

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ
УЧРЕЖДЕНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ
«ПОЛОЦКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

УДК 67.09.43
№ ГР20180572
Инв. №

УТВЕРЖДАЮ
проректор по научной
работе
_____ Д.О. Глухов
«__» _____ 2018 г.
М.П.

ОТЧЕТ

о научно-исследовательской работе

«Эффективные стеновые блоки с применением отходов растениеводства»

(заключительный)

Руководитель НИР, к.т.н. Бакатович А.А.
подпись

«__» _____ 2018 г.

Новополоцк 2018

СПИСОК ИСПОЛНИТЕЛЕЙ

Научный руководитель,
канд. техн. наук, доцент

А.А. Бакатович

Младший научный сотрудник
ОСНИ, аспирант

А.В. Должонок

(ответственный исполнитель
введение, основной раздел,
заключение)

Нормоконтролер

Л.В.Ищенко

РЕФЕРАТ

Отчет 66 с., 14 рис., 8 табл., 65 ист.

СОЛОМА, КОСТРА ЛЬНА, ЦЕМЕНТНО-ИЗВЕСТКОВАЯ КОМПОЗИЦИЯ, СТЕНОВОЙ МАТЕРИАЛ, БЛОК, КОЭФФИЦИЕНТ ТЕПЛОПРОВОДНОСТИ, ПРОЧНОСТЬ

Объект исследований: стеновые материалы на основе заполнителей растительного происхождения и минерального вяжущего.

Цель работы: получение стеновых материалов с повышенными теплотехническими свойствами на заполнителях растительного происхождения.

Методы исследования: аналитический и экспериментальный.

Результаты работы: разработаны составы эффективных стеновых блоков, получены новые экспериментальные данные по физико-механическим характеристикам. Стеновые блоки при прочности 2 – 2,2 МПа обеспечивают снижение коэффициента теплопроводности на 20 – 30 % по сравнению с существующими аналогами.

Степень внедрения: результаты использованы при подготовке кандидатской диссертации, а также в учебном процессе кафедры «Строительное производство» учреждения образования «Полоцкий государственный университет». Разработаны технические условия на опытную партию ТУ ВУ 300220696-061-2018 «Блоки строительные конструкционные костросоломенные».

Область применения: малоэтажное городское и сельское строительство жилых и общественных зданий.

Экономическая эффективность: применение стеновых костросоломенных блоков позволяет уменьшить толщину наружных стен и исключить дополнительное утепление стен теплоизоляционными плитами за счет более низкого коэффициента теплопроводности в сравнении с существующими аналогами, а при равных толщинах стен обеспечивает более высокий показатель сопротивления теплопередаче.

Прогнозные предложения о развитии объекта исследования: научно-производственная кооперация или сотрудничество на основе лицензионного соглашения.

СОДЕРЖАНИЕ

	С.
ВВЕДЕНИЕ.....	6
1 Анализ производства стеновых материалов на основе растительного сырья.....	8
1.1 Стеновые материалы с использованием древесных отходов.....	8
1.2 Стеновые материалы на основе сельскохозяйственных отходов.....	11
1.3 Факторы, оказывающие существенное влияние на формирование структуры и прочность стеновых материалов с применением цементного связующего.....	15
2 Характеристики использованных материалов.....	18
2.1 Исходные материалы.....	18
2.2 Методики исследований.....	20
3 Физико – механические свойства стеновых материалов на основе соломы и костры льна.....	22
3.1 Определение основных физико – механических показателей стеновых материалов.....	22
3.2 Исследование сорбционной влажности стеновых материалов.....	26
3.3 Влияние показателя влажности стеновых материалов на коэффициент теплопроводности стеновых блоков.....	31
3.4 Исследование теплоемкости стеновых блоков.....	39
4 Определение эксплуатационных показателей стеновых блоков при натурных испытаниях	41
4.1 Исследование теплофизических характеристик стеновых материалов в условиях эксплуатации зданий.....	41
4.2 Испытание на горючесть и на соответствие санитарно – гигиеническим требованиям.....	47
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	48
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ.....	51
ПРИЛОЖЕНИЯ.....	58

ВВЕДЕНИЕ

Настоящий отчет составлен по результатам исследований, выполненных в соответствии с техническим заданием аспирантского гранта № 0418 «Эффективные стеновые блоки с применением отходов растениеводства» (№ гос. регистрации 20180572 от 02.05.2018г.).

Одной из основных задач, поставленной перед современным строительством в Беларуси на ближайшие 10 лет, является повышение энергоэффективности жилых зданий. В западных и центрально европейских странах стеновые материалы на основе растительных заполнителей используются достаточно широко и успешно. Примером являются малоэтажные фахверкхаусы в Германии и Франции, возведенные еще во времена средневековья.

В настоящее время при возведении объектов, в качестве стеновых материалов используются керамический и силикатный кирпич, мелкогабаритные строительные блоки (газосиликатные, керамические и керамзитобетонные).

Использование минеральной ваты и пластмасс преобладает на мировом рынке теплоизоляционных материалов. Применение данных утеплителей вызывает экологические проблемы в процессе эксплуатации и на стадии утилизации. В строительном секторе постепенно переходят к производству изоляционных изделий из натурального или переработанного материала.

Во второй половине XX века в Советском Союзе производили и применяли арболит, включая опилко- и деревобетон, но в постсоветское время строительство ориентировалось на возведение домов из сборного или монолитного железобетона [1]. Целесообразность возобновления производства арболита сегодня вполне осознана и необходима, так как производства арболита позволяет не только получать тепло- и энергосберегающий стеновой материал, но и эффективно использовать отходы деревообрабатывающей промышленности. Если сравнить теплоизоляционные свойства арболита и стеновых материалов, как пенобетон и кирпич, окажется, что по теплотехническим характеристикам он превосходит их в 4 и 7 раз соответственно. Применение арболита влечет за собой

сокращение сроков строительства, а вместе с тем и расходов, связанных с приобретением песка и цемента. Также благодаря применению в строительстве арболитовых блоков сокращаются теплопотери дома. Блоки из арболита отличаются небольшим весом, что облегчает транспортировку материала в отдаленные районы. Арболитовые блоки обладают повышенной упругостью, что положительно влияет на сейсмоустойчивость зданий в опасных зонах. Во время усадки здания стены из кирпича и аналогичных материалов дают трещины, стены из арболита сохраняют свою целостность [2]. Пористая структура арболита позволяет поддерживать благоприятный микроклимат в помещениях, благодаря чему здание не подвергается гниению и воздействию вредителей, «дышит» и хорошо вентилируется, не накапливает влагу в стенах.

Производство арболита не ограничивается только использованием заполнителей на основе древесины, то есть щепы и опилок, так как в ряде стран лесные ресурсы значительно ограничены или отсутствуют. Значительный интерес с позиции расширения сырьевой базы заполнителей для производства и повышения физико-механических характеристик арболита могут представлять отходы растениеводства, такие как солома злаковых культур, копра льна.

Одним из путей рационального использования таких отходов является их применение в качестве сырья в производстве стеновых материалов для малоэтажного городского и сельского строительства. Технологии по утилизации отходов растениеводства в виде исходного сырья в композиционных материалах реализуются во многих регионах, что указывает на значительный интерес и востребованность данного направления в строительной отрасли. Также материалы на основе растительного сырья характеризуются малой теплопроводностью, низкой плотностью и относительно высокой прочностью. Данные свойства позволяют обеспечить широкий спектр применения растительных отходов в строительной сфере.

1. Анализ производства стеновых материалов на основе растительного сырья

1.1 Стеновые материалы с использованием древесных отходов

В настоящее время рациональное использование отходов производства, бережное отношение к природным ресурсам становится весьма актуальной задачей, так как большинство отходов не используется должным образом, а в основном сжигается или закапывается в отвалы. Важным аспектом данного вопроса является разработка научно обоснованного комплексного подхода к переработке натуральных ресурсов для получения строительных материалов. С целью экономии средств требуется разработка и совершенствование технологических процессов при производстве материалов на данном сырье. Как показывает практика научных исследований и промышленного производства используя данное сырье возможно получить композиционные стеновые материалы с использованием органических и неорганических вяжущих.

В качестве органических заполнителей на основе древесных отходов для производства арболита [3] используют дробленку из хвойных или твердолиственных пород, получаемую при переработке отходов лесопиления и деревообработки, мелкую технологическую щепу, крупные и мелкие опилки, станочную щепу и стружку.

Опилки хвойных пород также применяют для производства опилкобетона. В качестве нейтрализатора отрицательных выделений из опилок использовали 10% жидкого стекла, а в качестве ускорителя твердения применяли 1,5% сернокислого алюминия. По результатам проведенных исследований выявлено, что при соотношении опилок и цемента 4:1, прочность находится в пределах 0,69 МПа. При увеличении расхода цемента до 50% от общей массы прочность опилкобетона равна 5,48 МПа. Уменьшение доли опилок до 20% приводит к увеличению прочности до 6,98 МПа [4].

К разновидности опилкобетона относится гипсоопилочный бетон [5], изготавливаемый на основе композиции строительного гипса и опилок. Применение гипсового вяжущего существенно сокращает время набора

прочности и при одновременном снижении плотности повышает показатель прочности на сжатие. Наряду с положительными результатами опыт применения и эксплуатации гипсоопилочного бетона позволяет выявить некоторые недостатки и особенности материала. Прежде всего, это низкая морозостойкость и водостойкость, т. е. при воздействии влаги на гипсовый камень происходит снижение прочности, появляется усадка, деформации, повышается коэффициент теплопроводности. Кроме того, по причине возникновения ползучести бетона на гипсовом вяжущем при увлажнении ограничено применение гипсобетона для возведения несущих конструкций.

На основе древесины изготавливают фибролит. В основном фибролит выпускают в виде плит или изготавливают на строительной площадке для устройства монолитных теплоизоляционных слоев. В состав фибролита входит неорганическое вяжущее, как правило цемент, и в качестве заполнителя – древесное волокно, получаемое в результате специальной обработки древесины в виде тонких лент. Предварительно для нейтрализации сахаров древесное волокно обрабатывают раствором жидкого стекла, хлористого кальция или сульфата алюминия. Формование плит происходит под небольшим давлением до 0,5 МПа. Плотность плит фибролита составляет 250 – 500 кг/м³, прочность при изгибе достигает 1,1 МПа, коэффициент теплопроводности колеблется в пределах 0,08 – 0,1 Вт/(м·°С) [6]. Рельефная поверхность фибролита обеспечивает высокую адгезию к кладочным и штукатурным растворам. В зависимости от плотности фибролит применяют для утепления стен и покрытий, а также для устройства перегородок, каркасных стен и перекрытий. По причине низкой прочности фибролит не используют для возведения несущих стен зданий.

Получение теплоизоляционных материалов, одновременно обладающих высокими механическими свойствами и теплотехническими характеристиками возможно при использовании легкого заполнителя из растительного сырья образующего пористую структуру и связующего ячеистой структуры заполняющего поровое пространство между частицами

заполнителя. Так А.Ю. Щибря [7] предлагает заменять древесные опилки таким же объемом рисовой лузги, что позволяет снизить расход воды в арболитовой смеси на 7 – 9%, плотность на 3 – 5% и расход цемента на 4%. Для поризации цементного теста добавляется древесная омыленная смола с известковым тестом в качестве стабилизирующего компонента. Дополнительно возможно введение глины в количестве 40 – 60 кг на 1 м³ арболита, позволяющей улучшить капиллярно-пористую структуру вяжущего и тем самым понизить коэффициент теплопроводности и уменьшить деформации усадки поризованного арболита.

Исследования по оптимизации структуры арболита на основе щепы хвойных и лиственных пород древесины проведены в Полоцком государственном университете [8]. Щепа длиной до 40 мм выполняет функцию крупного заполнителя, а в качестве мелкого заполнителя вводятся опилки в количестве до 20%. Для создания оптимальной структуры арболита используется горизонтальное виброуплотнение с амплитудой 10 см и вертикальное с частотой 50 Гц. В результате обеспечивается направленная укладка щепы в арболите, позволяющая улучшить физико-механические характеристики материала. Применение разработанной технологии обеспечивает плотность арболита равную 550 - 600 кг/м³, прочность на сжатие 3,5 – 4 МПа и теплопроводность 0,12 – 0,14 Вт/м·°С.

Композиционный материал с использованием коры и цемента, получил название «королит» [9]. В качестве армирующего элемента применяют древесные волокна, используемые в производстве волокнистых плит. Максимальная дозировка волокна имеет предел в 20%, а дальнейшее увеличение расхода волокнистого компонента не приводит к повышению прочности. Присутствие волокна увеличивает прочность до 2,71 МПа при плотности 800 – 840 кг/м³. Для аналогичных материалов из коры прочность не превышает 1,8 МПа. Таким образом эффективность введения древесного волокна обеспечивает существенное увеличение прочности на 51% без снижения теплотехнических свойств.

Известно производство панелей на основе древесной щепы, цемента, жидкого стекла [10]. Жидкое стекло использовали в качестве минерализатора, являющимся одновременно и ускорителем твердения. В исследованиях отмечается, что использование хлористого кальция возможно только для предварительно вылежавшейся древесной щепы в течении 6 месяцев. При плотности 450 – 500 кг/м³, коэффициент теплопроводности равен 0,11 – 0,12 Вт/м·°С, предел прочности при сжатии 0,8 – 0,9 МПа. После формовки панели на основе цемента дополнительно укрывали пленкой для предотвращения испарения влаги из верхних слоев композита. Через 3 суток пленку снимали, а панель устанавливали в вертикальное положение.

В строительстве применяются изделия из арболита в виде массивных крупноразмерных блоков. Основным минусом стен из блоков является наличие мостиков холода в виде растворных швов. Предложенная полигональная форма блоков позволяет сократить количество кладочного раствора в конструкции стены. Данное решение внедрено в стеновых блоках «LEGO» [11] с системой паз – гребень. Для получения равномерно распределённой смеси в опалубке при формовке блоков в состав вводится суперпластификатор С-3.

1.2 Стеновые материалы на основе сельскохозяйственных отходов

На рубеже XX – XXI века 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 растениеводческих отходов.

Растениеводство, включая выращивание зерновых культур и льна, занимает существенный сегмент в производстве агропромышленного комплекса Республики Беларусь. По данным статистического ежегодника [12] в Республике Беларусь в 2017 году посевные площади зерновых культур составили около 2,43 млн. гектар, льна-долгунца – 47 тыс. гектар.

Основная фракция частиц 5 - 20 мм позволяет использовать костру льна для изготовления композитной фанеры и древесно-стружечных плит, а при высоком давлении формования и плит без вяжущего компонента.

Технология производства костробетона для малоэтажного монолитного домостроения разработана в Нижнем Новгороде. В качестве основных компонентов использовались гипсоцементное вяжущее и костра льна [13]. Предложенное технологическое решение позволяет получить костробетон с плотностью 630 – 980 кг/м³ и пределом прочности на сжатие 0,8 – 4,4 МПа.

Костра льна используется для производства легких бетонов [14] при частичной замене цемента в бетонной смеси. Содержание костры льна достигает до 20% от массы цемента. Исследование показало, что увеличение количества льняных частиц замедляет гидратацию цемента. Химическая обработка заполнителя снижает воздействие сахаров, содержащихся в костре, на гидратацию цемента. Прочность на сжатие при 20% содержании льняных частиц достигает 4,8 МПа, а прочность на изгиб 1,2 МПа.

В Рижском техническом университете [15, 16] проводятся исследования по использованию костры конопли в теплоизоляционных материалах. В качестве связующего используется доломитовая известь и метакаолин, полученный сжиганием каолиновой глины при температуре 8000°С. При плотности 345 – 540 кг/м³ прочность на сжатие образцов составляет 0,13 – 0,27 МПа, коэффициент теплопроводности равен 0,071 – 0,086 Вт/(м·°С).

Испытания стеновых материалов на основе отходов сельскохозяйственного производства проводятся учеными из Люблинского университета технологий [17]. Так в первой серии композитов заполнителем являлась костра конопли. В качестве вяжущего использовалась известь. Прочность на сжатие образцов равна 0,39 – 0,76 МПа, коэффициент теплопроводности составил 0,09 – 0,108 Вт/(м·°С), а прочность на изгиб от 0,12 до 0,15 МПа. Во второй серии образцов использовали в качестве заполнителя костру льна, связующим компонентом в составах являлась смесь из извести,

цемента и глины. Показатели прочности на сжатие варьировались в пределах 0,49 – 0,66 МПа, а прочность на изгиб составила 0,13 – 0,24 МПа при коэффициенте теплопроводности равном 0,09 – 0,111 Вт/(м·°С).

Источники энергии, использующиеся для работы строительной промышленности, выступают крупнейшими производителями углекислого газа. Использование растительного сырья для замены существующих материалов, является возможным решением проблемы загрязнения окружающей среды. Солома злаковых культур является естественным и постоянно возобновляемым материалом, получаемым во многих регионах мира. Производство строительных материалов на основе растительного сырья нейтрализует больше углекислого газа, чем выделяет в атмосферу, так как в процессе выращивания сельскохозяйственные культуры поглощают большие объемы углекислого газа. [18].

В Великобритании спрессованную солому используют для получения экопанелей «Stramit» [19]. Прочность на изгиб панелей равна 0,8 МПа, а коэффициент теплопроводности составляет 0,08 – 0,11 Вт/(м·°С) при плотности 200 – 360 кг/м³. Толщина панелей составляет 58 мм, что недостаточно для обеспечения требуемого сопротивления теплопередаче даже в условиях умеренного климата в зимний период. Использовать плиты в 2 – 3 слоя экономически нецелесообразно по причине высокой стоимости получаемой изоляции. В этой связи применение плит имеет несколько ограниченную область применения и используется при устройстве наружных стен каркасных зданий только совместно с другими теплоизоляционными материалами.

На основе соломенных тюков производят стеновые панели «Есососон» (Литва) и «Экобуд» (Россия) толщиной 400 мм с коэффициентом теплопроводности 0,05 – 0,065 Вт/м·°С [20, 21]. Панели состоят из ржаной соломы и плотно запрессовываются. Солома на производстве прессуется в деревянном каркасе с помощью гидравлического пресса. Поэтому со временем панели не дают усадку. Материал имеет высокую пожаробезопасность по причине отсутствия воздуха в спрессованных панелях необходимого для

горения. Для производства соломенных щитов «Ecosocop» используют солому с уровнем влажности лишь до 15%. При прессовании соломы в щите удерживается степень сжатия $10 - 120 \text{ кг/м}^3$, благодаря чему сохраняется многонаправленная структура соломы, обеспечивающая тепловое сопротивление соломенного щита. Теплопроводность соломенного щита равна $0,054 - 0,059 \text{ Вт/(м}\cdot\text{°C)}$.

Проведены исследования теплотехнических параметров стен из соломенных тюков с практической реализацией учеными из Румынии. Средние значения коэффициента теплопроводности равны $0,053 - 0,061 \text{ Вт/(м}\cdot\text{°C)}$. Данные показатели позволят обеспечить тепловую защиту зданий в сельской местности [22]. На начало 2012 года в Румынии построен один соломенный дом с деревянным каркасом. По прошествии 2-ух лет завершено строительство 11 домов на основе материалов из соломы [23]. Использование соломы на сегодняшний день является альтернативой современным строительным материалам. Стены из соломенных тюков, в отличие от традиционных материалов, улучшают качество воздуха в помещениях благодаря своей способности дышать, а также не выделяют вредных веществ в виде формальдегидов. Необходимо отметить, что использование соломы без минерального связующего не обеспечивает стойкость получаемых стеновых материалов (панелей, блоков и т.п.) к негативному воздействию мелких грызунов.

В Пензенском университете для изготовления стеновых материалов использовали гречишную солому [24], с максимальным размером частиц до $30 - 40 \text{ мм}$, что препятствует значительному конвективному переносу тепла в сообщающихся порах. Овсяная лузга вводилась как мелкий пористый наполнитель, а связующим компонентом в разработанных составах являлся цемент. При плотности образцов $544 - 617 \text{ кг/м}^3$ и коэффициенте теплопроводности равном $0,06 - 0,084 \text{ Вт/(м}\cdot\text{°C)}$ для обеспечения прочности на сжатие $0,39 - 1,32 \text{ МПа}$ гречишную солому обрабатывали комплексным минерализатором.

Рисовую солому используют в качестве наполнителя при производстве дешевых строительных материалов для возведения жилья в Египте [25]. Вяжущим

компонентом являлся цемент. Утилизация соломы, путем сжигания, приводит к ухудшению экологической обстановки в регионе, загрязняя окружающую среду. Тепловые испытания показали, что блоки возможно использовать в качестве стеновых и изоляционных материалов в условиях жаркого климата.

В Таджикистане применяется технология получения стеновых материалов на основе дробленых стеблей хлопчатника [26]. При изготовлении стенового материала в качестве вяжущего используется портландцемент. Стеновой материал имеет прочность на сжатие 2,9 МПа, коэффициент теплопроводности равен 0,116 Вт/(м·°С) при плотности 600 кг/м³. Жидкое стекло и хлористый кальций используются для предотвращения воздействия на цемент легкорастворимых веществ.

Французскими учеными проводятся исследования биокompозитных материалов на основе растительного заполнителя из соломы рапса и дробленого ствола подсолнуха [27]. Вяжущим компонентом в разработанном составе является глина. При плотности биокompозита из соломы рапса 250 – 420 кг/м³, коэффициент теплопроводности составляет 0,07 – 0,08 Вт/(м·°С). Применение дробленого ствола подсолнуха приводит к увеличению плотности до 400 – 580 кг/м³ и коэффициента теплопроводности до 0,1 – 0,14 Вт/(м·°С).

Так же измельченные стебли подсолнуха фракцией 1 – 6 мм использовали во Франции для получения теплоизоляционных материалов [28] на основе связующего хитозана, являющимся производным продуктом хитина. Теплоизоляционный материал при плотности 150 кг/м³ имеет прочность на сжатие 2 МПа, на растяжение 2,6 МПа при теплопроводности равной 0,06 Вт/(м·°С).

1.3 Факторы, оказывающие существенное влияние на формирование структуры и прочность стеновых материалов с применением цементного связующего

К специфическим особенностям целлюлозосодержащих заполнителей из соломы, отрицательно влияющим на процессы структурообразования, прочность и стойкость цементного вяжущего к влагопеременным воздействиям, а также на технологические процессы производства относятся: значительная степень объемных влажностных деформаций (усушка,

разбухание) и развитие давления набухания; низкая адгезия по отношению к цементному камню; значительная упругость при уплотнении смеси [40]. Степень влияния перечисленных особенностей заполнителей растительного происхождения на процессы структурообразования и физико-механические свойства цементного вяжущего различна. По этим причинам при производстве высококачественных стеновых материалов требуется учитывать влияние особенностей заполнителя из соломы.

Сахара, находящиеся в органических заполнителях, под воздействием щелочей и воды переходят в растворимое состояние и отрицательно влияют на схватывание цементного теста и конечную прочность цементного камня. Присутствие в смеси сахаров даже в малых количествах резко замедляет или исключает возможность схватывания цемента [29].

Локализация вредного воздействия сахаров возможна на этапе приготовления композитной смеси, а также при твердении стенового материала. Удаление сахаров возможно производить путем вымачивания измельченных растительных отходов, включая древесные, в специальных бассейнах [30]. Недостатком является необходимость наличия больших складских площадей и длительность процесса выдерживания в воде.

Нейтрализация отрицательного влияния на цемент вредных соединений, входящих в состав древесины, [31, 32] происходит в результате обработки древесных частиц в известковом растворе. На поверхности древесного заполнителя образуется покрытие, препятствующее сахарам отрицательно влиять на процесс формирования и твердения цементного камня.

Исключить из технологического процесса подготовительные операции, связанные с предварительным замачиванием и выдерживанием древесного заполнителя в воде или солевых растворах, а также снизить деформации усадки позволяет введение в арболит отхода производства – кальциевого шлама в количестве 20 – 25 % от массы цемента [33].

В льняной костре содержится до 64% целлюлозы [34, 35], тогда как в древесине лиственных пород ее содержится до 47%, в хвойных породах – до

58% [36]. Содержание легкогидролизуемой части (пентозанов) в костре меньше, чем в древесине, поэтому применение костры в производстве плит с минеральными вяжущими, например, с цементом, вполне оправдано. При этом воздействие «цементных ядов» на процесс структурообразования стенового материала существенно снижается, а физико-механические показатели возрастают.

Для нейтрализации сахаров, находящихся в костре, при разработке арболитовых составов ученые из Харьковского университета [37] применяли хлористый кальций или жидкое стекло. Применение добавок – регуляторов ускоряет процесс схватывания и сокращает период взаимодействия водорастворимых веществ с цементом, что также ведет к снижению их отрицательного влияния. Разработанные составы арболитовых смесей плотностью 480 – 735 кг/м³ обладают прочностью 0,98 – 5,4 МПа.

Также в арболитовых составах успешно применяется как ускоритель гидратации цемента и набора прочности цементным камнем сульфат алюминия [38]. Данная добавка имеет ряд преимуществ по сравнению с хлористым кальцием. Сульфат алюминия более безопасен с экологической точки зрения и не способствует удерживанию воды в структуре арболита в отличие от хлорида кальция [39], что обеспечивает более высокие теплотехнические характеристики стеновых материалов.

В предложенных к разработке и исследованию стеновых материалах в качестве добавки нейтрализующей сахара предполагается использовать известь по ряду причин. Применение извести позволяет снизить негативное влияние сахаров, выделяемых кострой льна, 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, что способствует повышению прочности сцепления между наполнителем и вяжущим.

2. ХАРАКТЕРИСТИКИ ИСПОЛЬЗОВАННЫХ МАТЕРИАЛОВ

2.1 Исходные материалы

В качестве крупного заполнителя при изготовлении стеновых блоков использовалась рубленая солома ржи, являющаяся многотоннажным отходом сельскохозяйственного производства агропромышленного комплекса Республики Беларусь.

Солома представляет собой сухие стебли зерновых культур, остающиеся после обмолота. Для исследований применяли солому зерновых, выращенных на посевных площадях КУСХП «Дуниловичи - агро» Поставского района, КУСХП «Банонь» Полоцкого района. Для получения резанной соломы с необходимой длиной трубки использовали барабанную соломорезку марки РСБ – 0.1.

В таблице 2.1 приведены основные химические вещества, содержащиеся в ржаной соломе.

Таблица 2.1 - Основные химические вещества, содержащиеся в ржаной соломе

№ п/п	Состав ржаной соломы	
	Вещества	Содержание, %
1	Целлюлоза	40 – 49
2	Гемицеллюлоза	18 – 18,5
3	Лигнин	23
4	Пентозаны	27 – 28
5	Вещества, экстрагируемые дихлорэтаном	2 – 2,6
6	Диоксид кремния	3,1 – 4,1
7	Гигроскопическая вода	остальное

Для изготовления стеновых блоков использовали костру льна в виде мелкого заполнителя в смеси с ржаной соломой.

Лен относится к однолетним растениям семейства льновых (Linaceae), высеваемое весной и дающее семена осенью того же года. Костра льна является основным отходом первичной переработки льна и составляет 60 – 70% его массы. При выделении волокна в процессе мятья и трепания, стебли льна разрушаются, а отпадающие одревесневелые части образуют костру. Размеры частиц костры колеблются от 1 мм до 10 мм по длине и от 0,3 мм до 1,5 мм по толщине.

Химический состав костры льна зависит от погодных условий, района произрастания льна и содержит следующие вещества, представленные в таблице 2.2.

Таблица 2.2 – Химические вещества в составе костры льна

№ п/п	Состав костры льна	
	Вещества	Содержание, %
1	Целлюлоза	38 – 46
2	Гемицеллюлоза	10,5 – 12
3	Лигнин	23 – 27
4	Пектины	2 – 3
5	Зола	1,5 – 2

Для экспериментальных исследований использовали костру льна Поставского льнозавода насыпной плотностью 112 – 120 кг/м³. Костра льна предварительно просеивалась на вибросите марки ВА 400N с размером ячеек 5 мм с отсевом пыли. Фракция менее 5 мм составляет около 50% от получаемого объема костры.

При изготовлении стеновых материалов в качестве вяжущего применяли цемент ОАО «Кричевцементношифер». Требования к цементу регламентируются ГОСТ 31108-2003 «Цементы общестроительные. Технические условия» [41]. Физико – механические характеристики цемента приведены в таблице 2.3.

Таблица 2.3 – Физико – механические характеристики цемента

Вид цемента и наименование завода - изготовителя	Удельная поверхность, см ² /г	НГЦТ, %	Сроки схватывания, ч-мин		Актив- ность, МПа
			начало	конец	
Портландцемент ЦЕМ I 42,5Н ОАО «Кричевцементношифер»	2550	25,6	4-10	5-50	50,1

В качестве второго компонента комплексного вяжущего использовали строительную кальциевую гидратную известь II сорта без добавок производства ОАО «Красносельскстройматериалы». Известь характеризуется следующими показателями: активность (содержание CaO+MgO) – 66%, содержание CO₂ – 3,4%, влажность – 0,7%, остаток на сите d = 0,2 – 0,8% и соответствует требованиям СТБ EN 459-1-2007 [42].

2.2 Методики исследований

Основные физико-механические показатели стеновых материалов – плотность, прочность на сжатие определяли в соответствии с ГОСТ 19222-84 «Арболит и изделия из него. Общие технические условия» [43].

Теплопроводность исследуемых материалов измеряли по СТБ 1618 -2006 «Материалы и изделия строительные. Методы определения теплопроводности при стационарном тепловом режиме» [44].

Сорбционную влажность образцов стенового материала определяли по ГОСТ 24816-2014 «Материалы строительные. Метод определения равновесной сорбционной влажности» [45].

Методика определения влияния влажности на коэффициент теплопроводности рассмотрена в главе 3 (п. 3.3).

При испытаниях стенового материала в условиях эксплуатации зданий измерение температуры окружающего воздуха и поверхности испытываемых образцов проводились с помощью термопар, а показатели теплового потока с применением преобразователей теплового потока, подключенных к прибору РТП-1-16Т. Методика проведения испытаний и схема расположения датчиков приведена в главе 4 (п. 4.1).

Влажность стенового материала после испытаний в условиях эксплуатации определяли прямым методом по ГОСТ 12730.2 [46]. В главе 4 (п. 4.1) рассмотрена методика определения влажности с графическим пояснением (рис. 4.4).

Определение удельной теплоемкости стеновых материалов производилось с помощью измерителя теплоемкости ИТ-с-400. При проведении измерений испытываемый образец, имеющий форму цилиндра, диаметром 15 мм и высотой 10мм, помещали внутрь металлической ампулы, накрывали колпачком и разогревали с помощью нагревателя, расположенного в измерителе теплоемкости. Тепловой поток поступает к ампуле через тепломер. Открытые участки поверхности ампулы изолировали от внешней среды адиабатической оболочкой, чтобы тепловая связь ампулы и образца

осуществлялась только через термомер. Исследования проводились в температурном диапазоне от -40°C до 50°C со скоростью нагрева 6 K/мин .

Коэффициент дымообразования стеновых блоков определяли по ГОСТ 12.1.044 «Пожаровзрывоопасность веществ и материалов. Номенклатура показателей и методы их определения» [47]. Испытания на горючесть стеновых материалов проводили в соответствии с ГОСТ 30244 «Материалы строительные. Методы испытаний на горючесть» [48].

3 Физико – механические свойства стеновых материалов на основе соломы и костры льна

3.1 Определение основных физико – механических показателей стеновых материалов

Значительный интерес для строительства Витебского региона, как в целом и для всей Беларуси может представлять стеновой материал в виде крупноразмерных блоков, содержащий в виде крупного и мелкого заполнителей солому злаковых культур фракцией 20 – 40 мм и костру льна размером до 10 мм. В качестве комплексного вяжущего предлагается использовать цементно – известковую композицию. Для получения сырьевой смеси необходимо соблюдать последовательность выполнения технологических операций, определенных опытным путем и обеспечивающих равномерное распределение компонентов по всему массиву костросоломенных блоков. Изначально подготовленное известковое молоко смешивается с кострой льна. Затем дробленую солому тщательно перемешивают с предварительно полученным цементным тестом. За время проведения технологической операции по смешиванию соломы с цементным тестом, костра частично впитывает известковое молоко. На следующем этапе производится перемешивание двух подготовленных сырьевых смесей. В результате получается однородная смесь с двухкомпонентным связующим и равномерным распределением костры без образования комков по структуре материала. Применение приведенной технологической последовательности получения костросоломенного стенового материала позволяет устранить отрицательное влияние сахаров, содержащихся в костре льна, на гидратацию цемента за счет образования известковой оболочки в поверхностных слоях структуры мелкого заполнителя, блокирующей выход сахаров из костры.

При подборе составов предварительно определены оптимальные фракции и соотношения соломы с кострой. В таблице 3.1 представлены результаты испытаний по определению физико – механических характеристик стеновых материалов на основе соломы и костры. В экспериментальных составах, содержащих солому или смесь соломы с кострой льна в количестве

55:45 при плотности материала 530 – 750 кг/м³, соотношение цемента и извести принято 50:50, что обеспечивает полное заполнение пустот в структурной системе из крупного и мелкого заполнителей.

Таблица 3.1 – Физико-механические характеристики стеновых материалов

№ состава	Расход компонентов на 1 м ³ в долях от единицы					Плотность, кг/м ³	Прочность на сжатие, МПа	Коэффициент теплопроводности, Вт/(м·°С)	Время выдержки в форме, сут.
	солома	костра	цемент	известь	вода				
1	0,2	-	0,23	0,23	0,34	530	1,4	0,095	1
2	0,11	0,09	0,23	0,23	0,34	530	1,6	0,088	1
3	0,14	0,1	0,21	0,21	0,34	570	2,0	0,093	1
4	0,15	0,1	0,2	0,2	0,35	610	2,4	0,099	1
5	0,27	-	0,19	0,19	0,35	630	2,1	0,107	2
6	0,16	0,11	0,19	0,19	0,35	630	2,6	0,1	2
7	0,17	0,13	0,18	0,18	0,34	670	2,9	0,11	3
8	0,2	0,14	0,17	0,17	0,32	750	3,1	0,127	4

По результатам исследований установлено, что с заменой части соломы кострой при одинаковой плотности (составы 1, 2) происходит увеличение прочности на 15%, и уменьшение коэффициента теплопроводности. Возрастание доли заполнителей до 0,24 (состав 3) при повышении плотности на 11% по сравнению с составом 2, увеличивает прочность на 25%, а коэффициент теплопроводности на 0,005 Вт/(м·°С), при сохранении времени выдержки в форме 1 сутки. Состав 4 при плотности 610 кг/м³ является граничным по минимальной выдержке в форме 1 сутки. Дальнейшее возрастание плотности приводит к увеличению выдержки материала в форме от 2 до 4 суток. Для состава 6 относительно показателей состава 5 наблюдается увеличение прочности на 24% и снижение коэффициента теплопроводности на 0,007 Вт/(м·°С). Повышение расхода заполнителя (составы 5, 6) вызывает увеличение плотности на 19 %, прочности на сжатие на 50 – 63% и коэффициента теплопроводности на 0,012 Вт/(м·°С) в сравнении с показателями составов 1, 2, а время выдержки в форме возрастает до 2 дней.

Дальнейшее увеличение расхода заполнителей до 0,3 – 0,34 (составы 7, 8) обеспечивает повышение плотности и прочности при существенном

увеличении теплопроводности и сроков выдержки в форме. Значительные изменения физико - механических характеристик отмечается при сравнении составов 2 и 8. Так для состава 8 плотность возросла на 42%, прочность на сжатие в 1,9 раза, однако коэффициент теплопроводности увеличился на 44%, а время выдержки в форме возросло до 4 дней. В процессе исследований установлено, что чем выше плотность стенового материала за счет увеличения расхода заполнителей, тем больше время выдержки в форме, а это существенно снижает количество циклов оборачиваемости форм. Установлено, что выполнение распалубки раньше минимально необходимого срока выдержки приводит к деформированию образца в объеме, то есть происходит разуплотнение материала, за счет упругих деформаций соломы и недостаточной прочности вяжущего на момент распалубливания.

Эффект от использования костры обусловлен формированием из крупного и мелкого заполнителя двух взаимопроникающих структурных систем, образующих прочную пространственную структуру «каркас в каркасе». Ограничение по расходу вяжущего не позволяет получить максимально плотную структуру материала на основе соломы. Костра заполняет пустотное пространство, образуемое в каркасе из соломы и формирует второй каркас, препятствующий перемещению воздушных потоков в пустотах композита и тем самым, понижает конвективный перенос тепла, что уменьшает теплопроводность материала.

Кроме того, костра льна имеет шероховатую поверхность, что значительно повышает адгезию цементно – известкового камня по сравнению с низкой прочностью сцепления с соломой по причине присутствия восковой пленки на поверхности, что подтверждается результатами исследований поверхностной структуры соломы зерновых культур сотрудниками Приднепровской государственной академии строительства и архитектуры [49].

При введении извести в количестве 50% от общей массы вяжущего значительно увеличивается расход воды, по сравнению с составами на цементе, что отрицательно сказывается на физико – механических показателях

костросоломенных блоков. В таблице 3.2 представлены результаты исследований по оптимизации соотношения цемента и извести с учетом влияния на основные физико – механические свойства стеновых блоков. Испытания проводили на образцах плотностью 530 кг/м³.

Таблица 3.2 – Физико-механические характеристики стенового материала

№ состава	Расход компонентов, кг/м ³					Коэффициент теплопроводности в сухом состоянии, Вт/(м·°С)	Прочность на сжатие, МПа
	солома	костра	цемент	известь	вода		
1	93	76	360	-	268	0,073	1,4
2	169	-	360	-	268	0,081	1,3
3	93	76	180	180	373	0,088	1,6
4	169	-	180	180	373	0,095	1,4
5	93	76	216	144	342	0,084	1,7
6	169	-	216	144	342	0,09	1,5
7	93	76	253	107	293	0,08	1,9
8	169	-	253	107	293	0,087	1,65
9	93	76	289	71	268	0,075	2,2
10	169	-	289	71	268	0,085	2,0

Составы 1, 2 на цементном вяжущем имеют прочность 1,4 – 1,3 МПа соответственно. При соотношении цемента и извести 50:50 (составы 3, 4), прочность увеличивается незначительно. Положительный эффект от нейтрализации сахаров известью полностью перекрывается повышенным водопотреблением комплексного вяжущего. Присутствие извести в составах 3, 4 повышает расход воды на 40% по сравнению с составами 1, 2 на цементном вяжущем. В результате формируется пористая структура цементно – известкового камня, что негативно влияет на прочность стенового материала. Снижение расхода извести на 10 – 20% (составы 5 – 8) обеспечивает повышение прочности до 1,5 – 1,9 МПа. В составах 9, 10 расход извести равен 20% от общей массы вяжущего. При этом количество воды затворения соответствует расходу на цементном вяжущем (составы 1, 2). Зафиксировано повышение прочности на 54 – 57% (составы 9, 10) по сравнению с показателями составов 1, 2. Необходимо отметить, что для экспериментально подобранного состава 9 одновременно решаются проблемы отрицательного влияния сахаров на цемент,

увеличения адгезии вяжущего с заполнителем и формирования плотной структуры цементно - известкового камня, что в комплексе обеспечивает повышение прочности костросоломенных блоков до 2,2 МПа. По результатам исследований получен патент № 21884 «Сырьевая смесь для изготовления арболита» [50].

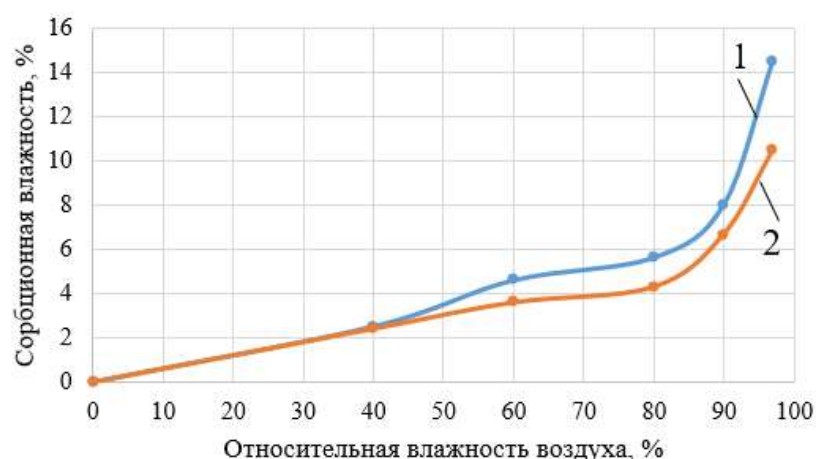
3.2 Исследование сорбционной влажности стеновых материалов

Одним из важнейших показателей стеновых материалов, совмещающих ограждающую функцию с тепловой защитой зданий и сооружений, является коэффициент теплопроводности. Изменение коэффициента теплопроводности связано не только с характером структуры материала, но и с явлениями, возникающими в процессе эксплуатации. Так, негативным фактором, изменяющим свойства стеновых материалов в период эксплуатации, является воздействие влаги [51].

Данному вопросу посвящен ряд исследований, указывающих на важность проблемы. Так в университете Орлеана (Франция) выполнялась работа по установлению влияния влаги на теплотехнические свойства материалов на основе древесных опилок и соломы эксикаторным методом [52]. Для получения теплоизоляционного материала использовалось комплексное связующее «Tradical PF70» представляющее собой смесь воздушной, гидравлической извести и пуццолана. Сорбционная влажность стенового материала на основе заполнителей пшеничной или ячменной соломы на известковом вяжущем при относительной влажности воздуха 97% составляет 23 – 25%. В то же время при использовании в качестве связующего гипса, показатель сорбционной влажности равен 14 – 16%. По результатам исследований выявлено, что использование в качестве заполнителя пшеничной или ячменной соломы не оказывает существенного влияния на сорбционную влажность композитных материалов, а основным определяющим фактором является вид используемого вяжущего.

Сорбционную влажность стеновых блоков определяли по ГОСТ 24816 эксикаторным методом. По результатам испытаний построены изотермы сорбции водяного пара экспериментальными образцами (рис. 3.1). Сорбционная

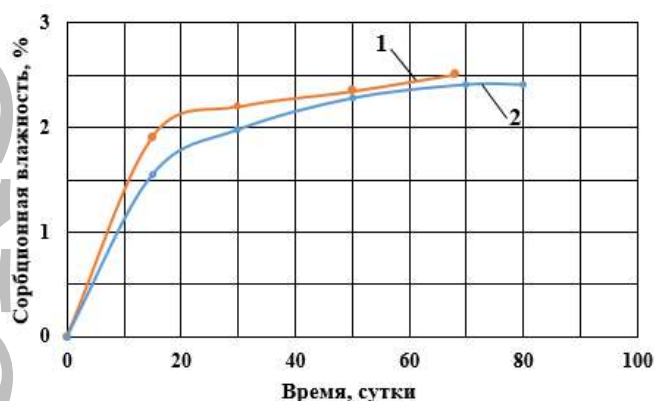
влажность всех образцов достигает 2,4% в эксикаторах при относительной влажности воздуха 40%. Показатель сорбционной влажности образцов на основе соломы выше на 28% в сравнении с образцами на заполнителе из костросоломенной смеси равной 3,6% при относительной влажности воздуха 60%. Поддержание в эксикаторе относительной влажности воздуха на уровне 80% способствует повышению сорбционной влажности образцов на основе соломы до 5,6%, что на 31% больше, чем у образцов на основе костросоломенной смеси. Сорбционная влажность материала, содержащего костросоломенную смесь при влажности 90% равна 6,7%, а образцов на основе соломы 8,1%, то есть возрастает на 21%. Относительная влажность воздуха 97%, вызывает возрастание сорбционной влажности образцов на заполнителе из соломы до 14,5%, что превышает на 38%, показатель образцов на основе костросоломенной смеси соответствующий 10,5%.



1 – стеновой материал на основе соломы; 2 – стеновой материал на основе соломы и костры льна

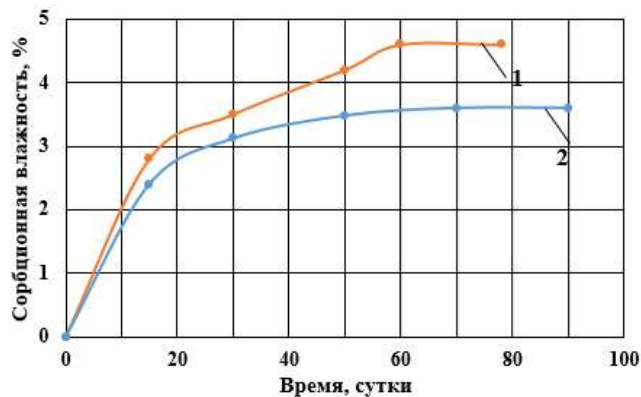
Рисунок 3.1 – Изотермы сорбции водяного пара

К важным характеристикам стеновых материалов обеспечивающих теплоизоляционные свойства ограждающих конструкций относится кинетика сорбции водяных паров при определенном значении относительной влажности воздуха. Кинетика сорбции водяных паров образцами, отобранными из экспериментальных стеновых блоков, представлена на рисунках 3.2 – 3.6.



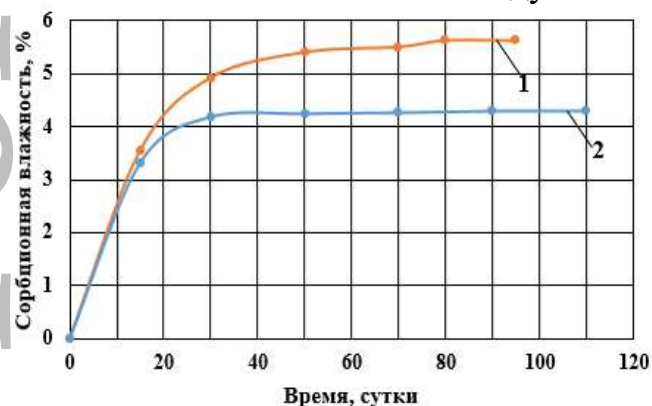
1 - образцы на заполнителе из соломы
2 - образцы на заполнителе из смеси соломы с кострой льна

Рисунок 3.2 – Кинетика сорбции водяных паров образцами при относительной влажности воздуха 40%



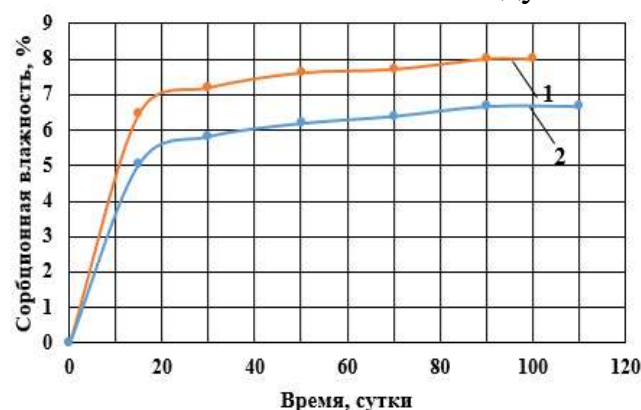
1 - образцы на заполнителе из соломы
2 - образцы на заполнителе из смеси соломы с кострой льна

Рисунок 3.3 – Кинетика сорбции водяных паров образцами при относительной влажности воздуха 60%



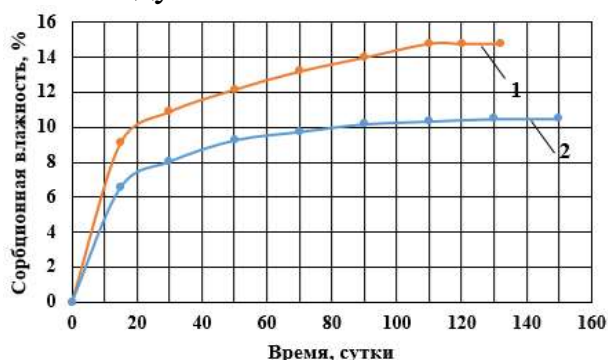
1 - образцы на заполнителе из соломы
2 - образцы на заполнителе из смеси соломы с кострой льна

Рисунок 3.4 – Кинетика сорбции водяных паров образцами при относительной влажности воздуха 80%



1 - образцы на заполнителе из соломы
2 - образцы на заполнителе из смеси соломы с кострой льна

Рисунок 3.5 – Кинетика сорбции водяных паров образцами при относительной влажности воздуха 90%



1 - образцы на заполнителе из соломы
2 - образцы на заполнителе из смеси соломы с кострой льна

Рисунок 3.6 – Кинетика сорбции водяных паров образцами при относительной влажности воздуха 97%

При относительной влажности воздуха 40% за первые 20 суток показатель сорбционной влажности образцов из костросоломенной смеси достиг 1,8%, что меньше на 20% в сравнении с образцами из соломы за тот же период времени. Максимальная сорбционная влажность образцов на заполнителе из соломы составляет 2,5% в возрасте 68 суток, а образцов из костросоломенной смеси достигает 2,4 % через 80 суток (рис. 3.2).

При относительной влажности воздуха 60% сорбция водяных паров образцами интенсивно растет первые 30 суток (рис. 3.3). Показатель сорбционной влажности образцов на основе соломы за данный временной период равен 3,5%, что выше на 13% при сравнении с образцами из костросоломенной смеси. Поглощение водяных паров образцами на основе соломы продолжается 78 суток и составляет 4,6%. Период сорбции образцов на заполнителе из смеси костры и соломы длится 90 суток и равен 3,6%. Также отмечается, что после 78 суток сорбционная влажность образцов на заполнителе из костросоломенной смеси меньше на 28% в сравнении с образцами на заполнителе из соломы.

Временной период интенсивного роста сорбции в 30 суток сохраняется для относительной влажности воздуха 80%. Сорбционная влажность образцов на основе соломы равна 5% и превышает показатель сорбции образцов из костросоломенной смеси на 22%. Установлено, что за 95 суток максимальная сорбционная влажность образцов на основе соломенного заполнителя на 31% больше, чем у образцов на основе костросоломенной смеси за тот же период и равна 4,3%. Период сорбции образцов на заполнителе из смеси костры с соломой заканчивается на 110 сутки (рис. 3.4).

При относительной влажности воздуха 90% наблюдается значительный рост сорбционной влажности за первые 18 суток (рис. 3.5). Так, для образцов на основе соломы показатель влажности равен 6,5%, что на 30% меньше в сравнении с образцами из костросоломенной смеси. Период сорбции образцов на соломе продолжается 100 суток, что на 10 суток меньше в сравнении с образцами на основе смеси костры и соломы. Сорбционная влажность

образцов на основе соломы составляет 8,0%, что на 20% больше показателя образцов на заполнителе из костросоломенной смеси.

При относительной влажности воздуха 97% в первые 18 суток происходит ускоренный рост сорбционной влажности как для соломенных, так и для костросоломенных образцов. При этом показатель сорбции образцов на основе соломы равен 9%, что на 29% выше значения образцов из костросоломенной смеси. Продолжительность сорбции образцами на основе соломы составляет 132 суток, что на 18 суток меньше, чем у образцов из смеси костры и соломы. Показатели сорбционной влажности образцов на заполнителе из соломы и из костросоломенной смеси составляют 14,5% и 10,5% соответственно (рис. 3.6). Также необходимо отметить, что по окончании поглощения водяных паров сорбционная влажность образцов на заполнителе из костросоломенной смеси меньше на 41% в сравнении с образцами на основе соломы. После окончания процесса сорбции во всех случаях наблюдается стабилизация поглощения водяных паров образцами.

Дополнительно проведены исследования по определению сорбционной влажности дробленой соломы и костры льна в насыпном состоянии в камере над водой при относительной влажности воздуха 97%. Исследования показали, что максимального значения равного 35% показатель сорбционной влажности соломы достигает через 15 суток, а предельная влажность костры льна составляет только 10 – 12% на 9 сутки при температуре +20°C. Полученные результаты также подтверждаются исследованиями научных сотрудников Российского государственного аграрного университета [53]. Установлено, что сорбционная влажность костры зависит от размера частиц. Так для костры длиной 5 – 18 мм и диаметром 1,5 – 1,8 мм показатель влажности равен 15%, а для размолотой льняной костры фракцией до 1,5 мм сорбционная влажность увеличивается до 17%. Таким образом, можно утверждать, что, при замене части соломы кострой в стеновых блоках происходит замедление процессов поглощения материалом влаги из воздуха, а также уменьшение показателей

сорбционной влажности образцов на основе костросоломенной смеси, за счет более низкой сорбционной влажности костры льна.

После завершения изучения процесса сорбции образцы оставались в эксикаторах с относительной влажностью воздуха 80%, 90%, 97% для визуального определения времени начала появления плесневых грибов на поверхности образцов. При относительной влажности воздуха 97% появление плесневых грибов на поверхности образцов из соломы зафиксировано на 140 сутки, а на образцах из соломы с кострой через 180 суток. После 170 суток испытаний при относительной влажности воздуха 90% появились плесневые грибы на поверхности соломенных образцов. Через 240 суток при влажности 90% плесневые грибы на поверхности костросоломенных образцов отсутствовали и испытания были завершены. Выдерживание в эксикаторах 240 суток при относительной влажности воздуха 80% не привело к появлению плесневых грибов на поверхности всех образцов.

3.3 Влияние показателя влажности стеновых материалов на коэффициент теплопроводности стеновых блоков

В исследованиях Шильда Е., Франчука А.У. [54, 55] также изучалось влияние влажности на коэффициент теплопроводности и получены эмпирические формулы отражающие данное влияние для пеноизола, пенополистирола, силикатного кирпича. Для новых строительных материалов также требуется определение зависимостей коэффициентов теплопроводности от влажности.

Как известно, увеличение влажности материала приводит к повышению коэффициента теплопроводности [56], что ухудшает теплотехнические характеристики стеновых материалов. Для тепловлажностного расчета ограждающей конструкции необходимо определить влияние влажности материала на коэффициент теплопроводности, так как в процессе эксплуатации этот фактор может оказаться решающим в определении эффективной работы материала и его долговечности [57].

По причине отсутствия в нормативных документах стандартной методики по определению зависимости коэффициента теплопроводности от

влажности за основу взята методика, применяемая Давыденко Н.В. в исследованиях теплоизоляционных материалов на растительном сырье [58].

С целью определения влияния влажности на коэффициент теплопроводности стеновых блоков предварительно изготавливали образцы в виде плит размерами $250 \times 250 \times 30$ мм на основе соломы и смеси соломы с кострой льна. В возрасте 28 суток образцы высушивали в сушильном шкафу до постоянной массы и определяли коэффициент теплопроводности с использованием прибора ИТП – МГ4. Для стеновых материалов в сухом состоянии на основе соломы (составы 1 – 5) и соломы с кострой (составы 6 – 10) коэффициенты теплопроводности равны $0,085 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot ^\circ\text{C})$ и $0,075 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot ^\circ\text{C})$ соответственно. Плотность образцов составляла $530 \text{ кг}/\text{м}^3$. Затем образцы помещали в герметичную камеру на сетчатую подставку над водой и выдерживали определенное время (2, 5, 10, 25, 60 суток). Наибольшая продолжительность выдержки в камере 60 суток обусловлена достижением образцами максимального влагонасыщения. В течении данного временного периода гидрозатвор обеспечивает герметичность и поддержание в камере относительной влажности воздуха на уровне 97%. По истечении каждого временного периода измеряли плотность и коэффициент теплопроводности образцов во влажном состоянии. Результаты лабораторных исследований приведены в таблице 3.3.

Проведенные исследования показали, что за первые 2 суток плотность образцов на основе соломы (состав 1) возросла на $20 \text{ кг}/\text{м}^3$, коэффициент теплопроводности на $0,005 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot ^\circ\text{C})$, а влажность составила 3,8%. Значение плотности костросоломенных образцов (состав 6) возросло на $10 \text{ кг}/\text{м}^3$ при влажности 1,9%, а показатель коэффициента теплопроводности незначительно увеличился на $0,004 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot ^\circ\text{C})$. Влажность состава 1 относительно величины показателя состава 6 увеличилась в 2 раза, а коэффициент теплопроводности соломенных образцов превысил на 14% показатель композита на основе костросоломенной смеси.

При анализе полученных экспериментальных данных установлено, что наиболее интенсивно влажность образцов увеличилась за первые 10 суток. Так

для стенового материала (состав 3) влажность увеличилась в 2 раза в сравнении с показателями состава 1 за первые 2 суток и составила 7,5%, а значение коэффициента теплопроводности возросло на 17%. Влажность состава 8 на основе костросоломенной смеси заполнителей в сравнении с показателем состава 6 в возрасте 2 суток увеличилась в 3,2 раза и достигла 6%. При этом значение коэффициента теплопроводности увеличилось на 16,5%. В возрасте 10 суток коэффициент теплопроводности стеновых материалов на основе соломы и смеси соломы с кострой льна увеличился на 25% и 23% относительно показателей в сухом состоянии.

Таблица 3.3 – Показатели плотности, влажности и теплопроводности стеновых материалов

№ состава	Вид заполнителя	Время выдерживания в камере, сутки	Физические характеристики			Коэффициент изменения теплопроводности
			плотность, кг/м ³	влажность, %	коэффициент теплопроводности, Вт/(м·°С)	
1	солома	2	550	3,8	0,09	1,059
2		5	562	6,1	0,098	1,153
3		10	570	7,5	0,106	1,247
4		25	594	12,1	0,112	1,318
5		60	608	14,8	0,119	1,4
6	солома + костра льна	2	540	1,9	0,079	1,053
7		5	548	3,4	0,086	1,147
8		10	557	6,0	0,092	1,227
9		25	577	8,9	0,097	1,293
10		60	588	10,9	0,104	1,387

Кроме того, установлено, что после 10 суток выдержки в камере разница в показателях соломенных и костросоломенных образцов сохраняется. Так влажность состава 3 возросла на 25% относительно величины состава 8, а коэффициент теплопроводности увеличился на 22%.

При достижении максимального влагонасыщения через 60 суток влажность состава 5 увеличилась в 2 раза в сравнении с показателем состава 3 при выдержке 10 суток и в 3,9 раза при сравнении с составом 1 при выдержке 2 суток. Прирост плотности составил 38 кг/м³ и 58 кг/м³, а коэффициент теплопроводности возрос на 12% и 32% в сравнении с показателями составов 3 и 1 соответственно. Для костросоломенных образцов (состав 10) влажность увеличилась в 1,8 раза относительно состава 8 и в 5,7 раза в сравнении с составом 6. При сравнении с показателями составов 8 и 6 зафиксировано увеличение плотности костросоломенных образцов на 31 кг/м³ и 48 кг/м³, а коэффициента теплопроводности на 13% и 32% соответственно.

Показатель плотности стенового материала на соломенном заполнителе при выдержке в камере 60 суток (состав 5) на 20 кг/м³ превысил значение образца 10, при увеличении влажности на 36%. Из анализа экспериментальных данных (таблица 1) следует, что коэффициент теплопроводности по истечении 60 суток стенового материала на основе смеси соломы с кострой (состав 10) равен 0,104 Вт/(м·°C), что на 15% меньше показателя состава 5 на основе соломы равного 0,119 Вт/(м·°C).

Дополнительно проведены исследования по определению сорбционной влажности соломы и костры льна в насыпном состоянии в камере над водой при относительной влажности воздуха 97%. Исследования показали, что максимальное значение в 35% показатель влажности соломы достигает через 15 суток, а влажность костры льна 10% составляет только на 9 сутки. Полученные результаты также подтверждаются исследованиями сотрудников Костромского государственного университета [59]. Соответственно, при замене части соломы кострой льна в стеновых блоках происходит замедление процессов поглощения материалом влаги из воздуха за счет более низкой сорбционной влажности костры льна.

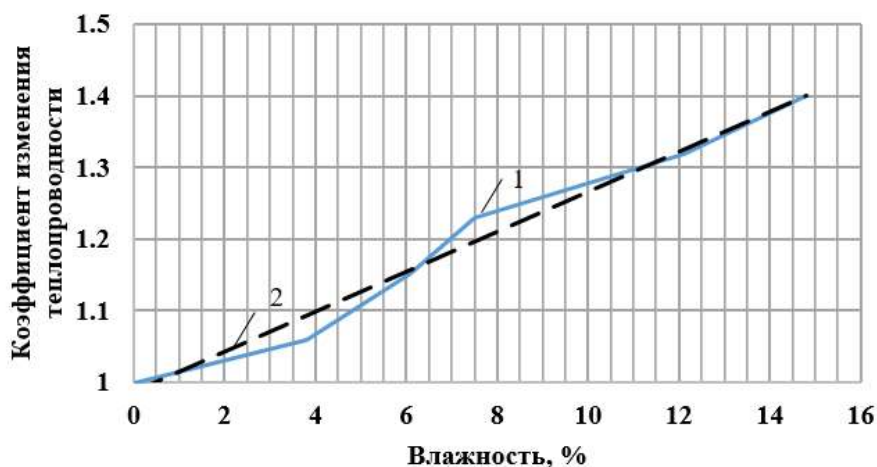
Кроме того, при формовке стеновых блоков на основе дробленой соломы происходит смятие и деформация всех соломенных трубок по всему объему заполнителя, что приводит к нарушению целостности внешней

оболочки и микроструктуры заполнителя. Локальные разрушения внешнего защитного слоя и микроструктуры способствуют увеличению сорбции водяных паров соломенными трубками.

Введение костры льна в качестве мелкого заполнителя влечет за собой уменьшение объема костросоломенной смеси в сравнении с объемом соломенного заполнителя в насыпном состоянии, что способствует при формировании блоков смятию только трубок соломы диаметром 3 – 5 мм, а трубки диаметром менее 3 мм не подвергаются деформациям и не имеют повреждений микроструктуры. Присутствие в костросоломенном каркасе неповрежденных трубок соломы в количестве 40 – 50% от массы крупного заполнителя дополнительно способствует снижению сорбции водяных паров стеновыми блоками на основе смеси из соломы и костры льна по сравнению с блоками на основе соломы.

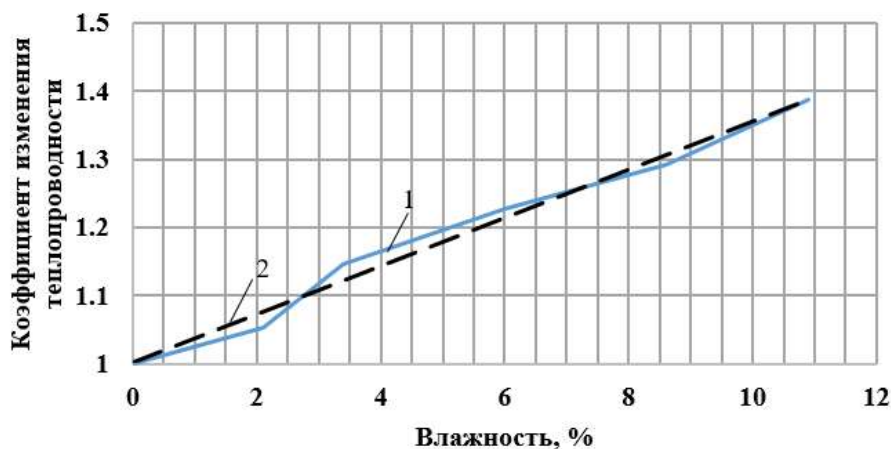
Солома по своей природе является органическим материалом и подвержена ухудшению теплотехнических свойств из-за воздействия влаги. Из результатов исследований [60, 61] известно, что показатель влажности в 15% является граничным, при котором в стеновом материале из соломы отсутствует ухудшение теплотехнических показателей. Увеличение влажности заполнителя из соломы до 16% приведет к ухудшению качества соломенной трубки. Ученые из Германии, Австрии и Египта в ходе исследований выявили, что превышение порога влажности в 18% приведет к активации спор находящихся на соломенной трубке и возникновению грибка [62]. В процессе исследований установлено, что максимальная влажность образцов содержащих солому в качестве заполнителя достигает 14,8% при относительной влажности воздуха 97%. Таким образом блоки на основе соломы могут достичь граничных условий по показателю влажности, что в дальнейшем будет способствовать снижению эксплуатационных характеристик, включая долговечность, а также стать причиной разрушения заполнителя и запустить механизм биоразложения соломы.

По результатам обработки данных эксперимента получены графики зависимостей (рис. 3.7, 3.8) коэффициентов изменения теплопроводности от влажности стеновых материалов на основе соломы и смеси соломы с кострой льна.



1 – экспериментальные данные; 2 – аппроксимирующая кривая

Рисунок 3.7 – Зависимость коэффициента изменения теплопроводности от влажности соломенного стенового материала



1 – экспериментальные данные; 2 – аппроксимирующая кривая

Рисунок 3.8 – Зависимость коэффициента изменения теплопроводности от влажности костросоломенного стенового материала

При анализе построенных графиков полученных по данным таблицы 1 установлено, что зависимость коэффициента теплопроводности стенового материала от изменения влажности аппроксимируется линейной функцией с коэффициентом корреляции $R^2 = 0.9783$ для образца на основе соломы и $R^2 = 0.9861$ для материала с наполнителем из костросоломенной смеси.

На основании лабораторных исследований и построенных графиков получены эмпирические зависимости 1, 2 для стеновых материалов на заполнителях из соломы и смеси соломы с кострой льна в виде выражений:

$$\lambda_{w_1} = \lambda_1 \cdot (1 + 0,0279 \cdot W_1), \quad (1)$$

$$\lambda_{w_2} = \lambda_2 \cdot (1 + 0,0354 \cdot W_2) \quad (2)$$

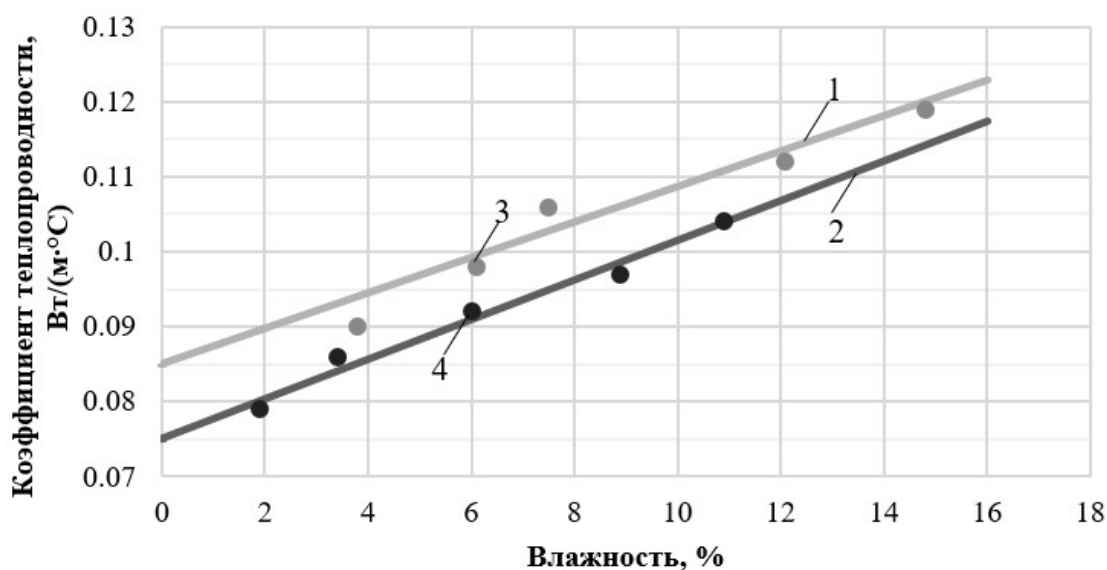
где λ_1, λ_2 – теплопроводность сухих стеновых материалов на основе соломы и смеси соломы с кострой льна, Вт/(м·°С);

W_1, W_2 – влажность стеновых материалов, %;

0,0279; 0,0354 – коэффициенты переменной, определенные экспериментально для каждого стенового материала;

$\lambda_{w_1}, \lambda_{w_2}$ – теплопроводность материалов при данной влажности, Вт/(м·°С)

Используя выражения (1) и (2) построены зависимости коэффициента теплопроводности материала на основе соломы (прямая 1) и материала на основе смеси соломы с кострой (прямая 2) от заданных значений влажности (рис. 3.9).



- 1 – эмпирическая зависимость для соломенного стенового материала;
- 2 – эмпирическая зависимость для костросоломенного стенового материала;
- 3 – экспериментальные данные для соломенного стенового материала;
- 4 – экспериментальные данные для костросоломенного стенового материала

Рисунок 3.9 – Зависимость коэффициента теплопроводности от влажности

Полученные эмпирические зависимости для соломенных и костросоломенных стеновых материалов обеспечивают возможность прогнозировать увеличение или понижение коэффициента теплопроводности

в зависимости от влажностного режима эксплуатации стеновых ограждений зданий. Определенный расчетами влажностный режим работы стенового материала является необходимым условием для обоснования долговечности и оценки эффективности полученных стеновых блоков. Зависимость 1 и 2 могут использоваться при тепловлажностном расчете проектируемых стеновых ограждений из блоков на основе соломы и соломы с костью льна, а также при обосновании принимаемых технических решений для эффективной работы стеновой конструкции в целом.

3.4 Исследование теплоемкости стеновых блоков

В лаборатории теплофизических измерений Института тепло- и массообмена имени А.В. Лыкова НАН Беларуси проведены исследования по определению удельной теплоемкости стеновых блоков. Определены зависимости изменения удельной теплоемкости образцов от температуры. Результаты испытаний приведены в таблице 3.4 и 3.5. Так при температуре 20°C удельная теплоемкость образцов на основе ржаной соломы равна 1,257 кДж/(кг·К), а образцов на основе соломы с кострой льна составляет 1,275 кДж/(кг·К). При снижении температуры до -25°C удельная теплоемкость образцов изменяется в сторону понижения. Так для образцов на основе соломы с кострой показатель удельной теплоемкости достиг значения 1,018 кДж/(кг·К), что на 25% меньше в сравнении с теплоемкостью при 20°C. Теплоемкость образцов на основе соломы снизилась на 28% и составила только 0,979 кДж/(кг·К).

Таблица 3.4 – Зависимость изменения удельной теплоемкости соломенного образца от температуры

	Образец 1	Образец 2	<C1>
T, °C	c, Дж / кг·К	c, Дж/ (кг·К)	Дж /(кг·К)
-40	885,7042	891,7052	888,7047
-35	937,8903	918,0818	927,986
-30	945,3838	948,4243	946,9041
-25	1003,801	953,3133	978,5572
-20	1006,737	990,0284	998,3829
-15	1025,422	1038,885	1032,154
-10	1068,424	1071,066	1069,745
-5	1077,717	1091,244	1084,481
0	1103,237	1118,654	1110,946
5	1148,005	1120,826	1134,416
10	1181,938	1143,669	1162,804
15	1244,769	1230,07	1237,419
20	1279,472	1233,68	1256,576
25	1308,229	1269,835	1289,032
30	1381,446	1337,472	1359,459
35	1442,935	1381,878	1412,406
40	1493,994	1418,349	1456,172
45	1567,985	1480,099	1524,042
50	1640,352	1573,497	1606,924
55	1663,693	1780,674	1722,184

Таблица 3.5 – Зависимость изменения удельной теплоемкости костросоломенного образца от температуры

	Образец 1	Образец 2	<C2>
T, °C	c, Дж/(кг·К)	c, Дж/(кг·К)	Дж/(кг·К)
-40	968,0056	877,1224	922,564
-35	1028,649	916,6343	972,6418
-30	1031,495	961,1642	996,3298
-25	1037,342	1000,124	1018,733
-20	1071,233	993,802	1032,517
-15	1083,319	1044,967	1064,143
-10	1108,273	1061,18	1084,727
-5	1136,585	1092,571	1114,578
0	1173,255	1138,314	1155,784
5	1191,414	1187,605	1189,51
10	1232,389	1236,955	1234,672
15	1286,7	1261,161	1273,93
20	1299,721	1250,946	1275,333
25	1362,253	1278,423	1320,338
30	1422,8	1336,596	1379,698
35	1419,62	1388,433	1404,027
40	1472,308	1469,85	1471,079
45	1491,055	1489,63	1490,342
50	1440,943	1439,415	1440,179
55	1413,973	1862,522	1638,247

Результаты исследований свидетельствуют о том, что при одинаковой температуре испытаний, показатели удельной теплоемкости образцов из соломенной и костросоломенной смеси имеют близкие значения.

При сравнении с существующими аналогами, такими как кирпич керамический и газосиликатный блок [63], разработанные стеновые материалы обладают более высокой удельной теплоемкостью. Так для кирпича керамического удельная теплоемкость равна 0,88 кДж/(кг·К), а показатель теплоемкости газосиликатного блока составляет 0,84 кДж/(кг·К), что в 1,4 – 1,6 раза ниже показателей образцов стеновых блоков на основе соломы и смеси соломы с кострой льна.

Высокие показатели удельной теплоемкости разработанных стеновых блоков увеличивают теплоизолирующую способность наружных стен и обеспечивают снижение теплопотерь зданий.

4 Определение эксплуатационных показателей при натуральных испытаниях стеновых блоков

4.1 Исследование теплофизических характеристик стеновых материалов в условиях эксплуатации зданий

В процессе эксплуатации зданий количественное содержание влаги в материалах ограждающих конструкций изменяется в зависимости от конструктивных особенностей, свойств материалов, температурно-влажностных условий в помещениях, климатических условий района строительства. Влажностный режим определяет эксплуатационно-технические характеристики ограждающих конструкций здания, в том числе долговечность, а также непосредственно влияет на теплозащитные свойства ограждающих конструкций и энергоэффективность применяемых материалов. Данному вопросу в последнее время уделяется все больше внимания, так как результаты исследований влияния влаги на эксплуатационные характеристики становятся определяющим фактором при выборе и применении того или иного теплоизоляционного материала при строительстве зданий.

При испытаниях стеновых блоков на основе соломы и соломы с кострой льна в условиях эксплуатации измерение температуры окружающего воздуха и поверхности испытываемых образцов проводились с помощью термопар, а показатели теплового потока – с применением преобразователей теплового потока, подключенных к прибору РТП – 1 – 16Т. Измерения проводили через каждые 90 секунд.

Во время проведения испытаний, температуру воздуха в помещении поддерживали на постоянном уровне $20 \pm 2^\circ\text{C}$, а относительную влажность воздуха в пределах 55 – 65%. За испытуемый образец принимали стеновой блок размерами $400 \times 300 \times 200$ мм. Для определения температур в толще материала каждый образец условно разделяли на 4 участка толщиной по 75 мм (рис. 4.1). На границе участков устанавливали термопары.

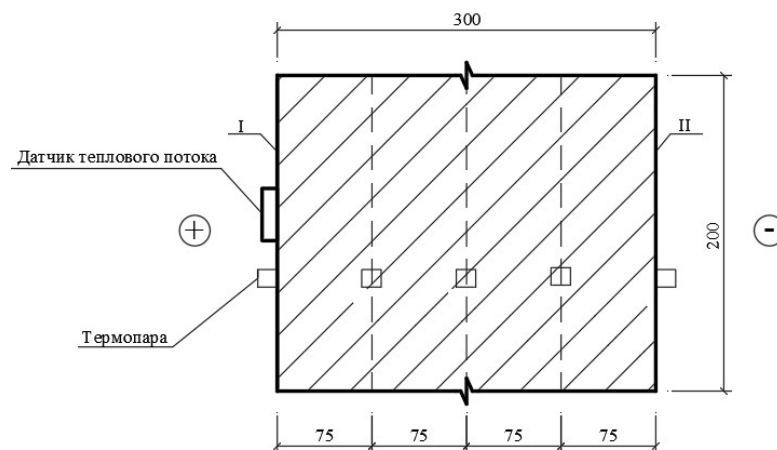
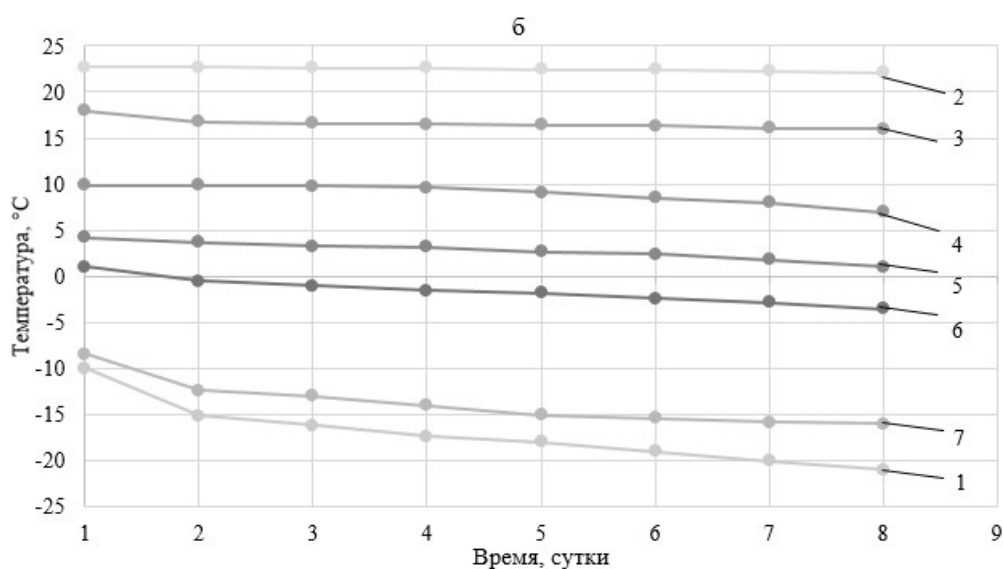
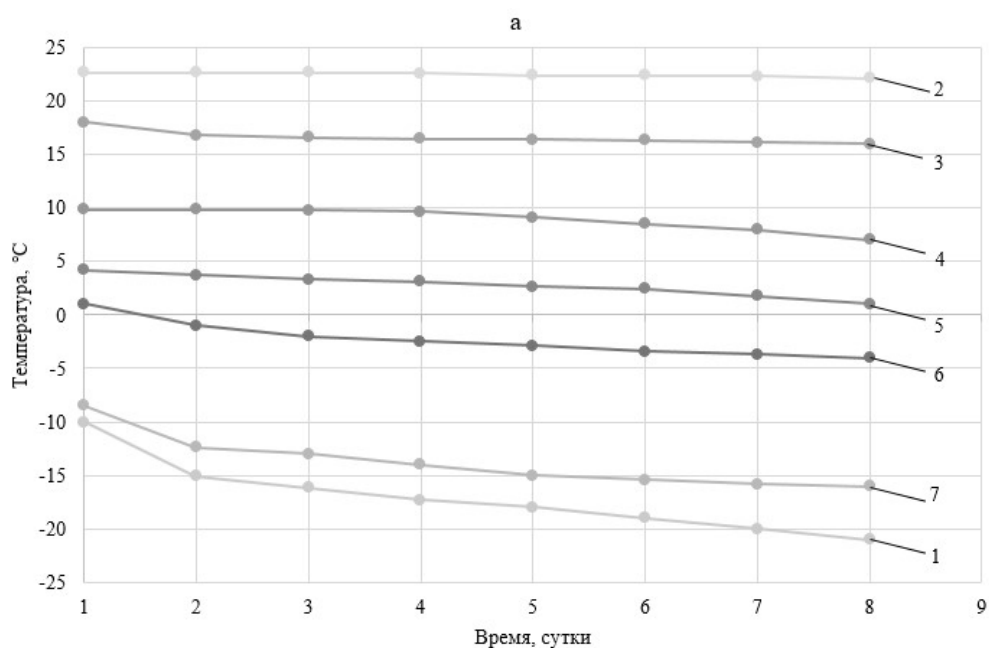


Рисунок 4.1 – Схема расположения датчиков внутри и на поверхности блока

Определение температур, показателей тепловых потоков, влажности материала выполняли на костросоломенных и соломенных блоках, находящихся в кладке наружных стен толщиной 300 мм одноэтажного жилого здания. По результатам проведенных испытаний в зимний период на рисунке 4.2 представлены распределения температур по толщине стеновых ограждающих конструкций с соломенными и костросоломенными блоками. Значения температур приняты как средние величины показаний температур с 19 часов вечера до 9 часов утра в период с 20 по 27 февраля 2018 года.

При минимальной температуре воздуха -21°C температура на поверхности I со стороны помещения образцов на основе соломы составила 16°C , что на 1°C меньше, в сравнении с образцами на основе соломы с кострой льна. На расстоянии 75 мм от поверхности I температура соломенных образцов составляет 7°C и меньше показателя костросоломенных образцов равного 9°C на 29%. Также разница температур в 2°C сохраняется и на расстоянии 150 мм от поверхности I. При этом для соломенных образцов температура достигает только 1°C , а для образца на основе смеси соломы с кострой составляет 3°C . Температура образцов на основе соломы на расстоянии 225 мм от поверхности I опускается до -4°C , что на 3°C больше в сравнении с костросоломенными образцами. Температура соломенных образцов на поверхности II со стороны улицы равна -16°C , а на основе смеси соломы с кострой -19°C . Разница температур составляет 3°C .



- а – с соломенным блоком; б – с костросоломенным блоком;
 1 – температура наружного воздуха, °С; 2 – температура внутреннего воздуха, °С; 3 – температура на поверхности I стенового блока, °С;
 4 – температура блока на расстоянии 75 мм от поверхности I, °С;
 5 – температура блока на расстоянии 150 мм от поверхности I, °С;
 6 – температура блока на расстоянии 225 мм от поверхности I, °С;
 7 – температура блока на поверхности II, °С

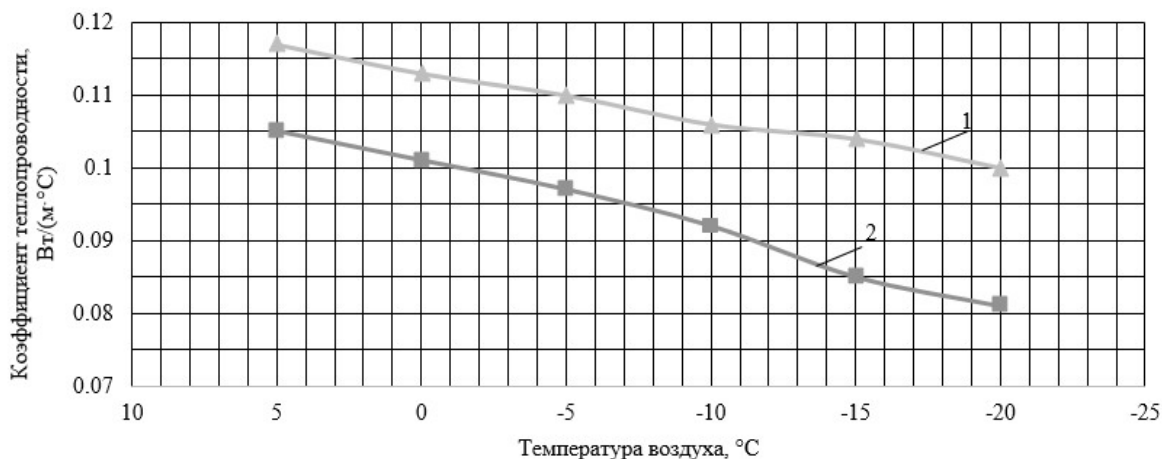
Рисунок 4.2 – Распределение температуры по толщине наружного стенового материала

Величины амплитуды температур при -21°C образцов на основе соломы составляет 32°C , а блоков на основе смеси соломы с кострой – 36°C . Таким образом разница амплитуд температур достигает 4°C . При температуре -10°C

амплитуда температур блоков на основе соломы равна 27°C , что на 10% меньше, чем показатель блоков на основе соломы с кострой льна соответствующий 30°C . Амплитуда температур соломенных блоков при температуре -21°C увеличились на 19% в сравнении с значениями при -10°C . Увеличение амплитуды костросоломенных блоков составило 20%.

На основании полученных показателей плотностей тепловых потоков, определены коэффициенты теплопроводности стеновых материалов на основе соломы и смеси соломы с кострой льна. На рисунке 4.3 приведены зависимости коэффициента теплопроводности от температуры наружного воздуха. Так при температуре -21°C значение коэффициента теплопроводности соломенных блоков составляет $0,1 \text{ Вт}/(\text{м}\cdot^{\circ}\text{C})$, что на 24% выше показателя костросоломенных блоков равного $0,081 \text{ Вт}/(\text{м}\cdot^{\circ}\text{C})$. Коэффициент теплопроводности костросоломенных блоков при температуре -10°C равен $0,092 \text{ Вт}/(\text{м}\cdot^{\circ}\text{C})$ и меньше значения теплопроводности соломенных блоков на 13% равного $0,106 \text{ Вт}/(\text{м}\cdot^{\circ}\text{C})$. Значение теплопроводности соломенных блоков при температуре $+5^{\circ}\text{C}$ составляет $0,117 \text{ Вт}/(\text{м}\cdot^{\circ}\text{C})$, что на 11% больше показателя костросоломенных блоков равного $0,105 \text{ Вт}/(\text{м}\cdot^{\circ}\text{C})$. Коэффициент теплопроводности соломенных блоков при температуре -21°C ниже показателя теплопроводности стеновых блоков при температуре $+5^{\circ}\text{C}$ на 17%. Значение коэффициента теплопроводности костросоломенных блоков снизилось на 30%.

Таким образом, с понижением температуры у экспериментальных стеновых блоков происходит уменьшение значений коэффициента теплопроводности и повышение сопротивления теплопередаче. Такая закономерность проявляется у эффективных теплоизоляционных материалов, что подтверждается исследованиями утеплителя на растительном сырье в работе [64]. Установленные изменения теплофизических показателей при натуральных исследованиях подтверждают, что костросоломенные и соломенные стеновые блоки способны обеспечивать эффективную работу по тепловой изоляции наружных стен эксплуатируемых зданий



1 – соломенный блок; 2 – костросоломенный блок

Рисунок 4.3 – Зависимость коэффициента теплопроводности наружного стенового ограждения от температуры наружного воздуха

В начале весеннего периода по окончании проведения мониторинга распределения температур, определены значения влажностей соломенных и костросоломенных блоков. Влажность стенового материала после испытаний в условиях эксплуатации определяли прямым методом путем взвешивания вырезанных из блоков образцов размером 100×100×300 мм (рис. 4.4).

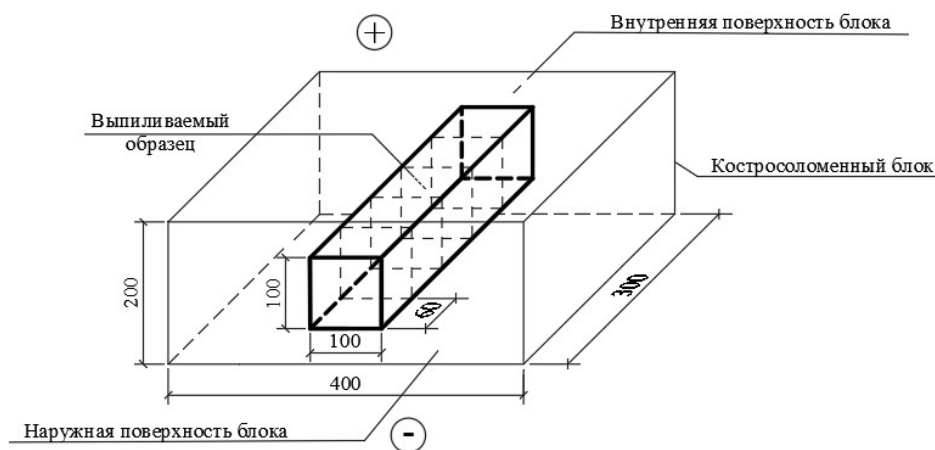
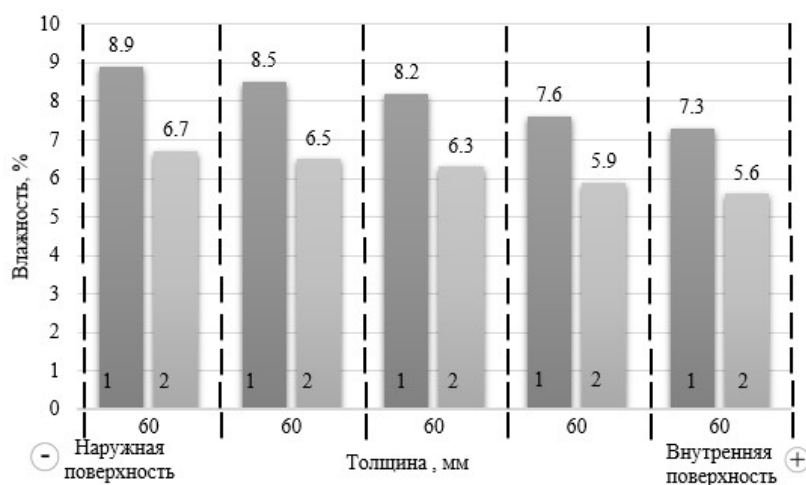


Рисунок 4.4 – Выпиливаемый образец из стенового блока

Длина выпиленного образца в 300 мм является шириной стенового блока. Полученный образец по длине распиливали поперек на 5 фрагментов. Толщина фрагмента составляла 60 мм. Каждый фрагмент взвешивали, а затем высушивали

до постоянной массы и определяли влажность. По экспериментальным данным построен график распределения влажности по толщине блоков (рис. 4.5).



- 1 – блоки на основе соломы;
- 2 – блоки на основе смеси соломы с коострой льна;

Рисунок 4.5 – Распределение влажности по толщине стенового материала

Среднее значение влажности блоков на основе соломы равно 8,1%, что превышает на 31% показатель влажности блоков из смеси соломы и коостры равное 6,2%. Необходимо отметить, что влажность соломенных блоков со стороны помещения составляла 7,3%, что на 30% больше в сравнении с показателем коостросоломенных блоков равным 5,6%. Показатель влажности блоков на основе коостросоломенной смеси с наружной стороны меньше на 33% в сравнении с значением соломенного блока равного 6,7%.

Повышение влажности блоков из соломы на 31% относительно показателей блоков на основе композиции из смеси соломы и коостры льна объясняется большей величиной сорбционной влажности дробленой соломы по сравнению с коострой льна. По этой же причине соломенные блоки насыщаются влагой с большей скоростью, что подтверждается результатами исследования сорбционной влажности дробленой соломы и коостры льна приведенных ранее в работе [65]. Необходимо отметить, что за летний период времени в процессе прогревания конструкций стен, коостросоломенные и соломенные блоки высыхали, и средняя влажность стеновых материалов составляла не более 4 – 6%.

4.2 Испытание на горючесть и на соответствие санитарно – гигиеническим требованиям

При разработке технических условий на строительные стеновые блоки, испытания на горючесть и дымообразующую способность стеновых материалов на основе смеси соломы с кострой льна проводили в НИИ ПБ и ЧС МЧС Беларуси. Для определения группы горючести предварительно изготавливались образцы – балки размером 1000×190×60 мм. Дымообразующую способность исследовали на заранее подготовленных образцах – плитках размером 40×40×10 мм. Все образцы имели возраст не менее 28 суток.

По результатам испытаний в соответствии с протоколом № 04-52/1483П «НИИ ПБ и ЧС МЧС Беларуси» (приложение А) стеновые блоки относятся к группе горючести Г3 (нормально горючие) по ГОСТ 30244. Степень повреждения образцов по длине составила 20%, а по массе 2%, что отвечает требованиям к стеновым материалам группы горючести Г1. Согласно протоколу испытаний № 04-52/1484П «НИИ ПБ и ЧС МЧС Беларуси» (приложение В) стеновые блоки относятся к группе материалов с малой дымообразующей способностью Д1 по ГОСТ 12.1.044.

Стеновые блоки на основе соломы и костры льна прошли санитарно-гигиеническую экспертизу в Республиканском центре гигиены и эпидемиологии. В соответствии с заключением № 16-12-04/8171 (приложение С) стеновые блоки соответствуют требованиям законодательства Республики Беларусь в области санитарно-эпидемиологического благополучия населения.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. В результате проведенных исследований получены костросоломенные блоки на цементно – известковом вяжущем. При плотности 530 кг/м^3 стеновые материалы имеют прочность на сжатие $2 - 2,2 \text{ МПа}$ и обладают низким коэффициентом теплопроводности равным $0,075 - 0,085 \text{ Вт/м}\cdot\text{°C}$.

2. При определении сорбционной влажности эксикаторным методом получены данные по кинетике сорбции водяных паров стеновыми блоками. По итогам испытаний установлено, что максимальные показатели сорбционной влажности соломенных и костросоломенных блоков составляют $14,5\%$ и $10,5\%$ соответственно при относительной влажности воздуха 97% . Продолжительность сорбции образцами на основе соломы равна 132 суток, а образцов из смеси соломы с кострой 150 суток. При влажности воздуха 60% сорбционная влажность образцов на основе соломы составляет $4,6\%$ за 78 суток, а образцов из костросоломенной смеси $3,6\%$ за 90 суток. Данные, полученные в ходе исследований, дают возможность производить расчет влажностного режима конструкции. Также экспериментальные данные позволяют прогнозировать изменения теплотехнических характеристик и долговечности ограждающих конструкций из блоков на основе соломы и костросоломенной смеси при эксплуатации зданий и сооружений.

3. Исследования влияния влажности на коэффициент теплопроводности образцов в виде плит позволило установить, что при использовании в качестве заполнителей соломы и костры льна с увеличением влажности возрастает коэффициент теплопроводности. После выдержки в камере влажность образцов на основе соломы достигла $14,8\%$, а теплопроводность повысилась на 40% до $0,119 \text{ Вт/(м}\cdot\text{°C)}$ через 60 суток. Максимальная влажность образцов на основе смеси соломы с кострой составила $10,9\%$, что на 36% меньше по сравнению с образцами на основе соломы. При этом коэффициент теплопроводности увеличился на 39% и составил $0,104 \text{ Вт/(м}\cdot\text{°C)}$ по истечении 60 суток.

Стеновые блоки на основе соломы при длительном нахождении в условиях 97% относительной влажности воздуха практически достигают порогового

значения влажности равного 15%. Влажность составов на основе смеси из соломы и костры не превышает 10,9% и ниже граничного показателя на 38%, что обеспечит высокие теплотехнические показатели наружных стен из блоков в процессе эксплуатации. Полученные эмпирические зависимости коэффициента теплопроводности от влажности стенового материала позволяют на стадии проектирования объектов определить теплотехнические характеристики ограждающих конструкций в заданных условиях эксплуатации и оценить эффективность работы стенового материала, как тепловой изоляции.

4. Экспериментально определенные значения удельной теплоемкости доказывают высокую эффективность стеновых блоков. При температуре 20°C теплоемкость образцов на основе ржаной соломы составила 1,257 кДж/(кг·К), а образцов из костросоломенной смеси – 1,275 кДж/(кг·К). Таким образом удельная теплоемкость разработанных стеновых материалов в 1,4 – 1,6 раза выше показателей газосиликатных блоков и керамического кирпича.

5. По результатам натуральных испытаний при температуре -21°C амплитуда температур костросоломенных образцов достигла 36°C, что на 13% больше показателя соломенных образцов равного 32°C. Анализ полученных данных показывает, что при температуре -21°C коэффициент теплопроводности блоков на заполнителе из смеси соломы и костры льна составляет 0,081 Вт/(м·°C), что на 24% ниже показателя стеновых материалов на основе соломы равного 0,1 Вт/(м·°C). Полученные результаты исследований позволили установить, что средняя влажность костросоломенных блоков равна 6,2%, что на 23% ниже показателя соломенных блоков. Невысокие показатели влажности стеновых блоков в натуральных условиях способствуют обеспечению длительной эксплуатации в стеновых конструкциях с сохранением высоких теплоизоляционных свойств. Таким образом, экспериментальные данные подтверждают, что стеновые блоки на основе смеси соломы и костры льна выполняют не только функцию стенового ограждения, воспринимающего нагрузку, но и одновременно обеспечивают высокие теплоизолирующие свойства наружных стен.

6. По результатам проведенных испытаний стеновые блоки на основе смеси соломы с кострой относятся к группе горючести ГЗ (нормально горючие). По дымообразующей способности стеновые материалы относятся к группе материалов с малой дымообразующей способностью Д1. Проведенная санитарно – гигиеническая экспертиза стеновых блоков позволила установить, что стеновые материалы соответствуют требованиям законодательства Республики Беларусь в области санитарно – эпидемиологического благополучия населения.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Наназашвили, И.Х. Строительные материалы из древесно-цементной композиции / И.Х. Наназашвили. – 2-е изд., перераб. и доп. – Л.: Стройиздат, 1990. – 415 с.: ил.
2. Интернет портал [Электронный ресурс] / Арболитовые блоки – недостатки, достоинства и характеристики. – Режим доступа: <https://srbu.ru/stroitelnye-materialy/223-arbolitovye-bloki-nedostatki-dostoinstva-i-kharakteristiki.html> - Дата доступа: 25.11.2018
3. Ламов И.В. Повышение эффективности древесно-цементных композиций комплексными добавками / И.В. Ламов, Н.А. Матченко, Г.С. Дедаев // Материалы международной онлайн – конференции «Современные концепции техники и технологии: проблемы, состояние и перспективы», г. Чебоксары, 23.01.2017 г. / ЦНС «Интерактив плюс», 2017.
4. Живетинь, В.В. Лен и его комплексное использование / В.В. Живетинь, Л.Н. Гинзбург, О.М. Ольшанская; под ред. В.В. Живетинь. – М. : Информ-Знание, 2002. – 400 с.
5. Майзель, И.Л. Технология теплоизоляционных материалов / И.Л. Майзель, В.Г. Сандлер. – М. : Высш. шк., 1988. – 239 с.
6. Справочник по производству теплоизоляционных материалов / Под ред. Ю.Л. Спирина. М. : Стройиздат, 1975. – 248 с.
7. Щибря, А. Ю. Эффективный теплоизоляционный материал из поризованного арболита на рисовой лузге : автореф. ... дисс. канд. техн. наук: 05.23.05 / А.Ю. Щибря ; Кубанский гос. технологический ун-т. – Ростов-на-Дону, 2000. – 21 с.
8. Ягубкин, А. Н. Технология получения стеновых блоков из арболита с направленной укладкой заполнителя / А.Н. Ягубкин, В.В. Бозылев // Строительная наука и техника. – 2011. – № 6. – С. 66–69.
9. Руденко Б.Д. Исследование влияния древесного волокна на свойства композита из цемента и коры / Б.Д. Руденко, Д.П., Прокопьева, С.М.,

Плотников, В.Т. Изотов // Актуальные проблемы лесного комплекса. - 2014.- № 38. С. 234 – 236.

10. Баранов, Е.В. Исследование рациональных составов композита из древесной щепы на основе силикатного и цементного связующего для стеновых панелей быстровозводимых малоэтажных зданий / Е.В. Баранов, О.М. Незнамова, Е.М. Чернышов, А.П. Пустовгар // Вестник МГСУ. – 2012. - № 11. С. 131 – 139.

11. Гончарова М. А. Применение полигональной формы для изделий на основе древесно-цементных композитов на примере арболита / М.А. Гончарова, А.О. Проскурякова, И.В. Ламов, Н.А. Матченко, Г.С. Дедяев, Р.Р. Мирзабаев // Интерактивная наука. – 2017. – №11. С. 118 – 121.

12. Статистический ежегодник 2018. – Минск: Национальный статистический комитет Республики Беларусь, 2018 – 490 с.

13. Гаврикова, Т.А. Совершенствование технологии малоэтажного монолитного домостроения из костробетона : автореф. дисс. ... канд. техн. наук : 05.23.08 / Т.А. Гаврикова. – Нижний Новгород, 2006. – 10 – 12 с.

14. Langlet T., Aamr-Daya E., Benazzouk A., Dheilily R.M., Queneudec M., «The suitability of utilising flax by-product material for lightweight cement composites», Construction and Building Materials. – 2007.

15. M. Sinka, L. Radina, G. Sahmenko, A. Korjakins, D. Bajare, Enhancement of lime-hemp concrete properties using different Manufacturing technologies, in: 1st International conference on bio-based building materials, 2015: P. 301–308.

16. M. Sinka, G. Sahmenko, A. Korjakins, «Mechanical Properties of Pre-Compressed Hemp-Lime Concrete» Journal of Sustainable Architecture and Civil Engineering. – 2014, Vol. 3, No. 8, P. 92-99.

17. Barnat-Hunek, D.; Smarzewski, P.; Brzyski, P. Properties of Hemp-Flax Composites for Use in the Building Industry. J. Nat. Fibers. – 2017, Issue 14, P. 410–425.

18. Wall, K. et al. Development and testing of a prototype straw bale house, Proceedings of the ICE - Construction Materials. – 2012. Vol. 165. Issue 6. P. 377–384.

19. Интернет портал [Электронный ресурс] / Энергоэффективных строительство. – Режим доступа: <http://straw.z42.ru/node/449> - Дата доступа: 25.11.2018.

20. Интернет портал [Электронный ресурс] / Производство и строительство каркасных домов из соломенных панелей. – Режим доступа: <http://eco-bud.com/> - Дата доступа: 25.11.2018.

21. Интернет портал [Электронный ресурс] / Соломенные щиты «Есососон». – Режим доступа: <http://www.ecosocoon.lt/russian/> - Дата доступа: 26.11.2018.

22. Pruteanu, M. Investigations regarding the thermal conductivity of straw, Bul. Inst. Politehnic Din. Iași. – 2010. Vol. 3. P. 9 – 16.

23. Cantor, D. M., Manea, D. L. Using Wheat Straw in Construction, Pro Environment. – 2015. Vol. 8. P.17 – 23.

24. Солдатов, С.Н. Создание и исследование свойств утеплителей на основе местного сырья : дис. ... канд. тех. наук : 05.23.05 / С.Н. Солдатов. – Пенза, 2001. – 138 с.

25. Mansour A, Srebric J, Burley J. Development of straw-cement composite sustainable building material for low-cost housing in Egypt. J Appl. Sci. Res. – 2007. Vol. 3. P. 1571–1580.

26. Джумаев, Д.С. Арболит на основе стеблей хлопчатника и технологические особенности его изготовления / Д.С. Джумаев // Вестник КГСТУ – 2012. № 3. с. 10 – 15.

27. Y. Brouard et al., "Hygrothermal Behavior of Clay - Sunflower (*Helianthus annuus*) and Rape Straw (*Brassica napus*) Plaster Bio-Composites for Building Insulation", Advanced Engineering Forum. – 2017. Vol. 21. P. 242 – 248.

28. Baouche NM, Baynast HD, Lebert A, Sun SN, Mingo CJSL, Leclaire P, Michaud P. Mechanical, thermal and acoustical characterizations of an insulating

bio-based composite made from sunflower stalks particles and chitosan. Ind. Crops. Prod. – 2014. Vol. 58. P. 244–250.

29. Щибря, А. Ю. Эффективный теплоизоляционный материал из поризованного арболита на рисовой лузге : дисс. канд. техн. наук : 05.23.05 / А.Ю. Щибря; Кубанский гос. технологический ун-т. – Краснодар, 2000. – 172 с.

30. Харатишвили, И.А. Прогрессивные строительные материалы / И.А. Харатишвили, И.Х. Наназашвили. – М.: Стройиздат, 1987. – 232 с.

31. Цепаев, В.А. Легкие конструкционные бетоны на древесных заполнителях / В.А. Цепаев, А.К. Яворский, Ф.И. Хадошова. – Орджоникидзе: Ир, 1990. – 134 с.

32. Руденко, Б.Д. Формирование структуры цементно-древесного композита при обработке известью древесного заполнителя / Б.Д. Руденко, С.М. Плотников // Лесной комплекс: состояние и перспективы развития: сб. ст. -Брянск, выпуск 34, 2012. - С. 82-84.

33. Лукутцова, Н.П. Получение экологически безопасных строительных материалов из природного и техногенного сырья : автореф. дисс. ...д-ра техн. наук : 05.23.05 / Н.П. Лукутцова; Брянская гос. инженерно-технологическая академия. – Белгород, 2005. – 42 с.

34. Марков В.В. Первичная обработка льна и других лубяных культур. – М.: Легкая и пищевая промышленность, 1981. – 375 с.

35. Суслов Н.Н. Проектирование предприятий первичной обработки лубяных волокон. – М: Легкая индустрия, 1973.- 375 с.

36. Уголев Б.Н. Древесиноведение с основами лесного товароведения. – М: Лесная промышленность, 1986. - 386 с.

37. Лобанова А.В., Казимагомедов И.Э. Стеновые изделия из арболита на основе костры льна / А.В. Лобанова, И.Э. Казимагомедов // Комунальне господарство міст – 2015. № 124. с.18 – 20.

38. Субботина Н.В., Саркисов Ю.С., Горленко Н.П., Чернов Е.Б. Влияние состава и структуры жидкости затворения на свойства древесно – цементных композиций // Вестник науки Сибири. – 2012. – № 5 (6). – С. 261 – 268.

39. Борвонов, В.А. Технология стеновых изделий для малоэтажных зданий на основе арболита и вторичных продуктов производства: дис. ... канд. техн. наук: 05.23.05 / В.А. Борвонов. – Минск, 2004. – 203 л.

40. Особенности получения бесцементного арболита на основе местного растительного сырья / А. Матыева, О. Козлов, С. Емельянова // Вестник КГСТУА. – 2016. - № 4 (54). – С. 44 – 48.

41. Цементы общестроительные. Технические условия : ГОСТ 31108-2003. – Введ. 01.09.2004. – Минск : Минстройархитектуры, 2003. – 14 с.

42. Известь строительная. Часть 1. Определения, требования и критерии соответствия : СТБ ЕН 459-1-2007. Введ. 30.01.2007. – Минск. :Минстройархитектуры Республики Беларусь, 2007. - 26 с.

43. Материалы и изделия строительные теплоизоляционные. Методы испытаний: ГОСТ 17177-94. – Введ. 22.08.1995. – Минск: Минстрой-архитектуры, 1996. – 56 с.

44. Материалы и изделия строительные. Методы определения теплопроводности при стационарном тепловом режиме : СТБ 1618-2006. – Введ. 24.03.2006. – Минск : Минстройархитектуры, 2006. – 9 с.

45. Материалы строительные. Метод определения равновесной сорбционной влажности: ГОСТ 24816-2014. – Введ. 01.07.2015. – М. : Стандартиформ. – 2015. – 7 с.

46. Бетоны. Методы определения влажности: ГОСТ 12730.2-78. – Введ. 01.01.80. – Москва : Издательство стандартов : СССР, 1980. - 3 с.

47. Пожаровзрывоопасность веществ и материалов. Номенклатура показателей и методы их определения: ГОСТ 12.1.044-89. – Взамен ГОСТ 12.1.044-84. – Введен 01.01.1991. Переиздание 04.2006. – Изд-во стандартов, 1989. – 99 с.

48. Материалы строительные. Методы испытаний на горючесть: ГОСТ 30244-94. – Взамен СТ СЭВ 382-76, СТ СЭВ 2437-80. – Введен 04.08.1995. Переиздание 01.2006. – Изд-во стандартов, 1995. – 16 с.

49. Савицкий Н.В., Собинова К.С., Зинкевич О.Г., Ожищенко О.А., Аит Ишу Ф. Исследование теплофизических свойств вторичных продуктов сельскохозяйственного производства органического происхождения / Н.В. Савицкий, К.С. Собинова, О.Г. Зинкевич, О.А. Ожищенко, Ф. Аит Ишу // Сборник научных трудов строительства, материаловедения, машиностроения – 2015. № 81. с. 217 – 223.

50. Сырьевая смесь для изготовления арболита: пат. 21884 Респ. Беларусь, С 04В 28/00, С 04В 18/24 / А. А. Бакатович, Н. В. Давыденко, А.В. Должонок, С.А. Романовский; заявка – № а20160140; заявл. 21.04.2016; опубл. 30.04.2018 // Афiцыйны бюл. / Нац. цэнтр інтэлектуал. уласнасці. – 2018. – № 2. – С. 97.

51. Фокин К.Ф. Строительная теплотехника ограждающих частей зданий. М., АВОК-ПРЕСС, 2006. - 252 с.

52. N. Belayachi, D. Нохха, I. Redikutseva, D. “Etude Comparative du comportement hygrothermique des matériaux à base de fibres végétales,” Rencontres Universitaires de Génie Civil, Bayonne France. – 2015.

53. Барыкина Ю.А., Белопухов С.Л. Исследование сорбции паров воды целлюлозосодержащими материалами / А.Ю. Барыкина, С.Л. Белопухов // Известия ТСХА.- г. Москва. – 2016. – № 2. – с. 69-75

54. Шильд, Е. Строительная физика /Е. Шильд, Х.-Ф; Кассельман, Г. Дамен, Р. Поленц; Пер. с нем. В.Г. Бердичевского; под ред. Э.Л. Дешко. - М.: Стройиздат. – 1982. – 296с.

55. Франчук, А.У. Таблицы теплотехнических показателей строительных материалов / А.У. Франчук.г М: НИИСФ Госстроя СССР, 1965.

56. Давыденко, Н.В. Влияние показателя влажности на коэффициент теплопроводности соломенных и костросоломенных теплоизоляционных материалов / Н.В. Давыденко, А.А. Бакатович // Вестн. Полоцк. гос. ун-та. Сер. Ф, Строительство. Прикладные науки. – 2013. – № 8. – С. 73–78.

57. Lawrence, M. Determining moisture levels in straw bale construction / M. Lawrence, A. Heath, P. Walker // Construction and Building Materials. -2009. Vol.23, Issue 8. – P. 2763 – 2768.

58. Давыденко Н. В. Теплоизоляционные плиты на основе отходов растениеводства и неорганического вяжущего: автореф. дис... канд. Техн. наук : 05.23.05 / Н. В. Давыденко; науч. рук. к.т.н. А.А. Бакатович; Брестский государственный технический университет. – Брест, 2016. - 28 с.

59. Угрюмов, С.А. Совершенствование технологии производства композиционных материалов на основе древесных наполнителей и костры льна : дис. ... д-ра. техн. наук : 05.21.05 / С.А. Угрюмов. – Кострома, 2009. – 295 с.

60. Bainbridge, D.A High performance low cost buildings of straw / D.A. Bainbridge // Agricultural, Ecosystem and Environment. -1986. Vol.16, Issue 3 – 4. – P. 281 – 284.

61. Steen, A., Steen, B., Bainbridge, D., The Straw-bale House / A. Steen, B. Steen, D. Bainbridge.: Publisher Chelsea Green Publishing. – 1994. – 320 p.

62. Ashour T. An experimental investigation on equilibrium moisture content of earth plaster with natural reinforcement fibres for straw bale buildings / T. Ashour, H.Georg, W. Wu // Applied Thermal Engineering. – 2011. Vol.31, Issue 2 – 3. – P. 293 – 303.

63. Строительная теплотехника с изм.: ТКП 45-2.04-43-2006 (02250). – Взамен СНБ 2.04.01-97; Введ. 29.12.2006. – Минск. : Минстройархитектуры, 2007. – 35 с.

64. Thermal insulating plates produced on the basis of vegetable agricultural waste / A. Bakatovich, N. Davydenko, F. Gaspar // Energy and Buildings. – 2018. – Vol. 180. – P. 72 – 82.

65. Должонок, А.В., Сорбционная влажность стеновых материалов на основе отходов сельскохозяйственного производства / А.В. Должонок, А.А. Бакатович, Н.В. Давыденко // Материалы международной научно-практической конференции «Актуальные проблемы архитектуры Белорусского Подвинья и сопредельных регионов», г. Полоцк, 18-19 октября 2018 г. / Полоцкий государственный университет, 2018. – 233 – 237 с.

Приложение А

МИНИСТЕРСТВО ПО ЧРЕЗВЫЧАЙНЫМ СИТУАЦИЯМ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ
НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ ПОЖАРНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ И
ПРОБЛЕМ ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЙ

ИЦ «НИИ ПБ и ЧС МЧС Беларуси»

Адрес: 220046, г. Минск, ул. Солтыса, 183а, тел. +375 17 388 98 20

БГЦА	ВУ/112 02.1.0.0042
BSCA	СТБ ИСО/МЭК 17025



EUROPEAN GROUP OF
ORGANISATIONS FOR FIRE
TESTING, INSPECTION
AND CERTIFICATION



ИЦ «НИИ ПБ и ЧС
МЧС БЕЛАРУСЬ»
21 НОЯ 2018
№ 04-52/14830

ПРОТОКОЛ ИСПЫТАНИЙ

Регистрационный № 04-52/14830 П

21.11.2018

Наименование продукции: блоки строительные конструкционные костросоломенные, ТУ ВУ 300220696-061-2018 (опытная партия).

Идентификация: блоки строительные конструкционные костросоломенные, ТУ ВУ 300220696-061-2018 (опытная партия), толщиной 60-68 мм. Состав компонентов на 1м³: солома ржаная – 93 кг (измельченная, фракцией 20-40 мм); костра льна – 77 кг (отходы переработки льна, фракцией менее 10 мм); цементно-известковое вяжущее – 360 кг (информация представлена Заявителем).

Изготовитель: Учреждение образования «Полоцкий государственный университет» (РБ) (информация представлена Заявителем).

Заявитель на проведение испытаний: Учреждение образования «Полоцкий государственный университет» (РБ) (договор от 24.09.2018 № 52/1705Д).

Адрес: 211440, Витебская обл., г. Новополоцк, ул. Блохина, 29, тел. (8 0214) 53 23 83.

ТНПА на методы испытаний: ГОСТ 30244-94, метод 2.

Количество образцов, представленных на испытания: 12 (2,28 м²) (идентификационный № 669/18).

Наименование органа, проводившего отбор образцов: образцы предоставлены Заявителем.

Программа проведения испытаний

№ п/п	Наименование объекта испытаний (показателей), характеристик и т.д.	ТНПА, устанавливающий метод испытаний	Примечание
1	Блоки строительные конструкционные костросоломенные, ТУ ВУ 300220696-061-2018 (опытная партия). Определение группы горючести.	ГОСТ 30244-94 метод 2	

Условия проведения испытаний

температура воздуха, °С 18;
 атмосферное давление, кПа 100,1;
 относительная влажность, % 51.

Испытательное оборудование и средства измерений, применяемые при проведении испытаний

№ п/п	Наименование испытательного оборудования, средств измерений	Сведения о калибровке, поверке, аттестации (№ свидетельства, срок действия)
1	Установка по определению групп горючести строительных материалов	свидетельство № 224 до 13.12.2018
2	Измеритель-регулятор температуры «Сосна-002»	свидетельство № МН 0119440-5518 до 19.04.2019
3	Термопреобразователь ТХА(К) 4 шт.	свидетельство №№ 4483, 4484, 4482, 4471 до 09.2019
4	Барометр-анероид БАММ-1	свидетельство № МН 0794130-4917 до 23.11.2018
5	Секундомер «Интеграл С-01»	свидетельство № МН 0174024-4318 до 26.04.2019
6	Линейка (0-1000) мм	клеймо до 07.2019
7	Штангенциркуль (0-125) мм	клеймо до 12.2018
8	Весы ВТН-15	клеймо до 03.2019
9	Гигрометр-термометр ГТЦ-1	свидетельство № МН-0799087-5017 до 21.11.2018

Дата проведения испытаний: 30.10.2018.

Место проведения испытаний: испытательно-исследовательский полигон НИИ ПБ и ЧС МЧС Беларуси, Борисовский район, д. Светлая Роща.

Результаты испытаний

№ испытания	Максимальная температура дымовых газов, °С	Время самостоятельного горения, с	Степень повреждения образца по длине, см				Средняя масса образцов, г		Степень повреждения по массе,	
			1	2	3	4	до опыта	после опыта	г	%
1.	139	124	21	20	22	20	37536	36717	819	2
2.	121	93	20	16	20	17	37758	37012	746	2
3.	147	167	23	21	22	21	36412	35539	873	2

ИИ НИИ ПБ и ЧС
 МЧС БЕЛАРУСИ
 21 НОЯ 2018
 № 04 52/148317

Результаты обработки экспериментальных данных

Измеряемый параметр	Среднее арифметическое значение по 3-м опытам
Температура дымовых газов, °С	136
Время самостоятельного горения, с	128
Степень повреждения образца по длине, %	20
Степень повреждения по массе, %	2
Наличие образования горящих капель расплава	Нет

ЗАКЛЮЧЕНИЕ О РЕЗУЛЬТАТАХ ИСПЫТАНИЙ

Образцы продукции: блоки строительные конструкционные костросоломенные, ТУ ВУ 300220696-061-2018 (опытная партия), изготовленные и представленные на испытания Учреждением образования «Полоцкий государственный университет» (РБ), в соответствии с п. 5.3 (табл.1) ГОСТ 30244-94 относятся к группе горючести ГЗ.

Результаты испытаний распространяются только на испытанные образцы.

Испытания провели:

Техник

О.А.Мельник

Техник

Д.А.Неверовский

Протокол проверил:

Начальник полигона

Ю.П.Ивлев

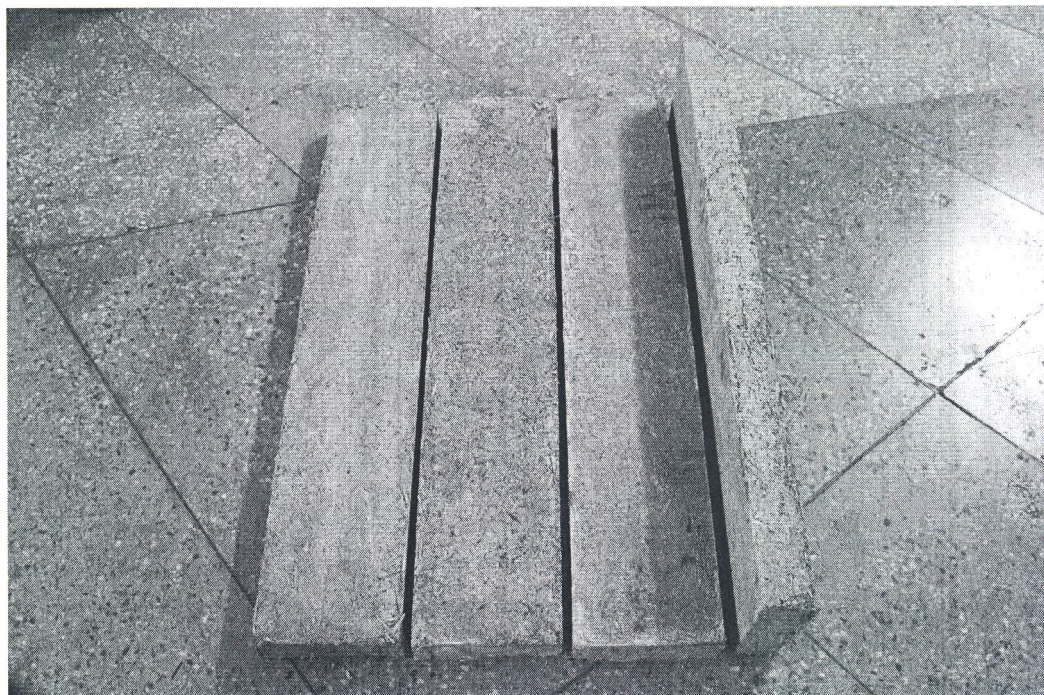
Данный протокол оформлен на 4 (четыре) листах, включая приложения на 1 (одном) листе, в 2 (двух) экземплярах и направлен:

- ИЦ «НИИ ПБ и ЧС МЧС Беларуси» – 1 экз.
- Учреждение образования «Полоцкий государственный университет» (РБ) – 1 экз.

Тиражирование протокола возможно только с разрешения ИЦ «НИИ ПБ и ЧС МЧС Беларуси». Страницы с изложением результатов испытаний не могут быть использованы отдельно без полного протокола испытаний.

ИЦ НИИ ПБ и ЧС
МЧС Беларуси
21 НОЯ 2019
№ 04-52/14830

Вид образцов до испытания



Вид образцов после испытания



ИЦ ДИИ ДБ-Б-МС
МЧС БЕЛАРУСИ
21 НОЯ 2010
№ 04-52/14837

Приложение В.

МИНИСТЕРСТВО ПО ЧРЕЗВЫЧАЙНЫМ СИТУАЦИЯМ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ ПОЖАРНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ И ПРОБЛЕМ ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЙ

ИЦ «НИИ ПБ и ЧС МЧС Беларуси»

Адрес: 220046, г. Минск, ул. Солтыса, 183а, тел. +375 17 388 98 20

БГЦА	ВУ/112 02.1.0.0042
BSCA	СТБ ИСО/МЭК 17025



EUROPEAN GROUP OF
ORGANISATIONS FOR FIRE
TESTING, INSPECTION
AND CERTIFICATION



ПРОТОКОЛ ИСПЫТАНИЙ

Регистрационный № 04-52/ 1484 П

21.11.2018

Наименование продукции: блоки строительные конструкционные костросоломенные
ТУ ВУ 300220696-061-2018 (опытная партия).

Идентификация: блоки строительные конструкционные костросоломенные
ТУ ВУ 300220696-061-2018 (опытная партия). Состав компонентов на 1 м³:
солома ржаная – 93 кг (измельченная, фракцией 20-40 мм); костра льна: 77 кг (отходы
переработки льна, фракцией менее 10 мм); цементно-известковое вяжущее – 360 кг
(информация представлена Заявителем).

Изготовитель: Учреждение образования «Полоцкий государственный университет» (РБ)
(информация представлена Заявителем).

Заявитель на проведение испытаний: Учреждение образования «Полоцкий
государственный университет» (РБ) (договор от 24.09.2018 № 52/1705Д).

Адрес: 211440, Витебская обл., г. Новополоцк, ул. Блохина, 29.

ТНПА на методы испытаний: ГОСТ 12.1.044-89.

Количество образцов, представленных на испытания: 15 шт. (40 х 40 х 10 мм)
(идентификационный № 669/18).

Наименование органа, проводившего отбор образцов: образцы представлены Заявителем.

Программа проведения испытаний

№ п/п	Наименование объекта испытаний (показателей), характеристик и т.д.	ТНПА, устанавливающий метод испытаний, номер пункта	Примечание
1	Блоки строительные конструкционные костросоломенные ТУ ВУ 300220696-061-2018 (опытная партия).	ГОСТ 12.1.044-89, п. 4.18	
1.1	Определение коэффициента дымообразования.		

Условия проведения испытаний

температура, °С 22
атмосферное давление, кПа 100,4
относительная влажность, % 57

Дата проведения испытаний: 13.11.2018.

Место проведения испытаний: г. Минск, ул. Солтыса, 183а.

ИЦ «НИИ ПБ и ЧС
МЧС Беларуси»
21 НОЯ 2018
№ 04-52/1484 П

Испытательное оборудование и средства измерений, применяемые при проведении испытаний

№ п/п	Наименование испытательного оборудования, средств измерений	Сведения об аттестации, калибровке, поверке (№ свидетельства, срок действия)
1	Установка для определения коэффициента дымообразования твердых веществ и материалов	свидетельство № 153 до 18.10.2019
2	Вольтметр унив. В7-65/2	свидетельство №МН0182838-4218 до 09.01.2019
3	Весы электронные Scout Pro	клеймо до 09.2019
4	Линейка металлическая ГОСТ 427-79	клеймо до 07.2019
5	Штангенциркуль-150	клеймо до 07.2019
6	Барометр aneroid	свидетельство №МН0061124-4918 до 03.01.2019
7	Гигрометр-термометр цифровой ГТЦ-1	свидетельство №0484601-5018 до 23.07.2019

Результаты испытаний

Результаты экспериментального определения коэффициента дымообразования.

Режим испытаний	№ образца для испытаний	Масса образца, г	Светопропускание, %		Коэффициент дымообразования для каждого образца, м ² /кг
			начальное	конечное	
Тление	1	13,34	100	42,2	41,71
Тление	2	13,48	100	41,3	42,31
Тление	3	13,45	100	41,9	41,72
Тление	4	13,44	100	41,6	42,09
Тление	5	13,39	100	42,0	41,79
<i>Среднее значение</i>					41,93
Горение	1	13,41	100	52,9	30,63
Горение	2	13,49	100	51,8	31,45
Горение	3	13,37	100	53,4	30,27
Горение	4	13,40	100	53,1	30,47
Горение	5	13,46	100	52,3	31,06
<i>Среднее значение</i>					30,77

ЗАКЛЮЧЕНИЕ О РЕЗУЛЬТАТАХ ИСПЫТАНИЙ

Образцы продукции: блоки строительные конструкционные костросоломенные ТУ ВУ 300220696-061-2018 (опытная партия), представленные на испытания Учреждением образования «Полоцкий государственный университет», согласно проведенным испытаниям по ГОСТ 12.1.044-89 (п. 4.18) имеют коэффициент дымообразования **41,93 м²/кг** и относятся к **группе материалов с малой дымообразующей способностью.**

Результаты испытаний распространяются только на испытанные образцы.

Испытания провел:
Техник



А.В.Соич

Протокол проверил:
Начальник отдела



А.С.Смыслов

Данный протокол оформлен на 3 (трех) листах, включая приложение на 1 (одном) листе, в 2 (двух) экземплярах и направлен:

- ИЦ «НИИ ПБ и ЧС МЧС Беларуси» – 1 экз.;
- Учреждение образования «Полоцкий государственный университет» – 1 экз.

Тиражирование протокола возможно только с разрешения ИЦ «НИИ ПБ и ЧС МЧС Беларуси». Страницы с изложением результатов испытаний не могут быть использованы отдельно без полного протокола испытаний.

Внешний вид образцов, представленных на испытания.



ИП НИИ ПБ и ЧС
МЧС БЕЛАРУСИ
21 НОЯ 2018
№ 52/14847

Приложение С



МІНІСТЭРСТВА АХОВЫ ЗДAROЎЯ
РЭСПУБЛІКІ БЕЛАРУСЬ

Дзяржаўная ўстанова
«РЭСПУБЛІКАНСКІ ЦЭНТР ГІГІЕНЫ,
ЭПІДЭМІЯЛОГІ І ГРАМАДСКАГА
ЗДAROЎЯ»

вул. Казінца, 50; 220099, г. Мінск, факс 398-32-26
E-mail: mail@rcheph.by
http://www.rcheph.by

МИНИСТЕРСТВО ЗДРАВООХРАНЕНИЯ
РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

Государственное учреждение
«РЕСПУБЛИКАНСКИЙ ЦЕНТР ГИГИЕНЫ,
ЭПИДЕМИОЛОГИИ И ОБЩЕСТВЕННОГО
ЗДОРОВЬЯ»

ул. Казинца, 50; 220099, г. Минск, факс 398-32-26
E-mail: mail@rcheph.by
http://www.rcheph.by

19.10. 2018 г. № 16-12-04/8171

На № _____

Учреждение образования «Полоцкий
государственный университет»

О согласовании

Рассмотрев заявление от 11.10.2018 № 02-728 и санитарно-гигиеническое заключение № 16-12-04/8171, согласовываю технические условия

ТУ ВУ 300220696-061-2018 «Блоки строительные конструкционные костросоломенные».

Заместитель главного врача

И.В. Кондрескул

POLOTSKSU

МІНІСТЭРСТВА АХОВЫ ЗДAROЎЯ
РЭСПУБЛІКІ БЕЛАРУСЬ



МИНИСТЕРСТВО ЗДРАВООХРАНЕНИЯ
РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

Дзяржаўная ўстанова
«РЭСПУБЛІКАНСКІ ЦЭНТР ГІГІЕНЫ,
ЭПІДЭМІЯЛОГІ І ГРАМАДСКАГА
ЗДAROЎЯ»

вул. Казінца, 50; 220099, г. Мінск, факс 398-32-26
E-mail: mail@rcheph.by
http://www.rcheph.by

Государственное учреждение
«РЕСПУБЛИКАНСКИЙ ЦЕНТР ГИГИЕНЫ,
ЭПИДЕМИОЛОГИИ И ОБЩЕСТВЕННОГО
ЗДОРОВЬЯ»

ул. Казинца, 50; 220099, г. Минск, факс 398-32-26
E-mail: mail@rcheph.by
http://www.rcheph.by

Санитарно-гигиеническое заключение

19.10.2018

№ 16-12-04/8171

Объект государственной санитарно-гигиенической экспертизы:
проект ТУ ВУ 300220696-061-2018 «Блоки строительные
конструкционные костросоломенные».

Заявитель: Учреждение образования «Полоцкий государственный университет», г. Новополоцк, ул. Блохина, 29.

Документы, рассмотренные при проведении государственной санитарно-гигиенической экспертизы:

заявление от 11.10.2018 № 02-728, поступившее в ГУ РЦГЭиОЗ 11.10.2018 № 8171, ТУ ВУ 300220696-061-2018 «Блоки строительные конструкционные костросоломенные», сертификат соответствия на «Портландцемент», выданный ОАО «Кричевцементшифер» от 30.03.2018 № ВУ/112 02.01.022 02961, сертификат соответствия на «Известь строительная», выданный ОАО «Кричевцементшифер» от 11.02.2016 № ВУ/112 02.01.094 00296.

Нормативные правовые акты, в том числе технические нормативные правовые акты, на соответствие которым проведена государственная санитарно-гигиеническая экспертиза:

Закон Республики Беларусь от 7 января 2012 г. «О санитарно-эпидемиологическом благополучии населения», СанНиП «Требования к условиям труда работающих и содержанию производственных объектов», утвержденные постановлением Министерства здравоохранения Республики Беларусь от 08.07.2016 № 85, СанНиП «Требования к контролю воздуха рабочей зоны», утвержденные постановлением Министерства здравоохранения Республики Беларусь от 11.10.2017 № 92.

Заключение по результатам государственной санитарно-гигиенической экспертизы: соответствуют требованиям законодательства Республики Беларусь в области санитарно-эпидемиологического благополучия населения.

Срок действия настоящего заключения – бессрочно.

Заместитель главного врача

И.В. Кондрескул