

СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ

УДК 666.973.2:666.972.1

ОТХОДЫ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЙ ПЕРЕРАБОТКИ В ПРОИЗВОДСТВЕ ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ

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

Исследуется теплоизоляционный материал, полученный на основе местных сырьевых материалов. Для сравнения определены физико-механические характеристики теплоизоляционного материала из рубленой соломы на жидком стекле. В экспериментальных составах в качестве заполнителя используется смесь рубленой соломы и костры льна, связующим является также жидкое стекло.

Представлены результаты оптимизации в экспериментальных составах расхода жидкого стекла, фракционного состава соломы, давления формования. Установлены оптимальные соотношения крупного и мелкого заполнителя на основе разработанной структурной системы заполнителя «каркас в каркасе», позволяющие получить материал со следующими характеристиками: средняя плотность 230...260 кг/м³, прочность на сжатие 0,65...0,83 МПа, коэффициент теплопроводности 0,046...0,055 Вт/(м·К). Полученный теплоизоляционный материал является экологически чистым, обладает высокими теплоизоляционными свойствами. Производство такого материала позволит утилизировать отходы сельскохозяйственного производства.

Введение. Использование отходов производства, экономия материалов, совершенствование строительных конструкций становятся в настоящее время особенно актуальными. Истощение отдельных видов сырьевых ресурсов вызывает интерес к утилизации отходов и получению продукции из вторичных ресурсов надлежащего качества с меньшими затратами. Значительные сырьевые ресурсы образуются в сельскохозяйственном производстве (костра конопли и льна, рисовая и пшеничная солома, стебли хлопчатника и табака, шрот). Один из путей рационального использования сельскохозяйственных отходов – применение их в качестве сырья для производства теплоизоляционных и конструктивно-теплоизоляционных материалов для малоэтажного и сельского строительства. В качестве связующих возможно применение органических и неорганических вяжущих веществ. Так, например, дробленка, получаемая из стеблей хлопчатника, длиной 3...15 и толщиной 1 мм используется как заполнитель для производства арболита на минеральных вяжущих. Для удаления водорастворимых веществ, замедляющих процесс твердения цемента, дробленые стебли предварительно вымачивают в воде. Чтобы нейтрализовать экстрактивные вещества и ускорить процесс твердения цемента вводят жидкое стекло, хлорид кальция, серноокислый глинозем, известь-пушонку. Также для изготовления арболита используют стебли конопли. Для отделения волокна луба, стебли конопли подвергаются специальной обработке, поэтому ее костра не оказывает вредного воздействия на цемент, как в случае с дробленкой [1]. Широко известно применение костры льна для получения прессованных теплоизоляционных изделий в виде плит со средней плотностью 270...300 кг/м³, прочностью на сжатие 0,69...0,87 МПа, коэффициентом теплопроводности 0,057...0,071 Вт/(м·К). Также возможно использование костры льна в качестве заполнителя для газобетона, как компонента с меньшей величиной плотности. Средняя плотность такого газобетона составляет 300...400 кг/м³, прочность на сжатие – 0,88...1,09 МПа, теплопроводность – 0,074...0,085 Вт/(м·К) [2].

В работах В.С. Колесникова, П.И. Дроздова и В.В. Золотухина проводились исследования по применению различного растительного сырья для производства плит «страмит». Установлено, что плотность изделий зависит от исходного сырья и составляет: для плит из пшеничной соломы – 330 кг/м³; из рисовой соломы – 380 кг/м³; из камыша – 260 кг/м³; из стеблей хлопчатника – 360 кг/м³. Плиты из пшеничной соломы имеют наибольший показатель гигроскопичности – 21,5 %, наименьшая величина гигроскопичности у плит из стеблей хлопчатника – 16,3 %. Коэффициент теплопроводности – 0,055...0,09 Вт/(м·К) [3, 4].

Известно использование шрота, являющегося отходом переработки солодкового корня, для изготовления теплоизоляционных плит. Используя предварительную обработку сырья, получены плиты со следующими характеристиками: плотность – 350...400 кг/м³; предел прочности на изгиб – 0,4 МПа; коэффициент теплопроводности – 0,06 Вт/(м·К). Плиты на жидком стекле из шрота без переработки имеют плотность – 350...450 кг/м³, прочность на изгиб – 0,5...0,8 МПа, коэффициент теплопроводности – 0,07...0,08 Вт/(м·К) [4].

Для изготовления теплоизоляционных плит применяют соломенное и тростниковое волокно. Солома хлебных злаков, по сравнению с древесиной, является неоднородным материалом как в химическом, так и в морфологическом отношении. По химическому составу солома близка к листовым породам древесины и тростнику. Содержащиеся в соломе гемицеллюлозы сокращают время размола, увеличивают выход волокнистой массы и придают прочность материалу.

Процесс получения волокнистых плит состоит из двух стадий – переработки сырья в волокнистую массу и формирования из этой массы волокнистого ковра – плиты. Исследованиями З.С. Хоменко и Б.В. Бухаревой установлено, что водный гидролиз растительного сырья позволяет получить теплоизоляционные плиты на основе соломы плотностью 155...260 кг/м³, прочностью на изгиб 0,82...1,76 МПа и водопоглощением 11,8...36,5 % [5].

В Казанском государственном университете разработаны составы и технология изготовления теплоизоляционного материала на основе рубленой пшеничной соломы длиной 30...50 мм, отходов шерсти мехового производства и неорганического вяжущего – жидкого стекла. Средняя плотность теплоизоляционных плит составляет 125...300 кг/м³, прочность на сжатие при 10 %-ной деформации – 0,3...0,8 МПа, коэффициент теплопроводности – 0,044...0,056 Вт/(м·К) [6].

Строительные материалы с приведенными выше характеристиками на основе растительного сырья могут применяться для устройства тепловой изоляции конструкций гражданских и промышленных зданий, а также как конструкционно-теплоизоляционные материалы для малоэтажного строительства.

Основная часть. На кафедре строительного производства Полоцкого государственного университета ведутся работы по изучению свойств теплоизоляционных материалов на основе отходов сельского производства. Для проведения исследований физико-механических свойств теплоизоляционного материала изготавливали образцы-кубы размером 100 × 100 × 100 мм. В качестве заполнителя применяли растительное сырье – рубленую ржаную солому, в качестве неорганического связующего – натриевое жидкое стекло.

На начальном этапе определяли наиболее оптимальный фракционный состав заполнителя. На диаграммах (рис. 1 и 2) показаны зависимости средней плотности и прочности на сжатие при 10 %-ной деформации от фракции соломы при давлении формования 0,02 МПа.

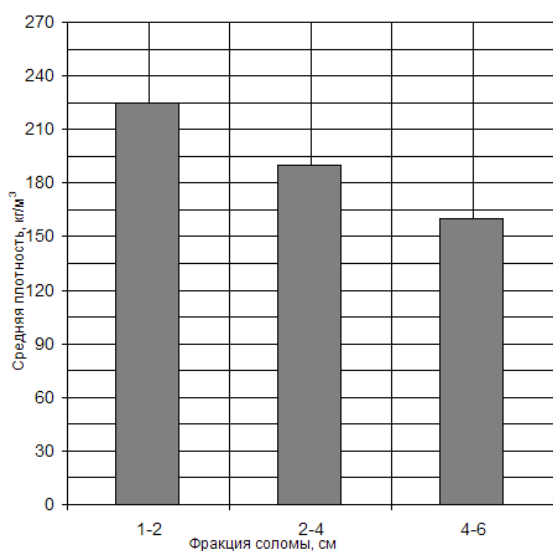


Рис. 1. Зависимость средней плотности от фракции соломы

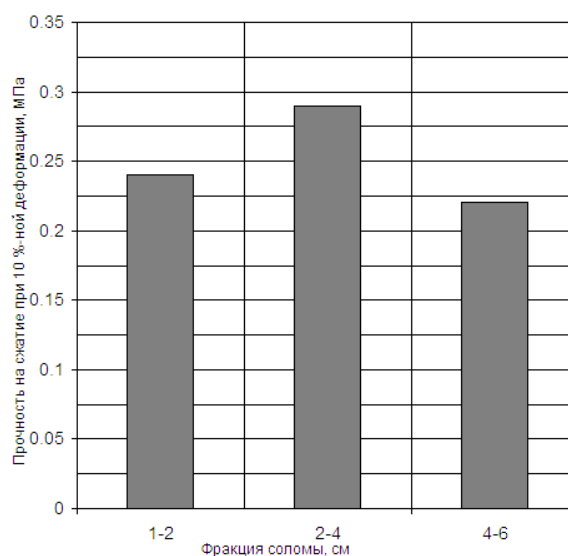


Рис. 2. Зависимость прочности на сжатие при 10 %-ной деформации от фракции соломы

Анализ полученных результатов позволяет сделать вывод, что наиболее оптимальной является фракция соломы 2...4 см. Использование фракции 1...2 см позволяет получить более плотную, но в то же время и менее связную структуру соломенного каркаса, что отрицательно влияет на прочность материала. Применение соломы фракции 4...6 см дает возможность получить низкую плотность, но при этом значительно повышается пустотность соломенного каркаса и снижается прочность.

Для выбора оптимальных условий структурообразования теплоизоляционного материала на основе соломы фракции 2...4 см варьировали давление формования. На рисунках 3 и 4 представлены зависимости изменения средней плотности и прочности при 10 %-ной деформации от давления формования при постоянном расходе жидкого стекла.

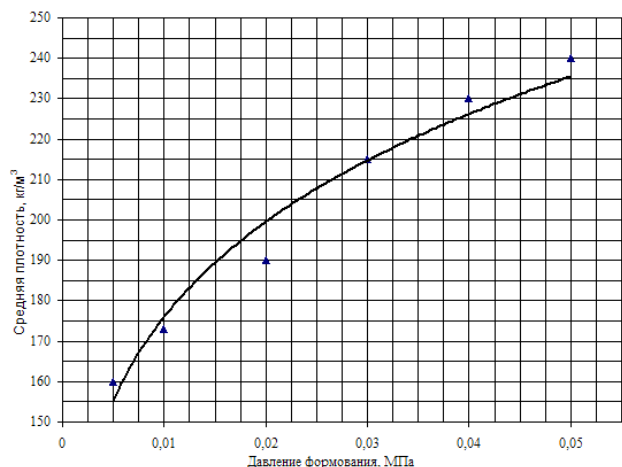


Рис. 3. Зависимость средней плотности от давления формования

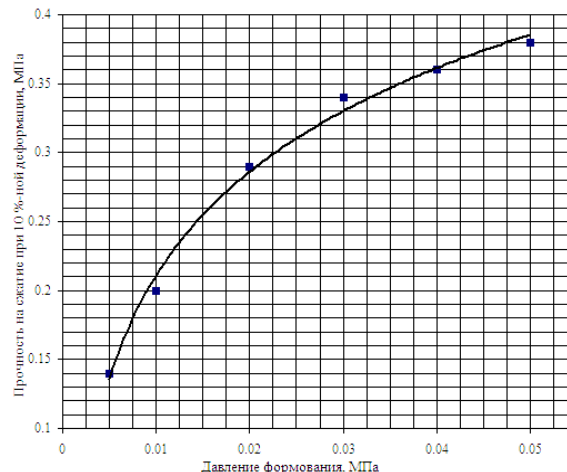


Рис. 4. Зависимость прочности на сжатие при 10 %-ной деформации от давления формования

Из анализа полученных данных следует, что увеличение давления формования с 0,005 до 0,02 МПа приводит к увеличению прочности с 0,14 до 0,29 МПа и повышению средней плотности со 165 до 190 кг/м³. При этом смятия рубленых стеблей соломы не происходит.

Увеличение давления формования до 0,03 МПа ведет к дальнейшему повышению средней плотности до 215 кг/м³ и прочности до 0,34 МПа. В этом случае происходит уплотнение каркаса соломы (рубленые стебли соломы плотно соприкасаются друг с другом, и начинается их смятие). Дальнейшее увеличение давления формования до 0,05 МПа приводит к росту средней плотности до 240 кг/м³ при незначительном увеличении прочности с 0,34 до 0,38 МПа. При этом наблюдается значительное смятие рубленых стеблей соломы. Таким образом, наиболее оптимальным с учетом физико-механических показателей и организационно-технологических затрат на создание формовочного давления является давление формования 0,02... 0,03 МПа.

С целью установления оптимальной дозировки жидкого стекла варьировали количество связующего в экспериментальных составах. Полученные зависимости средней плотности и прочности на сжатие от расхода натриевого жидкого стекла иллюстрируют рисунки 5 и 6. Давление формования составляло 0,02 и 0,03 МПа. Расход жидкого стекла принимали в массовых долях от массы соломы. Нижний предел расхода связующего обусловлен необходимостью полного покрытия поверхности заполнителя, а верхний предел – средней плотностью материала (не более 250 кг/м³).

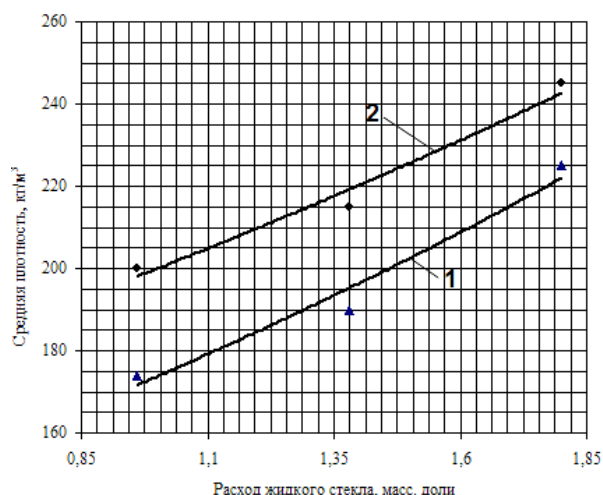


Рис. 5. Зависимость средней плотности от расхода жидкого стекла:

- 1 – давление формования 0,02 МПа;
- 2 – давление формования 0,03 МПа

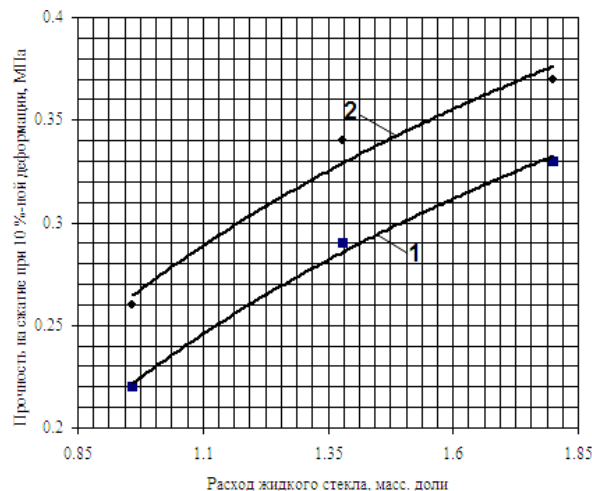


Рис. 6. Зависимость прочности на сжатие при 10 %-ной деформации от расхода жидкого стекла:

- 1 – давление формования 0,02 МПа;
- 2 – давление формования 0,03 МПа

Анализ представленных результатов показывает, что увеличение доли связующего приводит к повышению средней плотности со 174 до 225 кг/м³ и прочности с 0,22 до 0,33 МПа при давлении формования

ния 0,02 МПа. Давление формования 0,03 МПа при варьировании расхода жидкого стекла позволяет получить материал со средней плотностью от 200 до 245 кг/м³ и прочностью от 0,26 до 0,37 МПа. Таким образом, исходя из экономической целесообразности более рациональной является дозировка связующего в пределах 1,3...1,6 массовых долей от массы соломы, позволяющая обеспечить среднюю плотность материала от 215 до 233 кг/м³ и прочность от 0,31 до 0,36 МПа при давлении формования 0,03 МПа.

Свойства теплоизоляционного материала в значительной степени определяются его составом и структурой. Для получения материала с заданными свойствами необходимо четкое представление о процессе формирования структуры. Поэтому на втором этапе исследований для снижения пустотности получаемого теплоизоляционного материала и увеличения прочности в состав теплоизоляционной массы вводили второй компонент заполнителя – костру льна (мелкий заполнитель), являющуюся отходом переработки льна при получении тресты. В исследованиях использовали костру льна Полоцкого льнозавода фракцией не более 5 мм, которая составляет половину от получаемого объема продукта переработки. Такая фракция обеспечивает наилучшее структурообразование каркаса [2].

Использование смеси рубленой соломы и костры льна в качестве органического заполнителя позволяет создать взаимопроникающую структурную систему «каркас в каркасе» теплоизоляционной массы. Первый каркас образуется крупным заполнителем – рубленой соломой, второй каркас образуется мелким заполнителем – кострой льна.

На рисунках 7 и 8 приведены зависимости средней плотности и прочности на сжатие теплоизоляционного материала от расхода костры льна при постоянном расходе связующего.

Массовые доли расхода костры льна 0,11; 0,25; 0,43; 0,67; 1,0 равны соответственно соотношениям рубленой соломы и костры льна в смеси заполнителя 90 : 10; 80 : 20; 70 : 30; 60 : 40; 50 : 50.

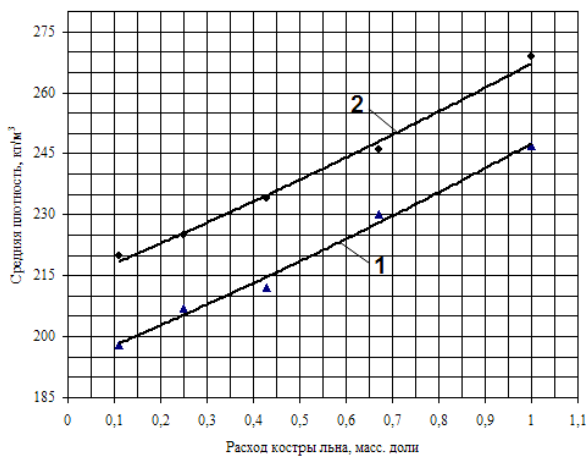


Рис. 7. Зависимость средней плотности от расхода костры льна:

- 1 – давление формования 0,02 МПа;
- 2 – давление формования 0,03 МПа

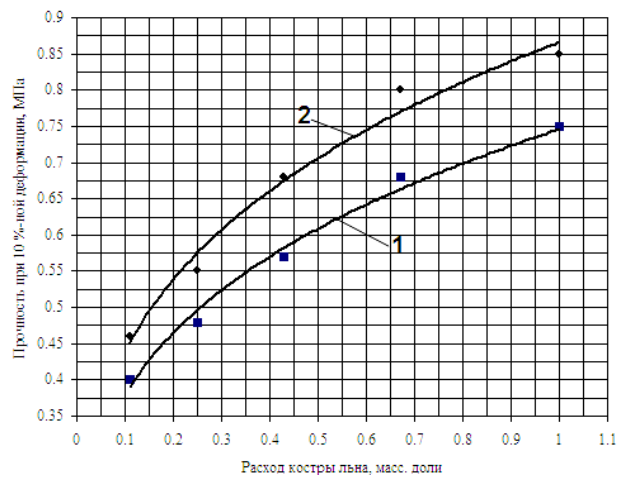


Рис. 8. Зависимость прочности на сжатие при 10 %-ной деформации от расхода костры льна:

- 1 – давление формования 0,02 МПа;
- 2 – давление формования 0,03 МПа

Из полученных результатов следует, что с увеличением доли мелкого заполнителя в смеси возрастает средняя плотность образцов со 198 до 247 кг/м³ при давлении формования 0,02 МПа и с 220 до 269 кг/м³ при давлении формования 0,03 МПа. Увеличение средней плотности происходит в результате заполнения пустот мелким заполнителем – кострой льна. При давлении формования 0,02 МПа и соотношениях соломы и костры льна 90 : 10; 80 : 20; 70 : 30; 60 : 40 наблюдается увеличение прочности с 0,4 до 0,68 МПа, а при давлении формования 0,03 МПа – с 0,46 до 0,8 МПа. Соотношение крупного и мелкого заполнителя в смеси 50 : 50 позволяет получить образцы прочностью 0,75 МПа, что лишь на 5 % больше, чем при соотношении компонентов смеси 60 : 40 при давлении формования 0,02 МПа. Увеличение давления формования до 0,03 МПа приводит к повышению прочности образца на 10 % и составляет 0,85 МПа. Дальнейшее увеличение доли костры льна (более чем на 50 %) по отношению к доли рубленой соломы в смеси заполнителя приводит к значительному повышению плотности и снижению прочности в результате деструкции системы «каркас в каркасе».

Влияние расхода связующего на плотность и прочность исследовали на образцах с соотношениями крупного и мелкого заполнителей 60 : 40 и 70 : 30 как наиболее оптимальными по физико-механическим показателям при давлении формования 0,03 МПа (рис. 9 и 10).

Анализ полученных результатов показывает, что увеличение доли связующего приводит к повышению средней плотности до 263 кг/м³ и прочности до 0,78 МПа при соотношении соломы и костры льна в

смеси 70 : 30. Изменение расхода жидкого стекла при соотношении компонентов смеси 60 : 40 позволяет получить материал со средней плотностью от 225 до 274 кг/м³ и прочностью от 0,6 до 0,86 МПа. Следовательно, наиболее оптимальным является расход связующего в пределах 1,3...1,6 массовых долей от массы смеси заполнителя, позволяющий обеспечить среднюю плотность материала от 230 до 248 кг/м³ и прочность от 0,65 до 0,74 МПа при соотношении соломы и костры льна в смеси 70 : 30. Для соотношения компонентов смеси 60 : 40 оптимальным также является расход связующего в пределах 1,3...1,6 массовых долей от массы смеси заполнителя. При этом средняя плотность материала составляет 243...260 кг/м³ и прочность 0,74...0,83 МПа.

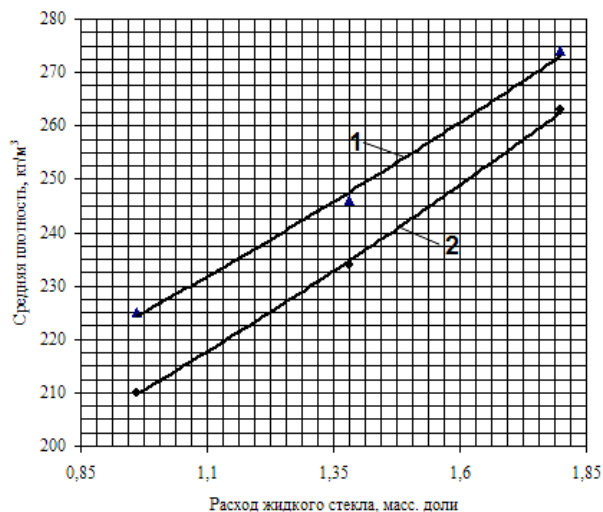


Рис. 9. Зависимость средней плотности от расхода жидкого стекла:

1 – соотношение соломы и костры льна в смеси заполнителя 60 : 40; 2 – соотношение соломы и костры льна в смеси заполнителя 70 : 30

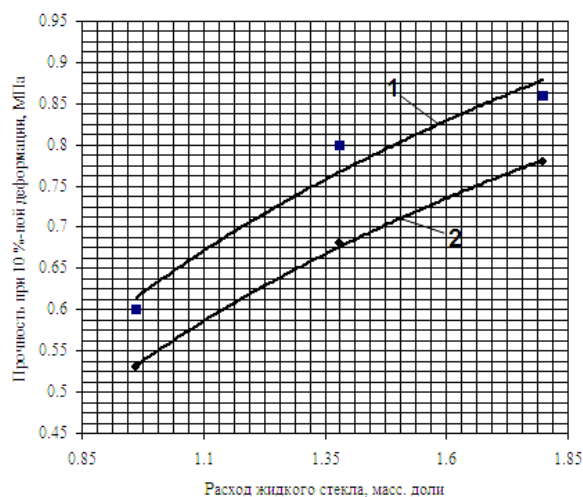


Рис. 10. Зависимость прочности на сжатие при 10 %-ной деформации от расхода жидкого стекла:

1 – соотношение соломы и костры льна в смеси заполнителя 60 : 40;
2 – соотношение соломы и костры льна в смеси заполнителя 70 : 30

На рисунках 11 и 12 приведены образцы на основе рубленой соломы и смеси рубленой соломы с кострой льна.

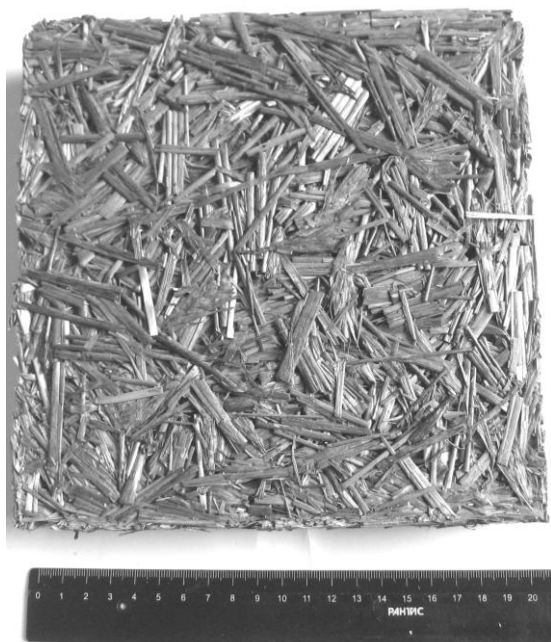


Рис. 11. Образец на основе рубленой соломы

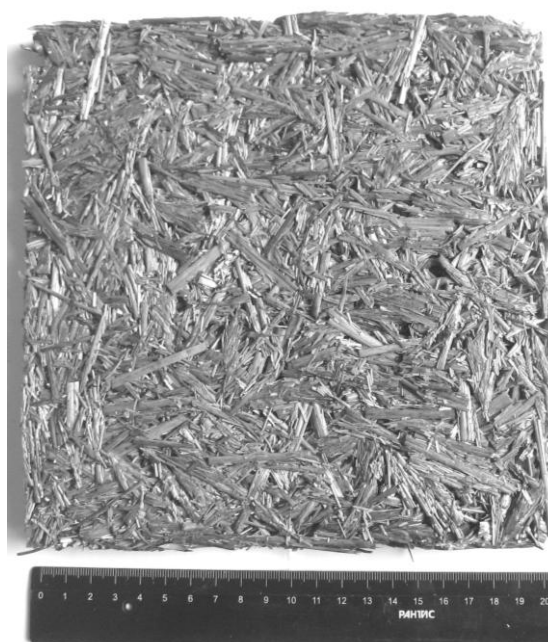


Рис. 12. Образец на основе рубленой соломы и костры льна при соотношении компонентов смеси 70 : 30

Внешний вид плиты, приведенной на рисунке 12, подтверждает равномерность распределения мелкого заполнителя по объему образца. При этом костра льна заполняет пустоты соломенного каркаса (см. рис. 11), образуя собственный каркас. Механические свойства структурной системы «каркас в каркасе» обеспечиваются прочностью и жесткостью образуемых контактов между крупным заполнителем, связующим и мелким заполнителем, адгезией затвердевшего связующего к поверхности соломы и костры льна, а также плотностью смеси заполнителя.

Исследования теплопроводности проводили на приборе ИТП-МГ4 «250» в соответствии с требованиями СТБ 1618-2006. Величина коэффициента теплопроводности для образцов на основе рубленой соломы составляет 0,056...0,062 Вт/(м·К), а для образцов на основе рубленой соломы и костры льна – 0,046...0,055 Вт/(м·К).

Заключение. Из представленных результатов исследований следует, что средняя плотность материала на основе рубленой соломы составляет 215...233 кг/м³, прочность – 0,31...0,36 МПа при давлении формования 0,03 МПа и расходе жидкого стекла, равном 1,3...1,6 массовых долей от массы соломы. При соотношении рубленой соломы и костры льна 70 : 30, 60 : 40 средняя плотность образцов увеличивается незначительно, на 15 %, и составляет 230...260 кг/м³, прочность при этом возрастает в два раза и более и составляет 0,65...0,83 МПа.

Экспериментальные исследования показали, что применение растительных отходов производства сельского хозяйства позволяют изготовить теплоизоляционный материал на основе смеси рубленой соломы и костры льна с необходимыми теплотехническими и эксплуатационными характеристиками. Теплоизоляционные материалы на основе смеси рубленой соломы и костры льна в виде плит можно применять для утепления чердачных перекрытий и наружных стен из кирпичной кладки.

По результатам исследований подана заявка на патент.

ЛИТЕРАТУРА

1. Цепяев, В.А. Легкие конструкционные бетоны на древесных заполнителях / В.А. Цепяев, А.К. Яворский, Ф.И. Хадошова. – Орджоникидзе: Ир, 1990. – 134 с.
2. Смирнова, О.Е. Теплоизоляционные материалы на основе костры льна: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.23.05 / О.Е. Смирнова; Новосиб. гос. архит.-строит. ун-т. – Новосибирск, 2007. – 18 с.
3. Колесников, Н.П. Исследование теплоизоляционных строительных материалов на основе растительных отходов сельскохозяйственного производства и промышленности Казахстана: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.23.05 / В.С. Колесников; Алма-Атинский НИИСтройпроект. – Ростов н/Д, 1975. – 19 с.
4. Плиты «Страмит» / П.И. Дроздов [и др.] // Строительные материалы. – 1964. – № 8. – С. 40 – 41.
5. Хоменко, З.С. Строительные плиты из камыша и соломы / З.С. Хоменко, Б.В. Бухарева. – М.: Стройиздат, 1963. – 52 с.
6. Петров, А.Н. Теплоизоляционные материалы на основе соломы и неорганических связующих: дис. ... канд. техн. наук: 05.23.05 / А.Н. Петров. – Казань, 1998. – 178 л.

Поступила 27.11.2009