

УДК 674:621.928.93

## ПРИМЕНЕНИЕ ТОНКОГО ПОМОЛА БИОМАССЫ ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ ТВЕРДОГО ТОПЛИВА В ВИДЕ БРИКЕТОВ ИЛИ ПЕЛЛЕТ

*Войтов В.А.*

*Дригуля С.В.*

*Бунецкий В.А.*

*Харьковский национальный технический университет сельского хозяйства  
им. П. Василенко*

*В работе изложены пути снижения энергозатрат при производстве твердого топлива из биомассы в виде брикетов или пеллет путем применения тонкого помола. Приведена оценка расходов электроэнергии на измельчение биомассы ударом и стиранием.*

*The paper ways to reduce energy consumption in the manufacture of solid fuels from biomass in the form of briquettes or pellets by applying a fine grind was described. The estimation of energy consumption for grinding of biomass impact and abrasion was presented.*

По заказу Национального агентства Украины по вопросам обеспечения эффективного использования энергетических ресурсов Институтом технической теплофизики НАН Украины в 2008 году был исследован и проанализирован потенциал нетрадиционных и возобновляемых источников энергии и выполнена оценка сельскохозяйственных отходов, отходов деревообработки, энергетических культур, биодизеля, биоэтанола, биогаза с отходов животноводства, торфа [1]. Как показали расчеты экономический потенциал биомассы в Украине, доступной для получения энергии, составляет 27 млн. тонн условного топлива на год [2].

Альтернативой отходам деревообработки для прессования топливных гранул (пеллет) являются сельскохозяйственные отходы (солома, лузга зерновых культур, риса, кукурузы, подсолнечника). Сельскохозяйственные отходы могут быть значительным источником твердого топлива для сельских регионов.

Наиболее экономически выгодным является использование твердого топлива из биомассы в виде брикетов или пеллет, т.к. это не требует замены котлов и экономит средства на транспортных расходах.

### *Анализ биомассы для изготовления твердого топлива в Украине*

Сельскохозяйственная биомасса, которая может использоваться как топливо, имеет ряд особенностей, которые отличаются от традиционных энергоресурсов. Некоторые характеристики биотоплива, в первую очередь такие, как плотность, размер частиц, специфика поверхности, с помощью измельчения и уплотнения могут быть изменены, при этом основные топливно-энергетические характеристики принято рассматривать как постоянные.

Наиболее важной топливно-энергетической характеристикой биомассы является ее теплотворная способность, которая зависит от множества факторов: генетических особенностей энергетических растений; влияния окружающей среды; условий хранения; влажности. В таблице 1 приведена средняя теплотворная способность биомассы при влажности на уровне 20% [1].

Таблица 1

**Средняя теплотворная способность биомассы**

Название биомассы	Теплотворная способность, МДж/кг
Солома зерновых культур	10,5
Стебли кукурузы	12,5
Ветки плодовых деревьев	10,5
Стебли подсолнечника	12,5
Виноградная лоза	14,5

В таблице 2 приведена сравнительная характеристика разных видов топлива и влияние влажности на теплотворную способность, а также содержание серы и золы [1].

Как следует из представленных таблиц 1 и 2 брикеты из отходов биомассы по теплотворной способности, а также содержанию серы и золы могут выступать хорошей альтернативой традиционным ископаемым видам топлива.

Таблица 2

**Сравнительная характеристика разных видов топлива**

Вид топлива	Влажность, %	Теплотворная способность, МДж/кг	Содержание серы, %	Содержание золы, %
Природный газ	-	35-38 МДж/м <sup>3</sup>	0	0
Каменный уголь	-	15-25	1-3	10-35
Дизельное топливо	-	42,5	0,2	1,0
Мазут		42	1,2	1,5
Отходы дерева, щепа	40-45	10,5-12,0	0	2,0
Брикеты из дерева	7-8	14,8-16,5	0,1	1,0
Брикеты из соломы	8-10	12,5-14,8	0,2	4,0

***Анализ технологических процессов получения твердого топлива из биомассы***

При производстве брикетов или пеллет большое значение на стоимость конечной продукции оказывает начальная влажность сырья. Анализ затрат показывает, что сушка сырья перед измельчением и прессованием занимает 34,2% общих затрат. Кроме того, сушка эффективна для измельченной биомассы.

Типовой технологический процесс производства брикетов и пеллет, который широко применяется в Западной Европе и Украине представлен на рис. 1, [3].

Анализ технологического процесса позволяет сделать вывод, что снижение энергозатрат на производство единицы продукции можно добиться, исключив сушку при одновременном перераспределении энергии на измельчение и прессование.

### *Цель работы*

Обосновать пути снижения энергозатрат при производстве твердого топлива из биомассы за счет применения тонкого помола.

### *Основной материал*

После предварительного измельчения биомассы с влажностью 20-30%, без применения сушки, выполняется тонкое измельчение. Такой путь позволяет получить уменьшение помола до значений 100-50 мкм при одновременной активации биомассы перед прессованием.

Мелкоизмельченная и одновременно активированная биомасса с влажностью 10-14% требует в 25 раз меньшей энергии при прессовании в шнековых прессах, где реализуется эффект снижения динамической вязкости биомассы за счет наличия больших скоростей сдвига.

В качестве устройства для измельчения биомассы может выступать дезинтегратор [4]. Научные основы применения дезинтегратора для измельчения строительных материалов разработаны Й.О. Хинтом, однако для измельчения биомассы, имеющей влажность до 20%, например соломы, используемый принцип удара – малоэффективен.

Поэтому была разработана конструкция дезинтегратора, где используются два принципа измельчения: удар и истирание одновременно. В начале измельчения в большей степени используется удар, на конечной стадии технической литературы позволяет выполнить ранжирование затрат при производстве твердого топлива [1, 2, 5]:

- стоимость сырья – 42,8%;
- предварительная сушка сырья – 34,2%;
- прессование – 13%;
- персонал – 2,8%;
- измельчение биомассы – 2,6%;
- общие затраты – 2%;
- хранение – 1,6%;
- охлаждение – 1,0%.

измельчения – в большей степени используется истирание. Такая конструкция позволяет снизить энергозатраты на измельчение при одновременном повышении качества помола.

На основании гипотез Риттингера и В.Н. Кирпичева [6] о механизмах измельчения твердых тел теоретическим путем нами были получены расчетные формулы для определения мощности на измельчение за счет удара,  $N_{y\partial}$ :

$$N_{y\partial} = \frac{\pi^2 \sigma^2 D_{cp} n l h \left( \frac{d_n}{d_k} - 1 \right)}{60E}, \quad (1)$$

где  $\sigma$  - временный предел прочности измельчаемого материала, Па;

$D_{cp}$  – средний диаметр помольной камеры (рабочего колеса), м;

$n$  – обороты ротора, об/мин;

$l$  – ширина помольной камеры (рабочего колеса), м;

$h$  – глубина помольной камеры (расстояние между рабочими колесами), м;

$d_n, d_k$  – начальный и конечный диаметр частиц, м;  
 $E$  – модуль упругости измельчаемого материала.

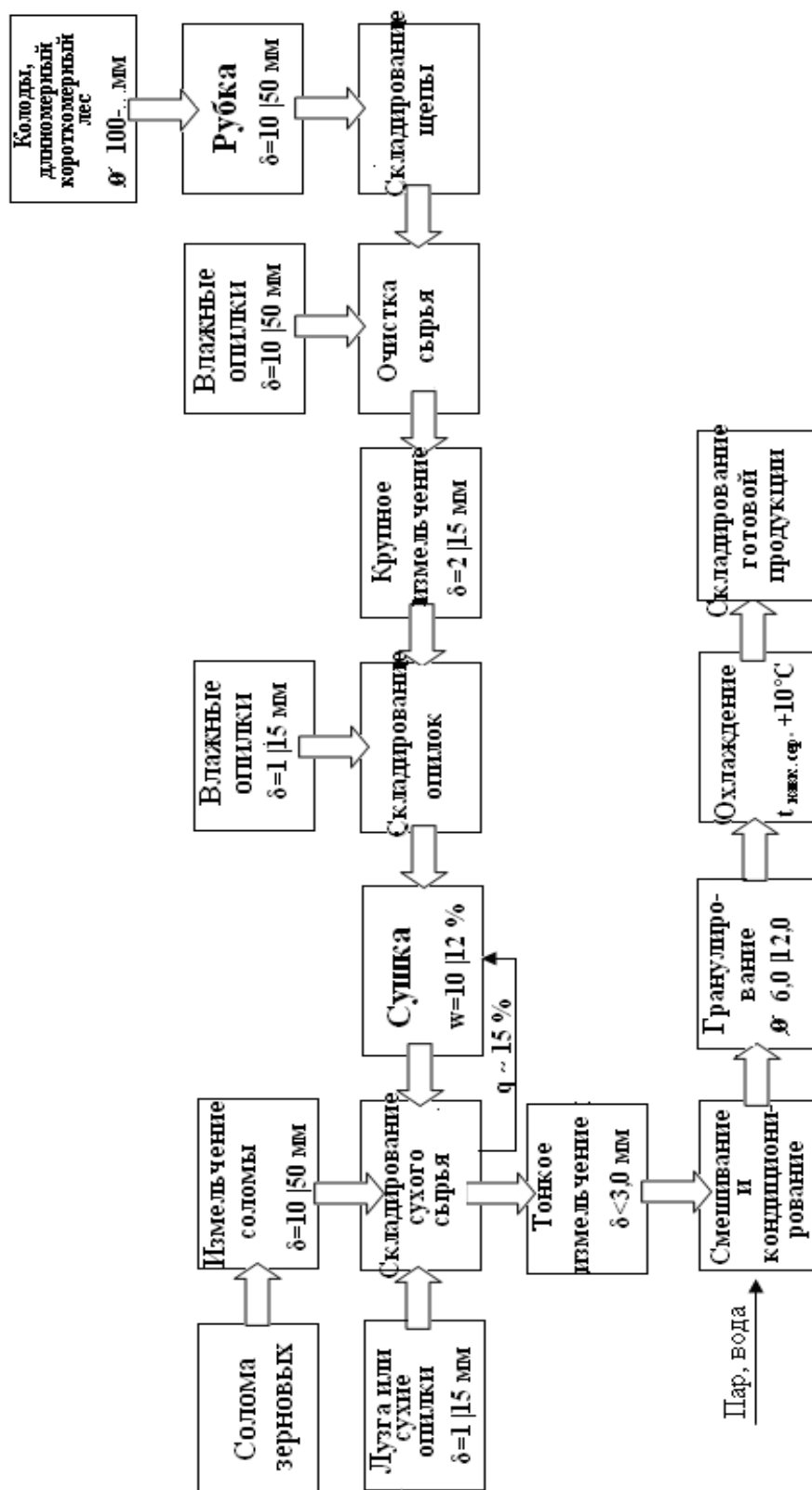


Рис. 1 Типовой технологический процесс получения твердого топлива

Минимальная скорость для измельчения материала за счет удара  $U_{y\partial}$ , определяется выражением:

$$U_{y\partial} = \sigma \sqrt{\frac{\left(\frac{d_n}{d_k} - 1\right)}{\rho E}}, \quad (2)$$

где  $\rho$  - плотность измельчаемого материала.

Расчеты по формулам (1) и (2) показывают, что для тонкого измельчения (до 50 мкм) биомассы (например, древесных отходов), скорость удара должна быть не менее 62 м/с, а затрачиваемая мощность составляет более 6,4 кВт.

Мощность затрачиваемая на измельчение за счет истирания:

$$N_{uc} = \frac{24\mu\pi^3 D_{cp}^2 n^2 l \left(\frac{d_n}{d_k} - 1\right)}{3600}, \quad (3)$$

где  $\mu$  - динамическая вязкость помольной среды (биомасса + воздух), Па·с.

Минимальная скорость для измельчения материала за счет истирания (внутреннего трения частиц между собой):

$$U_{uc} = \frac{12\mu\left(\frac{d_n}{d_k} - 1\right)}{h\rho_c}, \quad (4)$$

где  $\rho_c$  - плотность помольной среды (биомасса + воздух).

Расчеты по формулам (3) и (4) показывают, что для измельчения по механизму истирания скорость движения рабочих колес должна быть не менее 10 м/с, а затрачиваемая мощность не более 7 кВт.

Потери на трение помольной среды о внутренние рабочие поверхности колес определяются выражением:

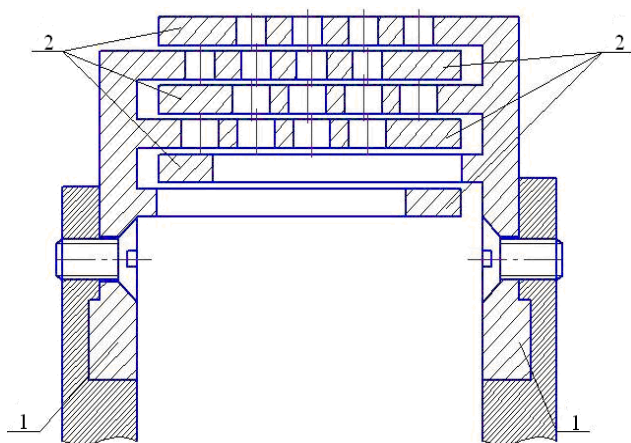
$$N_{mp} = \frac{0,2\rho_c\pi^4 D_{cp}^3 n^3 lh}{216000}. \quad (5)$$

Потери составляют величину соизмеримую с величиной, расходуемой на измельчение по механизму истирания.

Удар и истирание происходит между рабочими колесами 2, конструкция которых представлена на рис. 2.

При столкновении биомассы с отверстиями происходит измельчение за счет удара, а в зазоре между вращающимися навстречу друг другу колесами, происходит измельчение истиранием. Внешний вид колеса представлен на рис. 3.

При применении для измельчения различных видов биомассы такого принципа помола средний размер тонины составляет 70 мкм при производительности 3,6 т/ч. При этом дезинтегратор потребляет мощность 18 кВт.



**Рис. 2 – Рабочие колеса дезинтегратора**  
**1 – рабочие диски; 2 – рабочие кольца**

**Рис.3 – Рабочее кольцо**

### **Выводы**

Новый технологический процесс исключает из цепи измельчения молотковую дробилку, вместо которой применяется дезинтегратор. Дезинтегратор может обеспечивать измельчение до уровня 5...10 мкм. Кроме этого, дезинтегратор может выполнять измельчение биомассы с уровнем влажности до 40 %, что исключает из технологического процесса сушку.

Тонкий помол биомассы будет способствовать активному сдвигу слоев прессуемого материала внутри шнекового пресса, их саморазогрев до пластичного состояния, а, следовательно, и снижению энергозатрат на прессование по причине снижения динамической вязкости увлажненной и разогретой биомассы. Конечный продукт – пеллета или брикет, имеет физико-механические характеристики на уровне древесного угля, что соответствует международным стандартам.

### **Литература**

1. Біопалива: Технології, машини, обладнання / В.О. Дубровін, М.О. Корчемний, І.П. Масло та інші – К.: ЦТІ «Енергетика і електрифікація», 2004. – 256 с.
2. Новітні технології біоенергоконверсії: Монографія / Я.Б. Блюм, Г.Г. Гелетуха, І.П. Григорюк та інші – К.: «Аграр Медіа Груп», 2010. – 326 с.
3. Бунецький В.О. Аналіз технологічних процесів отримання твердого палива у вигляді пеллет або брикетів / В.О. Бунецький // Інститут рослинництва ім. В.Я. Юр'єва НААН, Вісник центру наукового забезпечення АПВ Харківської області, випуск 10, 2011. – с. 328-340.
4. Пат. 2353431 Российская федерация, МПК В02С13/22. Дезинтегратор / заявитель и патентообладатель Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования Белгородский государственный технологический университет В.Г. Шухова; заявлено 01.10.2007; опубликовано 27.04.2009.
5. Технології та обладнання для використання поновлюваних джерел енергії в сільськогосподарському виробництві / Під ред. Кравчука В.І., Дубровіна В.О. // Укр.НДПВТ ім. Л. Погорілого, Дослідницьке, 2010, - 184 с.
6. Общій курс процесов и аппаратов химической технологии. Кн. 2 // Под ред. В.Г. Айнштейна. – М.: Химия, 2000. – 162 с.