

**V Всероссийская (с международным участием) молодежная
научно-практическая конференция «ЭНЕРГОСТАРТ»**

109-1

20-22 октября 2022 года

УДК 62-662.5

Д.Ж. Рахмет, студентка гр. ТЭ-202 (Торайгыров университет)
г. Павлодар, Казахстан

В.В. Однодворец, студент гр. ТЭ-202 (Торайгыров университет)
г. Павлодар, Казахстан

Научный руководитель Ш.М. Нуркина, магистр, старший преподаватель
(Торайгыров университет) г. Павлодар, Казахстан

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ТОПЛИВНЫХ
БИОБРИКЕТОВ**

Традиционные формы энергии ускорили технологическое развитие человечества, но их основной недостаток заключается в загрязнении окружающей среды. Безудержное потребление этих ограниченных и невозобновляемых ресурсов в настоящее время вызывает необходимость поиска и применения новых экологически устойчивых источников энергии.

Однако в ряде стран приоритет в настоящем времени имеет даже не столько климатическая повестка, сколько вопросы локального качества воздуха, особенно в крупных городах, где это действительно становится серьезной социальной проблемой. И политика декарбонизации, и борьба с локальными загрязнениями атмосферы увеличивают интерес правительства к возобновляемым источникам энергии (ВИЭ) [1].

В последнее время уделяется все большее внимание вопросам получения альтернативного экологически чистого топлива из возобновляемого природного сырья – биомассы. Вклад биомассы в мировой энергобаланс оценивается в 10-15 %, достигая в отдельных странах 23 % (Финляндия). Ежегодный прирост биомассы на земле составляет 220 млрд. тонн, что позволяет запасать в виде энергии химических связей до 4×10^{21} Дж энергии [2].

Биомасса стала важным энергетическим ресурсом благодаря низкой стоимости производства, а также своим химическим, физическим и, что наиболее важно, теплотворным свойствам, и может стать жизнеспособной альтернативой углю для промышленного производства энергии и отопления. Кроме того, переход к сжиганию биомассы может помочь снизить общие выбросы парниковых газов и кислых газов. При экологически чистом производстве биомасса выделяет примерно такое же количество углерода во время преобразования, какое поглощается во время

V Всероссийская (с международным участием) молодежная научно-практическая конференция «ЭНЕРГОСТАРТ»

109-2

20-22 октября 2022 года

роста растений. Таким образом, использование биомассы не способствует накоплению CO_2 в атмосфере [3].

Энергия может быть получена при сжигании самых разнообразных остатков биомассы. Чаще всего используются отходы деревообработки (опилки, щепа, стружка и др.), сельского хозяйства (сено, солома, сосновые иголки, листья, шелуха семян - подсолнечника, риса, гречки и др.), бытовые и промышленные отходы. Как правило, эти формы отходов могут быть преобразованы в брикеты, стружку или гранулы [4].

Целью нашего исследования было определение характеристик топливных биобрикетов и возможности их дальнейшего энергетического использования.

В ходе исследования были поставлены следующие задачи:

- 1) выбор сельскохозяйственных отходов, используемых в качестве сырья для получения брикетного топлива;
- 2) проведение экспериментов, в ходе которых будут определены физико-механические и теплофизические свойства топливных брикетов;
- 3) анализ полученных данных и выводы.

В качестве сырья были выбраны отходы сельского хозяйства: лузга подсолнечника, лузга гречихи; а также листья (тополиные) и отходы промышленного производства в виде коксовой мелочи. Выбор этих материалов обусловлен тем, что Казахстан ежегодно производит более 5 млн. тонн сельхозяйственных отходов [5], а также тем, что данный вид отходов характерен для Павлодарской области.

Для изготовления брикетов использовался состав из разных видов сырья в определенной пропорции. Далее смесь массой 10 г подвергалась сжатию гидравлическим прессом с постоянным давлением 25 МПа. Полученные брикеты представлены на рис. 1 и 2.



а) лузга гречихи (мелкая фракция):
лузга подсолнечника (70:30)



б) лузга гречихи (крупная фракция):
лузга подсолнечника (70:30)

V Всероссийская (с международным участием) молодежная научно-практическая конференция «ЭНЕРГОСТАРТ»

109-3

20-22 октября 2022 года



в) лузга гречихи (мелкая фракция): листья (70:30)

г) лузга гречихи (крупная фракция): листья (70:30)

д) листья и лузга подсолнечника (70:30)

Рис. 1 – Брикеты из органической массы



а) листья: коксовая мелочь (70:30) б) листья: коксовая мелочь (30:70)

Рис. 2 – Биоугольные брикеты

Брикеты имеют цилиндрическую форму, некоторые образцы осыпаются при механическом воздействии. В зависимости от состава образцов хрупкость и сыпучесть сильно отличается. Брикеты, имеющие в составе неизмельченную гречиху, легко осыпаются. В свою очередь образцы, имеющие в составе преобладающие количество листвы (70 %), более прочные, не осыпаются и меньше подвержены деформации.

Полученные образцы брикетов выдерживались при комнатной температуре 24 часа для того, чтобы влажность была распределена по всему объему брикетов.

По истечению 24 часов были проведены измерения диаметра, высоты и массы брикетов, которые предоставлены в таблице 1.

Таблица 1
Физические параметры брикетов

Тип брикета (состав)	Масса m, кг	Диаметр d, м	Высота h, м	Плотность p, кг/ м ³
1 Лузга гречихи (мелкая фракция): лузга подсолнечника (70:30)	0,0095	0,030	0,011	1222,415
2 Лузга гречихи (крупная фракция): лузга подсолнечника (70:30)	0,0097	0,030	0,013	1056,127

**V Всероссийская (с международным участием) молодежная
научно-практическая конференция «ЭНЕРГОСТАРТ»**

109-4

20-22 октября 2022 года

3 Лузга гречихи (мелкая фракция): листья (70:30)	0,0098	0,030	0,013	1067,015
4 Лузга гречихи (крупная фракция): листья (70:30)	0,0097	0,030	0,013	1056,127
5 Листья: лузга подсолнечника (70:30)	0,0097	0,030	0,010	1358,811
6 Листья: коксовая мелочь (70:30)	0,0097	0,030	0,010	1372,965
7 Листья: коксовая мелочь (30:70)	0,0096	0,030	0,010	1358,811

Анализ полученных данных показывает, что на плотность брикетов влияет:

1) прочность сцепления частиц, которая зависит от фракции частиц – мелкая фракция лузги гречихи позволяет получить более плотный брикет (образцы 1, 3);

2) количество связующего материала; из эксперимента видно, что более плотными оказались брикеты, содержащие большее (70 %) количество листьев, имеющей в своем составе связующее вещество – лигнин (образцы 5 и 6).

Влажность брикетов определяли путем помещения пробы массой 1 г в муфельную печь при температуре 105-110 °C [6]. Пробу выдерживали 60 минут. По истечении времени сушки пробу остужали в помещении, а затем в эксикаторе до комнатной температуры. Далее проводили взвешивание, после которого проводили контрольную сушку.

Зольность определяли путем помещения аналитической пробы топлива массой 1 грамм в муфельную печь при температуре 800±25 °C [7]. При открытой дверце выдерживали 3 минуты, затем тигли продвигали в центр муфеля со скоростью 2 см/мин и закрывали крышку тигля. Через 35 минут остужали при комнатной температуре около 5 минут и далее в эксикаторе до комнатной температуры.

Для определения выхода летучих в соответствии с [8] помещали 1 г топлива в муфельную печь при температуре 860 °C и выдерживали 7 минут. По истечению этого времени тигли с пробой топлива охлаждали на открытом воздухе в течение 5 минут, а затем в эксикаторе до комнатной температуры.

Результаты экспериментов представлены в таблице 2.

Для расчета теплоты сгорания можно воспользоваться формулой, основанной на результатах технического анализа [9]:

$$Q = 19,914 - 0,2324 \cdot A^a, \text{ МДж/кг.}$$

**V Всероссийская (с международным участием) молодежная
научно-практическая конференция «ЭНЕРГОСТАРТ»**

109-5

20-22 октября 2022 года

Данное уравнение с некоторой долей допущения можно использовать в экспериментах с отходами сельского хозяйства для получения полукачественных оценочных значений [10]. Результаты расчетов представлены в таблице 2.

Таблица 2
Топливные характеристики брикетов

Тип брикета (состав)	Влажность W^a , %	Зольность A^a , %	Выход летучих V^d , %	Теплота сгорания Q , Мдж/кг
1	2	3	4	5
1 Лузга гречихи (мелкая фракция): лузга подсолнечника (70:30)	4,5	3,5	74,1	19,1
2 Лузга гречихи (крупная фракция): лузга подсолнечника (70:30)	5,5	3,0	76,2	19,2
3 Лузга гречихи (мелкая фракция): листья (70:30)	4,5	4,0	76,9	18,9

Продолжение табл.2

1	2	3	4	5
4 Лузга гречихи (крупная фракция): листья (70:30)	4,5	5,5	74,9	18,6
5 Листья: лузга подсолнечника (70:30)	4	7,5	76,6	18,2
6 Листья: коксовая мелочь (70:30)	3,5	4,0	55,4	18,9
7 Листья: коксовая мелочь (30:70)	1,5	8,0	25,9	18,1

В ходе опытов мы выявили, что влажность брикетов варьируется от 1,5 % в биоугольном брикете с большим содержанием коксовой мелочи до 5,5 % в брикете из лузги гречихи крупной фракции и лузги подсолнечника (70:30).

Самый высокий процент зольности доходит до 8 % в образце, который содержит 70 % коксовой мелочи.

Минимальный процент выхода летучих (25,9 %) имеется у пробы, в содержании которой преобладают неорганические вещества. Вместе с тем, образцы, содержащие в своем составе большую часть органических веществ, имеют высокий процент (73,5%) выхода летучих. При сравнении 6 и 7 образцов выяснилось, что процент выхода летучих напрямую зависит от процентного содержания в составе образцов коксовой мелочи. В образцах, содержащих 70 % листьев, выход летучих снижается с 76,6 % в пятом

V Всероссийская (с международным участием) молодежная научно-практическая конференция «ЭНЕРГОСТАРТ»

109-6

20-22 октября 2022 года

образце до 55,4 % в шестом, так как в последнем присутствует коксовая мелочь.

Сравнение полученных нами результатов с требованиями европейских стандартов (ONorm M 7135, SS 18 71 20, Din 51731/Din Plus) [11], показало, что наши брикеты соответствуют европейским стандартам за исключением процента зольности. Но и зольность имеет более низкие значения чем ископаемые виды топлива (от 10 до 45 % для каменных углей).

Оценочные расчеты теплоты сгорания исследуемых образцов оказались сопоставимы с результатами экспериментальных определений данной характеристики, приводимыми различными авторами [12-14]: лузга подсолнечника – от 14,3 до 21,0 МДж/кг; лузга гречихи – от 15,82 до 17,0 МДж/кг; листья – от 8,8 до 19,5 МДж/кг.

Анализируя характеристики полученных брикетов и Экибастузского угля ($W^a = 6,5 \%$, $A^a = 36,9 \%$, $V^d = 25 \%$, $Q = 17,38 \text{ МДж/кг}$) [15], можно заключить, что биобрикеты превосходят по этим показателям Экибастузский уголь.

На основании проведенных экспериментальных исследований мы пришли к выводу, что брикет из листьев и коксовой мелочи является более выгодным вариантом брикетного топлива из всех изготовленных нами брикетов:

- 1) прост в производстве и его можно производить в массовом количестве;
- 2) имеет высокую плотность, что положительно сказывается на его транспортировке и хранении;
- 3) соответствует требованиям европейских стандартов по показателям плотности, влажности и теплотворной способности как одной важных характеристик ценности топлива.

Благодаря вышеперечисленным достоинствам данный брикет имеет высокую конкурентоспособность по сравнению с другими видами брикетного топлива.

Список литературы:

1. Прогноз развития энергетики мира и России 2019 / под ред. Макарова А.А., Митровой Т.А., Кулагина В. А; ТНЭИ РАН-Московская школа управления СКОЛКОВО – Москва, 2019, 210 с.
2. Шахматов К.Л. Особенности получения топливных брикетов и гранул биомассы тростника (*Phragmites australis*) выработанного торфяного

**V Всероссийская (с международным участием) молодежная
научно-практическая конференция «ЭНЕРГОСТАРТ»**

109-7

20-22 октября 2022 года

месторождения Чувицино Калининского района Тверской области // Труды Инсторфа. – 2014, №10 (63). – С. 29-33.

3. H. Kim, S. Kazuhiko, S. Masayoshi, Biomass briquette as a technology for desulphurizing and energy saving, Renewable Energy Journal, Vol. 8, Pp. 33-75, 2001.

4. Espinoza-Tellez, T.; Bastias, J.; Quevedo-Leon, R.; Valencia-Aguilar, E.; Aburto, H.; Diaz-Guineo, D.; Ibarra-Garnica M.; Diaz-Carrasco O. 2020. Agricultural, forestry, textile and food waste used in the manufacture of biomass briquettes: a review. Scientia Agropecuaria 11(3): 427-437.

5. <https://www.ebrd.com/documents/agribusiness/opportunities-in-the-kazakh-agribusiness-sector-russian-version-report.pdf>

6. ГОСТ Р 54186-2010 EN 14774-1:2009. Биотопливо твёрдое. Определение содержания влаги высушиванием. – М., 2010, 8 с.

7. ГОСТ Р 55661-2013 ISO 1171:2010. Биотопливо твёрдое. Определение зольности. – М., 2010, 8 с.

8. ГОСТ 32990-2014 EN 15148:2009. Биотопливо твердое. Определение выхода летучих веществ. – М., 2015, 12 с.

9. Sheng C., Azevedo J.L.T/ Biomass and Bioenergy, 2005, vol. 28, Pp. 499-507.

10. Бычков А.Л., Денькин А.И., Тихова В.Д., Ломовский О.И. Расчет теплоты сгорания лигноцеллюлозы на основании данных элементного анализа // Химия растительного сырья. – 2014, №3. – С. 99-104.

11. http://bioresource.com.ua/index.php?option=com_content&view=article&id=87&Itemid=27

12. Чмель В.Н. Использование биомассы в качестве альтернативного топлива // Альтернативная энергетика и экология. – 2012, №8 (112). – С. 60-65.

13. Шаяхметова А. Х., Тимербаева А. Л., Борисова Р. В. Сравнительные характеристики пеллет из лузги подсолнечника и древесных пеллет // Вестник Казанского технологического университета. – 2015, Т.18, №2. – С. 243-246.

14. Осьмак А.А., Серёгин А.А. Растительная биомасса как органическое топливо // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2012, № 2/8 (68). – С. 57-61.

15. Аскарова А.С., Мессерле В.Е., Устименко А.Б., Болегенова С.А., Максимов В.Ю. Численное моделирование процесса горения угля, инициируемого плазменным источником // Теплофизика и аэромеханика. – 2014, том 21, №6. – С. 779-786.

**V Всероссийская (с международным участием) молодежная
научно-практическая конференция «ЭНЕРГОСТАРТ»**

109-8

20-22 октября 2022 года

Информация об авторах:

1. Д.Ж. Рахмет, студентка гр. ТЭ-202 (Торайгыров университет), 140000, Казахстан, г. Павлодар, ул. Ломова, д. 64, dariyarakhmet2017@gmail.com
2. В.В. Однодворец, студент гр. ТЭ-202 (Торайгыров университет), 140000, Казахстан, г. Павлодар, ул. Ломова, д. 64, sen1or00@mail.ru
3. Ш.М. Нуркина, магистр, старший преподаватель (Торайгыров университет), 140000, Казахстан, г. Павлодар, ул. Ломова, д. 64, sholpan_shupeeva@mail.ru