

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/м<sup>3</sup>; 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.

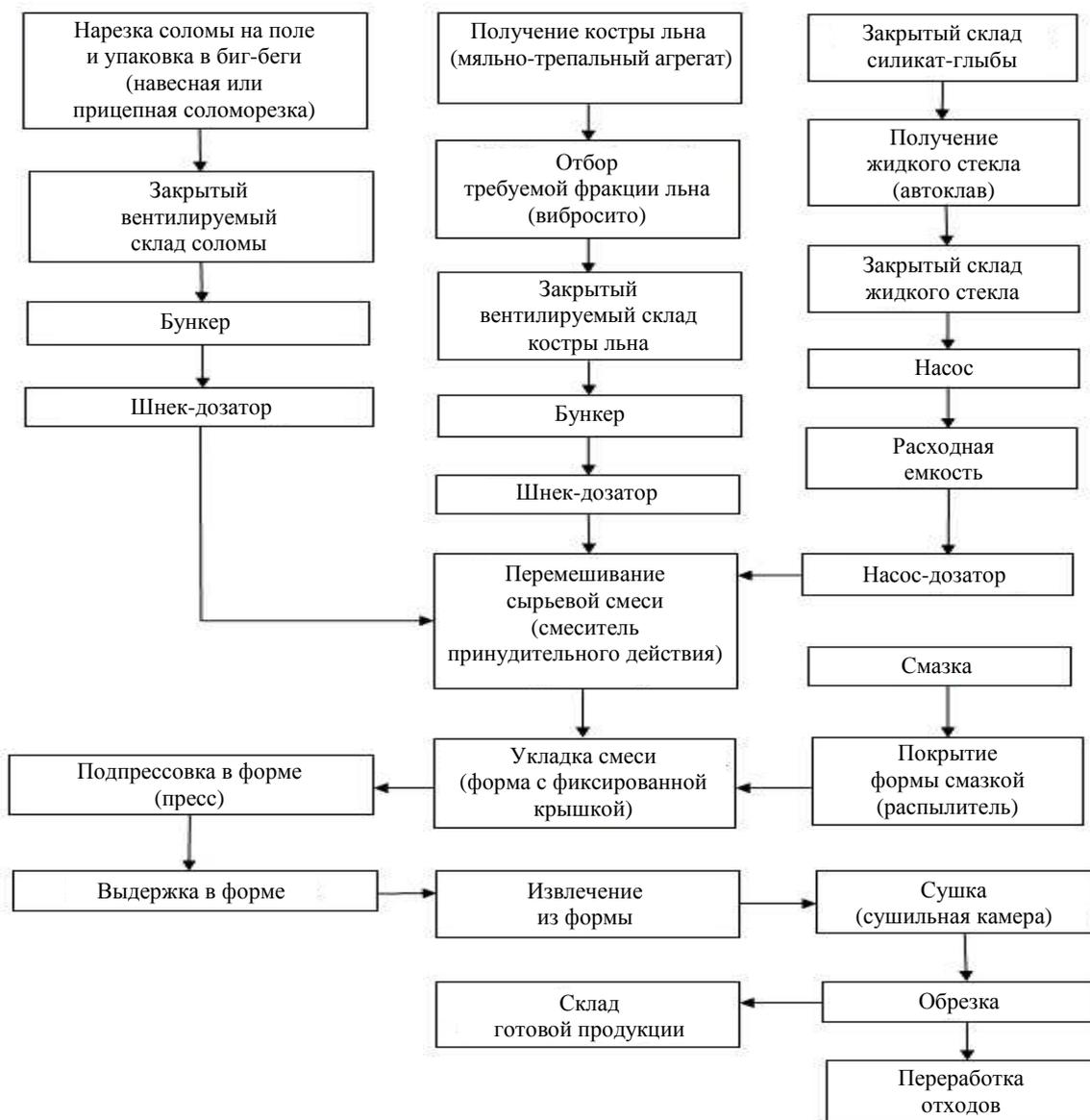


Рисунок 1 – Технологическая схема производства костросоломенных плит

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 м<sup>3</sup>. 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.

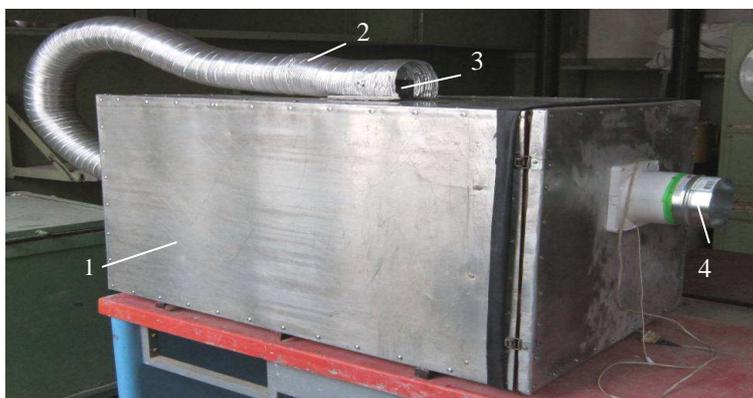
С точки зрения экономической выгоды наиболее приемлемым является производство жидкого стекла из силикат-глыбы непосредственно на предприятии, где предусматривается склад её хранения и организуется закрытый участок по производству жидкого стекла с применением автоклава. Силикат-глыба загружается в автоклав, 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 м<sup>3</sup>, 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 м<sup>3</sup> 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.oaookz.com/images/data/gallery/12\\_6026\\_analitika.pdf](http://www.oaookz.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.*