

УДК 666.973.2:666.972.1

**ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ
ПРОИЗВОДСТВА КОСТРОСОЛОМЕННЫХ ПЛИТ****Н.В. ДАВЫДЕНКО; канд. техн. наук, доц. А.А. БАКАТОВИЧ
(Полоцкий государственный университет)**

Рассмотрены возможные области использования соломы и костры льна, включая строительство. Обосновано рациональное применение соломы и костры льна в качестве легких заполнителей для теплоизоляционных материалов. Представлены физико-механические характеристики костросоломенных плит, а также результаты испытаний на горючесть, дымообразующую способность и соответствие санитарно-гигиеническим нормам. Приведено описание схемы технологической линии по производству костросоломенных плит.

Введение. Вовлечение в производство отходов и получение из них новых видов изделий – одно из главных направлений в промышленности строительных материалов. Расширить область использования в строительстве растительных отходов представляется возможным путем получения эффективных теплоизоляционных материалов. В настоящее время в странах Европы и России особое внимание в технологиях получения теплоизоляционных материалов уделяется использованию отходов растительного происхождения. Результаты практических экспериментальных исследований свидетельствуют о высокой эффективности применения отходов растениеводства как сырья для получения теплоизоляционных материалов с высокими теплоизоляционными характеристиками. Таким сырьем в полной мере могут являться отходы, образующиеся после сбора и переработки урожая зерновых культур, льна, семян подсолнечника, хлопка и т.д.

В производстве агропромышленного комплекса Республики Беларусь растениеводство, включая выращивание зерновых культур и льна, занимает существенный сегмент. По данным статистического ежегодника [1] в Беларуси посевные площади зерновых культур составляют около 2 млн. гектаров, льна-долгунца – 70 тыс. гектаров. В России посевные площади льна-долгунца занимают около 110 тыс. гектаров, а зерновых культур – 40 млн. гектаров [2].

При переработке тресты на льноперерабатывающих заводах образуется порядка 110 тыс. тонн костры ежегодно. Благодаря особенностям физического строения и химического состава льняной костры сырьевой продукт легко перерабатывать для изготовления различных материалов, в том числе и для строительной отрасли. Химический состав *костры льна* по основным компонентам, включая лигнин и целлюлозу, аналогичен древесине [3], что объясняет высокую адгезию с клеевыми составами на основе смол. Основная фракция частиц 5...20 мм позволяет использовать костру для изготовления композитной фанеры и древесно-стружечных плит, а при высоком давлении формования и плит без вяжущего компонента. Количество целлюлозы в костре льна достигает 64%, тогда как в древесине лиственных пород её содержание колеблется в пределах 47%, в хвойных породах – до 58% [4]; сахаросодержащих соединений содержится меньше, чем в древесине, что делает возможным использование костры для производства строительных материалов на минеральных вяжущих, включая цемент. В ряде случаев костра льна позволяет заменить древесное сырье и получить плиты или блоки с более высокими физико-механическими характеристиками. Физико-химическое строение дает возможность использовать костру в составах древесно-полимерных композитов в производстве деталей в автомобилестроении и конструктивных элементов [5]. Костра льна может использоваться как топливо для специальных топков с полным сгоранием или с образованием золы для удобрения почвы. Под высоким давлением из костры изготавливают топливные брикеты или пеллеты как твердое топливо для обогрева жилых домов и производственных зданий.

Солома зерновых культур по объемам значительно превосходит получаемое количество костры льна. Большинство сельхозпредприятий солома заготавливается в качестве добавки к кормам, для чего предварительно измельчается, а также как подстилочный слой для скота на сельскохозяйственных фермах. В последнее время широко применяется метод резки соломы непосредственно на поле с прицепными или навесными соломорезками с одновременным разбрасыванием измельченной соломы по полю в качестве органического удобрения почвы. Но такой способ эффективного применения соломы является весьма сомнительным, так как вместе с соломой перерабатываются сорняки и попадают в землю при перепашке, что приводит к дополнительному засорению почвы. Солома ячменная – одна из лучших в кормовом отношении, хорошо поедается скотом и имеет относительно высокую питательность. Овсяная солома по питательности уступает ячменной. Гречишная солома не уступает соломе овса, но по кормовым достоинствам – ниже. Рисовую солому, предварительно обработанную щелочными химическими препаратами, также используют в качестве энергетического материала для корма скота [6].

Разработаны и применяются технологии по использованию соломы в качестве топлива. Сжигание тюкованной соломы в специальных топках нашло свое применение в ряде стран [7]. Однако данный способ утилизации имеет существенные недостатки, такие как: дороговизна установок для сжигания; невысокий КПД по причине низкой плотности и высокой влажности сжигаемого сырья; неудобство применения ввиду крупных габаритов топлива, доставки потребителю, а также хранения в больших объемах.

В Республике Беларусь *соломенное жилье* начали возводить с 1996 года. Первый дом появился в деревне Занарочь Мядельского района. Позже подобные дома построили в деревнях Гомельской и Минской областей. Ведущим специалистом, положившим начало строительству домов из соломенных блоков в Беларуси, считается Е.И. Широков. По результатам практических наработок автором в работе [8] предложена технология поэтапного возведения домов с ограждающими конструкциями из соломенных блоков.

При строительстве домов из соломенных блоков существует два конструктивных решения. Наиболее распространенным вариантом является конструкция здания из несущего деревянного каркаса с заполнением соломенными блоками наружных стеновых проемов. Второй вариант предусматривает использование соломенных блоков в качестве сборных элементов несущих стен. Блоки укладываются с перевязкой швов, как и в кирпичной кладке, а для дополнительной жесткости и устойчивости стен в блоки вертикально вбивают деревянные колья. При устройстве стропильной системы по верху стены предварительно укладывают распределительные балки [8].

Литовской компанией «ЕсоСосоп» предложено новое техническое решение в строительстве из соломы – возведение домов с использованием соломенных щитов [9]. Эта уникальная технология производства соломенных щитов не имеет аналогов в мире. Особая конструкция щитов позволяет соединять их без использования специальных инструментов. При этом одна соломенная сторона щита примыкает к другой соломенной стороне, что полностью предотвращает образование «мостиков» холода.

Основная часть. Проанализировав опыт применения в строительстве костры льна и соломы, исследовав микроструктуру стеблей растениеводческих культур и выполнив комплекс испытаний, предложено эффективное решение по утилизации костры льна и дробленой соломы в виде композитного заполнителя для изготовления костросоломенных теплоизоляционных плит.

По результатам комплекса проведенных экспериментальных исследований определены: необходимый расход вяжущего в количестве 1...1,7 массовых долей; расход соломы – 0,5...0,7 массовых долей; содержание костры льна составляет 0,3...0,5 массовых долей.

Основные показатели костросоломенных плит: средняя плотность 220...250 кг/м³; прочность на сжатие при 10% деформации 0,65...0,8 МПа; предел прочности при изгибе 1,0...1,2 МПа; коэффициент теплопроводности в сухом состоянии 0,046...0,055 Вт/(м·°С).

Дополнительно определена сорбционная влажность теплоизоляционного материала на основе смеси соломы с кострой льна, составляющая 10...20 % при относительной влажности воздуха 60...80 %. Коэффициент паропроницаемости костросоломенных плит колеблется в пределах 0,31...0,47 мг/(м·ч·Па).

Полученные физико-механические характеристики достигаются благодаря особенностям микроструктуры костры и соломы, а также за счет формирования эффективной структурной системы «каркас в каркасе» при изготовлении плит.

При разработке технических условий на утеплитель испытания на горючесть и дымообразующую способность костросоломенных плит проводили в НИИ ПБ и ЧС МЧС Беларуси. По результатам испытаний в соответствии с протоколом № 04-52/1833П «НИИ ПБ и ЧС МЧС Беларуси» костросоломенные плиты относятся к группе горючести Г1 (слабо горючие) по ГОСТ 30244. Согласно протоколу испытаний № 04-52/1832П «НИИ ПБ и ЧС МЧС Беларуси» костросоломенные плиты соответствуют группе материалов с малой дымообразующей способностью Д1 по ГОСТ 12.1.044.

Костросоломенные плиты прошли санитарно-гигиеническую экспертизу в Республиканском центре гигиены и эпидемиологии. В соответствии с протоколом № 8409/270 по результатам лабораторных исследований санитарно-гигиенической экспертизы костросоломенные плиты не обладают раздражающим действием на кожные покровы лабораторных животных. Миграция химических веществ (формальдегида) из плиты в контактирующую среду (воздух) не превышает допустимых количеств, регламентируемых СанПиН 2.1.2.12-25; по одориметрическим показателям исследований соответствует требованиям СанПиН 2.1.2.12-25; по эффективной удельной активности естественных радионуклидов не превышает допустимого уровня, регламентируемого НРБ-2000.

Основываясь на полученных экспериментальных данных физико-механических характеристик костросоломенного утеплителя, а также результатах испытаний пожарной и санитарно-гигиенической экспертизы разработаны технические условия ТУ ВУ 300220696.060-2011 «Плиты костросоломенные строительные теплоизоляционные», позволяющие производить и применять теплоизоляционный материал в конструкциях зданий и сооружений различного назначения.

Изучив технологии сбора урожая зерновых и производства жидкого стекла, механизм структурообразования утеплителя, разработано техническое решение по организации производства костросоломенных плит в виде схемы технологической линии (рис. 1) с описанием последовательно выполняемых производственных операций.

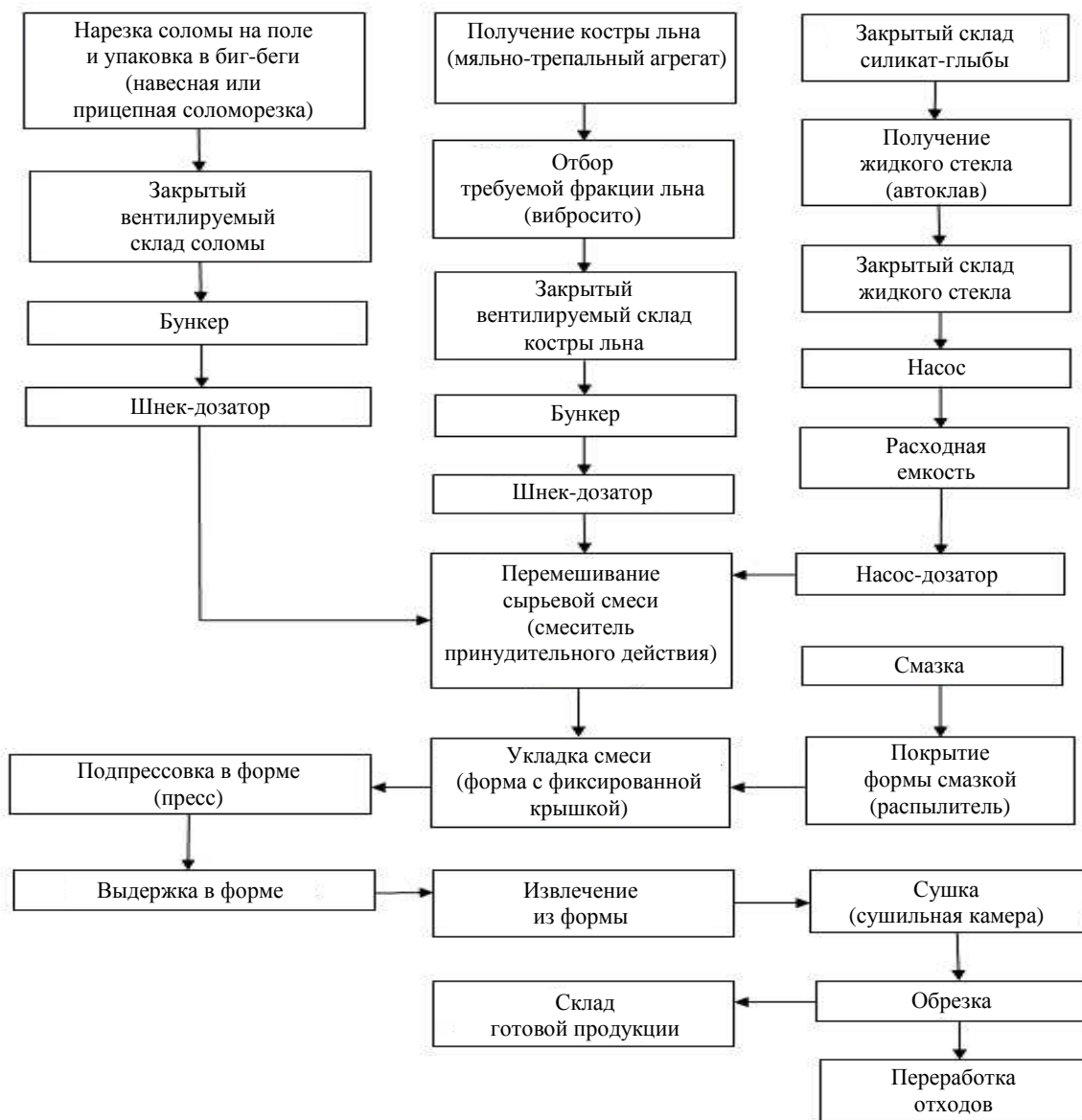


Рисунок 1 – Технологическая схема производства костросоломенных плит

На подготовительном этапе заготовки сырья ввиду необходимости сохранения целостности трубки ржаной соломы нарезку соломы фракцией 20...40 мм производят непосредственно на поле с использованием навесной соломорезки на комбайне или прицепной соломорезки к трактору. Нарезанная солома упаковывается в сетчатые биг-беги и транспортируется на склад предприятия.

Для хранения рассыпной соломы в биг-бегах используют закрытые неотапливаемые складские помещения с активной системой вентиляции. В летне-осенний период возможно хранение соломы под навесом. Со склада солома подается по транспортеру в бункер промежуточного хранения объемом 4...5 м³. Затем из бункера по винтовому конвейеру с помощью шнека через дозатор подается в смеситель принудительного действия.

После получения костры льна производится отбор необходимой фракции не более 5 мм путем прохождения через вибросито. Костра требуемого размера по транспортеру подается на закрытый неотапливаемый склад с активной системой вентиляции. Следующие технологические операции с кострой льна такие же, как и для соломы.

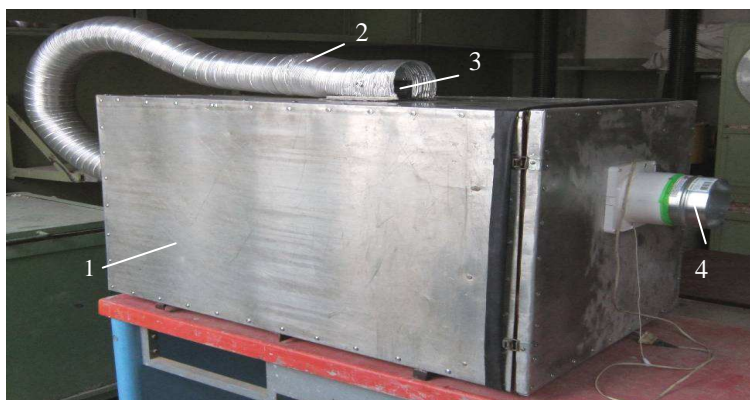
С точки зрения экономической выгоды наиболее приемлемым является производство жидкого стекла из силикат-глыбы непосредственно на предприятии, где предусматривается склад её хранения и организуется закрытый участок по производству жидкого стекла с применением автоклава. Силикат-глыба загружается в автоклав, в котором происходит варка жидкого стекла. Из автоклава жидкое стекло поступает в емкости для хранения. С помощью насоса жидкое стекло подается в расходную емкость объемом 1,5...2 м³, а затем через насос-дозатор впрыскивается через форсунки в смеситель, где уже находится смесь соломы и костры льна. При распылении вязущего происходит ворошение массы наполнителя для достижения равномерного распределения по поверхности частиц соломы и костры.

Из смесителя готовая смесь подается в форму. Для облегчения массы форма изготавливается из ламинированной влагостойкой фанеры или из твердого пластика. Форма имеет пригрузочную крышку с устройством для фиксации в заданном по толщине плиты положении. Предварительно перед формовкой внутренние грани формы смазывают машинным маслом с помощью распылителя для предотвращения адгезии с котросоломенными плитами и устанавливают короб-насадку для обеспечения подачи всей массы за один прием. Заполнение формы сырьевой массой производится равномерно по всему объему с одинаковой толщиной. Форму с композитной смесью перемещают на площадку пресса. Затем устанавливают пригрузочную крышку и подпрессовывают смесь до заданной толщины, фиксируют крышку в требуемом положении и снимают короб-насадку.

Композитная масса в форме выдерживается 5...6 часов, после чего производят распалубку формы и влажная котросоломенная плита помещается в сушильную камеру. Сушка производится в камере либо за счет обдува теплым воздухом при температуре 80...110 °С (6...8 часов), либо с использованием СВЧ-нагрева (30...40 минут) в зависимости от размера плит.

При сушке на этапе длительного прогрева плит в камере горячим воздухом в результате постепенного нагрева массива высока вероятность появления внутренних напряжений поверхностных и внутренних областей, что может вызвать нарушение и ослабление структуры утеплителя. Сохранение структуры возможно при нагреве плит за счет сверхчастотных электромагнитных колебаний, обеспечивающих быстрый прогрев по всему объему материала. Применение для сушки плит СВЧ-нагрева обеспечивает положительные градиенты температуры, давления и влажности. Внутри материала данные показатели выше, чем на поверхности, что обуславливает быструю миграцию влаги из структурной толщи на наружные грани плиты [10].

В процессе проведения экспериментальных исследований, связанных с разработкой котросоломенных плит, разработана конструкция камеры СВЧ-сушки (рис. 2).



1 – камера; 2 – воздуховод; 3 – магнетрон; 4 – осевой вентилятор

Рисунок 2 – Экспериментальная камера СВЧ-сушки для теплоизоляционных плит

Реализованное конструктивное решение камеры СВЧ-сушки позволяет исключить возможность образования конденсата путем удаления водяных паров, образующихся при интенсивном разогреве плит, с помощью осевого вентилятора, расположенного на двери камеры. При включении вентилятора, удаляющего влажный воздух, внутри камеры создается разрежение, за счет чего нагретый от магнетрона воздух подается по воздуховоду в СВЧ-камеру. Магнетрон располагается на входе в воздуховод. Приток более теплого воздуха (24...26 °С) способствует снижению теплопотерь при разогреве плиты и сокращает время сушки теплоизоляционных плит на 5 минут по сравнению с подачей воздуха температурой 18...20 °С, снижая тем самым расход потребляемой электроэнергии. СВЧ-нагрев является более эффективным способом высушивания плит, но при этом следует учитывать вредное воздействие СВЧ-волн на здоровье людей и соблюдать соответствующие меры безопасности при включении СВЧ-камеры. После сушки выполняется обрезка плит и теплоизоляционный материал поступает на склад готовой продукции.

Разобранные формы чистят, собирают, смазывают и возвращают на формовочный участок. Технологическое оборудование в конце каждой смены промывают для удаления остатков наполнителей и вяжущего. Отходы, образующиеся после обрезки плит, собираются в отдельную емкость, а затем повторно используются в технологическом процессе.

Заключение. Разработанная технологическая линия позволит выпускать костросоломенные плиты стоимостью за 1 м³ на 15...20 % ниже, чем производимые в настоящее время плиты из экструдированного пенополистирола или жесткие минераловатные плиты. Следует также учитывать, что костросоломенные плиты по сравнению с существующими аналогами являются экологически чистым и, соответственно, безопасным для здоровья людей теплоизоляционным материалом, производимым из постоянно возобновляемых сырьевых ресурсов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Статистический ежегодник 2013. – Минск: Национальный статистический комитет Респ. Беларусь, 2013. – 578 с.
2. Объединенная зерновая компания [Электронный ресурс]. – М.: ОАО Объединенная зерновая компания. – 2013. – Режим доступа: http://www.oaoozk.com/images/data/gallery/12_6026_analitika.pdf. – Дата доступа: 31.03.2015.
3. Суслов, Н.Н. Проектирование предприятий первичной обработки лубяных волокон / Н.Н. Суслов. – М.: Легкая индустрия, 1973. – 248 с.
4. Уголев, Б.Н. Древесиноведение с основами лесного товароведения / Б.Н. Уголев. – М.: Лесная промышленность, 1986. – 386 с.
5. Харатишвили, И.А. Прогрессивные строительные материалы / И.А. Харатишвили, И.Х. Наназашвили. – М.: Высш. шк., 1987. – 232 с.
6. Мишин, М.М. Совершенствование технологии уборки незерновой части урожая с разработкой режимов и параметров установки для изготовления утеплительных плит: дис. ... канд. техн. наук: 05.20.01 / М.М. Мишин. – Мичуринск, 2004. – 137 с.
7. Фирма ЕКО – Holz und Pellethandel GmbH была зарегистрирована в 2007 году в г. Карслуэ [Электронный ресурс]: сайт фирмы ЕКО – Holz und Pellethandel GmbH. – Режим доступа: <http://www.eko-pellethandel.de>. – Дата доступа: 14.04.2014.
8. Широков, Е.И. Экотехнология биопозитивных ограждающих конструкций из соломенных блоков в Беларуси: в 2 ч. / Е.И. Широков. – Минск: Адукацыя і выхаванне, 2007. – Ч. 1: Экодома из соломы: технология строительства. – 40 с.
9. The Ecosocoon straw panel technology is unique, unmatched in the world [Электронный ресурс]: сайт Ecosocoon. – Режим доступа: <http://ecosocoon.lt/english>. – Дата доступа: 02.02.2015.
10. Петров, А.Н. Теплоизоляционные материалы на основе соломы и неорганических связующих: дис. ... канд. техн. наук: 05.23.05 / А.Н. Петров. – Казань, 1998. – 178 с.

Поступила 03.12.2015

OPERATIONAL CHARACTERISTICS AND TECHNOLOGICAL FEATURES OF STRAW-BOON PLATES MANUFACTURING

N. DAVYDENKO, A. BAKATOVICH

Potential areas of usage of straw and boon of flax, including construction have been observed. Rational application of straw and boon of flax as lightweight aggregates for heat-insulating materials has been grounded. Physical-mechanical features of straw-boon plates as well as the results of burning tests, smoke-forming power and satisfying sanitary and hygienic standards are presented. Step-by-step description of the scheme of manufacturing line of straw-boon plates.