

А. Х. Шаяхметова, А. Л. Тимербаева, Р. В. Борисова

## СРАВНИТЕЛЬНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПЕЛЛЕТ ИЗ ЛУЗГИ ПОДСОЛНЕЧНИКА И ДРЕВЕСНЫХ ПЕЛЛЕТ

*Ключевые слова: пеллеты, лузга подсолнечника, высшая теплота сгорания.*

*В статье рассматриваются наиболее эффективные способы производства твёрдого топлива, таких как пеллеты из лузги подсолнечника и древесные пеллеты и проведён сравнительный анализ их характеристик.*

*Keywords: pellets, sunflower husk, HHV.*

*This article discusses the most effective ways of producing solid fuels, such as pellets from sunflower husks and wood pellets and provides a comparative analysis of their characteristics.*

### Введение

При производстве подсолнечного масла методом «горячего» прессования образуется 11-16% лузги, которой на предприятиях накапливается огромное количество - от нескольких тонн до нескольких десятков тонн (в зависимости от мощности маслоэкстракционного или маслопрессового завода).

Чаще всего лузгу вывозят на отвалы, при этом проблемами являются низкий насыпной вес лузги, способность её к возгоранию и тлению, что создаёт неприятный запах и сильно ухудшает экологическую обстановку. Из-за низкого насыпного веса предприятия несут большие расходы на транспортировку лузги на свалку.

Наиболее эффективным способом производства твёрдого биотоплива является гранулирование, поскольку при этом конечная влажность готового продукта составляет всего 8-12%, а исходный материал уплотняется в 5-10 раз. Гранулированное биотопливо обладает также рядом других преимуществ, среди которых следует отметить постоянство качественных характеристик, удобство хранения, возможность использования в отопительных системах с автоматической подачей топлива.

Гранулы из лузги подсолнечника имеют огромные преимущества по сравнению с традиционными видами топлив:

- теплотворность их составляет 17000-19000 кДж/кг, что больше, чем у древесины, и сравнима с некоторыми видами угля (табл. 1);

- при сжигании 2000 кг топливных гранул выделяется столько же тепловой энергии, как и при сжигании 3200 кг древесины, 957 м газа, 1000 л дизельного топлива, 1370 л мазута;

- горение гранул в топке котла происходит более эффективно, количество остатков (зола) не превышает 1,0-3,0% от общего объема используемых гранул;

- при сжигании гранулы не оказывают негативного воздействия на окружающую среду;

- гранулы не содержат скрытых пор, склонных к самовоспламенению при повышении температуры;

- увеличение насыпного веса готового продукта по сравнению с исходным сырьем в 6-6,5 раза и, следовательно, снижение затрат при транспортировке.

**Таблица 1 - Сравнительные характеристики некоторых видов топлива**

| Тип топлива. Параметры     | Древесные опилки | Лузга Подсолнечника | Древесина | Топливая гранула из лузги подсолн |
|----------------------------|------------------|---------------------|-----------|-----------------------------------|
| Средний насыпной вес, кг/м | 220-250          | 90                  | 960       | 550-600                           |
| Теплотворность кДж/кг      | 17150            | 19320               | 10000     | 19800-21000                       |
| Влага, %                   | 6-8              | 4-7                 | 12-20     | 8-10                              |
| Зольность, %               | 0,5-1            | 0,35-3              | 1,75-10   | 1-3                               |

В табл. 1 приведены некоторые параметры лузги подсолнечника, топливных гранул из неё по сравнению с древесными опилками и каменным углем.

Благодаря вышеперечисленным качествам гранулы обладают высокой конкурентоспособностью по сравнению с другими видами топлива.

Технология производства топливных гранул из лузги подсолнечника не сильно отличается от технологии производства древесных или торфяных гранул. Технологический процесс включает предварительную сушку до влажности не более 14-15%. При этом технологии сушки могут быть различными [3,4,7-9,14].

Подсолнечная лузга измельчается при помощи молотковой дробилки и подается непосредственно на линию гранулирования. Перед прессованием измельчённая подсолнечная лузга должна пройти влаго-термическую обработку (обработку острым паром, а при недостаточной влажности - горячей водой). При выходе из прессующей камеры гранулятора гранулы необходимо охладить, отсеять от образовавшейся при гранулировании и транспортировании крошки и передать на хранение бестарно (насыпью или в бункере) либо в таре (мешках или биг-бэгах).

Таким образом, мы можем утверждать, что одним из путей решения проблемы с утилизацией лузги

подсолнечника, получаемой в процессе «горячего» метода производства растительного масла, является получение из лузги пеллет топливных гранул.

Рассмотрим характеристики данного топлива, такие как: экспресс-анализ, элементарный анализ, отопительная способность, состав золы оболочек четырех растений (фундука, грецкого ореха, миндального ореха и подсолнечника).

Топливные свойства для анализа сгорания биомассы могут быть удобно сгруппированы на физические, химические, термические и минеральные свойства. Модели горения могут быть макроскопическими или микроскопическими.

Макроскопические свойства биомасс для макроскопического анализа, такие как конечный анализ, тепловой, влажность, размер частиц, насыпная плотность, и зола.

Свойства для микроскопического анализа включают в себя термическую, химическую кинетику и минеральные данные. Топливные характеристики, для элементного анализа, такие как, отепление, содержание влаги, размер частиц, насыпная плотность, и зола, температура плавления биомассы были рассмотрены.

Топливные свойства для анализа сгорания могут быть удобно сгруппированы в физической, химической, термической и минеральных свойствах.

Физические свойства сильно различаются, такие как плотность, пористость и площадь внутренней поверхности, в то время как насыпная плотность, размер частиц и распределение формы связаны с методом подготовки топлива. Важным химическим свойством для сжигания являются элементарный анализ, технический анализ, анализ продуктов пиролиза.

Состав минеральных веществ может варьировать в пределах каждого образца биомассы. Минеральные вещества плодовых оболочек состоят в основном из солей кальция, калия, диоксида кремния и магния.

### Экспериментальная часть

Образцы биомассы топлива из лузги подсолнечника, используемые в данном исследовании были сопоставлены с биомассами других образцов растительного происхождения. Высшая теплота сгорания добываемых образцов была определена путем формирования образцов в виде пеллет весом около 0,5 г каждый; их сжигание происходит в адиабатической кислородной бомбе калориметра.

Средние структурные и непосредственные результаты анализов образцов из оливковой лузги занесены в таблицу 2. Средние конечные результаты анализов и высокой теплоты сгорания занесены в таблицу 3.

Высшую теплоту сгорания биомассы топлива в зависимости от количества углерода рассчитываем по уравнению (1):

$$ВТС = 0.196(FC) + 14.119 \quad (1)$$

Для других видов топлива, таких как уголь используется модифицированная формула Дюлонга, она определяет высшую теплоту сгорания, по содержанию углерода, водорода, кислорода и азота:

$$ВТС = \{33.5[C] + 142.3[H] - 15.4[O] - 14.5[N]\} * 10^{-2} \quad (2)$$

**Таблица 2 - Средние структурные и непосредственные результаты анализов образцов**

|               | Оболочка фундука | Оболочка грецкого ореха | Оболочка миндаля | Подсолнечник | Оливковая Шелуха |
|---------------|------------------|-------------------------|------------------|--------------|------------------|
| Гемицеллюлоза | 30,4             | 22,2                    | 28,9             | 34,6         | 23,6             |
| Целлюлоза     | 26,8             | 25,6                    | 50,7             | 48,4         | 24               |
| Лигнин        | 42,9             | 52,3                    | 20,4             | 17           | 48,4             |

Теплосодержание связано со степенью окисления природного топлива, в котором атомы углерода обычно доминируют и затмевают маленькие изменения в содержании водорода. На основании литературных источников о различных породах древесины мы обнаружили линейную зависимость между высшей теплотой сгорания (ВТС) и содержанием углерода.

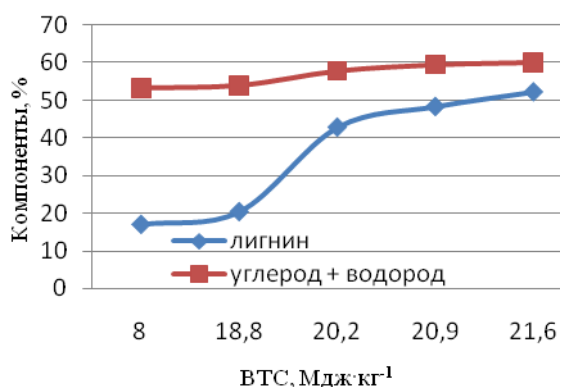
**Таблица 3 - Средние конечные результаты анализов образцов и высшая теплота сгорания**

|                         | Оболочка фундука | Оболочка грецкого ореха | Оболочка миндаля | Подсолн. | Оливк. шелуха |
|-------------------------|------------------|-------------------------|------------------|----------|---------------|
| Углерод                 | 51,6             | 53,5                    | 47,9             | 47,4     | 52,8          |
| Водород                 | 6,2              | 6,6                     | 6                | 5,8      | 6,7           |
| Кислород                | 40,2             | 35,5                    | 41,6             | 41,4     | 36,7          |
| азот                    | 1,6              | 1,5                     | 1,1              | 1,4      | 0,5           |
| зола                    | 1,4              | 2,8                     | 3,3              | 4,0      | 3,3           |
| Высшая теплота сгорания | 20,2             | 21,6                    | 18,8             | 8,0      | 20,9          |

ВТС в добытых образцах отражает содержание лигнина по отношению к целлюлозе и гемицеллюлозе. Высшая теплота сгорания из лигниноцеллюлозного топлива зависит от содержания лигнина. Высшую теплоту сгорания можно сравнить с данным химическим составом, используя линейную регрессию. Линейный регрессионный анализ исследуемых образцов с содержанием лигнина представляет квадрат корреляционного коэффициента ( $r^2$ ) (рис. 1).

Высшая теплота сгорания определяется, в зависимости от метода определения лигнина и экстрактивных веществ. Древесные экстрактивные вещества были удалены в основном с помощью сульфатных процессов или летучих растворителей, т.е. методом экстракции. Данная технология повышает высшую теплоту сгорания образцов. Отметим так

же, что хвойные породы имеют высшую теплоту сгорания из-за содержания в них смолы.



**Рис. 1 - График зависимости высшей теплоты сгорания исследуемых образцов (пеллеты из лузги подсолнечника) по сравнению с процентным содержанием лигнина и углерода с водородом**

Таким образом, мы получаем следующие результаты: содержание углерода разных видов биомасс варьирует от 47,4% до 53,5% из-за различного количества лигнина и экстрактивных веществ. Содержание водорода варьирует от 5,8% до 6,7%. Содержание кислорода в диапазоне от 35,5% до 41,6%, содержание азота составляет от 0,5% до 1,6%. Лигнин колеблется от 17,0% до 52,3%.

Так же мы видим, что нет связей между высшей теплотой сгорания и гемицеллюлозой лигниноцеллюлозного топлива, но есть зависимость между содержанием лигнина и ВТС из лигниноцеллюлозного топлива. Таким образом, высшая теплота сгорания возобновляемого природного топлива может рассчитываться с помощью содержания лигнина, полученного от простого химического анализа.

Экспериментальное определение высшей теплоты сгорания требует специального оборудования, в то время как данные химического анализа могут быть получены сравнительно легко, с помощью лабораторного оборудования.

Так же существуют и пользуются спросом пеллеты из древесины. Одним из перспективных видов вторсырья являются такие отходы лесопромышленности как опилки. Именно на их основе производятся топливные древесные пеллеты или, иначе говоря, опилочные гранулы, которые применяют в качестве топлива. Пеллеты могут отличаться по своему составу. Они могут быть из чистой древесины безо всяких примесей, а также из древесины вместе с корой, кроме того в них довольно часто добавляют шелуху подсолнечника, солому и т.д. Кроме того, в последние годы всё большее применение находят, так называемые, "черные" пеллеты, в которых сырье прошло предварительную термическую обработку - термомодифицирование или, как принято в зарубежной литературе, торрефикацию [11]. Процесс термомодифицирования известен из смежных областей: используется в производстве термодревесины [2,5,10,13,16] и при обработке наполнителя в производстве древесных композитов [1,6,12,15].

Чем же обусловлен такой интерес к этому виду топлива?

Во-первых, топливные гранулы, как производные от древесины, является безопасной сырьем. А такое топливо как нефть и газ, с каждым годом растут в цене и, наконец, закончатся.

Во-вторых, гранулы из древесины имеют высокую энергоконцентрацию при незначительном объеме, который они занимают.

В-третьих, пепел может использоваться как удобрение. Зола составляет до 1% от веса топлива. Пепел удаляется в современных печах и котлах два раза в год.

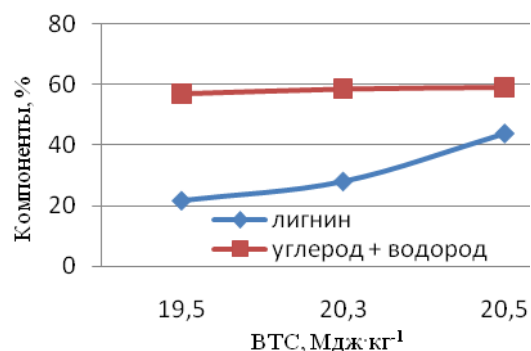
В-четвертых, поскольку гранулы имеют высокую насыпную массу, следовательно, не требуется много места для складирования. Например для отопления гранулами дома площадью 150 м<sup>3</sup> нужно всего 7,5 м<sup>3</sup> гранул на один год.

При изготовлении топливных гранул исходное сырье сначала измельчается, а затем гранулируется. Учитываются такие параметры:

**Таблица 4 - Структурные анализы образцов древесины**

|                         | Лиственная | Хвойная | Древесная кора |
|-------------------------|------------|---------|----------------|
| Гемицеллюлоза           | 31,3       | 24,4    | 29,8           |
| Целлюлоза               | 45,2       | 45,8    | 24,8           |
| Лигнин                  | 21,7       | 28      | 43,8           |
| углерод                 | 50,6       | 52,4    | 53,1           |
| водород                 | 6,3        | 6,2     | 6,1            |
| кислород                | 42,7       | 41,2    | 40,6           |
| азот                    | 0,4        | 0,2     | 0,2            |
| зола                    | 2,7        | 1,7     | 1,6            |
| высшая теплота сгорания | 19,5       | 20,3    | 20,5           |

Высшую теплоту сгорания можно сравнить с данным химическим составом, используя линейную регрессию. На основании литературных источников мы установили линейную зависимость между высшей теплотой сгорания (ВТС) и содержанием углерода. На рис.2 представлен линейный регрессионный анализ исследуемых образцов (пеллеты из древесины) с содержанием лигнина.



**Рис. 2 - График зависимости высшей теплоты сгорания исследуемых образцов (пеллеты из древесины) по сравнению с процентным содержанием лигнина и углерода с водородом**

## Результаты и дискуссии

На основании проведённых экспериментальных исследований было установлено, что гранулированное биотопливо (гранулы из лузги подсолнечника и топливные древесные пеллеты) имеет множество преимуществ по сравнению с традиционными видами топлива. Топливные гранулы из лузги подсолнечника по своим качествам не уступают опилочным гранулам, то есть они более экономичны, эргономичны и горение их в топке котла более эффективно. Таким образом можно утверждать, что наиболее эффективным способом производства твёрдого биотоплива является гранулирование. Благодаря вышеперечисленным качествам, гранулы из лузги подсолнечника обладают высокой конкурентоспособностью по сравнению с другими видами топлива и могут быть широко использованы.

## Литература

1. Syunyaev R.Z. The influence of internal structure and dispersity to structural-mechanical properties of oil systems / Syunyaev R.Z., Safieva R.Z., Safin R.R // Journal of Petroleum Science and Engineering. - 2000. - Т. 26. № 1-4 - С. 31-39.
2. Сафин Р.Р. Разработка новой технологии получения термодревесины / Сафин Р.Р., Белякова Е.А., Разумов Е.Ю // Вестник Казанского технологического университета. - 2011. - № 1 - С. 157-162.
3. Сафин Р.Р. Новые подходы к совершенствованию вакуумно-конвективных технологий сушки древесины / Сафин Р.Р., Хасаншин Р.Р., Сафин Р.Г., Каинов П.А // Деревообрабатывающая промышленность. - 2005. - № 5 - С. 16.
4. Сафин Р.Р. Математическая модель конвективной сушки коллоидных капиллярно-пористых материалов при давлении ниже атмосферного / Сафин Р.Р., Хасаншин Р.Р., Сафин Р.Г // Вестник Казанского технологического университета. - 2005. - № 1 - С. 266.
5. Разумов Е.Ю. Исследование изменения химического состава древесины, подвергнутой термомодифицированию с помощью ик-спектрометра / Разумов Е.Ю., Хасаншин Р.Р., Сафин Р.Р., Кайнов П.А // Вестник Казанского технологического университета. - 2010. - № 10 - С. 100-103.
6. Хасаншин Р.Р. Повышение эксплуатационных характеристик композиционных материалов на основе термически модифицированной древесины / Хасаншин Р.Р., Сафин Р.Р., Валиев Ф.Г., Данилова Р.В // Вестник Казанского технологического университета. - 2012. - Т. 15. № 7 - С. 64-66.
7. Сафин Р.Р. Экспериментальные исследования осциллирующей сушки в гидрофильных жидкостях / Сафин Р.Р., Хасаншин Р.Р., Галяветдинов Н.Р., Валиев Ф.Г // Известия высших учебных заведений. Серия: Химия и химическая технология. - 2008. - Т. 51. № 12 - С. 104-106.
8. Сафин Р.Р. Исследование совмещённой сушки-пропитки массивных капиллярно-пористых коллоидных материалов / Сафин Р.Р., Сафин Р.Г., Галяветдинов Н.Р., Иманаев Р.М // Вестник Казанского технологического университета. 2006. № 6. С. 78.
9. Сафин Р.Р. Вакуумно-конвективная сушка: Монография [Текст] / Р.Р. Сафин. - Казань: КНИТУ, 2009.
10. Сафин Р.Р. Вакуумно-конвективное термомодифицирование древесины в среде перегретого пара / Сафин Р.Р., Сафин Р.Г., Шайхутдинова А.Р // Вестник Казанского технологического университета. - 2011. - № 6 - С. 93-99.
11. Сафин Р.Р. Математическое моделирование процесса пиролиза древесины при регулировании давления среды / Сафин Р.Р., Валеев И.А., Сафин Р.Г // Вестник Московского государственного университета леса - Лесной вестник. - 2005. - № 2 - С. 168-173.
12. Сафин Р.Р. Разработка технологии создания влагостойкой фанеры / Сафин Р.Р., Хасаншин Р.Р., Зиятдинов Р.Р., Зиятдинова А.Р // Вестник Казанского технологического университета. - 2012. - Т. 15. № 20 - С. 64-65.
13. Сафин Р.Р. Исследование термомодифицирования древесины в среде топочных газов / Сафин Р.Р., Разумов Е.Ю // Деревообрабатывающая промышленность. - 2012. - № 1 - С. 015-018.
14. Сафин Р.Р. Математическая модель процесса конвективной сушки пиломатериалов в разряжённой среде / Сафин Р.Р., Хасаншин Р.Р., Сафин Р.Г // Известия высших учебных заведений. Лесной журнал. - 2006. - № 4 - С. 64-71.
15. Хасаншин Р.Р. Термическая обработка наполнителя в производстве композиционных материалов / Хасаншин Р.Р., Лашков В.А., Сафин Р.Р., Валиев Ф.Г // Вестник Казанского технологического университета. - 2011. - № 20 - С. 150-154.
16. Сафин Р.Р. Исследование вакуумно-кондуктивного термомодифицирования древесины / Сафин Р.Р., Разумов Е.Ю., Герасимов М.К., Ахметова Д.А // Деревообрабатывающая промышленность. - 2009. - № 3 - С.9.

© А. Х. Шаяхметова - асс. каф. архитектуры и дизайна изделий из древесины КНИТУ, ShayaAlbina@mail.ru; А. Л. Тимербаева – асп. той же кафедры; Р. В. Борисова – студ. той же кафедры.

© А. Н. Shayakhmetova, assistant of the Department architecture and the design of articles made of the wood, KNRTU, ShayaAlbina@mail.ru; А. Л. Timerbaeva, post graduate of the Department architecture and the design of articles made of the wood, KNRTU; R.V Borisova, student of the Department architecture and the design of articles made of the wood, KNRTU.