

УДК 691.327.32: 699.86

## ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ВТОРИЧНЫХ ПРОДУКТОВ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОГО ПРОИЗВОДСТВА ОРГАНИЧЕСКОГО ПРОИСХОЖДЕНИЯ

САВИЦКИЙ Н. В.<sup>1\*</sup>, *д.т.н, проф.*,  
СОБИНОВА К.С.<sup>2\*</sup>, *асп.*,  
ЗИНКЕВИЧ О.Г.<sup>3\*</sup>, *к.т.н, доц.*,  
ОЖИЩЕНКО О.А.<sup>4\*</sup>, *к.т.н, доц.*,  
АИТ ИШУ Ф.<sup>5\*</sup>, *студ.*,

<sup>1\*</sup> Кафедра железобетонных и каменных конструкций, Государственное высшее учебное заведение "Приднепровская государственная академия строительства и архитектуры", ул. Чернышевского, 24-а, 49600, Днепропетровск, Украина, тел. +38 (0562) 47-02-98, e-mail: [sav15@ukr.net](mailto:sav15@ukr.net), ORCID ID: 0000-0001-0002-0003

<sup>2\*</sup> Кафедра железобетонных и каменных конструкций, Государственное высшее учебное заведение "Приднепровская государственная академия строительства и архитектуры", ул. Чернышевского, 24-а, 49600, Днепропетровск, Украина, тел. +38 (0562) 47-03-19, e-mail: [katerina.sobinova@gmail.com](mailto:katerina.sobinova@gmail.com), ORCID ID: 0000-0002-0020-5394

<sup>3\*</sup> Кафедра железобетонных и каменных конструкций, Государственное высшее учебное заведение "Приднепровская государственная академия строительства и архитектуры", ул. Чернышевского, 24-а, 49600, Днепропетровск, Украина, тел. +38 (0562) 47-03-19, e-mail: [oks-ukr@mail.ru](mailto:oks-ukr@mail.ru), ORCID ID: 0000-0002-3425-8216

<sup>4\*</sup> Кафедра железобетонных и каменных конструкций, Государственное высшее учебное заведение "Приднепровская государственная академия строительства и архитектуры", ул. Чернышевского, 24-а, 49600, Днепропетровск, Украина, тел. +38 (0562) 47-03-19, e-mail: [olga.ozhyshchenko@gmail.com](mailto:olga.ozhyshchenko@gmail.com), ORCID ID: 0000-0003-0950-4582

<sup>5\*</sup> Кафедра железобетонных и каменных конструкций, Государственное высшее учебное заведение "Приднепровская государственная академия строительства и архитектуры", ул. Чернышевского, 24-а, 49600, Днепропетровск, Украина, тел. +38 (0562) 47-03-19, e-mail: [okdnepr237@ukr.net](mailto:okdnepr237@ukr.net), ORCID ID: 0000-0002-8926-1236

**Аннотация. Постановка проблемы.** На сегодняшний день одной из основных проблем строительства в Украине является вопрос энергосбережения и обеспечения качественной теплоизоляции стен зданий. На протяжении последнего десятилетия в экономически развитых странах особое внимание уделяется внедрению концепции «устойчивого развития» в строительную индустрию. Главная цель данной концепции – уменьшение общего негативного воздействия застройки на окружающую среду и человека. Достичь этого можно за счет сокращения объемов использования природных ресурсов и минимизации количества вредных выбросов в окружающую среду. Необходимо заметить, что только в Европе строительная индустрия является производителем примерно 20% выбросов парниковых газов, загрязняющих атмосферу. Истощение некоторых видов природных сырьевых ресурсов приводит к необходимости использования отходов и вторичных продуктов производства при разработке новой продукции. Отходы сельскохозяйственной промышленности – солома злаковых культур, костра конопля, льна, стебли хлопчатника и т.д. – образуют значительную сырьевую базу. Одним из путей их рационального использования является применение данных материалов в качестве сырья для производства теплоизоляционных материалов для малоэтажного и сельского строительства. В качестве связующего вещества возможно использование как органических, так и неорганических вяжущих. **Цель.** Целью данной статьи является теоретическое изучение состава и структуры строения материалов органического происхождения – волокон пшеничной соломы и костры льна, а также практическое исследование их теплофизических свойств. **Выводы.** Изучены теоретические сведения о составе и структуре материалов растительного происхождения, проведены экспериментальные исследования теплофизических характеристик монокомпонентных теплоизолирующих материалов – пшеничной соломы и костры льна. Результаты исследований свидетельствуют о том, что местные быстро возобновляемые материалы характеризуются высокими теплоизолирующими свойствами (коэффициент теплопроводности – 0,0424 - 0,055 Вт/(м·К)), поэтому могут быть использованы в качестве заполнителя для легких теплоизоляционных бетонов.

**Ключевые слова:** солома, костра льна, быстро возобновляемое сырье, теплоизоляционный материал, теплопроводность, «устойчивое развитие», местное сырье.

## ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕПЛОФІЗИЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ВТОРИННИХ ПРОДУКТІВ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКОГО ВИРОБНИЦТВА ОРГАНІЧНОГО ПОХОДЖЕННЯ

САВИЦЬКИЙ М. В.<sup>1\*</sup>, *д.т.н, проф.*,

СОБИНОВА К.С.<sup>2\*</sup>, асп.,  
 ЗІНКЕВИЧ О.Г.<sup>3\*</sup>, к.т.н, доц.,  
 ОЖИЩЕНКО О.А.<sup>4\*</sup>, к.т.н, доц.,  
 АІТ ІШУ Ф.<sup>5\*</sup>, студ.,

<sup>1\*</sup> Кафедра залізобетонних та кам'яних конструкцій, Державний вищий навчальний заклад "Придніпровська державна академія будівництва та архітектури", вул. Чернишевського, 24-а, 49600, Дніпропетровськ, Україна, тел. +38 (0562) 47-02-98, e-mail: [sav15@ukr.net](mailto:sav15@ukr.net), ORCID ID: 0000-0003-4515-2457

<sup>2\*</sup> Кафедра залізобетонних та кам'яних конструкцій, Державний вищий навчальний заклад "Придніпровська державна академія будівництва та архітектури", вул. Чернишевського, 24-а, 49600, Дніпропетровськ, Україна, тел. +38 (0562) 47-03-19, e-mail: [katerina.sobinova@gmail.com](mailto:katerina.sobinova@gmail.com), ORCID ID: 0000-0002-0020-5394

<sup>3\*</sup> Кафедра залізобетонних та кам'яних конструкцій, Державний вищий навчальний заклад "Придніпровська державна академія будівництва та архітектури", вул. Чернишевського, 24-а, 49600, Дніпропетровськ, Україна, тел. +38 (0562) 47-03-19, e-mail: [oks-ukr@mail.ru](mailto:oks-ukr@mail.ru), ORCID ID: 0000-0002-3425-8216

<sup>4\*</sup> Кафедра залізобетонних та кам'яних конструкцій, Державний вищий навчальний заклад "Придніпровська державна академія будівництва та архітектури", вул. Чернишевського, 24-а, 49600, Дніпропетровськ, Україна, тел. +38 (0562) 47-03-19, e-mail: [olga.ozhyschenko@gmail.com](mailto:olga.ozhyschenko@gmail.com), ORCID ID: 0000-0003-0950-4582

<sup>5\*</sup> Кафедра залізобетонних та кам'яних конструкцій, Державний вищий навчальний заклад "Придніпровська державна академія будівництва та архітектури", вул. Чернишевського, 24-а, 49600, Дніпропетровськ, Україна, тел. +38 (0562) 47-03-19, e-mail: [okdnepr237@ukr.net](mailto:okdnepr237@ukr.net), ORCID ID: 0000-0002-8926-1236

**Анотація. Постановка проблеми.** На сьогоднішній день однією з основних проблем будівництва в Україні є питання енергозбереження та забезпечення якісної теплоізоляції стін будівель. Протягом останнього десятиліття в економічно розвинених країнах особлива увага приділяється впровадженню концепції «сталого розвитку» в будівельну індустрію. Головна мета даної концепції – зменшення загального негативного впливу забудови на навколишнє середовище і людину. Досягти цього можна за рахунок скорочення обсягів використання природних ресурсів та мінімізації кількості шкідливих викидів у навколишнє середовище. Необхідно зауважити, що тільки в Європі будівельна індустрія є виробником приблизно 20% викидів парникових газів, що забруднюють атмосферу. Виснаження деяких видів природних сировинних ресурсів призводить до необхідності використання відходів і вторинних продуктів виробництва при розробці нової продукції. Відходи сільськогосподарської промисловості – соломазлакових культур, костриця конопель, льону, стебла бавовнику і т.і., утворюють значну сировинну базу. Одним із шляхів їх раціонального використання є застосування даних матеріалів в якості сировини для виробництва теплоізоляційних матеріалів для малоповерхового і сільського будівництва. В'язучою речовиною як органічній так і неорганічній в'язучій. **Мета.** Метою даної статті є теоретичне вивчення складу та структури будови матеріалів органічного походження – волокон пшеничної соломи та костриці льону, а також практичне дослідження їх теплофізичних властивостей. **Висновки.** Досліджено теоретичні відомості про склад і структуру матеріалів рослинного походження, проведено експериментальні дослідження теплофізичних характеристик монокомпонентних теплоізолюючих матеріалів органічного походження – пшеничної соломи і костриці льону. Результати досліджень свідчать про те, що місцеві швидко поновлювані матеріали характеризуються високими теплоізоляційними властивостями (коефіцієнт теплопровідності – 0,0424 - 0,055 Вт / (м • К)), тому можуть бути використані як заповнювачі для легких теплоізоляційних бетонів.

**Ключові слова:** солома, костриця льону, швидко відновлювальна сировина, теплоізоляційний матеріал, теплопровідність, «сталий розвиток», місцева сировина.

## THERMOPHYSICAL CHARACTERIZATION OF ORGANIC AGRICULTURAL WASTE PRODUCTS

SAVYTSKYI M.V.<sup>1\*</sup>, Dr. Sc. (Tech.), Prof.,  
 SOBINOVA K.S.<sup>2\*</sup>, postgraduate student,  
 ZINKEVYCH O.G.<sup>3\*</sup>, PhD, Ass. Prof.,  
 OZHYSHCENKO O.A.<sup>4\*</sup>, PhD, Ass. Prof.,  
 AIT ICHOU F.<sup>5\*</sup>, student,

<sup>1\*</sup> Department of Reinforce-Concrete and Stone Constructions, State Higher Education Establishment "Pridneprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture", 24-A, Chernishevskogo str., Dnipropetrovsk 49600, Ukraine, tel. +38 (0562) 47-02-98, e-mail: [sav15@ukr.net](mailto:sav15@ukr.net), ORCID ID: 0000-0001-0002-0003

<sup>2\*</sup> Department of Reinforce-Concrete and Stone Constructions, State Higher Education Establishment "Pridneprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture", 24-A, Chernishevskogo str., Dnipropetrovsk 49600, Ukraine, tel. +38 (0562) 47-03-19, e-mail: [katerina.sobinova@gmail.com](mailto:katerina.sobinova@gmail.com), ORCID ID: 0000-0002-0020-5394

<sup>3\*</sup> Department of Reinforce-Concrete and Stone Constructions, State Higher Education Establishment "Pridneprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture", 24-A, Chernishevskogo str., Dnipropetrovsk 49600, Ukraine, tel. +38 (0562) 47-03-19, e-mail: oks-ukr@mail.ru, ORCID ID: 0000-0002-3425-8216

<sup>4\*</sup> Department of Reinforce-Concrete and Stone Constructions, State Higher Education Establishment "Pridneprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture", 24-A, Chernishevskogo str., Dnipropetrovsk 49600, Ukraine, tel. +38 (0562) 47-03-19, e-mail: olga.ozhyshchenko@gmail.com, ORCID ID: 0000-0003-0950-4582

<sup>5\*</sup> Department of Reinforce-Concrete and Stone Constructions, State Higher Education Establishment "Pridneprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture", 24-A, Chernishevskogo str., Dnipropetrovsk 49600, Ukraine, tel. +38 (0562) 47-03-19, e-mail: okdnepr237@ukr.net, ORCID ID: 0000-0002-8926-1236

**Summary. Raising of problem.** Nowadays the main problem of construction in Ukraine is an issue of energy efficiency and high quality thermal insulation of building walls. Over the last decade the concept of "sustainable development" is being implemented into the construction industry of developed countries. The main aim of this concept is decreasing the total negative impact of buildings on the environment and human. It can be achieved by reducing the use of natural resources and minimize the amount of harmful emissions into the environment. It should be noted that only in Europe the construction industry is a producer of about 20% of greenhouse gas emissions that pollute the atmosphere. Depletion of some types of natural raw resources leads to the necessity of using waste products in the development of new products. The agricultural waste materials such as straw, flax and hemp sheaves, cotton stalks, etc. form a big base of raw materials. One of the ways of its utilization is using these materials as raw materials for production of thermal insulation materials for low-rise construction. We can use an organic or inorganic binders as bind material. **Purpose.** The purpose of this paper is studying the composition and structure of such organic materials as wheat straw and flax sheaves, as well as investigates their thermal properties. **Conclusion.** The theoretical and experimental study of composition and structure and thermal characteristics of monocomponent insulating materials were investigated. The results of the experiments show that the local fast renewable materials are characterized by high thermal insulation properties (thermal conductivity coefficient about  $0.0424 - 0.055 \text{ W} / (\text{m} \cdot \text{K})$ ), and therefore can be used as aggregates for the light insulating concretes.

**Key words:** straw, flax sheaves, fast renewable raw, thermal isolation material, thermal conductivity, «sustainable development», local raw materials.

### Постановка проблемы

На сегодняшний день одной из основных проблем строительства в Украине является вопрос энергосбережения и обеспечения качественной теплоизоляции стен зданий.

На протяжении последнего десятилетия в экономически развитых странах особое внимание уделяется внедрению концепции «устойчивого развития» в строительную индустрию. Главная цель данной концепции – уменьшение общего негативного воздействия застройки на окружающую среду и человека. Достичь этого можно за счет сокращения объемов использования природных ресурсов и минимизации количества вредных выбросов в окружающую среду. Необходимо заметить, что только в Европе строительная индустрия является производителем примерно 20 % выбросов парниковых газов [10], загрязняющих атмосферу.

Истощение некоторых видов природных сырьевых ресурсов приводит к необходимости использования отходов и вторичных продуктов производства при разработке новой продукции. Отходы сельскохозяйственной промышленности – солома злаковых культур, ковра конопли, льна, стебли хлопчатника и т.д. – образуют значительную сырьевую базу. Одним из путей их рационального использования является применение данных материалов в качестве сырья для производства теплоизоляционных материалов для малоэтажного и сельского строительства. В качестве связующего вещества возможно использование как органических, так и неорганических вяжущих.

### Анализ публикаций

На сегодняшний день в Украине более 50 % посевных площадей отведено под выращивание зерновых культур, из них 19 % занимает пшеница, 11 % - ячмень, 1 % - рожь. Технические культуры занимают около 30 % посевных площадей [3]. Таким образом, площадь под выращивание хлебных культур занимает значительную часть посевных площадей, при освобождении от урожая которой образуются многотоннажные отходы в виде незерновой части урожая – соломы.

Сбор, перевозка и складирование соломы достаточно сложный и трудоемкий процесс, качество проведения которого отражается на стоимости зерна. Одним из применяемых способов утилизации соломы является измельчение и разбрасывание по полю с последующей заправкой для восстановления плодородия земель, однако при этом происходит засорение земли сорняками. Основная часть соломы используется в качестве добавки к кормам на животноводческих фермах либо как подстилочный материал для скота. Солома обладает низкой питательностью, поэтому требует предварительной подготовки для улучшения кормового качества, что приводит к существенному увеличению затрат на подготовку корма, в результате чего его использование не оправдывается. Ввиду этого большая часть соломы подвергается сжиганию, что является нецелесообразным в экономическом плане и экологически небезопасным мероприятием по причине выделения в атмосферу больших объемов парниковых газов, наносящих вред окружающей среде.

Практика применения растительных материалов – соломы, камыша, костры конопли и льна, в строительстве малоэтажных домов известна давно [7]. Данное сырье является быстро возобновляемым и дешевым, характеризуется низкой плотностью и теплопроводностью, поэтому является хорошим теплоизолятором. В статье [6] приведены теплофизические характеристики некоторых материалов растительного происхождения. Так, например, коэффициент теплопроводности резки камыша в зависимости от его объемной плотности ( $220 - 400 \text{ кг/м}^3$ ) находится в пределе  $0,06 - 0,12 \text{ Вт/(м}\cdot\text{К)}$ , костры конопли при объемной плотности  $70 - 90 \text{ кг/м}^3$  составляет  $0,048-0,06 \text{ Вт/(м}\cdot\text{К)}$ . Не смотря на это, такие недостатки, как горючесть, высокое водопоглощение, низкая биостойкость, ограничивают возможности применения данных материалов.

Более эффективным является использование органических материалов растительного происхождения в связанном виде. Широко известные на сегодняшний день материалы такого способа изготовления – это арболит, фибролит, деревобетон, костролит, камышит, льнокостричные и торфяные теплоизоляционные плиты и т.д.

В Казанском государственном университете были разработаны составы и технология изготовления прессованного теплоизоляционного материала на основе рубленой пшеничной соломы (длина частиц  $30 - 50 \text{ мм}$ ), отходов мехового производства и жидкого стекла с добавками. Средняя плотность таких теплоизоляционных плит составляет  $125 - 300 \text{ кг/м}^3$ , коэффициент теплопроводности –  $0,044 - 0,056 \text{ Вт/(м}\cdot\text{К)}$ , прочность на сжатие при  $10\%$ -ной деформации –  $0,3 - 0,8 \text{ МПа}$  [5].

В работе [9] Солдатов А. А. и Хозина В. Г. предложена технология изготовления прессованного теплоизоляционного материала на основе рубленой соломы (длина частиц  $30 - 50 \text{ мм}$ ) и высокомодульных жидких стекол. Коэффициент теплопроводности материала колеблется в пределе  $0,048 - 0,052 \text{ Вт/(м}\cdot\text{К)}$  в сухом состоянии, значение прочности на сжатии при  $10\%$ -ной деформации составляет  $0,22 - 0,24 \text{ МПа}$ , средняя плотность –  $170 - 190 \text{ кг/м}^3$ .

Так же известна другая разработка [4] – прессованные теплоизоляционные плиты на основе рубленой ржаной соломы (длина частиц  $20 - 40 \text{ мм}$ ), костры льна (длина частиц до  $5 \text{ мм}$ ) и натриевого жидкого стекла. Результаты исследований данных материалов показали, что средняя плотность образцов –  $212 - 230 \text{ кг/м}^3$ , коэффициент теплопроводности –  $0,046 - 0,051 \text{ Вт/(м}\cdot\text{К)}$ , прочность –  $0,55 - 0,83 \text{ МПа}$ .

Известна технология изготовления арболита на основе костры льна и цементного вяжущего [1]. Данный материал имеет хороший показатель прочности при  $10\%$ -ной линейной деформации  $0,78 - 0,95 \text{ МПа}$ , однако теплопроводность ( $0,125 -$

$0,154 \text{ Вт/(м}\cdot\text{К)}$ ) и средняя плотность ( $450 - 510 \text{ кг/м}^3$ ) достаточно высоки.

На базе технического университета г. Кошице (Словакия) проводятся исследования по использованию костры конопли для изготовления композиционных материалов [12]. Такие материалы состоят из волокнистого заполнителя – костры конопли и вяжущего вещества – магнезиальный цемент, песок и гидрокарбонат натрия. Результаты экспериментов показали, что образцы на основе смеси с заполнителем фракции  $30-35 \text{ мм}$  имеют прочность при сжатии  $2,73 \text{ МПа}$  и теплопроводность  $0,111 \text{ Вт/(м}\cdot\text{К)}$ , при средней плотности  $1040 \text{ кг/м}^3$ .

### Цель статьи

Целью данной статьи является теоретическое изучение состава и строения материалов органического происхождения – волокон пшеничной соломы и костры льна, а также практическое исследование их теплофизических свойств.

### Основная часть

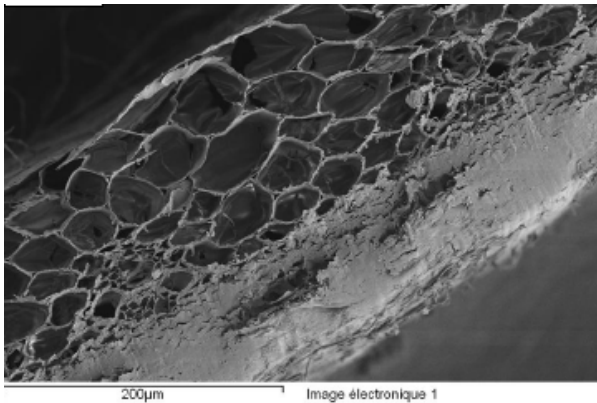
В Национальном центре экологической архитектуры и зеленого строительства ГВУЗ «Приднепровская государственная академия строительства и архитектуры» ведутся работы по разработке оптимальных составов и изучению свойств теплоизоляционных материалов на основе вторичных продуктов сельскохозяйственного производства.

Как известно качество структуры многокомпонентного материала определяется характеристиками составляющих компонентов и физико-химическими процессами между ними. Поэтому для понимания процесса структурообразования композитного материала на основе растительного сырья были изучены теоретические сведения о химическом составе растительных волокон и структуре их строения.

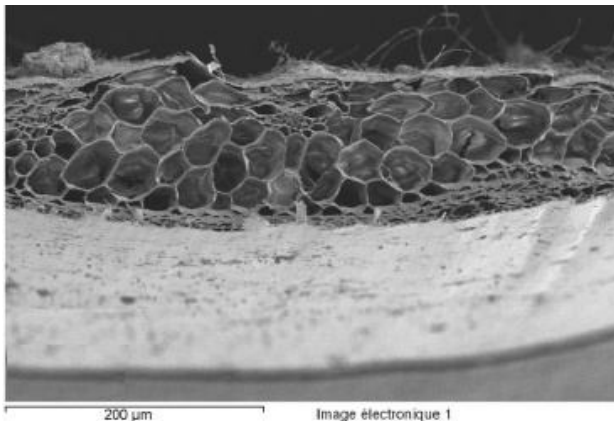
В состав клетчатки растительной ткани входит целлюлоза, лигнин, гемицеллюлоза, пектиновые и экстрактивные вещества. Целлюлоза и лигнин – достаточно стойкие вещества, не оказывающие вредного влияния на процесс твердения клинкерных цементов. Пектины и гемицеллюлозная часть растительного материала в щелочной среде способны переходить в водорастворимые сахара (сахароза, фруктоза, глюкоза), которые, наряду с экстрактивными веществами, являются «цементными ядами». Данные вещества образуют тончайшие оболочки на поверхности частичек цемента, изолируя их от воды, чем замедляют процесс гидратации цемента. Водорастворимые вещества частично вымываются горячей водой или блокируются растворами «минерализатора». Наиболее известными «минерализаторами» являются хлористый кальций и жидкое стекло.

Большое значение при формировании структуры нового материала имеет природа поверхности заполнителя.

Частицы соломы имеют гладкую поверхность за счет воска, входящего в состав волокон. Такая природа поверхности оказывает негативное влияние на качество сцепления частиц заполнителя с матрицей вяжущего. Волокна соломы имеют трубчатую структуру с полостью внутри по всей длине стебля. В [11] представлены результаты изучения поперечных сечений волокон соломы различных зерновых культур. Исследователями было установлено, что частицы соломы разных культур имеют подобную микроструктуру – внешний плотный слой с переменной толщиной (90 - 130 мкм) и внутренний пористый слой, состоящий из большого количества сосудов (диаметр 7 до 20 мкм) шестиугольной формы (рис. 1).



а



б

Рис.1. Сечения соломенных волокон различных культур: а – пшеничная солома; б – ячменная солома / Sectional straw fibers of different cultures: а - wheat straw; б - barley straw

Побочным продуктом переработки льна является костра льна – одревенелые частицы стебля. На территории Украины работает несколько льноперерабатывающих предприятий, которые

расположены в Сумской, Черниговской, Житомирской и Киевской областях.

Волокно льна имеет продолговатую форму с заострениями с обоих концов, утолщенные стенки, нитевидный замкнутый канал и поры в виде щелей. Длина волокон в зависимости от вида растения может быть от 4 до 66 мм при ширине 0,012 - 0,03 мм. Шероховатая поверхность частиц костры льна положительно влияет на степень адгезии заполнителя к матрице вяжущего.

Для проведения экспериментов была взята пшеничная солома и костра льна, которые хранились в течение полугода в одинаковых температурно-влажностных условиях ( $T=18-25\text{ }^{\circ}\text{C}$ , влажность 60 %). Перед испытаниями солома была измельчена до фракции 20 - 60 мм и 20 - 40 мм. Костра льна была просеяна через сита с отверстием 1,5 см для отделения очесов волокон льна от костры, таким образом, гранулометрический состав костры составил 5 - 15мм.

В ходе экспериментов были определены насыпная плотность, влажность и коэффициент теплопроводности указанных выше органических материалов.

Насыпная плотность в  $\text{кг}/\text{м}^3$  была определена путем вычисления отношения массы свободно засыпанного материала к объему емкости, в которую был засыпан данный материал.

Теплопроводность материалов устанавливалась с помощью прибора для определения теплопроводности строительных материалов БИ-Т021 в соответствии с источником [2]. Образец материала для измерения коэффициента теплопроводности подготавливали следующим образом – в картонный короб с размерами 34х28 см засыпали исследуемый материал, на выровненную поверхность установили датчик теплового преобразователя для настройки теплового контакта (рис 2.).

Солома и костра льна исследовались в двух состояниях – при равновесной влажности и после высушивания до постоянного веса в сушильном шкафу при температуре  $55\text{ }^{\circ}\text{C}$  на протяжении 24 часов.



а



б



в

Рис.2.Измерение коэффициента теплопроводности материалов: а – прибор БИ-Т021; б – образец костры льна; в – образец соломы / The measurement of the thermal conductivity of materials: а - the device БИ-Т021; б - sample fires flax; в - a sample of straw

Результаты испытаний отображены в таблице 1.

Таблица 1

**Теплофизические характеристики материалов**

Материал	Гранулометрический состав, мм	Влажность, %	Насыпная плотность, кг/м <sup>3</sup>	Теплопроводность, Вт/(м·К)
Пшеничная солома	20 - 40	16	45	0,0424
		0	38	0,041
Костра льна	5 - 15	10	135	0,055
		0	120-125	0,053

**Выводы**

Изучены теоретические сведения о составе и структуре материалов растительного происхождения; проведены экспериментальные исследования теплофизических характеристик монокомпонентных теплоизолирующих материалов – пшеничной соломы и костры льна. Результаты исследований свидетельствуют о том, что местные быстро

возобновляемые материалы характеризуются высокими теплоизолирующими свойствами (коэффициент теплопроводности – 0,0424 - 0,055 Вт/(м·К)), поэтому могут быть использованы в качестве заполнителя для легких теплоизоляционных бетонов.

**СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ / REFERENCES**

1. Бобров Ю.Л., Новые теплоизоляционные материалы в сельском хозяйстве / Ю.Л. Бобров - М.: Стройиздат, 1974. – 260 с.  
 Bobrov Y.L., Novyie teploizolyatsionnyie materialyi v selskom hozyaystve [New thermal insulation material sinagriculture]. M.: Stroyizdat, 1974. – 260 p.  
 2. Будівельні матеріали. Матеріали і виробі будівельні. Метод визначення теплопровідності поверхневим перетворювачем. ДСТУ Б В.2.7-41-95.  
 Building materials. Building materials and products. Surface converter method of thermal conductivity determination. DSTU B V.2.7-41-95  
 3. Державна служба статистики України. Рослинництво України. 2012. Статистичний збірник State Statistics Service of Ukraine. Crop Production of Ukraine. 2012. Statistical Yearbook  
[http://uga-port.org.ua/sites/default/files/zb\\_rosl\\_2012.pdf](http://uga-port.org.ua/sites/default/files/zb_rosl_2012.pdf)  
 4. Пат. 20091414 Республика Беларусь, МПК С 04В 28/00, С 08В 18/04. Сырьевая смесь для получения теплоизоляционного материала / Бакатович А.А., Давыденко Н.В.; заявитель и патентообладатель Учреждение образования "Полоцкий государственный университет". — № 20091414; заявл. 10.05.09; опубл. 30.04.11.

Pat. 20091414 The Republic of Belarus, МПК С 04В 28/00, С 08В 18/04. Mixture for insulation material / Bakatovich A.A, Davydenko N.V.; applicant and patent holder Educational Institution "Polotsk State University". — № 20091414; 10.05.09; published 30.04.11.  
<http://www.innova.itanas.by/intellectual-property/?action=index&srchPat%5B0%5D=14140#>  
 5. Петров А. Н., Теплоизоляционные материалы на основе соломы и неорганических связующих: дис. кандидата техн. наук : 05.23.05 / Петров Альберт Николаевич — Казань, 1998. — 178с.  
 Petrov A. N., Teploizolyatsionnyie materialyi na osnove solomyi i neorganicheskikh svyazuyuschih [Thermal insulation materials based on straw and inorganic binders]: PhD thesis: 05.23.05. Kazan, 1998. — 178 p.  
 6. Савицкий Н.В., Органічні заповнювачі з місцевих матеріалів для легких бетонів в екологічному малоповерховому будівництві / М. М. Бабенко, Ю. Б. Бендерский, Н. В. Савицкий // Вісник Придніпровської державної академії будівництва та архітектури: зб. наук. пр. – Д.: ПГАСА, 2013. – № 1-2. – С. 69-71.  
 Savitsky N.V., Babenko M. M., Bendersky Y. B. OrganIchnI zapovnyuvachI z mlstsevih materialIv dlya legkih betonIv v ekologIchnomu malopoverhovomu budIvnitstvI [Organic aggregates of local materials for lightweight concretes in low-rise environmental friendly construction]. Bulletin of the Prydniprovskya State Academy of Civil Engineering and Architecture :coll. of scien. pub. D.: PSACEA, 2013.– № 1-2. –

P. 69-71.

[http://irbis-nbuv.gov.ua/cgi-bin/irbis\\_nbuv/cgiirbis\\_64.exe?C21COM=2&I21DBN=UJRN&P21DBN=UJRN&IMAGE\\_FILE\\_DOWNLOAD=1&Image\\_file\\_name=PDF/Vpabia\\_2013\\_1-2\\_16.pdf](http://irbis-nbuv.gov.ua/cgi-bin/irbis_nbuv/cgiirbis_64.exe?C21COM=2&I21DBN=UJRN&P21DBN=UJRN&IMAGE_FILE_DOWNLOAD=1&Image_file_name=PDF/Vpabia_2013_1-2_16.pdf)

7. Савицкий Н.В., Систематизация та аналіз існуючих технологій зведення екологічних малоповерхових будинків з соломи / М. М. Бабенко, Н. В. Савицкий // Строительство, материаловедение, машиностроение: сб. науч. трудов. Вып. № 60 – Дн-вск., ГВУЗ «ПГАСА», 2013. – С. 163-168.

Savitsky N.V., Babenko M. M. SistematzatsIya ta analIz Isnuyuchih tehnologIy zvedennya ekologIchnih malopoverhovih budinklV z solomi [Systematization and analysis of the existing technology of ecological construction of low height buildings]. Construction, materials science, mechanical engineering: collection of scientific works. Vol. № 60 – Dn-sk., PSACEA, 2013. – P. 163-168.  
[http://pgasa.dp.ua/a/international%20conferences/eco/archive/vipusk\\_60\\_2011.pdf](http://pgasa.dp.ua/a/international%20conferences/eco/archive/vipusk_60_2011.pdf)

8. Смирнова О.Е., Теплоизоляционные материалы на основе костры льна: дис. кандидата техн. наук: 05.23.05 / Смирнова Ольга Евгеньевна – Новосибирск, 2007. – 137 с.

Smirnova O.Y. Teploizolyatsionnyie materialyi na osnove kostryi lna [Thermal insulation materials based on flax sheaves]: PhD thesis: 05.23.05. Novosibirsk, 2007. – 137 p.

9. Солдатов Д.А., Теплоизоляционные материалы на основе соломы /Д.А. Солдатов, В.Г. Хозин // Строительные материалы и изделия. Известия КазГАСУ. - 2013. – № 1. –

C. 197-201.

Soldatov D.A., Khozin V.G. Teploizolyatsionnyie materialyi na osnove solomyi [Thermal insulation materials based on straw]. Construction materials and products. Bulletin of KSACU. - 2013. – № 1. – P. 197-201.

[http://izvestija.kgasu.ru/files/1\\_2013/197\\_201\\_Soldatov\\_Khozin.pdf](http://izvestija.kgasu.ru/files/1_2013/197_201_Soldatov_Khozin.pdf)

10. European Environment Agency, Greenhouse gas emission trends (CSI 010/CLIM 050) - Assessment published May 2013.

<http://eea.europa.eu/data-and-maps/indicators/greenhouse-gas-emission-trends/greenhouse-gas-emission-trends-assessment-5>

11. Marwen Bouasker, Physical Characterization of Natural Straw Fibers as Aggregates for Construction Materials Applications / Marwen Bouasker, Naima Belayachi, Dashnor Hoxha, Muzahim Al-Mukhtar // Materials. – 2014. – Vol. 7. – P. 3034-3048.

<http://www.mdpi.com/1996-1944/7/4/3034/htm>

12. Stevulova N., Effect of hemp shive sizes on mechanical properties of lightweight fibrous composites/ Stevulova N., Kidalova L., Junak J., Cigasova J., Terpakova E.// Procedia Engineering. – 2012. – Vol. 42. – P. 496–500.

[http://ac.els-cdn.com/S187770581202841X/1-s2.0-S187770581202841X-main.pdf?\\_tid=216ded20-e34e-11e4-ad88-](http://ac.els-cdn.com/S187770581202841X/1-s2.0-S187770581202841X-main.pdf?_tid=216ded20-e34e-11e4-ad88-00000aab0f02&acdnat=1429088723_a6d0615348a21df5f92d3464be5a8333)

[00000aab0f02&acdnat=1429088723\\_a6d0615348a21df5f92d3464be5a8333](http://ac.els-cdn.com/S187770581202841X/1-s2.0-S187770581202841X-main.pdf?_tid=216ded20-e34e-11e4-ad88-00000aab0f02&acdnat=1429088723_a6d0615348a21df5f92d3464be5a8333)

Статья поступила в редколлегию 22.04.2015