

Физико-химические свойства топливных гранул, полученных из отходов переработки зерна

Как известно, традиционные виды топлива — нефть, газ, уголь — относятся к невозполнимым источникам энергии. Постоянный рост тарифов на традиционные виды топлива мотивирует активное внедрение альтернативных экологически чистых видов топлива из возобновляемых источников энергии. Одновременно все большей проблемой становится утилизация отходов промышленного и сельскохозяйственного производства. Удачным решением этих двух проблем является разработка технологии производства топливных гранул и брикетов из отходов деревообрабатывающей промышленности и сельского хозяйства [1]. И если топливные гранулы из отходов деревообработки получили широкое распространение в Европе, то отходы переработки зерна и крупы пока еще не столь популярны и их производство практически не освоено.

Организации по хранению и переработке зерна принимают от производителей и перерабатывают большое количество зерна. Количество отходов, образующихся при очистке зерна, можно определить исходя из госзаказа на закупку зерна (условно принимаем $M_z=1000000$ тонн зерна). В соответствии с Нормами технологического проектирования хлебоприемных предприятий и элеваторов, соотношение количества поступающего зерна по засоренности следует принимать:

- засоренностью с 3 до 5 — 40% зерна;
- засоренностью свыше 5 — 60% зерна.

Количество отходов, получаемых при очистке зерна с засоренностью 4% (среднее значение по засоренности), составит:

$$M_{отх.1} = \frac{1000000 \times 0,4 \times 4}{100} = 16000m;$$

Количество отходов, получаемых при очистке зерна с засоренностью свыше 5%, составит:

$$M_{отх.2} = \frac{1000000 \times 0,6 \times 5}{100} = 30000m;$$

Суммарно ориентировочное количество негодных отходов, образующихся при очистке 1000000 тонн зерна, составляет:

$$M_{отх} = 16000 + 30000 = 46000 \text{ т}$$

Таким образом, из приведенного примера видно, что



организации системы хлебопродуктов располагают значительным количеством отходов, которые могут быть использованы в качестве биотоплива. Располагая существенными объемами отходов переработки зерна и сталкиваясь с проблемами их утилизации, отраслевые предприятия могут развивать производство топливных гранул, тем самым уменьшая энергоемкость основного производства и обеспечивая комплексную переработку сырья.

Такой подход является наиболее приемлемым для обеспечения энергобезопасности нашей страны в рамках отдельной отрасли.

Для Республики Беларусь на данном этапе развития проблема доступа к недорогим и возобновляемым источникам энергии является актуальной и первостепенной задачей.

Институтом ГУ «НИПТИХлебопродукт» совместно со специалистами ОАО «Витебский комбинат хлебопродуктов» была разработана и спроектирована опытная технологическая линия производства топливных гранул из зерновых отходов элеваторов на основе технологии производства гранулированных комбикормов. Топливные гранулы, полученные на этой опытной установке, были испытаны в НИИ физико-химических проблем Белгосуниверситета.

Таблица 1. Основные характеристики топливных гранул из отходов зернопереработки в рабочем состоянии (г).

№ образца	Состав гранул	W ^г	A ^г	S ^г	Cl ^г	Q _i ^г , МДж/кг
		%				
1	Отходы зернопереработки 3-й категории, содержащие ость, колосья, стебли соломы, лузгу, семена дикорастущих растений, минеральные примеси, металломагнитные примеси, цветочную пленку, а также до 2% зерна	11,55	5,98	0,22	0,20	15,03
2	Отходы зернопереработки 2-й категории, содержащие ость, колосья, стебли соломы, лузгу, семена дикорастущих растений, минеральные примеси, металломагнитные примеси, цветочную пленку, спорыню, а также более 2% зерна.	8,32	11,64	0,20	0,18	14,84
3	Отходы зернопереработки 3-й категории, содержащие в основном солому и колосья, а также до 2% зерна.	10,60	7,86	0,19	0,56	14,86

Таблица 2. Зольность, элементный состав и низшая теплота сгорания различных видов твердого биотоплива в пересчете на сухое вещество (d).

Вид биотоплива	A ^d	C ^d	H ^d	N ^d	S ^d	Cl ^d	Q _i ^d
	%						МДж/кг
Щепа древесная	0,3 — 6,0	48,6 — 54,2	5,4 — 6,2	0,03 — 0,4	0,03 — 0,07	—	17,2 — 20,2
Солома	5,8 — 7,0	44,5 — 46,8	5,4 — 5,8	0,5 — 0,8	0,1 — 0,7	0,5 — 1,0	16,5 — 17,5
Отходы зернопереработки	6,7 — 12,7	42,7 — 45,2	5,4 — 5,9	1,8 — 2,1	0,1 — 0,3	0,1 — 0,6	16,3 — 17,3

Экспериментальная часть. Исследовались три образца топливных гранул, полученные из различных отходов зернопереработки (табл. 1). Перед испытаниями гранулы измельчали и просеивали через сито с диаметром отверстий 1 мм. Для каждой пробы топлива были проведены измерения влажности, зольности, теплоты сгорания и содержания элементов.

Влажность (W) измерялась путем высушивания навески топлива массой 5 — 7 г при 105 — 110 °С. Все последующие эксперименты с образцами проводились с одновременным контролем их влажности.

Зольность (A) определялась по [2] путем прокалывания предварительно обугленной навески топлива при 815 °С в течение 60 мин.

Теплота сгорания (Q) измерялась в бомбовом изопериболическом калориметре В-08МА с изотермической водяной оболочкой [3]. Образцы сжигались в жаропрочных стальных тиглях в виде спрессованных на воздухе таблеток массой ~ 1 г. В качестве запала использовалась медная проволока диаметром 0,5 мм. Расчет высшей и низшей (Q_i) теплоты сгорания проводился на основании данных калориметрического опыта по формулам, приведенным в [4].

Массовая доля серы (S) определялась гравиметрическим методом [5] в промывных водах калориметрической бомбы, получаемых после сжигания навески топлива при измерении теплоты сгорания. Для отдельных проб содержание серы устанавливалось также на элементном анализаторе. Полученные двумя различными методами массовые доли серы для одних и тех же образцов сходились в пределах погрешности эксперимента.

Массовая доля хлора (Cl) определялась меркуриметрическим титрованием промывных вод калориметрической бомбы нитратом ртути с использованием в качестве индикатора дифенилкарбазона в соответствии с [6].

Элементный анализ серы, углерода, азота и водорода (S, C, N, H) проводился путем сжигания навесок массой 6 — 10 мг в токе кислорода с последующим улавливанием продуктов сгорания поглотителями в анализаторе VarioEL III (Elementar Analysensysteme GmbH). В качестве эталонного вещества использовалась сульфаниловая кислота. Содержание кислорода (O) рассчитывалось как 100 — S — C — N — H — A.

Содержание элементов в золе устанавливалось на атомно-эмиссионном спектрометре с индуктивно-связанной плазмой IRIS Intrepid для пробы, растворенной в смеси концентрированной азотной кислоты и перекиси водорода. Количество кремния рассчитывалось как разность 100% — все обнаруженные элементы, включая серу.

Для измерения влажности, зольности и элементного состава выполнялось по три параллельных определения, для теплоты сгорания, содержания серы и хлора — по два. За результат испытания принималось среднее арифметическое значение. Результаты экспериментальных исследований топливных характеристик гранул представлены в таблицах 1 — 4.

Результаты и обсуждение. Значения низшей теплоты сгорания рабочего топлива для всех образцов зерноотходов (табл. 1) незначительно отличаются между собой, максимальное расхождение составляет всего 200 кДж/кг. Это позволяет легко поддерживать и регулировать рабочие режимы котлов при использовании такого топлива. Различия в значениях зольности и влажности между образцами №1, 3 и 2 связано с большим содержанием в последнем посторонних минеральных примесей, имеющих более низкую гигроскопичность. Повышенное содержание хлора в 3-м образце связано с повышенной долей в нем соломы.

В таблице 2 представлены данные по элементному составу и свойствам абсолютно сухих зерноотходов, суммированные с аналогичными характеристиками ранее исследованных [7] близких по природе твердых биотоплив. Основным отличием зерноотходов от других биотоплив являются более высокие значения зольности, связанные с тем, что после выделения муки в отходах концентрируются все примеси исходного зерна. Это приводит к тому, что значения низшей теплоты сгорания в сухом состоянии для зерноотходов и соломы примерно одинаковы. Однако, в отличие от соломы, зерноотходы содержат меньше воды и вредных элементов — серы и хлора.

Практически значимым является сравнение топливных характеристик различных видов твердых биотопливо в рабочем состоянии (табл. 3). Представленные данные наглядно свидетельствуют об эффективности грануляции отходов зернопереработки (рис. 1), которая позволяет полу-

Таблица 3. Характеристики твердого биотоплива в рабочем состоянии (г).

Вид биотоплива	A ^г	S ^г	Cl ^г	W ^г	Насыпная плотность кг/м ³	Q _i ^г	
	%					МДж/м ³	МДж/кг
Щепа древесная	0,3 — 4	0,04	—	40	~ 400	~ 4,0	8,5 — 11,5
Солома (спрессованная в рулоны)	4 — 7	0,1 — 0,5	0,3 — 0,8	15	~ 150	~ 2,2	13,6 — 14,7
Отходы зернопереработки (гранулированные)	7 — 12	0,1 — 0,3	0,1 — 0,6	8,3 — 11,6	~ 500	~ 7,5	14,8 — 15,1

чать топливо со стабильной величиной теплоты сгорания ($14,91 \pm 0,13$ МДж/кг), превышающей аналогичные величины для неподготовленного топлива

Рис. 1. Сравнение удельной и объемной энергоёмкости твердых отходов.



К тому же процесс гранулирования существенно увеличивает насыпную плотность топлива, что при дальнейшей работе с ним уменьшает как транспортные, так и производственные расходы.

В таблице 4 приведены данные по химическому составу золы образца №2 зерноотходов, имеющего наибольшее значение зольности. Для сравнения таблица дополнена

аналогичными данными для соломы и древесной щепы. Меньшее содержание в образце №2 калия и кальция при значительном количестве диоксида кремния (песка) связано с внешними технологическими минеральными загрязнениями.

Таблица 4. Химический состав золы твердого биотоплива, % масс.

	Отходы зернопереработки (образец №2)	Щепа древесная	Солома
Al ₂ O ₃	1,5	0,9	0,1
CaO	8,5	22,4	15,0
Fe ₂ O ₃	3,5	0,7	0,1
K ₂ O	4,8	12,2	29,4
MgO	3,7	4,3	3,1
Na ₂ O	0,6	1,4	0,8
P ₂ O ₅	4,9	2,3	3,8
SO ₃	4,3	7,1	12,8
SiO ₂	67,0	46,7	34,8
Другие	1,2	2,0	0,1

Закключение. Использование зерноотходов в качестве твердого топлива является утилизацией отходов с целью получения тепла и позволяет снижать энергоёмкость основного производства, поскольку 1 т зерноотходов эквивалентна 0,5 т.т.

Топливные гранулы из отходов зернопереработки имеют объемную энергоёмкость, которая в 1,9 – 3,4 раза превышает аналогичные величины для щепы и соломы, обеспечивая удобство и простоту их использования при снижении транспортных затрат.

**В.В. Котусов, к.б.н., ГУ «НИПТИхлебопродукт»,
С.В. Самусенко, ОАО «Витебский комбинат хлебопродуктов»,
Ю.В. Максимук, к.х.н., В.Н. Куревич,
НИИ физико-химических проблем БГУ**

Литература

1. Бородуля В.А., Пальченко Г.И. Денсифицированное топливо — энергетическая альтернатива для Беларуси: потенциал, проблемы и перспективы // Энергоэффективность — 2002. — №11. — с. 6 — 7, №12. — с. 14 — 15.
2. ГОСТ 11022-95 (ИСО 1171-81). Топливо твердое минеральное. Методы определения зольности — Взамен ГОСТ 11022-90; Введ. 01.01.97.
3. Воробьев Л.И., Грищенко Т.Г., Декуша Л.В. Бомбовые калориметры для определения теплоты сгорания топлива // Инж.- физ. журнал. — 1997. — Т. 70, №5. — с. 828 — 839.
4. ГОСТ 147-95. Топливо твердое минеральное. Определение высшей теплоты сгорания и вычисление низшей теплоты сгорания. — Взамен ГОСТ 147-76; Введ. 01.01.97.
5. ГОСТ 8606-93. Топливо твердое минеральное. Определение общей серы. Метод Эшка — Взамен ГОСТ 8606-72; Введ. 01.07.2000.
6. ГОСТ 9326-2002 (ИСО 587-97). Топливо твердое минеральное. Методы определения хлора. — Взамен ГОСТ 9326-90; Введ. 01.09.2003.
7. Максимук Ю.В., Антонова З.А., Куревич В.Н. Энергоэффективность использования местных ресурсов в качестве твердого топлива // Природные ресурсы — 2007 — №4. — с. 89 — 94.