

## ПЕРЕРАБОТКА ОРГАНИЧЕСКИХ ПОЛИМЕРОВ РАСТИТЕЛЬНОГО ПРОИСХОЖДЕНИЯ В ТВЕРДОЕ ТОПЛИВО

**Войтов В.А., д.т.н, проф.**

*Харьковский университет сельского хозяйства имени Петра Василенко*

**Бондаренко М.В., к.т.н.**

*Днепропетровский национальный университет имени Олеся Гончара*

**Бунецкий В.А., аспирант**

*Харьковский университет сельского хозяйства имени Петра Василенко*

*В работе проведен анализ существующих технологий переработки биомассы растительного происхождения в сравнении с предлагаемой технологией увлажненного прессования. Сделан вывод о более высокой эффективности технологии увлажненного прессования, достигаемой вследствие учета физико-химических свойств перерабатываемого материала.*

**Ключевые слова:** *биомасса, увлажненное прессование, микроизмельчение, целлюлоза, шнековый пресс*

### 1. Введение

Основным запасом альтернативного топлива является биомасса, полученная в большой степени как отходы агропромышленного комплекса. Лесные запасы в Украине составляют 14,3 % территории [1]. Остальное – это угодья, возделываемые человеком. Таким образом, вопросы переработки биомассы имеют большую актуальность, связанную в первую очередь с тем, что, с точки зрения бизнеса, гранулы/брикеты из биомассы являются товаром, тогда как отходы сельского хозяйства, представляющие основной объем биомассы, товаром практически не являются. Иными словами, гранулы можно продавать на постоянной основе, по прогнозируемым ценам, с хорошей прибылью. Рынок отходов, в свою очередь, отличается существенно более низкими ценами и меньшей предсказуемостью. Быстрый рост цен на ископаемые виды топлива, стремление минимизации транспортных расходов, усиление экологических требований и другие вопросы также повышают интерес к теме переработки биомассы растительного происхождения в твердое топливо.

Первоначально была поставлена задача по разработке недорогой технологии получения гранулированного топлива из соломы, т.к. здесь существует промышленный способ предварительной уборки сырья.

Анализ перерабатывающего оборудования, представленного на рынке Украины, выявил следующие его недостатки:

- 1) низкая стабильность работы оборудования в заявленных режимах;

- 2) неспособность оборудования обеспечить заявленную производительность;
- 3) недостаточная механическая прочность гранулы/пеллетов;
- 4) высокая энергоемкость и наличие «скрытых» расходов.

Указанные недостатки, таким образом, определяют низкую экономическую эффективность производства топливной гранулы. С точки зрения авторов доклада основной причиной этого является недостаточное внимание к физико-химическим свойствам перерабатываемого сырья.

## 2. Цель и задачи

Как правило, для переработки биомассы, используется классическая технология переработки комбикормов с частичной адаптацией к перерабатываемому материалу. Эффективность работы оборудования, пришедшего из «комбикормовых» технологий, и имеющего при переработке комбикормов значение в районе 70%, при переходе к переработке древесины опускается до значений менее 30%, а при переработке соломы становится менее 10%.

Целью данной работы является анализ существующих технологий и их сравнение с предлагаемой технологией увлажненного прессования с микроизмельчением. При этом биомасса рассматривается как упругий, капиллярно-пористый полимер растительного происхождения, способный удерживать в себе влагу. По результатам анализа недостатков существующих технологий и оборудования для получения твердого топлива предложен новый подход, позволяющий получить высокое качество твердого топлива при малых энергозатратах.

## 3. Анализ

### 3.1. Выбор сырья

Существуют три основных источника органики, из которых возможно получение твердого топлива:

- 1) древесина;
- 2) отходы сельского хозяйства;
- 3) торфяники.

Первые два из перечисленных источников сырья относятся к возобновляемым природным ресурсам, а переработка каждого вида сырья имеет свои технологические особенности.

Древесина. Переработка отходов деревоперерабатывающей промышленности или утилизация древесных материалов при санитарных и других видах работ возможна при наличии природных ресурсов в регионе. Основными этапами при переработке древесины являются: 1) измельчение материала; 2) сушка; 3) прессование.

Важным моментом является качество сырья. Влажность сырья и присутствие смол, например, оказывают влияние на процесс горения топлива. В свою очередь, использование древесины в качестве сырья для производства топливной гранулы ведет к большим затратам на предварительную сушку материала, что существенно влияет на рентабельность производства.

Отходы сельского хозяйства. Переработка данного вида сырья считается наиболее перспективной с экономической точки зрения. При переработке основным фактором является высокое содержание целлюлозы в исходном сырье (солома).

Торфяники. На сегодняшний день отмечается рост интереса к переработке данного типа сырья, связанный с наличием залежей.

### **3.2. Технологии и оборудование для переработки**

Анализ существующего отечественного рынка технологий и оборудования показал, что основным путем развития оборудования является эмпирический, т.е. путь проб и ошибок. В тоже время следует отметить, что вопросы гранулирования биомассы подвергались тщательному изучению еще в 70-80 гг. XX века (см., например, [3]).

Таким образом, в разработке оборудования доминируют два направления:

- 1) адаптация оборудования для производства комбикормов;
- 2) оригинальные разработки, работоспособность которых достигается путем экспериментов.

В результате подобного подхода возникают следующие недостатки:

- неустойчивость работы оборудования при изменении влажности входного сырья в практическом диапазоне;
- повышение износа оборудования;
- повышение энергозатрат;
- невозможность использования одного и того же оборудования для переработки различных типов сырья;
- высокая стоимость оборудования.

Также следует отметить, что не все производители предоставляют комплексы оборудования для формирования полного технологического цикла производства топливной гранулы, выпуская отдельные элементы технологической цепочки. Это затрудняет формирование перерабатывающего комплекса необходимостью согласования конструктивных и технологических решений разных производителей.

Первым этапом обработки биомассы является ее измельчение. Например, в качестве основного элемента при измельчении соломы используется молотковая дробилка, которая имеет низкий КПД. Он колеблется в диапазоне от 1 до 5% и зависит от влажности соломы, что определяет высокие энергозатраты на переработку — от 120 до 420 кВт на тонну сырья, обуславливая низкую рентабельность производства по переработке соломы.

Вторым важным этапом в существующей технологии получения твёрдого топлива является сушка биомассы для достижения влажности сырья в диапазоне абсолютной величины 10-12%. К сожалению, поставщики оборудования часто не указывают количество энергии, необходимой для обеспечения качественного процесса переработки, считая сушку сырья условно «бесплатной». Для оценки можно привести следующие цифры — для сушки одной тонны древесины с абсолютной влажностью 50-60% необходимо 5-7 МВт тепла. Зависимость количества тепла, необходимого для сушки, от температуры окружающей среды также объясняет причины, сезонного колебания производительности и себестоимости продукции.

Третьим этапом производства является прессование. Одним из распространенных видов оборудования для переработки биомассы является пресс ролик-матричного типа (например, ОГМ), низкая эффективность которого для данного применения определяется следующими факторами: 1) высокая упругость прессуемого сырья (соломы); 2) расход энергии на «прессование» материала между отверстиями матрицы; 3) малый процент деформационных сдвигов.

На четвертом этапе производства происходит остывание прессованной гранулы. При остывании гранулы в свободном состоянии, принятом в большинстве технологий, присутствующих на рынке, происходит растрескивание гранулы, что приводит к резкому снижению механической прочности. Это обуславливает введение в технологическую цепь участка термостабилизации готовой гранулы.

Проведенный анализ показывает, что в существующем оборудовании недостаточно учтены физико-химические свойства сырья и особенности процессов, происходящих при производстве топлива. При формировании предлагаемой технологии увлажненного прессования исходное сырье рассматривалось как механическая и химическая смесь полимеров биологического происхождения капиллярно-пористой структуры, что определило используемые подходы.

Процесс производства топливной гранулы можно рассматривать, как процесс повышения плотности исходного сырья. Рассматривая с этой точки зрения процесс измельчения сырья и учитывая, что основной объем биомассы составляют клеточные структуры, можно сделать следующий вывод — при измельчении средний характерный размер частиц измельченного вещества должен быть меньше характерного размера клетки.

Исследования предложенного нового механизма микроизмельчения проводятся совместно с Харьковским национальным техническим университетом сельского хозяйства им. Василенко. Разработаны методики расчета дезинтегратора, которые позволяют оптимизировать оборудование под различные типы сырья изменением рабочих органов.

Одним из принципиальных положений предлагаемой технологии является проведение переработки в присутствии воды. Это основано на результатах исследований влияния воды на физико-химические свойства целлюлозы и лигнина (см., например, [2]).

Предлагаемая нами технология позволяет отказаться от сушки сырья. В предлагаемой технологии формирование требуемого влажностного режима осуществляется следующим образом:

- 1) часть избыточной влаги теряется на этапе микроизмельчения сырья и подогрева измельченной биомассы, причем в большей степени «капельным» путем (т.е. при отсутствии фазового перехода жидкости в пар);
- 2) перед прессованием микроизмельченная биомасса увлажняется паром, для обеспечения оптимальных тепло-влажностных режимов процесса прессования;
- 3) при прессовании часть влаги химически связывается в гранулированном материале, что, ко всему прочему, обуславливает подъем теплотворной способности гранулы по сравнению с исходным сырьем на 10-20 %;
- 4) на этапе термостабилизации из гранулы испаряется избыточная влага.

В предлагаемом оборудовании для гранулирования микроизмельченного сырья используется пресс шнекового типа, обеспечивающий сдвиговые деформации в гранулируемом материале. Использование этого типа оборудования обусловлено свойствами полимеров, входящими в состав биомассы ([3]).

На этапе термостабилизации готовой гранулы выполняется постепенное снижение температуры гранулы с постепенным снижением давления. Это обеспечивает сохранение механической прочности и товарного вида продукции. Часть энергии может быть возвращена (рекуперирована) в технологический процесс.

В таблице 1 приведены характеристики различных методов прессования биомассы

Сравнительный анализ различных методов прессования поведен в таблице 1.

Таблица 1

### Сравнительный анализ методов прессования

Методы прессования				
№ п/п	Тип прессования	Ударный	Роликовый	Шнековый
1	Механизм прессования	Продавливание материала через матричный канал за счет возвратно-поступательного движения поршня	Продавливание материала через матричный канал за счет вдавливания материала роликами	Продавливание материала через матричный канал за счет вращения шнека
2	Обороты в минуту	до 30	до 300	до 200
3	Давление	Пульсирующее	Пульсирующее	Постоянное
4	Физический процесс	Агломерация за счет давления	Агломерация за счет давления	Низкотемпературная термохимическая реакция полимеризации

<b>5</b>	<b>Процесс</b>	Спекание	Спекание	Плавление
<b>6</b>	<b>Температура процесса, С</b>	240-290	240-290	70-110
<b>7</b>	<b>Учет реологических свойств материала</b>	Нет	нет	Есть
<b>8</b>	<b>Влажность сырья, %</b>	до 10	до 10	до 30
<b>9</b>	<b>Механизм сдвига слоев</b>	Низкий	низкий	Высокий
<b>10</b>	<b>Механизм увеличения насыпной плотности</b>	Есть	нет	Есть

Основные количественные показатели предлагаемой технологии увлажненного прессования в сравнении с технологией сухого прессования приведены в таблице 2.

Таблица 2

**Преимущество метода увлажненного прессования твердого топлива  
(на примере прессования шелухи подсолнечника)**

<b>Метод прессования</b>	<b>Сухой</b>	<b>Увлажненный</b>
Сырье	Монокультура	<b>Универсальность</b>
Влажность материала перед гранулированием	Не более 14%	<b>Не более 30%</b>
Энергопотребление	75+30+30=135 кВт (70 кВт - гранулятор 30+30 кВт - ДКУ)	<b>15+11+11=37кВт (11+11 кВт дезинтегратор 15 кВт гранулятор)</b>
Затраты энергии (при производительности 500кг)	486 000 кДж	<b>133 200 кДж</b>
Теплотворная способность топлива	До 18000 кДж/кг	<b>До 21000 кДж/кг</b>
Соотношение затраченной энергии к полученной в виде топлива	18,52	<b>78,83</b>
Износостойкость шнеков и матриц	200-230 часов	<b>5000-10000 часов</b>
Возможность производства гранул различной формы	Нет	<b>Есть</b>
Необходимость сушки	1-Сушка входящего сырья 2-Остужение и стабилизация на выходе	<b>Охлаждение - досушка на выходе</b>
Энергозатраты сушки входящего сырья	Свыше 50% затрат на технологический процесс	<b>Не выше 10% затрат на технологический процесс</b>
Пожаробезопасность	Низкая	<b>Высокая</b>

Производительность	600-700 кг	<b>1000 кг (от плотности сырья)</b>
--------------------	------------	---

#### 4. Выводы

По результатам проделанного анализа был разработан комплекс по переработке биомассы растительного происхождения в твердое топливо, технико-экономические показатели которого приведены в таблице 3.

Таблица 3

#### Технико–экономические показатели комплекса переработки растительной биомассы

НАИМЕНОВАНИЕ ПОКАЗАТЕЛЯ	ЗАЧЕНИЕ ПОКАЗАТЕЛЯ
Ёмкость накопления сырья (щепы)	180 м3 х 2 шт.
Промежуточная ёмкость под готовое сырьё	200 м3 х 5 шт.
Производительность дробления щепы и мертвых отходов	8000 кг/час
Производительность дробления соломы,	2000 кг/ч х 4 шт.
Производительность модуля сушки	2000 кг/ч х 4 шт.
Производительность модуля переработки	2000 кг/ч х 4шт
Производительность модуля охлаждения	4000 кг/ч х 4 шт.
Численность работающих, в смену:	
• ИТР	3
• Нач. цеха	1
• Рабочие	11
Установленная мощность электрических приводов	1340 кВт
Расход технологической воды	300 л/ч
Тепловая мощность теплогенератора (на 8 тонн/час):	
• летом(25°С)	80 кВт
• зимой(2°С)	230 кВт
• зимой(-2°С)	530 кВт
• зимой(-20°С)	650 кВт
Тепловая мощность парогенератора (на 8 т/ч)	240 кВт

#### Список использованных литературных источников

1. Шаблій О. І. Соціально-економічна географія України / О. І. Шаблій, М. І. Гонак, Б.І. Заставецький. Під ред. О. І. Шаблій. — Львів: Изд-во «Світ», 1995. — 643 с.
2. Аким Э. Л. Релаксационное состояние полимерных компонентов бумаги и его влияние на механические свойства / Э. Л. Аким // I Международная научно-техническая конференция «Проблемы механики целлюлозно-бумажных материалов» — Архангельск, 13-17 сентября 2011 г. —

С. 24 — 33.

3. Дарманьян П. М. Физико-химические основы технологии гранулирования комбикормов и их компонентов: Автореф. дис. ... д. т. н / П. М. Дарманьян. — Одесса: Одесский технологический институт пищевой промышленности, 1992. — 32 с.

#### **Анотація**

### **ПЕРЕРОБКА ОРГАНІЧНИХ ПОЛІМЕРІВ РОСЛИННОГО ПОХОДЖЕННЯ У ТВЕРДЕ ПАЛИВО**

Войтов В.А., Бондаренко М.В., Бунецкий В.А.

*У роботі проведено аналіз існуючих технологій переробки біомаси рослинного походження у порівнянні з пропонованою технологією зволоженого пресування. Зроблено висновок про більш високу ефективність технології зволоженого пресування, що досягається внаслідок врахування фізико-хімічних властивостей матеріалу, що переробляється.*

**Ключові слова:** біомаса, зволожене пресування, мікроподрібнення, целюлоза, шнековий прес

#### **Abstract**

### **PROCESSING OF ORGANIC VEGETABLE POLYMERS INTO SOLID FUEL**

Voitov V., Bondarenko M., Bunetsky V.

*An analysis of existing technologies for processing biomass plant in comparison with the proposed technology moistened pressing is provided. It is concluded that the higher efficiency technology wet compression achieved due account the physicochemical properties of the material being processed.*

**Keywords:** biomass, moistened pressing, disintegration, cellulose, expeller