

## Исследование свойств теплоизоляционных материалов на основе лузги подсолнечника

Н.П. Плотников<sup>а</sup>, И.Н. Чельшева<sup>б</sup>

Братский государственный университет, ул. Макаренко, 40, Братск, Россия

<sup>а</sup> n-plotnikov@mail.ru, <sup>б</sup> irinachelysheva@yandex.ru

<sup>а</sup> <https://orcid.org/0000-0001-9729-0806>; <sup>б</sup> <https://orcid.org/0000-0003-1017-5149>

Статья поступила 14.01.2021, принята 01.02.2021

*Одним из видов недревесного растительного сырья являются отходы переработки подсолнечника, в частности лузга. В связи с увеличением производства растительных масел как в нашей стране, так и в мире, возрастает количество таких отходов на маслозаводах, перед которыми остро встает проблема их утилизации. Подсолнечная лузга в настоящее время используется мало и в основном сжигается. Наряду с этим в процессе производства 1 млн т подсолнечного масла на производственные отходы приходится около 300 тыс. т волокнистого биоматериала, который можно использовать во вторичной переработке и производстве органических стройматериалов. Актуальность проведенных исследований заключается в обосновании возможности использования экологически безопасного метода переработки шелухи семян подсолнечника в биостройматериал теплоизоляционного назначения. На основании проведенных исследований получены следующие результаты: доказаны возможность и целесообразность использования лузги подсолнечника в качестве основного сырья для получения нового теплоизоляционного материала; полученные результаты физико-механических показателей готовых плитных образцов на основе лузги подсолнечника свидетельствуют о том, что данный теплоизоляционный материал ничуть не уступает известному аналогу — древесно-стружечной плите (ДСП).*

**Ключевые слова:** лузга подсолнечника; теплоизоляционный материал; отходы; утилизация; физико-механические показатели; теплопроводность.

## Study of the properties of heat-insulating materials based on sunflower husk

N.P. Plotnikov<sup>а</sup>, I.N. Chelysheva<sup>б</sup>

Bratsk State University; 40, Makarenko St., Bratsk, Russia

<sup>а</sup> n-plotnikov@mail.ru, <sup>б</sup> irinachelysheva@yandex.ru

<sup>а</sup> <https://orcid.org/0000-0001-9729-0806>; <sup>б</sup> <https://orcid.org/0000-0003-1017-5149>

Received 14.01.2021, accepted 01.02.2021

*One of the types of non-wood vegetable raw materials is sunflower processing waste, in particular, husk. Due to the increase in the production of vegetable oils both in our country and in the world, the number of such wastes in creameries increases. The creameries, in their turn, face an acute problem of such waste disposal. Sunflower husk is currently little used and is mainly burned. Along with this, during the production of 1 million tons of sunflower oil, production waste accounts for about 300 thousand tons of fibrous biomaterial, which can be used in recycling and the production of organic building materials. The relevance of the research is to substantiate the possibility of using an environmentally friendly method of processing sunflower seed husks into a bio-building material for thermal insulation purposes. On the basis of the conducted studies, the following results have been obtained: the possibility and expediency of using sunflower husks as the main raw material for obtaining a new heat-insulating material has been proved; the obtained results of physical and mechanical indicators of finished slab samples based on sunflower husk indicate that this heat-insulating material is in no way inferior to the well-known analogue – the chipboard.*

**Keywords:** sunflower husk; thermal insulation material; waste; disposal; physical and mechanical properties; thermal conductivity.

**Введение.** Одной из наиболее характерных черт современного промышленного развития является стремительный рост роли сырья и материалов. Эта тенденция с каждым годом проявляется все в большей степени в производственной экономике. Внешним ее выражением является нехватка некоторых важных видов сырья, их постоянное удорожание. В связи с сырьевыми затруднениями особое значение приобретают меры по экономии сырья. [1–4] Вопросы рационального исполь-

зования древесины и более современные методы ее учета, введение научно-обоснованных норм расхода древесного и не древесного сырья становятся в центре внимания работников лесной индустрии.

Развитие предприятий на сегодняшний день, в первую очередь, возможно увеличением номенклатуры сырьевой базы, в том числе и за счет отходов сопутствующим производств. В настоящее время актуальными являются научные исследования по разработке тех-

нологий комплексного использования возобновляемых источников растительной биомассы, позволяющих наиболее полно использовать растительное сырье. Сбор и переработка растительных отходов не нуждаются в привлечении крупных инвестиций и квалифицированной рабочей силы, характеризуются быстрой окупаемостью вложений [5–8].

Одним из видов недревесного растительного сырья являются отходы переработки подсолнечника, в частности плодовые оболочки (лузга, шелуха). В связи с увеличением производства растительных масел как в нашей стране, так и в мире, возрастает количество таких отходов на маслозаводах, перед которыми остро встает проблема их утилизации.

*Методы исследования.* Целью проведенных исследований является получение нового теплоизоляционного биоматериала на основе лузги семян подсолнечника и исследование его основных физико-механических показателей.

Объектом исследования выступает шелуха семян подсолнечника, а предметом — ее использование в производстве альтернативного биоматериала теплоизоляционного назначения.

*Гипотеза:* предполагается, что биоматериал на основе шелухи от семечек будет обладать не менее выгодными потребительскими качествами в сравнении с древесностружечными плитами по заявленным критериям.

Шелуха семечек — это побочный продукт производства подсолнечного масла, который имеет высокий потенциал. И вот почему.

Во-первых, состоит шелуха от семечек, главным образом, из целлюлозы и потому по физическим и химическим свойствам сравнима с древесными опилками, гречневой шелухой, скорлупой лесных и кедровых орехов, древесной корой и другими подобными отходами хозяйственной деятельности. Эти материалы применяются в строительстве, топливной промышленности и др. [9–13].

Во-вторых, целлюлоза — органическое соединение, углевод, полисахарид с формулой  $(C_6H_{10}O_5)_n$ . В случае воспламенения материала не выделяется вредных веществ, количество несгораемых остатков (зольность) не превышает 3 %, что является очень низким показателем в сравнении с древесиной. При этом даже зола лузги подсолнечника не является отходом: она успешно используется для удобрения почвы.

В-третьих, лузга — дешевое сырье, которое масляные заводы заинтересованы сбывать, чтобы не нести расходы на утилизацию.

Для реализации поставленной цели исследований работы были получены пробные образцы композиционных материалов на основе лузги подсолнечника, систематизированы данные основных физико-механических показателей [14–17]

*Описание этапов работы.*

1. Сбор сырья. Для изготовления образцов была собрана нежареная шелуха подсолнечника. Такая шелуха более пластична, что повышает прочность изготавливаемых образцов. Тогда как структура жареной шелухи более хрупкая.

2. Сушка, а затем калибровка сырья по размерам с помощью лабораторного сита (заводской номер 30, «Футурум», 2005 г.). Так, получен следующий фракционный состав.

**Таблица 1.** Фракционный состав лузги подсолнечника

№	Размер фракции (диаметр ОЧ), мм	Содержание шелухи на поддоне, %
1	–/10	1,9
2	10/5	10,1
3	5/2	20,7
4	2/1	65,2
5	1/0	2,1

Примечание. Показано, что по размерам можно выделить 5 фракционных групп частиц: крупные, до 10 мм, средние, 10–5 мм, соответственно 5–2 мм, 2–1 мм и мелкие, менее 1 мм. Наибольшая доля состава пришлась на поддон с перфорациями от 2 до 1 мм (65,2 %).

3. Смешивание сырья со связующими компонентами. В качестве связующего компонента использовалась карбамидоформальдегидная малотоксичная смола КФМТ-15. Отвердитель (способствует переходу полимеров в твердое состояние, снижает pH-кислотность состава) — хлористый аммоний ( $NH_4Cl$ ).

4. Горячее прессование. Для этой стадии технологического процесса были установлены давление прессования, равное 2 МПа, и температура прессования  $135 \pm 5$  °С. Продолжительности цикла прессования — 4 мин.

Таким образом были получены 4 образца теплоизоляционного биоматериала на основе лузги подсолнечника размером 100x200x4 мм.



**Рис. 1.** Фотографии образцов плитных материалов, полученных методом горячего прессования, на основе лузги подсолнечника

Изготовленные образцы исследовались по следующим физико-механическим показателям:

1. Плотность.
2. Теплопроводность.
3. Влагостойкость (разбухание по толщине).
4. Стоймость (экономический показатель).

**Таблица 2.** Результаты взвешивания каждого из образцов

№ образца	m (масса), г
1	81,1
2	82,5
3	82,1
4	82,9

Результаты определения плотности образцов представлены в табл. 3.

**Таблица 3.** Результаты определения плотности образцов

№ образца	S, мм	b, мм	a, мм	V, мм <sup>3</sup>	$\rho$ , кг/м <sup>3</sup>
1	11,8	98	214	247 469,6	327,7
2	11,9	99	250	294 525	280,1
3	11,6	98	210	238 728	331,8
4	11,6	97	245	275 674	300,7

Примечание. Таким образом, плотность материала колеблется в диапазоне от 280,1 до 331,8 кг/м<sup>3</sup>.

На следующем этапе были проведены испытания теплопроводности полученных плитных образцов.

Сущность метода определения теплопроводности образцов исследования заключается в создании стационарного теплового потока, проходящего через плоский образец определенной толщины и направленного перпендикулярно к лицевым (наибольшим) граням образца, измерении плотности этого теплового потока, температуры противоположных лицевых граней и толщины образца. Число образцов, необходимое для определения эффективной теплопроводности или термического сопротивления, равно четырем.

Результаты экспериментальной проверки образцов биоматериала на основе шелухи от семечек на теплопроводность представлены в табл. 4.

**Таблица 4.** Результаты определения теплопроводности материалов

Показатель	Результат
$\rho$ (плотность), кг/м <sup>3</sup>	250–500
$\lambda$ (теплопроводность), Вт/м·К	0,046...0,093
$\delta$ (разбухание по толщине), %	12–15
Стоимость, р./м <sup>2</sup>	250–590

Примечания.

1. Масса образцов, исследуемых на теплопроводность, отличается от изначальной массы, поскольку была произведено уменьшение их размеров (100 мм · 100 мм ·  $\delta$ ) с целью дальнейшей их комфортной эксплуатации.

2. Толщина образцов увеличилась, но незначительно, чем можно пренебречь.

3. Теплопроводность материалов учитывается при теплотехнических расчетах толщины стен и перекрытий отапливаемых зданий, а также при определении требуемой толщины тепловой изоляции горячих поверхностей и холодильников. Она связана с термическим сопротивлением слоя материала R (м<sup>2</sup> · К/Вт), которое определяется по формуле:  $R = \delta / \lambda$ , где R — термическое сопротивление, м<sup>2</sup> · К/Вт;  $\delta$  — толщина слоя материала, м;  $\lambda$  — теплопроводность слоя материала, Вт/(м · К).

На практике удобно судить о теплопроводности материала по его плотности. Для некоторых групп материалов установлена определенная связь между теплопроводностью и относительной плотностью  $\rho$  по формуле Некрасова:  $\lambda = 1,16\sqrt{(0,0196 + 0,22\rho^2)} - 0,16$ , где  $\rho$  — плотность материала, г/см<sup>3</sup>. Теплопроводность  $\lambda$  (Вт/(м · К)) характеризуется количеством теплоты (Дж), проходящей через материал толщиной 1 м, площадью 1 м<sup>2</sup> в течение 1 с при разности температур на противоположных поверхностях материала 1 °С.

Таким образом, теплопроводность материалов колеблется в диапазоне от 0,064 до 0,07 Вт/(м · К).

Испытанию на разбухание по толщине подверглись по два фрагмента от исходной плиты, оставшиеся после ее разделения для исследования теплопроводности. Результаты исследований представлены в табл. 5.

**Таблица 5.** Результаты определения влагостойкости полученных образцов плит

№ образца	S1, мм	S2, мм	$\delta$ , %
1	12,1	13,2	9,09
2	12	12,9	7,5
3	12,2	12,9	5,74
4	12,1	13	7,44

Примечания.

1. Разбухание образца  $\delta$ , %, определяется по формуле  $\delta = 100(S2 - S1) / S1$ , где S1 — толщина образца до вымачивания, мм; S2 — толщина образца после вымачивания, мм.

2. На образцы были приклеены 2 полоски бумаги и зафиксированы точки, по которым измерялась толщина до и после погружения образца в воду с помощью штангенциркуля.

3. Время погружения — 2 ч, t воды = 20 °С.

Таким образом, разбухание образцов по толщине не превышает 9,09 %.

Основными факторами, влияющими на формирование цен на стройматериал, являются себестоимость продукта и его спрос на рынке. Поскольку исходным сырьем для производства биоматериала является лужга подсолнечника и прочие волокнистые продукты, т. е. промышленные и бытовые отходы, то сырье, по сути, является бесплатным.

Для подтверждения гипотезы исследовательской работы и объективной оценки результатов экспериментальной части были также обработаны и систематизированы данные физико-механических показателей древесностружечных плит, которые являются аналогом полученных теплоизоляционных материалов на основе лужги подсолнечника.

Результаты основных показателей полученных плитных материалов представлены в табл. 6.

**Таблица 6.** Результаты основных показателей полученных плитных материалов

№ образц а	m, г	$\delta$ , мм	$\rho$ , кг/м <sup>3</sup>	$\lambda$ , Вт/(м · К)	R, (м <sup>2</sup> · К)/Вт
1	38,8	12,1	328,8	0,07	0,172
2	38,9	12	326,9	0,064	0,187
3	38,2	12	329,3	0,067	0,179
4	38,8	12	334,5	0,068	0,176

**Выводы.** На основании проведенных исследований, можно сделать следующие выводы:

1. Доказана возможность и целесообразность использования лужги подсолнечника в качестве основного сырья для получения нового теплоизоляционного материала.

2. Полученные результаты физико-механических показателей готовых плитных образцов на основе лужги подсолнечника свидетельствуют о том, что данный теплоизоляционный материал ничуть не уступает известному аналогу — древесно-стружечной плите.

## Литература

1. Тунцев Д.В., Харьков В.В., Кузнецов М.Г. Переработка лузги подсолнечника в угольные брикеты высокой прочности // Вестн. Казанского гос. аграрного ун-та. 2019. Т. 14. № 4 (56). С. 86–90.
2. Сиволобова Н.О., Грачева Н.В., Жашуева К.А., Сикорская А.В. Адсорбционные материалы на основе лузги подсолнечника // Инженерный вестн. Дона. 2017. № 1 (44). С. 5.
3. Ткачева О.Н., Шпак Н.И. Лузга подсолнечника для производства теплоизоляционных материалов // Информационные технологии в обследовании эксплуатируемых зданий и сооружений: материалы 18-й Междунар. науч.-практической конф. (22 окт. 2019 г.) Новочеркасск, 2019. С. 35–38.
4. Шаяхметова А.Х., Тимербаева А.Л., Борисова Р.В. Сравнительные характеристики pellets из лузги подсолнечника и древесных pellets // Вестн. Технологического ун-та. 2015. Т. 18. № 2. С. 243–246.
5. Слюсаренко В.В. Комплект оборудования для производства твердого биотоплива (pellets из лузги подсолнечника) // Проблемы региональной энергетики. 2010. № 2. С. 66–70.
6. Завражнов А.М. Пути использования отходов в производстве плит // Плиты и фанера: экспресс-информ. М.: ВНИПИЭИлеспром, 1981. Вып. 8. 13 с.
7. Качелкин Л.И., Рушнов Н.П., Михайлов Г.М. Использование отходов лесозаготовок. М.: Лесная пром-сть, 1965. 323 с.
8. Коротаев Э.И., Клименко М.И. Использование древесных опилок. М.: Лесная пром-сть, 1974. 144 с.
9. Корчаго И.Г. Древесностружечные плиты из мягких отходов. М.: Лесная пром-сть, 1971. 104 с.
10. Отлев И.А., Штейнберг Ц.Б. Справочник по производству древесностружечных плит. М.: Лесная пром-сть, 1990. 384 с.
11. Пучков Б.В. Использование древесных отходов для производства плит // Деревообработка в России. 1998. № 1. С. 7–8.
12. Плотникова Г.П., Плотников Н.П. Модификация связующего для использования некондиционного сырья в производстве древесностружечных плит // Системы. Методы. Технологии. 2013. № 2. С. 142–146.
13. Плотников Н.П., Плотникова Г.П., Симикина А.А. Исследование структуры модифицированных карбамидоформальдегидных смол методом ЯМР-спектроскопии // Вестн. КрасГАУ. 2012. № 7. С. 171–174.
14. Плотников Н.П., Плотникова Г.П. Совершенствование технологии производства древесноплитных материалов. Новосибирск: НП «СибАК», 2013. 112 с.
15. Плотникова Г.П., Плотников Н.П. Оптимизация технологического процесса производства древесностружечных

плит на модифицированном связующем с использованием некондиционного сырья // Вестн. КрасГАУ. 2013. № 9. С. 249–256.

## References

1. Tuncev D.V., Har'kov V.V., Kuznecov M.G. Processing of sunflower husk into high-strength coal briquettes // Vestnik of the Kazan State Agrarian University. 2019. V. 14. № 4 (56). P. 86–90.
2. Sivolobova N.O., Gracheva N.V., ZHashueva K.A., Sikorskaya A.V. Adsorption materials based on sunflower husk // Engineering journal of Don. E-journal. 2017. № 1 (44). P. 5.
3. Tkacheva O.N., SHpak N.I. Sunflower husk for the production of heat-insulating materials // Informacionnye tekhnologii v obsledovanii ekspluatiruemyh zdaniy i sooruzhenij: materialy 18-oj Mezhdunar. nauch.-prakticheskoy konf. (22 okt. 2019 g.) Novocherkassk, 2019. P. 35–38.
4. SHayahmetova A.H., Timerbaeva A.L., Borisova R.V. Comparative characteristics of sunflower husk pellets and wood pellets // Herald of Kazan Technological University. 2015. V. 18. № 2. P. 243–246.
5. Slyusarenko V.V. Set of equipment for the production of solid biofuel (pellets from sunflower husk) // Problemy regional'noj energetiki. 2010. № 2. P. 66–70.
6. Zavrazhnov A.M. Ways of using waste in the production of plates // Plity i fanera: ekspress-inform. M.: VNIPIEIslesprom, 1981. Vyp. 8. 13 p.
7. Kachelkin L.I., Rusnov N.P., Mihajlov G.M. Use of logging waste. M.: Lesnaya prom-st', 1965. 323 p.
8. Korotaev E.I., Klimenko M.I. Use of wood sawdust. M.: Lesnaya prom-st', 1974. 144 p.
9. Korchago I.G. Chipboard from soft waste-Moscow. M.: Lesnaya prom-st', 1971. 104 p.
10. OtleV I.A., SHtejnberg C.B. Handbook on the production of particle boards. M.: Lesnaya prom-st', 1990. 384 p.
11. Puchkov B.V. Use of wood waste plants for production of plates // Derevoobrabotka v Rossii. 1998. № 1. P. 7–8.
12. Plotnikova G.P., Plotnikov N.P. Modification matrix for use of nonconforming raw material in the production of chipboards // Systems. Methods. Technologies. 2013. № 2. P. 142–146.
13. Plotnikov N.P., Plotnikova G.P., Simikova A.A. Investigation of the structure of modified urea-formaldehyde resins by NMR spectroscopy // The Bulletin of KrasGAU. 2012. № 7. P. 171–174.
14. Plotnikov N.P., Plotnikova G.P. Perfecting the technology of production of wood-plate materials. Novosibirsk: NP «SibAK», 2013. 112 p.
15. Plotnikova G.P., Plotnikov N.P. Optimization of the technological process of production of wood particle boards on a modified binder using substandard raw materials // The Bulletin of KrasGAU. 2013. № 9. P. 249–256.