

3. Sönnichsen N. Natural gas consumption worldwide from 1998 to 2021 // Statista. 2023. URL: <https://www.statista.com/statistics/282717/global-natural-gas-consumption/> (Дата обращения: 13.11.2023).
4. World coal consumption 1978-2020. IEA 2023. URL: <https://www.iea.org/data-and-statistics/charts/world-coal-consumption-1978-2020> (Дата обращения: 13.11.2023).
5. FAO. The State of the World's Forests 2022 // Rome: Food and Agriculture Organization of United Nations, 2022. – 166 p.
6. Bouckaert S. Net Zero by 2050 // Paris: International Energy Agency, 2021. – 224 p.
7. Anerud E., Krigstin S., Routa J., Brännström H., Arshadi M., Helmeeste C., Bergström D., Egnell G. Dry matter losses during biomass storage Measures to minimize feedstock degradation // IEA Bioenergy, 2019. – 45 p.
8. Lewandowski W.M., Ryms M., Kosakowski W. Thermal Biomass Conversion: A Review // Processes. – 2020. – V. 8. – № 5. – P. 516.
9. Wu Y., Zhao Z., Li H., He F. Low temperature pyrolysis characteristics of major components of biomass // J. Fuel Chem. Technol. – 2009. – V. 37. – № 4. – P. 427–432.
10. Hoang Pham L.K., Vi Tran T.T., Kongparakul S. et al. Data-driven prediction of biomass pyrolysis pathways toward phenolic and aromatic products // J. Environ. Chem. Eng. – 2021. – V. 9. – № 2. – P. 104836.
11. Parihar M.F., Kamil M., Goyal H.B., Gupta A.K., Bhatnagar A.K. An Experimental Study on Pyrolysis of Biomass // Process Saf. Environ. Prot. – 2007. – V. 85 – № 5. – P. 458–465.
12. Showaya A. Decomposition and characterization of Aqueous Pyrolysis Liquid: MS thesis. – South-Eastern Norway, 2022. – 54 p.
13. Borole A.P., Tsouris C., Pavlostathis S.G. et al. Efficient Conversion of Aqueous-Waste-Carbon Compounds Into Electrons, Hydrogen, and Chemicals via Separations and Microbial Electrocatalysis // Front. Energy Res. – 2018. – V. 6. – P. 94.
14. Nyashina G.S., Kuznetsov G.V., Strizhak P.A. Energy efficiency and environmental aspects of the combustion of coal-water slurries with and without petrochemicals // J. Clean. Prod. – 2018. – V. 172. – P. 1730–1738.
15. Boylu F., Dinçer H., Ateşok G. Effect of coal particle size distribution, volume fraction and rank on the rheology of coal-water slurries // Fuel Process. Technol. – 2004. – V. 85. – № 4. – P. 241–250.
16. Oasmaa A., Fonts I., Pelaez-Samaniego M.R., Garcia-Perez M.E., Garcia-Perez M. Pyrolysis Oil Multiphase Behavior and Phase Stability: A Review // Energy & Fuels. – 2016. – V. 30. – № 8. – P. 6179–6200.

## **О ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ УГЛЕРОДА, ПОЛУЧЕННОГО ИЗ АВТОМОБИЛЬНЫХ ПОКРЫШЕК, В ПРОЦЕССЕ ПЛАЗМЕННОГО СИНТЕЗА КАРБИДА БОРА**

**Ж.С. Болатова<sup>1</sup>, Р.Д. Герасимов<sup>2</sup>, Ю.З. Васильева<sup>3</sup>**

*Томский политехнический университет,*

*<sup>1</sup>ИШЭ, ОЭЭ, гр. А0-08,*

*<sup>2</sup>ИШЭ, ОЭЭ, гр. А1-36,*

*<sup>3</sup>ИШЭ, ЛПМЭО, научный сотрудник*

Научный руководитель: А.Я. Пак, д.т.н., профессор ОЭЭ ИШЭ ТПУ

В последнее время существует спрос на материалы, обладающие уникальными свойствами, в том числе на карбиды металлов и неметаллов. Среди таких материалов можно выделить карбид бора  $B_4C$ , характеризующийся следующими свойствами: высокая температура плавления, низкий удельный вес, превосходная твердость, химическая стабильность и жаростойкость [1]. За счёт вышеупомянутых свойств карбид бора является перспективным материалом, который применяется в различных отраслях: для улучшения абляционной и температурной стойкости композитов, для добавления в качестве присадки к ракетному топливу; при создании легких средств индивидуальной бронезащиты и бронетехники; в качестве высокотемпературных полупроводников или диэлектриков, высокотемпературных термодпар и тиристоров; благодаря активному поглощению нейтронов из карбида бора изготавливают

стержни для регулирования ядерных реакций; в качестве абразивных и шлифовальных материалов; при изготовлении сопел и деталей, замена которых представляет трудности [2]. В последнее время также расширяются новые области применения, что приводит к разработке различных синтетических процедур, включая механическое легирование, термическую регенерацию активированного угля и карботермическое восстановление, которые предназначены для получения порошка  $B_4C$  с различным размером частиц [3]. В настоящее время все большую популярность набирают плазмохимические методы синтеза карбидов благодаря высокой скорости протекания реакции. В настоящей работе представлены результаты синтеза карбида бора плазменным методом с использованием в качестве сырья углерода, полученного из автомобильных покрышек методом пиролиза. Такой подход позволяет улучшить экологические показатели, связанные с утилизацией автомобильных покрышек.

Экспериментальные исследования производились на лабораторном стенде, который включает в себя: модифицированный плазмотрон косвенного действия марки ВПР-410 (ООО «ШТОРМ», г. Екатеринбург, Россия), источник плазменной резки Сварог CUT-40 (Jasic Technology Company Ltd, Китай), стойку для регулировки положения графитового тигля от среза сопла плазмотрона, систему вентиляции и систему охлаждения плазмотрона. В качестве плазмообразующего газа использовался технический азот чистотой 99,999 %. Принцип действия основан на интенсивном нагреве исходной шихты, состоящей из аморфного бора и углерода, полученного путем пиролиза автомобильных покрышек в соотношении 4:1, которая загружается в графитовый тигель высотой 40 мм, внешним диаметром 30 мм. Дно и стенки тигля выстилаются графитовой бумагой, для снижения доли привнесенного углерода со стенок тигля. Во избежание окисления продуктов синтеза исходная шихта закрывается графитовой бумагой сверху, а до начала и после окончания цикла работы плазмотрона тигель продувается азотом.

Полученный образец исследовали на рентгенофазовом дифрактометре (XRD 7000s,  $CuK\alpha$ -излучение; Shimadzu, Япония). На рис. 1 представлена типичная дифрактограмма карбида бора, синтезированного с использованием в качестве сырья углерода, полученного из автомобильных покрышек.

Анализ полученных рентгеновских дифрактограмм (рис. 1) показал образование фаз ромбоэдричного  $B_4C$  и графита С. Также при  $2\theta \sim 22,6^\circ$  и  $\sim 36,3^\circ$  наблюдаются образование малоинтенсивных пиков в виде гало, свидетельствующие эффекту двойникового [4]. Такой аномальный эффект обусловлен двумерным дефектом. Двойникование также наблюдается в карбидах кремния [5].

Таким образом в работе показана возможность получения карбида бора при воздействии термической плазмы атмосферного давления на исходную шихту, содержащую углерод, полученный из автомобильных покрышек. Синтезированный порошок содержит 95 % мас. карбида бора и незначительные примеси исходного графита.

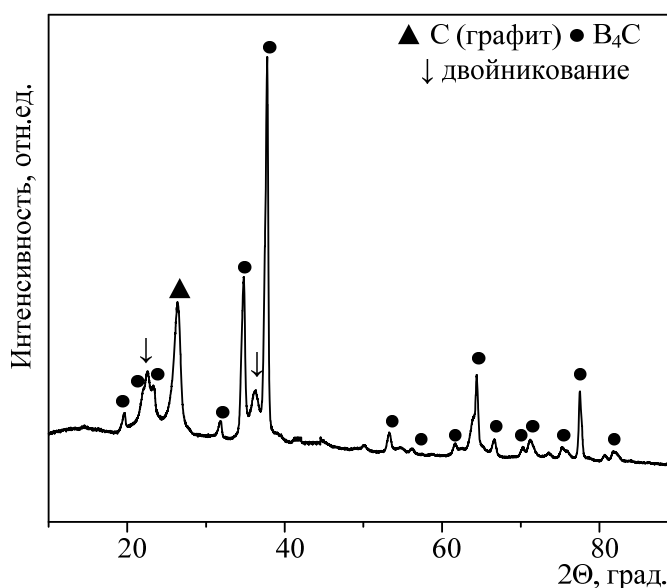


Рис. 1. Типичная рентгеновская дифрактограмма синтезированного карбида бора

*Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (проект № FSWW-2023-0011).*

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Boron carbide: structure, properties, and stability under stress / V. Domnich, S. Reynaud, R.A. Haber, M. Chhowalla // J. Am. Ceram. Soc. – 2011. – V. 94. – P. 3605–3626.
2. Shaffer P.T.B., Schneider S.J. Engineering properties of carbides. – Ohio: Materials Park, ASTM engineered materials handbook, 1991. – 811 p.
3. Synthesis and consolidation of boron carbide: a review / A.K. Suri, C. Subramanian, J.K. Sonber, T.S.R.-Ch Murthy // Int. Mater. Rev. – 2010. – V. 55. – P. 4–40.
4. Influence of Synthesis Temperature on the Defect Structure of Boron Carbide: Experimental and Modeling Studies / U. Anselmi-Tamburini, Z. A. Munir, Y. Kodaera, T. Imai, M. Ohyanagi // Journal of the American Ceramic Society. – 2005. – V. 88. – P. 1382–1387.
5. Microstructural evolution in liquid-phase-sintered SiC: part I, effect of starting powder / H. Xu, T. Bhatia, S.A. Deshpande, N.P. Padture, A.L. Ortiz, F.L. Cumbreira // Journal of the American Ceramic Society. – 2001. – V. 84. – P. 1578–1584.

## ПОДХОД К ПРОИЗВОДСТВУ БИОТОПЛИВА ИЗ РАПСОВОГО МАСЛА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ НАНОМЕМБРАННОГО РЕАКТОРА ЛАБОРАТОРНОГО МАСШТАБА

**В.М. Чоботова, А.Е. Пискунова, Н.А. Хомутов**

*Томский политехнический университет,  
ИШЭ, НОЦ И.Н. Бутакова, гр. 5БМЗЗ, А2-11, А1-11*

Научный руководитель: М.В. Пискунов, к.ф.-м.н., доцент НОЦ И.Н. Бутакова ИШЭ ТПУ

Биодизельное топливо – это возобновляемое топливо, получаемое из различных биологических источников, таких как растительные масла и животные жиры [1]. В настоящее время требуется использование устойчивых альтернативных видов топлива, которые должны быть возобновляемыми, эффективными, экономичными и менее экологически вредными по сравнению с традиционными ископаемыми видами топлива [2]. Разработаны различные виды биотоплива, из которых наиболее распространенными и экономически целесообразными являются биодизельное топливо и этанол. Данные виды топлива не требуют существенных изменений в конструкции двигателя и имеют простую технологию производства [3]. Важно отметить, что свойства биодизельного топлива влияют на работу двигателя и наличие вредных выбросов. Для успешного внедрения биодизельного топлива в транспортный сектор разработано и испытано несколько технологий производства биодизельного топлива на различных видах сырья, чтобы обеспечить производство качественного топлива по разумным затратам [4]. Основным методом на сегодняшний день, является переэтерификация растительных масел и животных жиров. Использование мембранных технологий разделения веществ сокращает количество стадий промывки, которые требуются для удаления свободного глицерина, мыла, избытка спирта и остаточного катализатора после завершения реакции переэтерификации [5].

Целью данного исследования является разработка подхода к производству биотоплива из рапсового масла с использованием наномембранного реактора лабораторного масштаба.

Основными факторами, влияющими на выход и качество биотоплива, получаемого путем переэтерификации на основе катализатора, являются: исходное сырье, тип катализатора и его концентрация, молярное соотношение масла и спирта, температура реакции, время реакции, интенсивность перемешивания, содержания воды и скорость перемешивания [6].