

## ОБОСНОВАНИЕ СОСТАВА ДРЕВЕСНОУГОЛЬНЫХ КОМПОЗИЦИЙ ПРИМЕНИТЕЛЬНО К ТЕРМИЧЕСКОЙ ПЕРЕРАБОТКЕ

И.Д. Димитрюк<sup>1</sup>, И.А. Жованик<sup>2</sup>

*Томский политехнический университет, ИШЭ, ТПТ, гр. АЗ-44<sup>1</sup>,  
ТюмГУ, лаборант-исследователь<sup>2</sup>*

Научный руководитель Р.Б. Табакаев, к.т.н., доцент НОЦ И.Н. Бутакова

Угольный штыб – это мелкая фракция угля (0–6 мм), образующаяся при его добыче и обогащении в большом количестве и считается отходом [1]. Энергетическое использование штыба в естественном виде ограничено камерными топками котлов, кроме того, существует проблема транспортировки на протяженные расстояния (потери могут составлять 30–40 %). Накопление и хранение штыба в отвалах приводит к негативным последствиям для окружающей среды. В связи с этим переработка угольной мелочи актуальна, как с точки зрения утилизации, так и с точки зрения получения энергетически ценного топлива с повышенной добавленной стоимостью.

Гранулирование может послужить одним из эффективных способов для использования угольного штыба [2]. При транспортировке и движении слоя в печи происходит механическое воздействие на гранулы, поэтому важной характеристикой топливных гранул является их механическая прочность, так для получения прочных гранул необходимо осуществить подбор доступного связующего вещества. Причины, тормозящие в настоящее время развитие гранулирования каменноугольной мелочи, является отсутствие экологически безопасных, доступных и технологических связующих. Для решения данных проблем рассмотрим использование экологически чистой и доступной биомассы, которая в период своей жизни поглотила такое количество CO<sub>2</sub>, что и образуется при ее сжигании и является отходом биологического происхождения [3].

Повышение доли биомассы в топливной композиции позволяет облегчить воспламеняемость и увеличить скорость горения [1], но для получения прочных гранул необходимо произвести оптимальный подбор параметров (концентрация биомассы, давление, время и др.) гранулирования. Так высокое давление может снизить механическую прочность гранул.

В связи с этим актуальна переработка угольной мелочи с оптимальной доли биомассы на примере отходов деревообрабатывающей промышленности производства в гранулированное топливо.

### Методика исследования

В качестве объектов исследования рассмотрены пробы каменноугольного штыба (Кузнецкий бассейн, Кузбасс) и древесные отходы (сосновые опилки).

Гранулирование штыба и опилок осуществлено на основе изученной и разработанной технологии [1]. На рис. 1 приведена схема гранулирования. Эксперименты осуществляли следующим образом, уголь смешивали с долей опилок (5 %, 7 %, 8 %, 10 %, 15 %, 20 % – опилки). Далее смесь прессовали при следующих параметрах: усилие пресса – 5 т, температура – 130–140 °С.

Для оценки качества получаемых гранул проводили испытания на истирание согласно ГОСТ 34090.1–2017 «Биотопливо твердое. Определение механической прочности пеллет и брикетов». Согласно данной методики (рис. 2), предварительно взвешенные гранулы 2 помещали во вращающийся короб 1, который с помощью привода 3 вращали в течение 10 минут, достигая 500 оборотов. За время испытания происходило опрокидывание и сдвиг гранул с

истиранием. После окончания испытания содержимое высыпали и просеивали, при этом исключая частицы с размером менее 3,15 мм. На высокоточных весах с дискретность 0,1 мг (ГОСМЕТР, Россия) измеряли массу гранул до начала испытания и после.

Обработку результатов осуществляли следующим образом:

$$DU^r = \frac{m_a}{m_0} \cdot 100, \quad (1)$$

где  $m_a$  – масса образца после испытания и просеивания, г;  $m_0$  – масса образца до испытания (начальная масса), %.

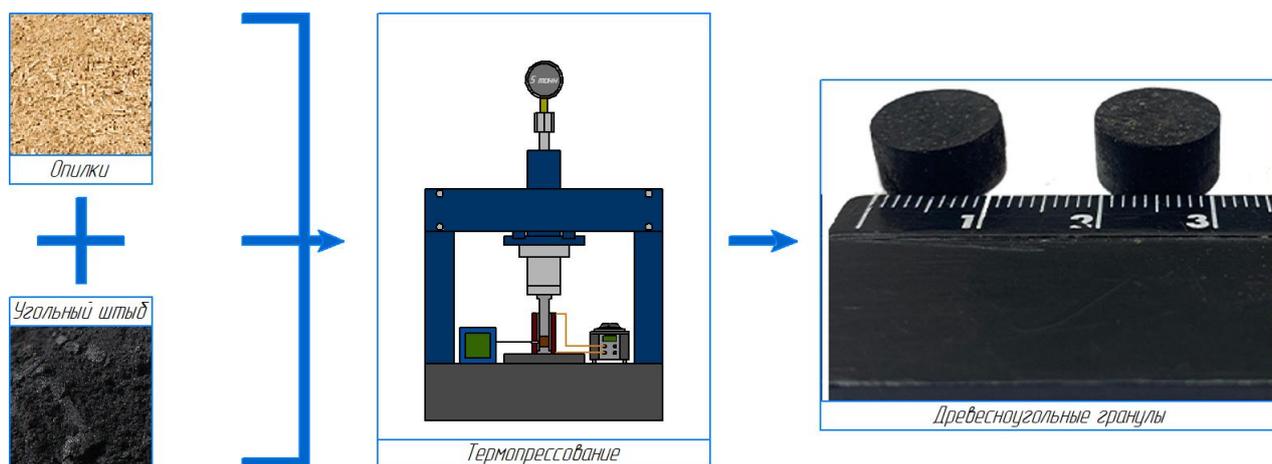


Рис. 1. Схема процесса гранулирования древесноугольных гранул

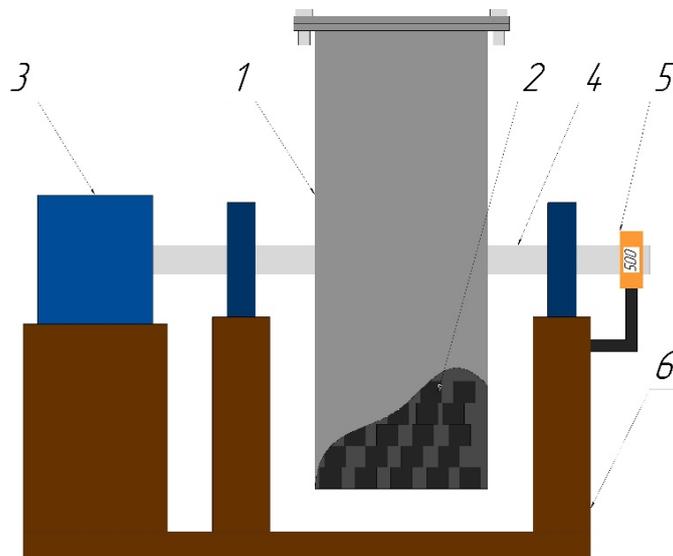


Рис. 2. Лабораторный стенд для проведения испытаний на механическую прочность гранул:  
1 – вращающийся короб, 2 – гранулы, 3 – привод, 4 – вал, 5 – счетчик оборотов, 6 – рама

### Результаты и их обсуждения

Характеристики исходного топлива приведены в табл. 1. Заметно, что зольность опилок ( $A^d = 0,90\%$ ) ниже среднего значения зольности биомассы (8,00%), приведенного в [4]. Высокий выход летучих в опилках ( $V^{daf} = 83,60\%$ ) обеспечивает высокую реакционную способность и низкую температуру воспламенения, что благоприятно скажется при воспламенении топливных гранул. Также можно отметить, что каменный уголь обладает высокой теплотворной способностью ( $Q_i^r = 24,88$  МДж/кг) и низкой зольностью ( $A^d = 8,30\%$ ), что позволяет рассматривать его в качестве перспективного сырья для гранулирования.

Таблица 1. Теплотехнические характеристики и элементный состав рассматриваемых твердых органических топлив

Образец	Влажность $W^a$ , %	Зольность на сухую массу $A^d$ , %	Выход летучих веществ $V^{daf}$ , %	Низшая теплота сгорания $Q_i^r$ , МДж/кг	Элементный состав на сухую массу, %				
					$C^d$	$H^d$	$N^d$	$S^d$	$O^d$
Опилки	7,2	0,9	83,6	17,12	51,42	6,03	0,05	0,00	41,60
Каменный уголь	10,6	8,3	37,7	24,88	74,00	4,11	2,25	0,45	10,93

В процессе гранулирования получены следующие результаты (рис. 3). Видно, что с увеличением доли опилок в древесноугольных гранулах возрастают их механические свойства. Также можно выделить диапазон доли опилок (8–15 %) на котором механическая прочность гранул соответствует требованиям ( $DU^r=80\%$ ) к топливу для энергетических и коммунально-бытовых нужд [5].

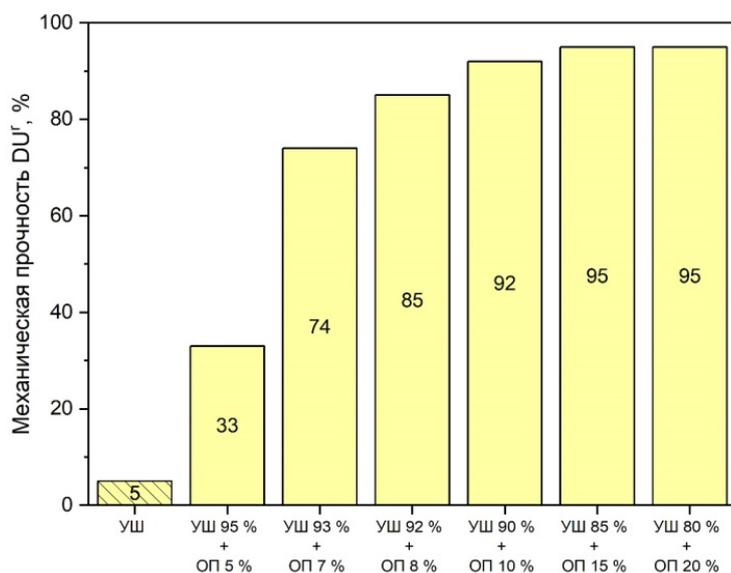


Рис. 3. Механические характеристики древесноугольных гранул (УШ – Угольный штыб, ОП – опилки)

### Заключение

Опилки могут быть использованы в качестве доступного и  $CO_2$ -нейтрального связующего при производстве прочных и транспортабельных гранул из угольного штыба. Данные гранулы могут быть в дальнейшем использованы при термической переработке для получения углеродистого остатка или газогенерации.

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта РНФ 22-19-00410 (Разработка научных основ технологии получения продуктов СВЧ-пиролиза из био-угольных композиций).

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Tabakaev R. et al. High-strength fuel pellets made of flour milling and coal slack wastes // Energy. – 2022. – Т. 243. – С. 123071.
2. Sahan M. Usage of biomass in the production of briquettes. – 1999.
3. Астафьев А.В. Обоснование условий реализации автотермического пиролиза органической биомассы применительно к теплотехнологическому оборудованию / А.В. Астафьев.: дис. канд. техн. наук: 05.14.04. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2021. – 179 с.
4. Vassilev S. V. et al. Ash contents and ash-forming elements of biomass and their significance for solid biofuel combustion // Fuel. – 2017. – Vol. 208. – P. 377–409.
5. ГОСТ 57016–2016. Брикеты каменноугольные для энергетических и коммунально-бытовых нужд. Технические требования. – М.: Стандартинформ, 2016. – 7 с.