

## ЭНЕРГЕТИЧЕСКАЯ ЦЕЛЕСООБРАЗНОСТЬ ПРОИЗВОДСТВА ТВЕРДОГО БИОТОПЛИВА ИЗ ОПАВШИХ ЛИСТЬЕВ

*Ушаков Д.Е.\*, Карелин Д.В.*

*ФГБОУ ВПО «Новосибирский государственный архитектурно-строительный  
университет (Сибстрин)», г.Новосибирск*

### Введение

В настоящее время весьма актуальной проблемой в мире является использование возобновляемых источников энергии (ВИЭ) – энергии: биомассы, гидро, ветра, геотермальной, приливов, геотермальной. В последние годы доля возобновляемых источников энергии в общем объеме потребляемой энергии в мире составляет 13%. При этом на нефть приходится около 34%, на природный газ – 21%, каменный уголь – 25%, атомную энергию – 6.5% [1].

Биомасса представляет собой возобновляемый ресурс, ее переработка в топливо может осуществляться по нескольким альтернативным вариантам с различными финансовыми и энергетическими затратами. Задача состоит в выборе технологии и средств ее механизации, которые в условиях данного региона (района, местности) дадут максимальный эффект за счет использования собственной биомассы и технологических материалов, адаптации имеющегося оборудования и сооружений [2].

Прежде чем внедрять в широкое использование какой-то вид биотоплива требуется оценить целесообразность данного шага. Он имеет пять аспектов: энергетический, экономический, социальный, политический, экологический. Энергетическая оценка является первоначальным критерием, т.к. экономическая ситуация подвержена изменениям и этот показатель в долгосрочной перспективе нельзя считать надежным [3].

### Метод

В энергетический анализ входят все затраты включая выращивание древесных культур, восстановление плодородия почвы до первоначального уровня, сбор сырья, транспортировка до места переработки, производство топлива, адаптация оборудования к новому топливу, затраты на хранение. Сумма затрат всей технической энергии на каждой стадии соотносится с величиной полученной энергии при сжигании топлива и тем самым определяется дополнительная энергия [3]. Данная величина имеет несколько названий – энергетический коэффициент полезного действия (КПД) производства, энергетический баланс «*output/input*», *Energy Returned on Energy Invested (EROEI)*, технологическое топливное число (ТТЧ), чистый энергетический выигрыш (ЧЭВ), коэффициент энергетической эффективности (КЭЭ) и может быть представлен в следующем виде:

$$R = \frac{e}{\mathcal{E}}, \quad (1)$$

где  $e$  – энергосодержание (низшая теплота сгорания), МДж/кг (МДж/м<sup>3</sup>);

$\mathcal{E}$  – полная энергоемкость производства (энергетический эквивалент) биотоплива, МДж/кг (МДж/м<sup>3</sup>).

1) *Энергосодержание* определялось исходя из элементного состава для лигнина содержащих веществ [4] по формуле:

$$Q = 0.4373 \cdot C - 1.6701,$$

где  $C$  – содержание углерода в пересчете на сухое вещество, %.

Формула показывает высшую теплоту сгорания, поэтому производился пересчет для определения низшей теплоты сгорания.

2) Полная энергоемкость производства биотоплива определялась суммированием всех затрат на каждом производственном цикле.

2.1 Затраты на выращивание определены через количество ежегодно высаживаемых деревьев и мероприятия по их содержанию [5]. Основные затраты - транспортные. Сумма затрат за год в рублях по текущему тарифу пересчитана в количество топлива, которое в свою очередь переведено в количество энергии (выделяющееся при сжигании топлива) отнесенное к массе собираемых листьев (табл. 1).

**Таблица 1. Затраты по содержанию озелененных территорий за 2015 год.**

Деньги, млн. руб.	Объем топлива, литр	Энергия, МДж/кг
16.6	457 552	0.71

2.2 Затраты на восстановление плодородия почвы до первоначального уровня. Данная величина не определена (н/о) ввиду сложности оценки.

3, 4) Сбор сырья и транспортировка до места переработки. Место расположения предприятия по переработке в данный момент не локализовано. Примем, условно, что все листья вывозятся на полигон "Гусинобродский" МУП "САХ" расположенный на периферии города. За начальную точку принята наиболее удаленная в обслуживаемых районах. Расстояние с учетом поездки до полигона и обратно составит 32 км.

Затраты на сбор сырья приняты условно как 10 % от затрат на вывоз.

Общий расход тепла на транспортировку всех собранных листьев определялся по формуле:

$$Q_{\text{транс}} = q_{\text{тр}} \cdot S \cdot n_n,$$

где  $q_{\text{тр}}$  – затраты тепла на работу транспортного средства, МДж/км;

$n_n$  – число поездок, шт.;

$S$  – расстояние с учетом поездки до полигона и обратно, км.

Расход тепла на транспортировку 1 кг листьев определялась по формуле:

$$Q'_{\text{транс}} = \frac{Q_{\text{транс}}}{m_n},$$

где  $m_n$  – масса листьев собираемых в г.Новосибирске, кг;

$Q_{\text{транс}}$  – общий расход тепла на транспортировку всех собранных листьев, МДж.

5) Затраты на производство определялись по технологии изготовления брикетного топлива из древесной пыли, в связи с лабораторным подтверждением возможности такого изготовления. Это объясняется схожестью элементного состава. Данные о производственных мощностях взяты из типового предложения "Линии производства топливных брикетов из отходов деревообработки ООО "Завод Эко Технологий", г. Санкт-Петербург, 2015 г. (табл. 2).

**Таблица 2. Потребляемая мощность производства.**

Наименование участка	Установленная мощность, кВт
Участок приемки	50.8
Участок сушки	30.1
Участок брикетирования	59.1
Итого	140.0

Расход тепла на производство 1 кг биотоплива из листьев определен по формуле:

$$q_{\text{л}} = \frac{P}{n_{\text{пр}}},$$

где  $P$  – общая установленная мощность, Дж/ч;  
 $n_{np}$  – проектная мощность технологической линии, 450 кг/час.

Расчет не учитывает амортизацию и первоначальные затраты на устройство завода. Примем условно, что они суммарно составляют 100% затрат на производство.

б) *Затраты на адаптацию оборудования* в случае использования брикетов в дровяных печах отсутствуют, т.к. размер и режим горения брикетов аналогичен дровам.

7) *Затраты на хранение* обусловлены влажностным режимом. Как показали собственные лабораторные испытания брикеты из листьев поглощая влагу теряют форму. Данное явление характерно и для брикетов из древесных опилок. В связи с этим затраты на хранение состоят из упаковки и устройства сухих проветриваемых помещений. Затраты на упаковку определены как энергия, затраченная на изготовление термоусадочной пленки определена по формуле:

$$q_y = \frac{P_y}{n_y} \cdot m_{yn},$$

где  $P_y$  – общая мощность экструдера для производства термоусадочной пленки, МДж/ч;  
 $n_y$  – максимальная производительность экструдера, кг/час;  
 $m_y$  – масса пленки для упаковки одного килограмма брикетов, кг/кг.

Технические характеристики на экструдер приняты для производства полиэтиленовой пленки.

#### **Обсуждение результатов**

*Энергосодержание (низшая теплота сгорания) (e)* составила 13.85 МДж/кг. Стоит отметить, что теплотворная способность листьев уступает по величине топливным гранулам, дровам и некоторым видам топлива из органической массы (табл. 3).

**Таблица 3. Значения низшей теплоты сгорания твердых материалов.**

Вид топлива	Теплота сгорания, МДж/кг
Топливные гранулы	18.0
Дрова сухие	16.0
Лузга подсолнечника	15.7
Солома	14.4
Стебли подсолнечника	13.4
Солома зерновых и зернобобовых культур	12.6

*Полная энергоемкость производства биотоплива (Э)* представлена ниже (табл. 4).

**Таблица 4. Затраты по технологии древесных брикетов.**

№	Наименование	Энергоемкость, МДж/кг	Энергоемкость, %
1	Выращивание	0.71	24.8
2	Восстановление плодородия почвы до первоначального уровня	н/о	н/о
3	Сбор сырья	0.007	0.2
4	Транспортировка до места переработки	0.073	2.5
5	Производство топлива	1.68	58.6
6	Адаптация оборудования к новому топливу	-	-
7	Затраты на хранение	0.396	13.8
	Сумма затрат:	2.866	100

Основные затраты составляют производство и выращивание. При этом стоит отметить, что статьи затрат на выращивание, восстановление плодородия, сбор сырья и транспортировку экономически обеспечиваются муниципалитетом города, т.к. входят в перечень плановых работ в летний и осенний периоды [6].

*Коэффициент энергетической эффективности (R)* определенный по формуле (1) составил 4.8. Величина больше единицы говорит о том, что энергетически производство твердого биотоплива из опавших листьев целесообразно. Для сравнения авторы [7] приводят следующие КЭЭ различных топлив (табл. 5).

**Таблица 5. Коэффициент энергетической эффективности различных топлив.**

Тип топлива	Бензин или дизельные топлива	Каменный уголь	Торф	Древесные гранулы	Дрова	Солома
Показатель	4.2	4.9	3.8	8.2	14.6	14.8

Приведенные коэффициенты могут меняться в зависимости от влажности сырья [2].

### **Выводы**

Проведенный анализ в полной мере (исключая восстановление плодородия) отражает затраты на производство твердого биотоплива из опавших листьев. Полученный результат показывает, что производство брикетного топлива из данного вида сырья дает дополнительную энергию на выходе. Коэффициент энергетической эффективности (*R*) составляет 4.8.

### **Литература**

1. Артюшин А.А., Савельев Г.С. Будущее за биоэнергетикой / Сельскохозяйственные машины и технологии. – 2009. № 6. С. 34–39.
2. Басков В.Н., Колос В.А., Сапьян Ю.Н. Биотопливо из растительного сырья: производство, потребление, энергоэффективность / Сельскохозяйственные машины и технологии. – 2010. – № 6. – С. 13–18.
3. Булаткин Г.А., Оценка эффективности производства нетрадиционных и возобновляемых источников энергии // Вестник российской академии наук. – 2009. – Том 79 – № 7. – С. 608–616.
4. Бычков А.Л., Денькин А.И., Тихова В.Д. и др. Расчет теплоты сгорания лигноцеллюлозы на основании данных элементного анализа. // Химия растительного сырья. – 2014. – № 3. – С. 99.
5. Отчет о деятельности департамента энергетики, жилищного и коммунального хозяйства города за 2015 год. [Электронный ресурс] Режим доступа: <http://novosibirsk.ru/dep/energetics/news/36935/> (дата обращения 29.11.2016)
6. Санитарная очистка и уборка населенных мест: Справочник/ Мирный А. Н., Абрамов Н. Ф., Беньямовский Д. Н. и др.; Под ред. Мирного А. Н.—2-е изд., перераб. и доп. — М.: Стройиздат, –1990. — 413 С.
7. Колос В.А. и др. Методика расчета и минимизации энергоемкости продукции растениеводства // «Агропанорама». – 2007. – № 4.
8. Обзор состояния окружающей среды в городе Новосибирске за 2014 год. [Электронный ресурс] Режим доступа: [http://www.degkh.ru/ecology/overview\\_of\\_the\\_environment\\_in\\_novosibirsk/](http://www.degkh.ru/ecology/overview_of_the_environment_in_novosibirsk/) (дата обращения 09.11.2016).