

ТЕРМОХИМИЧЕСКАЯ ПЕРЕРАБОТКА ЛУЗГИ ПОДСОЛНЕЧНИКА

Харьков В.В., Тунцев Д.В., Кузнецов М.Г.

Реферат. В статье рассматривается исследование процесса термохимической переработки лузги подсолнечника в жидкие, твердые и газообразные продукты. Согласно предоставленным статистическим данным Росстата, подсолнечник является традиционной крупнейшей сельскохозяйственной масляной культурой в России. На сегодняшний день валовый сбор семян около 12 млн т/г. В процессе промышленного производства подсолнечного масла в течение всего производственного цикла образуется большое количество растительных отходов, включая лузгу семян. В настоящее время существует множество направлений по использованию лузги подсолнечника, основными из которых является производство кормовых добавок для крупного рогатого скота. Однако представленные направления промышленного применения не позволяют полностью переработать этот ценный ресурс в экономически выгодные продукты, что приводит к его накоплению. Анализ физических свойств лузги подсолнечника показал высокую теплотворную способность этой биомассы из-за высокого содержания лигнина. Лузга подсолнечника имеет низкую зольность. Данные факты говорят о возможности эффективно использоваться лузги в качестве сырья для производства угольных брикетов, жидкого биотоплива и газообразных продуктов термохимическим методом. Используя стандартные методики, были определены свойства и химический состав выбранных проб лузги подсолнечника. С целью выявления оптимальных параметров для максимального выхода жидкого и твердого продуктов пиролиза лузги подсолнечника, экспериментальными путями были определены зависимости выхода продуктов от температуры термического разложения. Исследование термического разложения лузги подсолнечника проводилось в изотермических условиях при температурах 450, 500, 550 и 600 °С. Эксперименты проводились в периодическом реакторе пиролиза растительной биомассы. Результаты исследований выхода продуктов процесса от температуры термического разложения лузги подсолнечника показали, что максимальный выход жидкого продукта до 43% происходит при температуре 550 °С, а твердого продукта до 35% – при температуре 450 °С. Дальнейший рост температуры процесса пиролиза приводит к увеличению выхода газообразного продукта.

Ключевые слова: пиролиз, растительное сырье, биотопливо.

Введение. В современном мире 14% энергии вырабатывается из растительной биомассы. Этот энергетический ресурс обладает двумя исключительными свойствами:

- биомасса является доступным возобновляемым органическим материалом;
- использованием биомассы достигается баланс диоксида углерода в атмосфере, т.е. при ее переработке выделяется столько же углекислого газа, сколько его поглощается при росте биомассы в процессе фотосинтеза.

Основными видами биомассы для энергетических целей являются: дерево и отходы деревообрабатывающего производства, сельскохозяйственные культуры и отходы их переработки, отходы производства продуктов питания, городские жидкие и твердые органические отходы. Среди них отходы сельского хозяйства являются хорошим сырьем для получения биотоплива в твердой, жидкой и газообразной формах [1-3].

Плодовая оболочка (лузга) подсолнечника вследствие низкого содержания масла является отходом производства масла. Выход лузги зависит от технологической схемы переработки масла и от сорта подсолнечника, например, при маслоэкстракционном способе обрушивается 14...25 кг лузги с каждых 100 кг семян.

На сегодняшний день подсолнечник занимает четвертое место в мире среди источников растительного масла. Исторически промышленное (экстракционное) извлечение масла из зерен растения подсолнечника началось в Российской империи около 1830 г., позднее советские ученые селективными методами увеличили размеры семян, урожайность, повысили содержание масла с 29 до 46 %, а также сократили время созревания семян и повысили сопротивляемость подсолнечника болезням. И до сих пор основное производство подсолнечного масла располагается на территории бывшего Советского Союза. Более того, поэтому урожай подсолнечника в России значительно влияет на мировой рынок масла и жиров.

В условиях увеличения мирового спроса на продукты переработки данного вида масличных валовый сбор семян подсолнечника преимущественно растет (рисунок 1), а посевные площади увеличиваются ежегодно. Для сравнения, за последние 9 лет (данные за 2018 год ожидаемые, согласно посевной площади) валовый сбор увеличился в 2,4 раза, тогда как посевная площадь возросла с 6 200 тыс. га до 7 600 тыс. га. Небольшое падение прироста в 2012, 2014 и 2017 г. связано с неблагоприятными климатическими условиями.

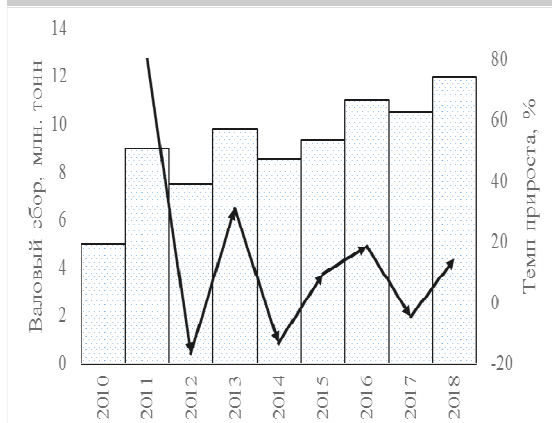


Рисунок 1 – Динамика валового сбора семян подсолнечника (по данным Росстата)

Данные о производстве семян подсолнечника в хозяйствах в субъектах РФ в 2017 году (по данным Росстата, в %) представлены ниже:

Ростовская область	13,1
Краснодарский край	10,0
Саратовская область	9,6
Воронежская область	8,0
Оренбургская область	7,5
Самарская область	6,5
Ставропольский край	5,5
Алтайский край	5,5
Волгоградская область	5,4
Тамбовская область	5,1
Липецкая область	3,0
Курская область	2,9
Белгородская область	2,8
Республика Башкортостан	2,7
Пензенская область	2,2
Ульяновская область	2,0
Республика Татарстан	1,8
Остальные	6,4

Таким образом, во многих регионах России существует проблема, связанная с утилизацией большого количества лузги. Традиционно отходы подсолнечного производства используют как корм для животных, так как лузга содержит полезные вещества, например, пентозаны. В чистом виде лузга, содержащая более 50% клетчатки, не усваивается желудком животных. Таким образом, растущий объем производства не позволяет утилизировать всю лузгу в качестве кормовой добавки, поэтому кроме этого способа предприятия масложировой отрасли развивают другие методы утилизации.

Так, сравнительно небольшие объемы подсолнечной лузги можно использовать как суб-

страт для выращивания грибов, кормовых дрожжей, использовать ее непосредственно как удобрение и для улучшения почвенной структуры, а также изготавливать строительные материалы, которые применяются для тепло- и звукоизоляции.

Одним из преимуществ подсолнечной лузги является ее хорошая теплотворная способность (табл. 1), которая приближается к углю, а по зольности в десятки раз ниже его, кроме того, выбросы серосодержащих веществ при сжигании подсолнечной лузги минимальны, что делает ее экологически чистым топливом.

На рынке экологически чистого топлива активно распространяется такой продукт вторичной переработки растительных отходов, как пеллеты. Пеллеты представляют собой спрессованные цилиндрические гранулы длиной от 10 до 30 мм и диаметром от 6 до 10 мм (в зависимости от требований заказчика) – это биологическое топливо, полученное путем измельчения и прессования растительных отходов [5], в том числе лузги подсолнечника. Пеллеты из лузги подсолнечника характеризуются низким содержанием влаги и высокой способностью к горению. Сырье может храниться максимально длительное время без потери свойств и качества продукта. Это обусловлено особой технологией изготовления пеллет, которая заключается в предварительной сушке измельченной лузги и применении склеивающих веществ, однако отдельные гранулы не склеиваются между собой, не разлагаются.

Кроме того, отходы подсолнечника можно использовать для производства биогаза, который образуется в процессе ферментативного расщепления органических веществ [6,7]. Биогаз может быть использоваться непосредственно вместо природного газа, а также в качестве топлива для производства электроэнергии, тепла или пара, или в качестве автомобильного топлива.

Наибольший интерес для реализации в промышленных масштабах и представляет утилизация растительного сырья термохими-

Таблица 1 – Удельная теплотворная способность некоторых видов топлива [4]

Наименование топлива	Значение, МДж/кг
Древесная щепа	10,00
Пеллета древесная	17,17
Древесный уголь	27,26
Пеллета из соломы	14,51
Лузга подсолнечника	17,20
Пеллета лузги подсолнечника	18,09

ческим методом для получения жидких и твердых продуктов с высоким выходом [8]. Экологичность процесса пиролиза обусловлена тем, что он осуществляется в герметичных условиях [9].

Целью работы является исследование физико-химических свойств лузги подсолнечника и определение оптимальных параметров процесса пиролиза при увеличении температуры термического разложения для достижения максимального выхода угля и жидкого биотоплива.

Условия, материалы и методы исследований. Для экспериментальных исследований использовали пробу плодовой оболочки подсолнечника, отобранную на Казанском маслоэкстракционном заводе со следующими физическими характеристиками (табл. 2).

При определении химического состава лузги применялись общепринятые методы исследования состава (табл. 3): определение сырого жира, протеина, сырой клетчатки по ГОСТ 32040-2012; определение сырой золы по ГОСТ 32041-2012.

Экспериментальная установка пиролиза лузги подсолнечника (рисунок 2) состоит из реактора пиролиза 1, конденсатора 2, сборника жидкого продукта 3, гидрозатвора 4 и факела 5, обеспечивающий утилизацию пиролизного газа. Регулирование температуры процесса осуществляется с помощью муфельной печи, в которую помещен реактор пиролиза. Эксперименты проводились при постоянной температуре в режиме медленного пиролиза. Скорость нагрева составляла 20 °С /мин.

Таблица 2 – Физические свойства лузги подсолнечника

Наименование показателя	Значение
Длина частиц лузги, мм	4,2...7,3
Ширина частиц лузги, мм	1,6...3,0
Насыпная плотность, кг/м ³	122
Влажность, %	6,29
Пористость, % от объема	90
Водопоглощение (через 20 сут), %	45

Таблица 3 – Химический состав лузги подсолнечника (по абсолютно сухому веществу)

Наименование	Содержание, %
Жиры	3,34
Белки	2,90
Безазотистые экстрактивные вещества	29,50
Клетчатка	61,80
Зола	2,46

С целью выявления оптимальных параметров для максимального выхода жидкого и твердого продуктов пиролиза лузги подсолнечника, экспериментальными путями были определены зависимости выхода продуктов от температуры термического разложения (рисунок 3).

Анализ и обсуждение результатов исследования. По физическому строению лузга представляет собой одревесневшую растительную ткань с однородным химическим составом и физико-химическими свойствами.

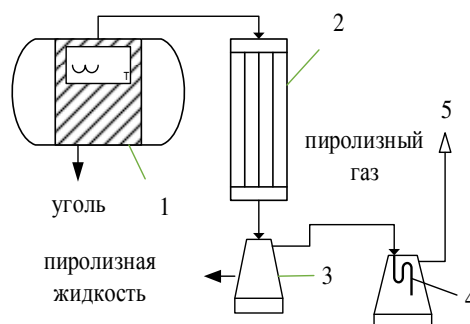


Рисунок 2 – Общий вид и схема лабораторной установки медленного пиролиза: 1 – реактор; 2 – конденсатор; 3 – сборник пиролизной жидкости; 4 – гидрозатвор; 5 – факел

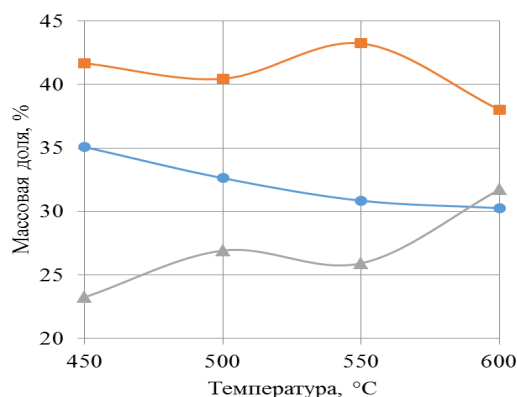


Рисунок 3 – Влияние температуры на выход различных продуктов пиролиза: ■ – пиролизная жидкость; ● – уголь; ▲ – пиролизный газ

Геометрические размеры частиц лузги варьируются в широком диапазоне и зависят от сорта и метода обработки подсолнечника. Лузга подсолнечника обладает низким значением насыпной плотности, что ухудшает её транспортировку, а также она занимает большие площади при хранении и является дополнительным пожароопасным источником.

Высокие значения водопоглощения и гигроскопической влажности (около 16 %) обуславливают способность лузговой массы хорошо впитывать влагу. Значения теплопроводности лузги (0,11 Вт/(м·К)), соизмеримы с показателями теплопроводности для дерева (0,15 Вт/(м·К)), что объясняется схожестью химического состава внешней оболочки лузги [10].

Основным компонентом частиц лузги является клетчатка – сплетение растительных волокон – лигноцеллюлоза, состоящая из целлюлозы, гемицеллюлозы и лигнина. Первые два компонента – полисахариды. Целлюлоза – кристаллический полимер, состоящий из тысяч остатков глюкозы; нерастворим в воде, слабых кислотах и в большинстве органических растворителей, не разрушается при нагревании (до 200 °С). Содержание в лузге варьируется в интервале от 30 до 55%. Гемицеллюлоза – это группа растительных гомо- и гетерополисахаридов с меньшей, чем у целлюлозы, молекулярной массой, состоящие из

остатков разных пентоз и гексоз. Гемицеллюлоза или, правильнее, гемицеллюлозы главным образом образуют аморфные трехмерные структуры, окружающие волокна целлюлозы. Содержание 25...35%. Лигнин – это аморфная затвердевшая смола, имеющая ароматическую природу, заполняющая пространство между волокнами полисахарида. Лигнин определяет механическую прочность и обеспечивает герметичность клеточных стенок [11]. Содержание лигнина в клетчатке до 30%.

Результаты исследований выхода продуктов процесса от температуры термического разложения лузги подсолнечника показали, что максимальный выход жидкого продукта до 43% происходит при температуре 550 °С, а твердого продукта до 35% – при температуре 450 °С. Дальнейший рост температуры процесса пиролиза приводит к увеличению выхода газообразного продукта.

Выводы. Учитывая все физико-химические свойства лузги подсолнечника, будет целесообразно утилизировать данный вид отхода термохимическим методом. Правильная организация технологического процесса данного метода утилизации позволит покрыть энергетические потребности процесса, более того, избытки вырабатываемого тепла можно использовать в технических или бытовых нуждах.

Литература

1. Quispéab, I. Energy potential from rice husk through direct combustion and fast pyrolysis: A review / I. Quispéab, R. Naviabcd, R. Kahhata // *Waste Management*. – 2017. – Vol. 59. – P. 2000-2010.
2. Encinar, J. M. Pyrolysis of Maize, Sunflower, Grape and Tobacco Residues / J. M. Encinar, F. J. Beltran, J. F. Gonzalez and M. J. Moreno // *J. Chem. Tech. Biotechnol.* – 1997. – Vol. 70. – P. 400-410.
3. Марданова, И. Р. Переработка отходов зерноперерабатывающих предприятий в гидродинамических мельницах / И. Р. Марданова, Н. З. Дубкова, О. В. Иванова, М. Г. Кузнецов // *Вестник Технологического университета*. – 2017. – Т. 20. – С. 132-134.
4. Виллу, В. Справочник потребителя биотоплива / В. Виллу, К. Юло, М. Пезтер, П. Тыну, С. Сулев – Таллин: Изд-во Таллиннского технич. ун-та, 2005. – 184 с.
5. Кузнецов, М. Г. Измельчение растительного сырья в гидродинамических мельницах / М. Г. Кузнецов, В. В. Харьков, Е. Г. Хакимова // *Вестник технологического университета*. – 2016. – Т. 19. – № 16. – С. 59-61.
6. Харьков, В. В. Особенности кинетики реакций термического разложения материала при концентрировании во взвешенном слое / В. В. Харьков, А. Н. Николаев // *Научно-Технический вестник Поволжья*. – 2017. – № 5. – С. 33-37.
7. Kharkov, V. V. Mathematical modelling of thermolabile solutions concentration in vortex chamber / V. V. Kharkov // *Journal of Physics: Conf. Ser.* 2018. – Vol. 980. – P. 012006. doi: 10.1088/1742-6596/980/1/012006.
8. Грачев, А. Н. Исследование свойств жидкого продукта быстрого пиролиза отходов деревообработки / А. Н. Грачев [и др.] // *Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики*. – 2009. – № 11-12. – С. 80-83.
9. Tuntsev, D. V. The mathematical model of fast pyrolysis of wood waste / D. V. Tuntsev, R. G. Safin, R. G. Hismatov, R. A. Halitov, V. I. Petrov // *International Conference on Mechanical Engineering, Automation and Control Systems (MEACS)*. – 2015. – P. 1-4.
10. Хусид, С. Б. Подсолнечная лузга как источник получения функциональных кормовых добавок / С. Б. Хусид, А. Н. Гнеуш, Е. Е. Нестеренко // *Научный журнал КубГАУ*. – 2015. – № 107. – С. 142-155.
11. Тунцев, Д. В. Совершенствование технологии и оборудования процесса термического разложения древесины в кипящем слое: Дис. ... канд. тех. наук: 05.21.05, 05.21.03 / Тунцев Денис Владимирович. – Казан. госуд. технол. ун-т. Казань, 2011. – 193 с.

Сведения об авторах:

Харьков Виталий Викторович – ассистент кафедры оборудования пищевых производств, e-mail: v.v.kharkov@gmail.com.

Денис Владимирович Тунцев – кандидат технических наук, доцент кафедры переработки древесных материалов, e-mail: tuncsev_d@mail.ru

ФГБОУ ВО «Казанский национальный исследовательский технологический университет», г. Казань, Россия.

Кузнецов Максим Геннадьевич – кандидат технических наук, доцент кафедры экономики и информационных технологий, e-mail: max-genn@ya.ru

ФГБОУ ВО «Казанский государственный аграрный университет», г. Казань, Россия.

THERMOCHEMICAL PROCESSING OF SUNFLOWER HUSKS

Kharkov V.V., Tuntsev D.V., Kuznetsov M.G.

Abstract. The article discusses the study of the process of thermochemical processing of sunflower husk into liquid, solid and gaseous products. According to the statistics provided by Rosstat, sunflower is the traditional largest agricultural oil crop in Russia. To date, the gross seed collection of about 12 million tons per year. In the process of industrial production of sunflower oil during the entire production cycle, a large amount of plant waste, including husk seeds. Currently, there are many areas for the use of sunflower husk, the main of which is the production of feed additives for cattle. However, the presented areas of industrial application do not allow to fully process this valuable resource into cost-effective products, which leads to its accumulation. Analysis of the physical properties of sunflower husk showed a high calorific value of this biomass due to the high lignin content. Sunflower husk has a low ash content. These facts indicate the possibility of effectively using the husks as raw materials for the production of coal briquettes, liquid biofuels and gaseous products by the thermochemical method. Using standard techniques, the properties and chemical composition of selected samples of sunflower husk were determined. In order to identify the optimal parameters for the maximum yield of liquid and solid products of pyrolysis of sunflower husk, the experimental ways were determined dependences of the yield of products on the temperature of thermal decomposition. The study of the thermal decomposition of sunflower husk was carried out in isothermal conditions at temperatures of 450, 500, 550 and 600 ° C. The experiments were carried out in a periodic pyrolysis reactor of plant biomass. The results of studies on the yield of process products from the temperature of thermal decomposition of sunflower husk showed that the maximum yield of liquid product up to 43% occurs at a temperature of 550 ° C, and that of a solid product up to 35% at a temperature of 450 ° C. A further increase in the temperature of the pyrolysis process leads to an increase in the yield of the gaseous product.

Key words: pyrolysis, vegetable raw materials, biofuel.

References

1. Quispeab, I. Energy potential from rice husk through direct combustion and fast pyrolysis: A review / I. Quispeab, R. Naviabcd, R. Kahhata // *Waste Management*. – 2017. – Vol. 59. – P. 2000-2010.
2. Encinar, J. M. Pyrolysis of Maize, Sunflower, Grape and Tobacco Residues / J. M. Encinar, F. J. Beltran, J. F. Gonzalez and M. J. Moreno // *J. Chem. Tech. Biotechnol.* – 1997. – Vol. 70. – P. 400-410.
3. Mardanova I.R. Recycling of wastes of grain processing enterprises in hydrodynamic mills. [Pererabotka otkhodov zernopererabatyvayuschikh predpriyatij v gidrodinamicheskikh melnitsakh]. / I.R. Mardanova, N.Z. Dubkova, O.V. Ivanova, M.G. Kuznetsov // *Vestnik Tekhnologicheskogo universiteta. - Technological University Herald*. – 2017. – Vol. 20. – №12. – P. 132-134.
4. Villu V. *Spravochnik potrebitelya biotopliva*. [Biofuel consumer handbook]. / V. Villu, K. Yulo, M. Peeter, P. Tynu, S. Sulev – Tallin: Izd-vo Tallinnского tekhnich. un-ta, 2005. – P. 184.
5. Kuznetsov M.G. Grinding of plant materials in hydrodynamic mills. [Izmelchenie rastitelnogo syrya v gidrodinamicheskikh melnitsakh]. / M.G. Kuznetsov, V.V. Kharkov, E.G. Khakimova // *Vestnik tekhnologicheskogo universiteta. – The Herald of the Technological University*. – 2016. – Vol. 19. – № 16. – P. 59-61.
6. Kharkov V.V. Features of the kinetics of reactions of thermal decomposition of the material during concentration in a suspended layer. [Osobennosti kinetiki reaktsiy termicheskogo razlozheniya materiala pri kontsentrirovanii vo vzveshennom sloe]. / V.V. Kharkov, A.N. Nikolaev // *Nauchno-tekhnicheskij vestnik Povolzhya. - Scientific and Technical Herald of the Volga region*. – 2017. – №5. – P. 33-37.
7. Kharkov, V. V. Mathematical modelling of thermolabile solutions concentration in vortex chamber / V. V. Kharkov // *Journal of Physics: Conf. Ser.* 2018. – Vol. 980. – P. 012006. doi: 10.1088/1742-6596/980/1/012006.
8. Grachev A. N. Study of the properties of a liquid product of rapid pyrolysis of wood waste. [Issledovanie svoystv zhidkogo produkta bystrogo piroliza otkhodov derevoobrabotki]. / A.N. Grachev and others // *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Problemy energetiki. - Proceedings of higher educational institutions. Problems of Energy*. 2009. – №11-12. – P. 80-83.
9. Tuntsev, D. V. The mathematical model of fast pyrolysis of wood waste / D. V. Tuntsev, R. G. Safin, R. G. Hismatov, R. A. Halitov, V. I. Petrov // *International Conference on Mechanical Engineering, Automation and Control Systems (MEACS)*. – 2015. – P. 1-4.
10. Khusid S.B. Sunflower husk as a source of obtaining functional feed additives. [Podsolnechnaya luzga kak istochnik polucheniya funktsionalnykh kormovykh dobavok]. / S.B. Khusid, A.N. Gneush, E.E. Nesterenko // *Nauchnyy zhurnal KubGAU. - Scientific journal of KubGAU*. – 2015. – № 107. – P. 142-155.
11. Tuntsev D.V. *Sovershenstvovanie tekhnologii i oborudovaniya protsessa termicheskogo razlozheniya drevesiny v kipyaschem sloye: Dis. ... kand. tekhn. nauk: 05.21.05, 05.21.03 / Tuntsev Denis Vladimirovich*. (Improving the technology and equipment of the process of wood thermal decomposition in a fluidized bed: Dissertation for a degree of Ph.D. of Technics: 05.21.05, 05.21.03 / Tuntsev Denis Vladimirovich). Kazan. gosud. tekhnol. un-t. Kazan, 2011. – P. 193.

Authors:

Kharkov Vitaliy Viktorovich – Assistant of the Department of Food Production Equipment, Kazan National Research Technological University, e-mail: v.v.kharkov@gmail.com

Tuntsev Denis Vladimirovich – Ph.D. of Technical Sciences, Associate Professor, Department of Wood Materials Processing, Kazan National Research Technological University, e-mail: tuncev_d@mail.ru

Kuznetsov Maksim Gennadevich – Ph.D. of Technical Sciences, Associate Professor of Department of Economics and Information Technologies, Kazan State Agrarian University, e-mail: max-genn@ya.ru