

3. Успехи и проблемы производства альтернативных источников топлива и химического сырья. Пиролиз биомассы / Д. Л. Рахманкулов, Ф. Ш. Вильданов, С. В. Николаева, С. В. Денисо // Уфимский государственный нефтяной технический университет. Башкирский химический журнал. – 2008. – Т. 15. – No 2. – С. 17.
4. Li Y. [and others], "Studies on individual pyrolysis and co-pyrolysis of peat–biomass blends: Thermal decomposition behavior, possible synergism, product characteristic evaluations and kinetics" // Fuel. 2022. № PB (310). С. 122280.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации в рамках проекта № FZES-2021-0008.

Научный руководитель: к.т.н. С.А. Янковский, доцент НОЦ И.Н. Бутакова ИШЭ ТПУ.

## **ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ УТИЛИЗАЦИИ ИМИТИРОВАННЫХ РАДИОАКТИВНЫХ ОТХОДОВ**

Тавадрос Мина Сами Булес  
Томский политехнический университет  
ИЯТШ, ОЭЭ, группа 0АМ1И

Процесс эксплуатации атомных электростанций, исследовательских реакторов и прочих объектов, чья деятельность связана с обращением радиоактивных материалов, сопровождается возникновением радиоактивных отходов [1]. Их утилизация (переработка) или захоронение традиционными методами (сжигание или захоронение под слоем почвы) без предварительной обработки запрещена международными требованиями по обращению с радиоактивными материалами [2]. Объясняется это тем, что в случае простого захоронения радиоактивных материалов возможно заражение почвы, грунтовых вод и, как следствие, увеличение объемов радиоактивных материалов [3]. Последние, в виде воды, зараженных растений могут быть употреблены в пищу животными, а впоследствии и человеком [4]. В результате чего возможно их радиационное заражение. В таком случае, возникает необходимость их утилизации с целью дальнейшего нераспространения радиоактивных веществ в окружающей среде. Одним из наиболее перспективных методов утилизации таких зараженных биологических материалов является способ высокотемпературной плазменной переработки [5].

Плазменная переработка материалов позволяет существенно снизить количество материала. А в случае применения такого метода для утилизации радиоактивных материалов возможно существенное сокращение их массы и объема. После этого их уже можно достаточно безопасно захоронить с учетом современных требований [6]. Но при этом, развитие и внедрение таких (плазменная переработка) новых технологий невозможно без фундаментальных исследований. Поэтому целью работы являются проведение экспериментальных исследований утилизации имитированных радиоактивных отходов в высокотемпературной плазме на примере биологического материала животного происхождения.

Экспериментальные исследования выполнены на уникальном оборудовании, позволяющим проводить экспериментальные исследования плазменной обработки материалов в широком диапазоне мощностей [7].

При проведении экспериментов в качестве имитированного зараженного радиоактивного материала использовалась мышечная масса крупного парнокопытного млекопитающего животного. Масса образцов составляла по 2 грамма.

Основные параметры плазменной переработки в тигле приведены в таблице 1. Все образцы обработаны в одном временном диапазоне 40 секунд удержания плазменной дуги над образцом и изменением тока с шагом 12,5 А от 50 до 100 А, установленных на источнике питания. Параметры тигля:

1. Высота – 30 мм. 2. Радиус – 30 мм. 3. Толщина стенок – 4 мм.

Параметры крышки для тигля:

1. Радиус – 30 мм. 2. Высота – 5 мм.

Толщина стержней: 10 мм анод и катод.

Таблица 1. Параметры процесса

| Код эксп. | Вес электрода 1 (катода), гр |        | Вес электрода 2 (анода), гр |         | Вес тигля, гр |         | Вес крышки, гр |        | Вес исходного сырья, гр | Вес продукта, гр |
|-----------|------------------------------|--------|-----------------------------|---------|---------------|---------|----------------|--------|-------------------------|------------------|
|           | До                           | После  | До                          | После   | До            | После   | До             | После  |                         |                  |
| 1         | 8,9112                       | 8,9108 | 13,5784                     | 13,5213 | 11,5589       | 12,0682 | 4,0293         | 4,0317 | 2,0816                  | 0,3760           |
| 2         | 8,8250                       | 8,8130 | 13,4363                     | 13,3348 | 11,6894       | 11,6134 | 4,0302         | 4,0205 | 2,0593                  | 0,0620           |
| 3         | 8,7430                       | 8,7549 | 13,1501                     | 12,9163 | 11,5514       | 11,5517 | 4,0194         | 3,9659 | 2,0118                  | 0,0145           |
| 4         | 8,6826                       | 8,6638 | 12,7380                     | 12,6045 | 11,3613       | 11,4093 | 3,9634         | 3,9347 | 2,0311                  | 0,0882           |
| 5         | 8,6087                       | 8,6236 | 12,4981                     | 12,2388 | 11,3213       | 11,1761 | 3,9311         | 3,8790 | 2,0649                  | 0,0227           |

Ниже на рисунке 1 показана графическая интерпретация результатов экспериментов.

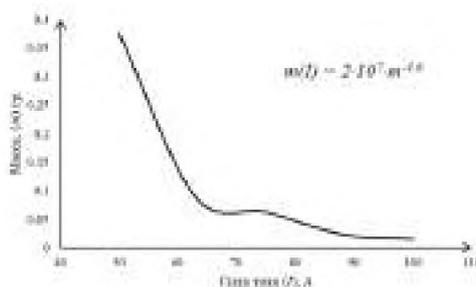


Рис. 1. Изменение массы образца

По результатам проведенных экспериментальных исследований утилизации имитированных радиоактивных отходов на примере образцов (начальной массой 2 грамма) мышечной массы крупного парнокопытного млекопитающего животного установлено, что при изменении силы тока от 50 до 100 А масса исходного образца снижается на 80 и 99%, соответственно. Полученное аппроксимационное выражение позволяет прогностически оценивать влияние изменения массы исследованного материала в условиях плазменной переработки.

Результаты экспериментов позволяют сделать вывод о том, что применение метода плазменной утилизации радиоактивных материалов животного происхождения достаточно эффективен. Его использование на практике позволяет существенно сократить количество радиоактивных отходов такого типа для дальнейшего безопасного захоронения.

#### ЛИТЕРАТУРА:

1. IAEA, 2011. Disposal of radioactive waste. Safety Standards Series, SSR-5 454–8.
2. J. Ahn, M.J. Apted. Geological Repository Systems for Safe Disposal of Spent Nuclear Fuels and Radioactive Waste (second ed.), Elsevier (Woodhead), Cambridge (2017), p. 778.
3. T.E. Payne. Little Forest Legacy Site – Summary of Site History Until the Commencement of Waste Disposal in 1960 (ANSTO E-782): Institute for Environmental Research. Australian Nuclear Science and Technology Organisation (2015).
4. S.J. Birkinshaw, M.C. Thorne, P.L. Younger. Reference biospheres for post-closure performance assessment: inter-comparison of SHETRAN simulations and BIOMASS results. J. Radiol. Prot., 25 (2005) (2005), pp. 33-49.
5. E.S.P. Prado, F.S. Miranda, L.G. Araujo, G. Petraconi, M.R. Baldan, A. Essiptchouk, A.J. Potiens Jr. Experimental study on treatment of simulated radioactive waste by thermal plasma: Temporal evaluation of stable Co and Cs. Annals of Nuclear Energy. Volume 160, 15 September 2021, 108433.
6. BIOPROTA. BIOMASS 2020: Interim Report, vol. 6, IAEA MODARIA II working group (2018). ISSN 1402-3091, SKB R-18-02.

7. A.Ya. Pak, K.B. Larionov, E.N. Kolobova, K.V. Slyusarskiy, J. Bolatova, S.A. Yankovsky, V.O. Stoyanovskii, Yu.Z. Vassilyeva, V.E. Gubin. A novel approach of waste tires rubber utilization via ambient air direct current arc discharge plasma. Fuel Processing Technology. Volume 227, March 2022, 107111.

Научный руководитель: к.т.н. Д.В. Гвоздяков, доцент НОЦ И.Н. Бутакова ИШЭ ТПУ.

## ИССЛЕДОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ЗАЖИГАНИЯ И ГОРЕНИЯ ВОДОУГОЛЬНОГО ТОПЛИВА ВЫПОЛНЕННОГО НА ОСНОВЕ ПИРОГЕНЕТИЧЕСКОЙ ЖИДКОСТИ, ПОЛУЧЕННОЙ В РЕЗУЛЬТАТЕ ПЕРЕРАБОТКИ РАЗЛИЧНЫХ ТИПОВ БИОМАССЫ

А.Ж. Калтаев<sup>1</sup>, К.Б. Ларионов<sup>1,2</sup>, В.Е. Губин<sup>1</sup>

Томский политехнический университет<sup>1</sup>

Кузбасский государственный технический университет<sup>2</sup>

ИШЭ, НОЦ И.Н. Бутакова<sup>1</sup>, группа А1-46<sup>1</sup>

Биомасса является устойчивым возобновляемым ресурсом и может стать заменой ископаемого топлива [1]. Согласно данным [2] ежегодное количество получаемого электричество из биомассы за последние 20 лет возросло в 4 раза (рисунок 1). Учитывая постоянно растущее потребление электричества [3] применение биомассы в качестве топлива является перспективным.

Однако биомасса обладает рядом недостатков: высокая влажность, малая насыпная, энергетическая плотность и быстрое загнивание [4]. Перечисленные особенности затрудняют использование биомассы в качестве топлива. В настоящее время применяют не биомассу, а продукты её термической или химической конверсии. Термические методы конверсии биомассы такие как пиролиз, газификация, торрефикация и гидротермальное сжижение широко применяются для производства масла, полукокса и газа [5].

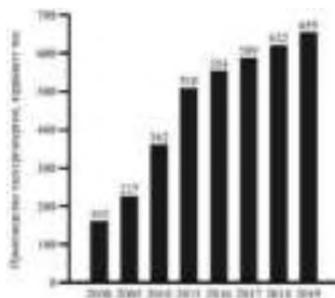


Рис. 1. Производство электроэнергии из биомассы во всем мире с 2000 по 2019 год [2]

“Сырое” масло, получаемое в процессе перечисленных методов, содержит пирогенетическую жидкость (ПЖ), которое негативно сказывается на свойствах масла [6]. К этим характеристикам относятся термическая нестабильность, низкая теплотворная способность из-за высокого содержания воды и фазовая нестабильность [7, 8]. Поэтому ПЖ можно рассматривать как отход термической обработки, который требует дальнейшего обращения.

ПЖ представляет собой смесь воды, органических и неорганических водорастворимых соединений с высокой концентрацией углерода и азота. Наиболее часто встречающимися веществами являются кислоты с короткой цепью, а также и фураны, фенолы, спирты и N-гетероциклические соединения [9, 10]. Учитывая высокие концентрации различных химических веществ, прямой сброс ПЖ в водоемы или в грунт запрещен, поскольку это может привести к загрязнению воды и эвтрофикации [5]. Существуют следующие методы утилизации