

## РАСТИТЕЛЬНОЕ СЫРЬЁ В ПРОИЗВОДСТВЕ ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ ВОЛОКНИСТОЙ СТРУКТУРЫ

Романовский С.А., Бакатович А.А.

**Введение:** Одной из важнейших задач строительного производства, на современном этапе, помимо наращивания объема производимых теплоизоляционных материалов, является повышение эффективности разрабатываемых утеплителей. В настоящее время в странах Европы и России особое внимание в технологиях получения теплоизоляционных материалов уделяется использованию волокон растительного происхождения. Многочисленные экспериментальные исследования показывают, что наиболее подходящим сырьем для изготовления теплоизоляционных плит являются сельскохозяйственные отходы, образующиеся после сбора и переработки урожая [1]. Использование утеплителей на волокнистом сырье растительного происхождения приведет не только к значительной экономии топливно-энергетических ресурсов, капитальных вложений и снижению себестоимости выпускаемой продукции, но и позволит улучшить экологическую ситуацию в целом. Высокая эффективность теплоизоляционных плит волокнистой структуры и практически неограниченная сырьевая база дают право рассматривать развитие производства таких утеплителей как одно из важнейших направлений в освоении новых прогрессивных строительных материалов.

**Основная часть:** Образующиеся в больших объемах на территориях разных стран, включая Беларусь, Бангладеш, Малайзию, Индию, Китай, волокна растениеводства на начальном этапе исследований рассматривались как потенциальные сырьевые источники получения эффективного заполнителя для теплоизоляционных материалов. В экспериментах использовали различные растительные волокна: льна, очесов льна, джута, коры масличной пальмы, кокоса, бамбука, конопли и крапивы.

Одной из ведущих технических культур сельского хозяйства в Республике Беларусь является лен-долгунец. В Беларуси сосредоточено около 16% мировых посевов льна, или более 20% льняных посевов на Европейском континенте. Лен-долгунец высевается во всех регионах Беларуси, но наиболее крупные посевные площади (31,6% от всех посевов) приходятся на Витебскую область [2]. Сбор урожая и дальнейшая переработка льна для получения льняных волокон является достаточно трудоемким процессом. При уборке льна комбайнами производится механизированный расстил соломки на льнище. Отделению волокнистой части стебля от древесины способствует роса, дожди и тепло, разрушающие соединительные ткани. Далее льняное сырье поступает на льнозаводы для первичной переработки льна [3]. При обработке льняной тресты свыше одной трети всего волокна уходит в отходы трепания. После обычного протряхивания от костры часть отходов сдаётся на заготовительный пункт как пакля. Большую часть отходов тщательно обрабатывают в потоке на специальной линии машин по производству короткого волокна, состоящей из специальной сушилки, трясилки, куделеприготовительной машины. Здесь льняные отходы окончательно очищают от древесины. Для повышения качества волокна, чистое короткое и длинное волокно после оценки и подвязки отвозят на склад для отлежки. Затем волокно проходит контрольную сортировку и отправляется на льняные комбинаты или фабрики [4]. В результате чесания трепаного льна получают от 45 до 55% чесаного льна, 40–50% очесов и около 5% костры. В 2017 году урожайность льноволокна составила 9,2 ц/га, наибольшая урожайность отмечалась в 2014 году – 10,7 ц/га.

В Бангладеш одними из самых дешевых растительных волокон являются джутовые, уступающие только хлопку по выпуску продукции и разнообразию применения. Объем производства джутовых волокон в стране составляет около 1 млн. т. в год. Джут произрастает довольно легко во влажных и теплых условиях. Средняя производительность растения варьируется от 1,5 до 2 т/га. Для получения волокон длиной от 1 до 4 метров джут проходит процесс вымачивания и декорткации [5].

В странах с теплым климатом многотоннажным волокнистым отходом являются волокна коры масличной пальмы. В последние десятилетия по причине мирового роста потребления пальмового масла в пищевой и косметической индустриях существенно увеличились посадочные площади плантаций пальмовых деревьев. Малайзия занимает лидирующие позиции в производстве пальмового масла. Однако, на сегодняшний день, малазийские производители масла столкнулись с проблемой утилизации большого количества вырубленных старых пальмовых деревьев. Как правило, стволы вырубленных деревьев постепенно гниют, или

сжигают на плантациях. Однако волокна коры обладают высокой стойкостью к загниванию, поэтому разложение естественным способом является долговременным процессом и требует привлечения дополнительных земельных площадей. Кора масличной пальмы легко удаляется из ствола и имеет волокнистую структуру. Волокна коры масличной пальмы не используют, в результате каждый год необходимо утилизировать порядка 110 тыс. тонн коры.

Наиболее известным волокнистым отходом аграрного производства в Индии являются кокосовые волокна. Страна занимает третье место в мире по выращиванию кокосовых пальм и является крупнейшим производителем кокосов с производством 16,9 миллиардов орехов на площади под плантациями приблизительно 1,9 миллионов гектаров [6]. Ежегодно в Индии образуется 7,5 миллионов тонн кокосовых волокон. Важно отметить низкую стоимость данных отходов, зависящую в основном от транспортных расходов.

Бамбук относится к роду многолетних вечнозеленых растений семейства Злаки. Растет в основном в тропических и субтропических регионах Азии, особенно распространен во влажных тропиках. Ствол бамбука представляет собой композиционный материал, состоящий из длинных и параллельных целлюлозных волокон, проросших в одревесневшей матрице [7]. Механические свойства бамбука сопоставимы с древесиной, имея преимущества меньшего веса и короткого времени уборки, каждые 3–4 года. Кроме того, бамбук не требует повторной посадки, так как обширная корневая система быстро прорастает новыми побегами [8, 9]. Как таковое бамбуковое волокно также известно, как натуральное стекловолокно [10]. Производство бамбуковых волокон в мире составляет примерно 30 млн. т. в год [11].

Одним из старейших сельскохозяйственных растений, культивируемых человеком, является конопля. Растение высотой от 1 до 5 метров произрастает в разных климатических условиях. С каждого засеянного гектара получают до 15 тонн сухого вещества. В мире известно более 3000 способов применения конопли. Ведущим производителем технической конопли в мире является Китай. Страна производит примерно 44 тыс. т. сырья в год. Китаю принадлежат более половины из более чем 600 патентов на использование технической конопли в мире. Из волокон технической конопли в Европе производят пеньку, используемую наиболее широко в качестве альтернативного или экологически чистого строительного материала [12].

В Беларуси имеют перспективу использование в кормовых целях сельскохозяйственные отходы крапивы-двудомной, обладающей богатым природным генофондом и благодатной основой для селекции [13]. По кормовой питательности крапива близка к бобовым растениям и обладает высокой кормовой ценностью. Достоинства крапивы-двудомной состоят еще и в том, что при одинаковых факторах выращивания обеспечивается урожайность в 1,5–2 раза выше традиционных культур. Как высокоурожайную и полноценную кормовую систему крапиву выращивают в странах Балтии, Германии, США, Швеции и в некоторых хозяйствах Беларуси. В качестве кормовой культуры также широко используют крапиву коноплевидную. С каждого засеянного 1 раз в 8–10 лет гектара получают по 800–1000 ц/га зеленой массы, а при орошении – еще больше. Крапива достигает в высоту 120–150 см. Необходимо отметить, что для получения кормовой системы используются только листья крапивы, тогда как волокнистые стебли являются отходом производства.

Основные физико-механические характеристики теплоизоляционных материалов на основе растительных сырьевых волокон приведены в таблице 1. В качестве вяжущего использовали натриевое жидкое стекло. Плотность всех образцов составляла 50 кг/м<sup>3</sup>, соотношение связующего к заполнителю по массе для всех материалов принимали 1:4.

Таблица 1 – Физико-механические характеристики теплоизоляционных материалов на основе растительных волокон

№ состава	Волокнистый наполнитель (страна выращивания)	Физико-механические характеристики	
		коэффициент теплопроводности, Вт/(м·°С)	прочность на сжатие при 10% деформации, МПа
1	Очесы льна (Беларусь)	0,041	0,0011
2	Волокно льна (Беларусь)	0,047	0,0018
3	Волокно джута (Бангладэш)	0,043	0,0013
4	Волокно коры масличной пальмы (Малайзия)	0,054	0,011
5	Волокно кокоса (Индия)	0,05	0,0064
6	Волокно бамбука (Китай)	0,043	0,002
7	Волокно конопли (Китай)	0,045	0,002
8	Волокно крапивы (Беларусь)	0,041	0,001

Среди полученных материалов из волокон растительного происхождения, образцы из очесов льна и крапивы (составы 1, 8) обладают самой низкой теплопроводностью  $-0,041 \text{ Вт/(м}\cdot\text{°C)}$ , что до 24% меньше показателей материалов на других видах заполнителей (составы 2–7). Наибольшая прочность на сжатие при 10% деформации из рассматриваемых образцов достигается при использовании волокон коры масличной пальмы. Показатель прочности на сжатие теплоизоляционного материала из волокна коры в 1,7 раза больше прочности материала на основе кокосового волокна (состав 5) и в 5–10 раз превышает прочность на сжатие при 10% деформации утеплителей на основе других волокон растениеводства (составы 1–3 и 6–8). По причине низкой прочности на сжатие материалов из растительного сырья волокнистой структуры, в дальнейших исследованиях данный показатель не определялся.

После проведенного анализа физико-механических характеристик материалов на заполнителях с учетом региона произрастания в последующих исследованиях определяли теплопроводность экспериментальных составов на основе различных видах связующего. В таблице 2 приведены показатели теплопроводности плит из очесов льна, льняных волокон и волокон крапивы при плотности образцов  $50 \text{ кг/м}^3$ . Дисперсия ПВА и крахмал применяли в качестве вяжущих компонентов. Расход связующего по сухому веществу к заполнителю по массе для всех материалов принимали 1:4

Таблица 2 – Теплопроводность утеплителей из волокон растительного происхождения

№ состава	Состав		Коэффициент теплопроводности, Вт/(м·°C)
	заполнитель	вяжущее	
1	Очесы льна	Эмульсия ПВА	0,047
2	Очесы льна	Крахмал	0,046
3	Волокно льна	Эмульсия ПВА	0,052
4	Волокно льна	Крахмал	0,051
5	Волокно крапивы	Эмульсия ПВА	0,049
6	Волокно крапивы	Крахмал	0,047

Из данных таблицы 2 следует, что образцы на основе очесов льна (составы 1 и 2) обладают более высоким, на 12–15% коэффициентом теплопроводности, чем состав 1 (таблица 1). Применение в качестве вяжущего эмульсии ПВА или крахмала (составы 3, 4) приводит к увеличению теплопроводности на  $0,004\text{--}0,005 \text{ Вт/(м}\cdot\text{°C)}$  по сравнению с составом 2 (таблица 1) из льняных волокон и жидкого стекла. Аналогичная зависимость наблюдается у плит на основе крапивы, так при одинаковой плотности образцов теплопроводность составов 5, 6 увеличивается на 15–20% по сравнению с составом 8 (таблица 1).

В процессе анализа полученных результатов установлено, что утеплители волокнистой структуры из растительного сырья на вяжущем из натриевого жидкого стекла следует считать более эффективными по сравнению с утеплителями на связующем из крахмала или эмульсии ПВА. Кроме того, жидкое стекло в отличие от дисперсии ПВА и крахмала позволяет существенно повысить огнестойкость горючих заполнителей из растительного сырья, что подтверждается результатами исследований работы [14].

**Заключение.** Проведенные исследования на различном растительном сырье указывают на то, что в любом регионе мира присутствует альтернативная сырьевая база для производства экологически безопасных растительных теплоизоляционных материалов.

С учетом отсутствия на территории Беларуси технологии сбора, переработки и получения волокон крапивы в промышленном масштабе, наиболее оптимальным решением задачи по получению эффективного утеплителя из растительного сырья, не содержащего в составе органического, синтетического связующего с пониженной горючестью, обеспечивающего экологическую безопасность для человека, является использование очесов и волокна льна.

#### Список источников

1. Давыденко, Н.В. Теплоизоляционные плиты на основе отходов растениеводства и неорганического вяжущего: автореф. дисс. ... канд. техн. наук : 05.23.05 / Н.В. Давыденко. - Новополоцк, 2016. - 1 с.

2. Цыганов, А.Р. Современное состояние растениеводства Республики Беларусь / А.Р. Цыганов, Л.А. Веремейчик // Материалы международной научно-практической конференции, посвященной 100-летию юбилею Омского ГАУ «Научные инновации – аграрному производству», г. Омск, 21 февраля 2018 г. / «Омский государственный аграрный университет имени П.А. Столыпина», 2018. – С. 515–520.
3. Живетин, В. В. Лен. Вчера, сегодня, завтра / В.В. Живетин, Л.Н. Гинзбург, А.И. Рыжов - М.: Изд-во Колос, 1967. – 29 с.
4. Рогаш, А. Р. Льноводство / А.Р. Рогаш, Н.Г. Абрамов, Я.А. Лебедев. Москва, ИПО Пилиграм, 1995. – 544 с.
5. Savastano Jr, H., Sustainability of vegetable fibres in construction / H. Savastano Jr, S.F. Santos, V. Agopyan Sustainability of construction materials – В. : Woodhead Publishing Limited and CRC Press LLC. – 2009. – 67 p.
6. Kalidas, K. Organik coconut cultivation in India – problems & prospects / K. Kalidas, M. Darithiya, P. Malathi, L. Thomas // International journal of scientific research – 2014. – Vol. 3, p. 14–15.
7. Должонок, А.В. Влияние микроструктуры бамбука на прочностные и теплотехнические характеристики стенового материала/ А.В. Должонок, С.А. Романовский, // Электронный сборник трудов молодых специалистов Полоцкий государственный университет. Сер. Прикладные науки. Строительство. - Выпуск 19 (89). С. 96–99. Электронный оптический диск - 1 диск.
8. Lakkad, SC. Mechanical properties of bamboo, a natural composite / SC. Lakkad and JM. Patel // Fiber Science Technology– 1980. – Vol.14, p. 319-322.
9. Akihiro, T. Application of MDI binder towards environmental friendly wood-based industry / T. Akihiro, A. Eka // Seminar on Wood-Based Panel Products, Kuala Lumpur, 10-11 July 2001 / Forest Research Institute Malaysia, 2001, p. 83-87.
10. Okubo, K., Development of bamboo-based polymer composites and their mechanical properties / K. Okubo, K Fuji, Y. Yamamoto // Composites – 2004. - Part A, Vol. 35, p. 377-383.
11. Faruk, O. 2012. Biocomposites reinforced with natural fibers: 2000-2010 / O. Faruk, AK. Bledzki, HP. Fink, M. Sain // Progress in Polymer Science – 2012. Vol. 37, p. 1552-1595.
12. Amziane, S. Recommendation of the RILEM TC 236-BBM: characterisation testing of hemp shiv to determine the initial water content, water absorption, dry density, particle size distribution and thermal conductivity / S. Amziane, F. Collet, M. Lawrence and others // Materials and Structures – 2017.- P. 1-12.
13. Яковчик, Н.С. Крапива как нетрадиционный корм в животноводстве / Н.С. Яковчик, С.Г. Яковчик // Наше сельское хозяйство – 2017. – С 2–5.
14. Давыденко, Н.В. Эксплуатационно-технологические характеристики костросоломенных плит / Н. В. Давыденко // Вестн. Полоц. гос. ун-та. Сер. Ф, Строительство. Прикладные науки. – 2011. – № 8. – С. 85–90.