

## ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ И ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ПРИМЕНЕНИЯ ТОПЛИВНЫХ МАТЕРИАЛОВ ИЗ ОТХОДОВ

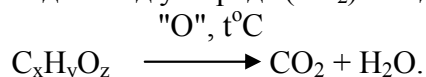
*С.М. Лисицкая, О.Б. Нетьяга, А.В. Тарасова, В.О. Комаров,  
Национальный горный университет, Украина*

Проведены исследования химических показателей различных видов растительных отходов, которые позволяют использовать их в качестве сырья для получения альтернативных топливных материалов, имеющих целый ряд экологических, экономических и других преимуществ по сравнению с традиционными.

На невозобновляемые источники энергии суммарно приходится примерно 92 % мирового топливно-энергетического баланса, в то же время на возобновляемые – около 3,4 %. При сохранении существующих темпов добычи природных энергоносителей (нефти, газа, угля и т.д.) и их использовании можно предположить, что запасов этих видов полезных ископаемых хватит на 30-40 лет [1, 2]. Кроме того, интенсификация применения названных топливных материалов приводит к повышению концентрации целого ряда токсичных веществ в атмосфере. Поэтому в условиях постепенно приближающегося топливного кризиса, возрастающих ценах на энергоносители и ухудшения экологической ситуации происходит активный поиск заменителей традиционных источников энергии в целом, и альтернативного экологически безопасного топлива в частности. Большинство стран Евросоюза, США, Канада, Бразилия, Австралия и т.д. в настоящее время активно развивают программы получения и использования топлива из растительных культур [3, 4]. Украина в рамках международного сотрудничества участников Киотского договора, целью которого является снижение газообразных выбросов, вызывающих глобальное потепление (диоксида углерода, метана и др.), также взяла курс на ослабление негативного влияния на природную среду за счет применения чистых и эффективных видов биотоплива [5, 6]. Одной из основных задач такой стратегии может служить разработка топливно-энергетических элементов с использованием вторичного органического сырья, что является актуальным.

Географические и климатические особенности Украины с множеством разнообразных видов растительности, которая включается в конверсионно-производственные процессы, способствуют постоянному образованию большого количества отходов органического характера (сельскохозяйственных, химических производств, деревопереработки, торфоразработок, полиграфической, пищевой, текстильной и других отраслей промышленности).

Энергетической емкостью обладает в основном органическая часть отходов растительной биомассы, которая состоит преимущественно из полисахаридных компонентов, включающих целлюлозу, гемицеллюлозы и лигнин. В лигноуглеводном комплексе растений лигнин, обеспечивая механическую функцию, тесно связан с гемицеллюлозами и выступает склеивающим агентом кристаллических цепей целлюлозы с тканями. В безводной растительной биомассе, включающей до 12 % капиллярной влаги, общее содержание органической части представлено углеродом (45-50 %) кислородом (40-45 %), водородом (4,5-6,0 %), азотом (0,3-3,5 %) и незначительным количеством серы (до 0,05 %) [7]. При сгорании ее названные составляющие компоненты превращаются в основном в диоксид углерода (CO<sub>2</sub>) и водяной пар (H<sub>2</sub>O):



Кроме того, при высокотемпературной обработке биомассы образуются оксиды азота (NO<sub>x</sub>) и диоксид серы (SO<sub>2</sub>).

Сжигание полисахаридов и лигнина в высокотемпературных условиях обеспечивает выделение тепловой энергии в количестве 16,7 МДж/кг; 20 МДж/кг соответственно (для сравнения – теплота сгорания нефти составляет 41, бытового газа – 31,8, а каменного угля – 22 МДж/кг) [8, 9]. Содержание минеральной части в биомассе незначительно (1-1,5 %), поэтому после ее сжигания практически не остается золы.

Целью данной работы является химический анализ различных отходов и бросовых материалов органического происхождения, представляющих собой потенциально энергетический ресурс, и на его основе обоснование путей их целенаправленного применения как альтернативного топлива.

Известно, что химический состав растительных отходов практически не отличается от исходных представителей растений, из которых они получены [10].

Исследования отдельных параметров различных видов отходов однолетних и многолетних растительных культур после их переработки проводились в лабораторных условиях по общепринятым методикам [11]. Характеристика целевых компонентов химического состава представлена в табл. 1.

Таблица 1 – Химический состав промышленных отходов, % от сухого вещества

Вид вторичного сырья	Полисахариды	Лигнин	Минеральные (зольные) вещества
<i>Отходы однолетних растений:</i>			
солома пшеничная	63,5	19,8	7,8
подсолнечная лузга	50,6	28,2	2,2
кукурузная кочерыжка	66,0–73,4	14,5–18,6	0,9–1,9
костра льна	53,4	27,0	2,0
обрези виноградной лозы	60,6	28,3	2,7
ботва картофеля	51,3	14,1	–
малоразложившийся торф (степень разложения менее 20 %)	32,3–61,7	25,4	2,1
<i>Отходы многолетних растений:</i>			
древесная щепа тополя	66,0	29,3	1,7
древесная щепа сосны	65,7	24,7	0,2
щепа дуба (одубина)	62,7	27,1	0,9
древесная щепа клена	63,5	27,1	1,3

Данные табл. 1 свидетельствуют о высоком содержании (некоторые виды выше 90 %) энергетически важных органических веществ в отходах практически всех рассматриваемых растений, что позволяет превращать их в высококачественное топливное сырье.

Качество топливных материалов зависит не только от химического состава, но и других технологических параметров. К таким характеристикам относится влажность (критический уровень влажности варьирует от 10 до 15 %, а для некоторых видов сырья предел содержания влаги ограничивается 7–8 %); достаточно высокая величина объемной массы или насыпной плотности (например, в зависимости от месторождения объемная масса каменного угля составляет 680–960 кг/м<sup>3</sup>, а антрацита 1500 кг/м<sup>3</sup>).

Насыпная плотность органических отходов, в том числе и растительных, имеющих влажность 10–12 %, невелика и находится в пределах: в свободном состоянии 60–120 кг/м<sup>3</sup>, а помещенных в емкость – 180–220 кг/м<sup>3</sup>. Реализация отходов в виде топливных материалов с такими показателями невыгодно как с энергетической точки зрения, так и при осуществлении их транспортировки.

Для повышения плотности бросовой органической массы в настоящее время существуют различные способы [12]. Одним из наиболее перспективных направлений в разработке энерготехнологий признаны брикеты и гранулы или «пеллеты» (нормированные прессованные изделия из отходов деревопереработки и остаточной древесины, побочных отходов растениеводства и др.). Пеллеты и брикеты производятся исключительно из натурального органического сырья. Эти топливные материалы содержат в своем составе лигнин («природный клей»), поэтому их производство не требует дополнительных добавок и связующих компонентов. Лигниновый комплекс растительных клеток имеет особенность в условиях высокого давления и

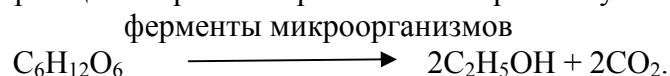
температуры инициировать прохождение химической реакции, сопровождающейся структурными изменениями материала с приобретением вязкопластических свойств.

Брикеты и пеллеты, производимые на ударно-механических прессах или с помощью экструдерной технологии из предварительно измельченной и нагретой биомассы, согласно нормативным требованиям, имеют плотность 1000–1400 кг/м<sup>3</sup>. Им свойственна высокая теплотворная способность и продолжительность горения. Топливные брикеты и гранулы предназначены для сжигания в печах, каминах, теплицах, железнодорожном транспорте, заводских котельных и ТЭЦ, на промышленных предприятиях, где имеются установки, работающие на твердом топливе.

Благодаря указанным преимуществам топливные брикеты и гранулы (евродрова) получили наибольшее распространение в Дании, Швеции, Австрии, Германии, Норвегии и Финляндии. До 2001 года потребление этих материалов в Европе возрастало ежегодно в среднем на 30%. Спрос на гранулы в Германии в этот же период удовлетворялся на 9%. Дания стала получать половину всей вырабатываемой энергии из гранулированного древесного топлива. Более 80% потребляемых в Дании топливных гранул являются импортом. По некоторым оценкам Швеция может стать первой европейской страной, которой удастся через 15 лет полностью перейти на альтернативные виды энергии.

Согласно аналитическим данным тенденция потребления твердого биотоплива для выработки энергии увеличивается. За рубежом наиболее серьезными странами-производителями (а также и потребителями) пеллетов и брикетов являются: Европа – 3,0 млн тонн в год; США около 2 млн тонн в год; Канада около 110 тыс. тонн в год; Япония около 3 тыс. [8].

В странах Европы широкое применение также нашли жидкие виды биотоплива для дизельных двигателей автотранспорта – биоэтанол и биобутанол (более калорийный и менее затратный в производстве, чем этанол). Эти виды энергоносителей можно легко получать из простых водорастворимых моносахаров (глюкозы углеводосодержащих пищевых отходов свеклы, картофеля и др., а также целлюлозных сельскохозяйственных отходов в виде соломы, лузги, стеблей растений и древесной щепы) путем реакции спиртового брожения в анаэробных условиях:



В качестве ферментного источника для проведения реакции брожения, кроме известных видов дрожжей, можно использовать активные группы бактерий, которые при температуре 40°C и выше способны гидролизовать сложные полисахаридные цепи до простых сахаров. В последнее время применяют модифицированные штаммы микроорганизмов, активных при температуре 65–75°C, что дает возможность получать этанол и другие продукты практически из всех видов органических отходов сельского хозяйства, лесной промышленности, сахарных заводов. Например, в США из 1 т старого картона или соломы после гидролиза целлюлозы и дальнейшего микробиологического сбраживания глюкозы получают 150 л спирта.

Наглядно экологические преимущества, полученные в результате применения различных видов топлива, можно рассмотреть при сравнении уровней выбросов в атмосферу загрязняющих веществ без использования систем очистки (табл. 2).

Согласно данным табл. 2, с экологических позиций загрязнения атмосферного воздуха древесное топливо (в первую очередь, брикеты и пеллеты) более предпочтительно по сравнению с традиционными видами топливных материалов. По выбросам парниковых газов (прежде всего CO<sub>2</sub>) оно имеет практически «нулевой эффект».

Таким образом, преимущества от использования альтернативных видов биотопливных материалов носят комплексный характер. Во-первых, это выгодные технологические свойства: высокая объемная плотность, возможность полной автоматизации подачи топлива в зону горения, не взрывоопасны, не подвержены самовозгоранию и не разлагаются в соответствующих условиях хранения, возможность применения существующего оборудования без модернизации и минимальный несгораемый остаток. Во-вторых, наличие ряда экономических преимуществ: сравнительно низкая цена при высокой теплотворности, незначительная площадь хранения и затраты на транспортировку. Также большое значение имеет и экологическая сторона, которая отражена в применении возобновляемого биотоплива и сокращении уровня загрязнения компонентов окружающей среды.

Таблица 2 – Уровни выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух в результате сжигания различных энергоносителей

Вид топлива	Количество выбросов загрязнителей в атмосферу при сгорании энергоносителей, т/тыс. т топлива				
	CO <sub>2</sub>	NO <sub>x</sub>	SO <sub>2</sub>	Твердые пылевые частицы (неорганические)	Всего
Природный газ	1,18	3,52	0,00	0,00	4,70
Каменный уголь	9,58	63,56	9,20	65,32	147,66
Мазут	5,20	5,20	35,30	0,30	45,90
Древесина дровяная	4,90	9,40	0,30	4,30	18,90
Опилки древесные	5,00	9,60	0,50	5,00	20,00
Древесные обрезки	5,20	9,90	0,40	5,20	20,70
Древесная щепа, кора	5,60	11,40	0,80	13,40	31,30
Брикеты торфяные	8,04	26,81	3,00	13,02	50,87
Брикеты и пеллеты древесные	4,68	9,31	0,28	4,11	17,69
Брикеты и пеллеты однолетних растений	3,10	9,50	0,15	1,5	14,25

Использование растительных отходов в качестве энергоносителя в полной мере отвечает положениям Киотского договора, касающихся ограничения и сокращения газообразных выбросов, которые приводят к разрушению озонового слоя планеты. С применением биотоплива решаются как глобальные проблемы – снижение выброса парниковых газов и риска образования кислотных дождей за счет уменьшения количества выделяемого диоксида серы, что, в свою очередь, сохраняет лесные массивы, так и локальные, связанные с направленной утилизацией масштабных производственных и аграрных отходов, которых ежегодно на Украине образуется сотни тысяч тонн.

#### Список литературы

1. Луканин В.Н. Промышленно-транспортная экология [Текст] : учеб. для вузов / В.Н. Луканин, Ю.В. Трофименко. – М. : Высш. школа, 2003. – 296 с.
2. Павлова. Е.И. Экология транспорта [Текст] : учеб. для вузов / Е.И. Павлова. – М. : Транспорт, 2000. – 248 с.
3. Транспорт и окружающая среда [Текст] : учебник / М.М. Болбас, Е.Л. Савич, Г.М. Кухаренок [и др.] – Минск : Технопринт, 2003. – 262 с.
4. Экологія та автомобільний транспорт [Текст] : навч. посібник / Ю.Ф. Гутаревич, Д.В. Зеркалов, А.Г. Говорун [та ін.] – К. : Арістей, 2006. – 292 с.
5. Яхьяев Н.Я. Безопасность транспортных средств [Текст] : учеб. для высш. учеб. заведений / Н.Я. Яхьяев. – М. : Академия, 2011. – 432 с.
6. Шестаков С.М. Сжигание древесных отходов, опыт, перспективы // Биоэнергетика. 2006. – № 1. – С. 27-31.
7. Сушкова В.И. Безотходная конверсия растительного сырья в биологически активные вещества [Текст] / В.И. Сушкова, Г.И. Воробьева. – М. : Дели принт, 2008. – 216 с.
8. Забарний Г.М. Енергетичний потенціал нетрадиційних джерел енергії України / Г.М. Забарний, А.В. Шурчков. – К. : ІТТФ НАНУ, 2002. – 211 с.
9. Вязкость и теплота сгорания дизельного топлива / Ю.В. Максимук, З.А. Антонова, В.В. Фесько, В.Н. Курсевич // Химия и технология топлив и масел. – 2009. – № 5. – С. 27–30.
10. Кислухина О. Биотехнологические основы переработки растительного сырья [Текст] / О. Кислухина, И. Кюдулас. – Каунас : Технология, 1997. – 182 с.
11. Лабораторные работы по химии древесины и целлюлозы [Текст] : учеб. пособие для вузов / А.В. Оболенская, З.П. Ельницкая, А.А. Леонович. – М. : Экология, 1991. – 320 с.
12. Экологические аспекты использования древесных топливных брикетов [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://www.biofuel.md/ru/stati/chto-takoe-toplivnye-brikety>.