mathematics. Physics. Construction and architecture. Sheffield; Science and education LTD, 2014, 96 p.
4. Lukash A., Lukutsova N., Minko N. Determination of the Thermal Conductivity of Wood Insulation Materials in Conditions of Non-Stationary Heat Transfer, *International Journal of Applied Engineering Research (IJAER)*, 2014, Vol. 9, № 22, pp. 15791–15800.
5. Lukash A. A., Cherenkov M. S., Shitikova A. S., Sailor V. A. *Problemy izgotovlenija arbolita iz mjagkih listvennyh porod* [The Problems of manufacturing cement wood of soft deciduous species], *Aktualnye problemy razvitiya lesnogo kompleksa i landshaftnoj arhitektury: materialy Mezhdun. nauch.-prakt. konf.* [Actual problems of forest complex and landscape architecture development: Proceedings of international research and practical conference], Brjansk: BGITU, 2016, pp. 151-156.
6. Lukash A. A. *Stroitelnye materialy i izdelija iz drevesiny mjagkih listvennyh porod* [Construction materials and products from wood of soft deciduous species], *Intellektualnye stroitelnye kompozity dlja zelenogo stroitelstva: sb. dokladov Mezhdunar. nauch.-prakt. konf., posvjashh. 70-letiju zasluž. dejatelja nauki, dokt. tehn. nauk., prof. V. S. Lesovika* [Intellectual building composites used for green construction: collection of papers of international research and practical conference devoted to 70th anniversary of a researcher, Doctor of Technical Sciences, Professor V.S. Lesovik]. Ch. 2. Belgorod: BGTU, 2016, pp. 187-193.
7. Lukash A. A., Lukutsova N. P. Gofrokartonnaja plita – jeffektivnyj teploizoljacionnyj material [The Corrugated cardboard plate is an effective insulation material], *Stroitelnye materialy* [Construction materials], 2014, No. 10, pp. 24-29.
8. SNiP 23-02-2003. *Teplovaja zashhita zdaniy. Vzamen SNiP 23-01-99. Vved. 01.10.2003* [Thermal protection of buildings. Instead of SNiP 23-01-99. Introduced on 01.10.2003], Moscow: NIISF RAASN, 2003, 36 p.
9. SP 131.13330.2012. *Stroitel'naja klimatologija. Vzamen SP 23-101-2000. Vved. 01.01.2013* [Construction climatology. Instead of SP 23-101-2000. Introduced on 01.01.2013], Moscow: NIISF, 2012, 88 p.
10. Kiseleva E. G., Myagkov M. S. *Teplotehnicheskij raschet ograzhdajushhih konstrukcij zhilyh i obshhestvennyh zdaniy: uchebno-metodicheskie ukazaniya k kursovoj raschjotno-graficheskoj rabote po arhitekturnoj klimatologii dlja studentov, obuchajushhihsja po special'nosti "Arhitektura" i "Dizajn arhitekturnoj sredy"* [Thermal engineering calculation of protecting designs of residential and public buildings: educational-methodical instructions for course design and graphic work for architectural climatology for students enrolled in the specialty "Architecture" And "Design of architectural environment"], Moscow: MARHI, 2012, 36 p.

Information about the authors

LUKASH Alexander Andreevich – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Technology of Woodworking, Bryansk State Engineering-Technological University, Bryansk. Scientific interests – scientific bases of processes of creation of new building materials, their wood soft hardwoods. Author of over 100 scientific and methodical works, including 3 monographs and 5 manuals. E-mail: mr.lukasch@yandex.ru

LUKUTSOVA Natalya Petrovna – Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Department of Production of Building Structures. Bryansk State Engineering-Technological University, Bryansk. Scientific interests – theory of synthesis, modification and optimization of nanostrukturirovanie environmentally friendly composite materials and bearing systems. Author of over 200 scientific and methodical works, including 16 monographs, 8 textbooks. E-mail: natluk58@mail.ru

Библиографическая ссылка

Лукаш А. А., Лукутцова Н. П. Эффективные строительные материалы и изделия из техногенных отходов для жилищного строительства // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Сер.: Материалы. Конструкции. Технологии. – 2017. – № 2. – С. 26-37.