

ТЕХНОЛОГИИ ОБРАБОТКИ МАТЕРИАЛОВ MATERIAL PROCESS ENGINEERING

ISSN 1995-2732 (Print), 2412-9003 (Online)

УДК 662.63

DOI: 10.18503/1995-2732-2022-20-3-87-93



АНАЛИЗ ФАКТОРОВ, ВЛИЯЮЩИХ НА КАЧЕСТВО ТОПЛИВНЫХ БРИКЕТОВ

Муллина Э.Р., Мишурина О.А., Бессонова Ю.А., Басков В.А., Гамиров Д.Р., Волкова Д.В.,
Жамбуршина К.Б.

Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова, Магнитогорск, Россия

Аннотация. Данная статья посвящена изучению вопроса производства топливных брикетов из растительного сырья. В работе рассмотрено актуальное состояние данного сегмента рынка в России, странах Европы и США. Изучены причины, обуславливающие значительную востребованность данного вида топлива. На основании представленного анализа установлено, что топливные брикеты превосходят традиционную древесину по таким качественным показателям, как теплотворная способность, время горения, плотность, а также характеризуются существенно более низким содержанием влаги и летучих веществ, при этом являются экологически безопасным видом топлива, позволяющим решать проблему утилизации отходов деревообрабатывающих и сельскохозяйственных предприятий. Установлены виды растительного сырья, применяемого для производства топливных брикетов. Проведен сравнительный анализ основных технологических показателей топливных брикетов, полученных из различных природных материалов. Рассмотрена технология производства брикетированного сырья. Изучены основные способы прессования: гидравлический, ударно-механический и шнековый. Установлено влияние способа прессования на качество готовой продукции. Отмечено, что брикеты, полученные в результате гидравлического и ударно-механического прессования, характеризуются низкими физико-механическими показателями, что существенно ограничивает сроки их хранения и дальность перевозок. Эти обстоятельства обуславливают их низкую стоимость и невысокий спрос на данную продукцию. Показано, что наиболее целесообразным является использование шнекового прессования, которое позволяет получить топливные брикеты высокого качества, стойкие к механическим воздействиям, перевозкам и длительному хранению. Исследование технологических аспектов получения топливных брикетов показало, что высокое качество данного вида продукции достигается благодаря нагреву, который способствует выделению лигнина, выполняющего функцию межволокнутого связующего материала, что в итоге приводит к повышению их физико-механических показателей и, как следствие, к значительному расширению области их применения.

Ключевые слова: топливные брикеты, растительное сырье, теплотворная способность, зольность, влажность, прессование, гидравлический способ, ударно-механический способ, шнековый способ

© Муллина Э.Р., Мишурина О.А., Бессонова Ю.А., Басков В.А.,
Гамиров Д.Р., Волкова Д.В., Жамбуршина К.Б., 2022

Для цитирования

Анализ факторов, влияющих на качество топливных брикетов / Муллина Э.Р., Мишурина О.А., Бессонова Ю.А., Басков В.А., Гамиров Д.Р., Волкова Д.В., Жамбуршина К.Б. // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. 2022. Т. 20. №3. С. 87-93. <https://doi.org/10.18503/1995-2732-2022-20-3-87-93>



Контент доступен под лицензией Creative Commons Attribution 4.0 License.
The content is available under Creative Commons Attribution 4.0 License.

ANALYSIS OF FACTORS INFLUENCING THE QUALITY OF FUEL BRIQUETTES

Mullina E.R., Mishurina O.A., Bessonova Yu.A., Baskov V.A., Gamirov D.R., Volkova D.V., Zhamburshina K.B.

Nosov Magnitogorsk State Technical University, Magnitogorsk, Russia

Abstract. This paper is devoted to the study on the production of fuel briquettes from vegetable raw materials. It describes the current state of this market segment in Russia, European countries and the USA, and studies on the reasons for a significant demand for this type of fuel. Based on the presented analysis, it was found that fuel briquettes surpassed traditional wood in such qualitative indicators as calorific value, burning time, density, and were also characterized by a significantly lower moisture content and volatiles. They are an environmentally safe type of fuel, contributing to solving the problem of waste disposal of woodworking and agricultural enterprises. The authors determined types of vegetable raw materials used for the production of fuel briquettes and carried out a comparative analysis of the main technological indicators of fuel briquettes produced from various natural materials. The paper describes a production process of briquetted raw materials. The authors studied main pressing methods: hydraulic, mechanical stamping and screw ones, and determined how a pressing method influenced the quality of finished products. It is noted that briquettes produced by hydraulic and mechanical stamping methods are characterized by low physical and mechanical parameters, which significantly limit their storage time and the range of transportation. These circumstances determine their low cost and low demand for these products. It is shown that the most feasible method is screw pressing, which makes it possible to produce high-quality fuel briquettes resistant to mechanical impacts, transportation and long-term storage. The study on the technological aspects of the production of fuel briquettes showed that the high quality of this type of product was achieved by heating, promoting the release of lignin, acting as an intercellular binder and ultimately leading to an increase in the physical and mechanical parameters and, as a result, to a significant expansion of their scope of application.

Keywords: fuel briquettes, vegetable raw materials, calorific value, ash content, moisture, pressing, hydraulic method, mechanical stamping method, screw method

For citation

Mullina E.R., Mishurina O.A., Bessonova J.A., Baskov V.A., Gamirov D.R., Volkova D.V., Zhamburshina K.B. Analysis of Factors Influencing the Quality of Fuel Briquettes. *Vestnik Magnitogorskogo Gosudarstvennogo Tekhnicheskogo Universiteta im. G.I. Nosova* [Vestnik of Nosov Magnitogorsk State Technical University]. 2022, vol. 20, no. 3, pp. 87-93. <https://doi.org/10.18503/1995-2732-2022-20-3-87-93>

Введение

Наблюдающийся в настоящее время непрерывный рост мирового энергопотребления ставит перед человечеством глобальную задачу поиска новых ресурсных потенциалов. При этом увеличение доли использования традиционных энергоресурсов ограничено в силу ряда факторов, таких как снижение объема поставок газа для электроэнергетики, существенное ухудшение качества добываемых углей, негативные экологические последствия строительства и эксплуатации гидроэлектростанций, значительный радиологический риск для населения и окружающей среды при интенсификации атомной энергетики [1]. Совокупность этих обстоятельств обуславливает необходимость вовлечения в переработку возобновляемых, экологически безопасных энергоресурсов.

На сегодняшний день в России уже имеется огромное количество отходов, которые занимая значительные территории, наносят существенный вред окружающей среде, загрязняя почву, воздушный и водный бассейны [2]. Эта проблема может быть решена путем создания эффективных энергосберегающих технологий по переработке отходов лесной и угольной промышленности, сельского хозяйства, которые позволят не только обеспечить комплексное использование сырья, но и существенно снизить экологическую нагрузку.

Возросший в настоящее время спрос на экологически чистое и доступное топливо привел к увеличению производства топливных брикетов на основе использования природных отходов переработки различных отраслей промышленности [3]. В странах Европы и США данный вид производства развивается давно и очень активно, а в России он только начинает набирать обо-

роты. Современный российский рынок биотоплива, в основном, ориентирован на экспорт. Однако в последнее время увеличивается и внутреннее потребление данного вида топлива [4]. Развитию этого сегмента рынка способствует дешевизна и доступность исходного сырья, в качестве которого используют древесные опилки, щепу, солому, шелуху и другие растительные отходы производства.

Полученные результаты и их обсуждение

Востребованность топливных брикетов из природного сырья обусловлена тем, что этот вид топлива по многим характеристикам превосходит обычные дрова. Так, теплотворная способность древесины составляет 2500-2700 ккал/кг, а брикетов – 4500-4900 ккал/кг [5]. Еще одной особенностью топливных брикетов является увеличенное в 1,5-2 раза по сравнению с древесиной время горения, что позволяет существенно экономить на отоплении. При этом брикетированное сырье, в отличие от дров, дает равномерное спокойное пламя на всём промежутке горения [6]. В процессе горения брикетов выделяется меньшее по сравнению с дровами количество сажи, что обусловлено более низким уровнем влажности [7]. Влажность древесины в среднем составляет 15-20%, а влажность брикетов 4-8%, благодаря принудительной сушке [5]. Низкая влажность способствует увеличению теплоотдачи, так как не требуется дополнительного тепла для выпаривания влаги из сырья [6, 7]. Увеличение теплотворной способности брикетов происходит и за счет более высокой плотности брикетированного сырья, которая в среднем в 2 раза превышает аналогичный показатель у дров [5-7]. В свою очередь, повышенная плотность топливных брикетов обеспечивает их высокие физико-механические характеристики. А это означает, что данное сырье является эф-

фективным при транспортировке и хранении. Немаловажным преимуществом брикетированного топлива является и их экологическая безопасность, обусловленная использованием в качестве исходного материала природного растительного сырья без добавления химических реагентов [7]. Помимо этого, производство такого вида топлива решает проблему утилизации отходов деревообрабатывающих и сельскохозяйственных предприятий [6, 7].

Наличие такого широкого спектра преимуществ позволяет прогнозировать увеличение спроса на данный продукт, особенно в России. Это обусловлено не только отсутствием конкуренции в силу недостаточной развитости данного сегмента на отечественном рынке, но и доступностью сырья [4].

В качестве исходного сырья при производстве топливных брикетов могут использоваться отходы деревоперерабатывающей промышленности, торф, солома, отруби, шелуха семян зерновых и злаковых культур, листья и стебли кукурузы. Также в последнее время в качестве сырья применяется макулатура, твердые бытовые отходы и угольная пыль [5, 8]. Исходное сырье существенно влияет на их основные характеристики топливных брикетов, такие как зольность, теплотворная способность, объем сажи, выделяемой при сгорании и т.д. [7].

Брикеты из торфа содержат наибольшее количество вредных примесей и при этом они характеризуются высокой зольностью, поэтому их не рекомендуется применять для отопления частного сектора. Торф в основном используют в печах и котлах промышленного типа, способных работать на топливе низкого качества [7]. Более безопасными считаются брикеты из растительного сырья. Сравнение основных характеристик брикетов из разных природных материалов приведены в **таблице** [5].

Таблица. Сравнительная характеристика топливных брикетов из различных материалов
Table. Comparison of fuel briquettes made from various materials

Материал брикета	Древесные опилки	Солома	Тырса	Шелуха риса	Шелуха семечки
Высшая калорийность, ккал/кг	5043	4740	4400	3458	5161
Низшая калорийность, ккал/кг	4502	3754	4200	3161	4480
Плотность, г/см ³	0,79	1,08	1,37	1,16	1,15
Влажность, %	4,1	7,8	7,5	7,1	2,7
Зольность, %	1,16	7,3	0,7	20,2	3,6

Анализ характеристик брикетов из различных материалов показал, что наибольшей теплотворностью обладают брикеты из шелухи семечек (5161 ккал/кг) и древесных опилок (5043 ккал/кг). При этом они характеризуются невысокой зольностью – 3,60 и 1,16% соответственно. Меньшей калорийностью (4740 ккал/кг) и более высокой зольностью (7,3%) обладают брикеты из соломы. Рисовая шелуха характеризуется самым высоким показателем зольности (20,2%) при относительно невысокой калорийности (3458 ккал/кг) [4, 9].

Проведенный сравнительный анализ различных материалов, используемых при производстве топливных брикетов, свидетельствует о том, что получаемая продукция существенно отличается по всем основным физико-химическим показателям. Данный факт обусловлен тем, что на конечное качество продукта оказывает влияние множество различных факторов, например качество исходного сырья, уровень его подготовки, а также способы хранения готовой продукции и т.д. [7].

Однако наибольшее влияние на качество топливных брикетов оказывает выбор технологии их производства. При этом следует учитывать тот факт, что для производства брикетов из разного сырья может быть использована одна технологическая линия, так как на стадиях прессования и упаковки принципиальных отличий нет. Внесение изменений требуется только на этапе подготовки сырья – измельчении и сушке. Так, отходы деревоперерабатывающего производства требуют предварительной проработки в отличие от шелухи растений [10].

В зависимости от исходного сырья и вида брикетов технологическая цепочка может отличаться, но основными операциями любого процесса брикетирования являются измельчение, сушка, прессование, охлаждение, резка на брикеты, упаковка [4].

Последовательность процессов измельчения и сушки в зависимости от поступающего сырья может быть любой. В некоторых случаях допускается исключение данных операций из технологической цепочки, что может существенно снизить качество готовой продукции, поскольку измельчение улучшает прохождение сырья на всех этапах производства брикетов, а сушка – процесс его прессования.

Основным этапом производства топливных брикетов является прессование, в ходе которого исходный материал под давлением подвергается

нагреву, в результате чего происходит выделение содержащегося в растительном сырье лигнина, что способствует формированию брикета. В случае использования сырья с малым содержанием лигнина в исходную смесь дополнительно вводят связующие (крахмал, целлюлозу, мелассу, глину, декстрины, полисахариды и др.) [11].

После прессования брикет обрезается и поступает на паллеты, где происходит его охлаждение. Затем готовую продукцию упаковывают в полиэтиленовую пленку или пакеты.

Основой любой технологии производства топливных брикетов является процесс прессования. На сегодняшний день используются следующие способы прессования: гидравлический, ударно-механический и шнековый. Все эти способы объединяют общие требования к входящему сырью, которое должно характеризоваться равномерной степенью измельчения и относительной влажностью 8-12% [9].

Гидравлический способ применяется для изготовления брикетов, именуемых как «RUF» [4]. При этом способе прессования производство брикетов осуществляется за счет гидравлического усилия. Оборудование данного типа, выпускаемое различными производителями, имеет широкий диапазон мощностей. Наибольшее распространение получило оборудование фирмы «RUF». Особенностью этого метода является невысокая стоимость оборудования, его надежность и простота в управлении [4]. Однако получаемые данным способом брикеты используются в основном в промышленности, так как имеют фиксированную форму кирпичиков размером 65×95×150 мм. Помимо этого, эти брикеты характеризуются низкой плотностью (0,75-0,8 г/см³) и способностью впитывать влагу из воздуха [5, 7]. Ограниченность использования данной продукции также обусловлена и тем фактом, что она не выдерживает длительного хранения и дальних перевозок [4]. В связи с этим брикеты «RUF» имеют наименьшую стоимость и невысокий спрос относительно других видов топливных брикетов [9].

Вторым, более востребованным и распространенным, является ударно-механический способ изготовления топливных брикетов, именуемых как «Nestro» [4]. Прессование этих брикетов производится за счет ударов поршня, продавливающего исходное сырье через фильеру. Оборудование этого типа различной мощности производится, в основном, в Европе и США [9]. Популярность этого способа производства обусловлена надежностью и неприхотливостью оборудова-

ния, которое позволяет вовлекать в переработку различные виды сырья. При этом механические прессы ударного типа снабжаются дополнительным оборудованием для увлажнения сырья и добавления лигнина. Помимо этого, могут быть установлены системы контроля и управления оборудованием, позволяющие удаленно управлять процессом производства. Это обстоятельство позволяет существенно снизить себестоимость брикетов. Однако качество этой продукции незначительно выше, чем полученной гидравлическим способом. Брикеты «Nestro» изготавливаются в виде цилиндра диаметром 60-90 мм и длиной 50-350 мм [12]. Средняя плотность полученных брикетов составляет 1-1,15 г/см³ [5, 7]. Данный вид брикетов характеризуется низкой влагостойкостью и прочностью, что отрицательно сказывается на транспортировке [4].

Альтернативой первым двум способам производства брикетов является шнековое прессование, которое позволяет получать продукцию более высокого качества. Брикеты, полученные этим способом, называются «Pini&Kay». Производство брикетов осуществляется посредством продавливания шнеком исходного сырья через нагретые фильеры. К недостаткам данного способа следует отнести более высокие эксплуатационные затраты, чем при использовании гидравлического и ударно-механического прессования. Это обстоятельство обусловлено необходимостью ручного контроля параметров процесса и периодической замены шнека из-за износа его рабочей поверхности [9].

Брикеты Pini&Kay получили название «карандаши» из-за своей восьмигранной формы. Их размеры составляют 50-80×200-300 мм [12]. Эти брикеты имеют по центру сквозное отверстие, обеспечивающее не только интенсификацию процесса горения, но и позволяющее применять «Pini&Kay» в топках с низкой тягой. За счёт отверстия, увеличивающего площадь горения, эти брикеты быстрее разгораются и лучше протапливают помещение. Этот вид брикетов имеет самую высокую плотность – от 1,08 до 1,40 г/см³ [5, 7], поэтому они стойки к любым механическим воздействиям. Высокое качество пинибрикетов достигается благодаря нагреву, который способствует выделению лигнина, выполняющего функцию склеивания волокон исходного материала, что, в свою очередь, делает брикет более плотным [4]. Благодаря этому данные брикеты пользуются спросом не только у частных потребителей, но и применяются в промышленных

и муниципальных котельных. Однако стоимость данной продукции достаточно высока, поскольку она относится к классу «премиум».

Заключение

Таким образом, проведенный анализ различных способов прессования показал, что наиболее целесообразным является использование шнекового прессования, которое позволяет получить топливные брикеты высокого качества, стойкие к механическим воздействиям, длительному хранению и перевозкам.

В целом оценивая перспективы использования топлива, произведенного из растительных отходов переработки различных отраслей промышленности, можно смело прогнозировать увеличение спроса на данную продукцию уже в ближайшем будущем. Это позволит не только решить проблему утилизации бесполезных, а зачастую и вредных компонентов [13], тем самым снизив экологическую нагрузку, но и существенно снизить потребление невозобновляемых энергетических и сырьевых ресурсов.

Список источников

1. Заворин А.С., Казаков А.В., Табакаев Р.Б. Экспериментальные предпосылки к технологии производства топливных брикетов из торфа // Известия Томского политехнического университета. 2012. Т. 320. № 4. С. 18-22.
2. Яблокова М.А., Пономаренко Е.А., Георгиевский Н.В. Современные технологии и оборудование для утилизации мелких нетоварных фракций нефтяного кокса (обзор) // Известия СПбГТИ(ТУ). 2016. №34. С. 67-78.
3. Морозов Д.К., Морозова И.В., Васильев С.Б. Использование мягких отходов лесопиления с целью производства топливных брикетов // Resources and Technology. 2018. № 15 (3). С. 1-28.
4. Технология производства топливных брикетов [Электронный ресурс]. URL: <https://siv-blog.com/tehnologiya-proizvodstva-toplivnyh-briketov/>.
5. Все про топливные брикеты: виды, чем лучше дров, преимущества и недостатки, рекомендации по выбору [Электронный ресурс]. URL: <https://term.od.ua/blog/toplivnie-brikety-drevesnie/>.
6. Использование топливных брикетов: плюсы и минусы, виды, технология производства, чем лучше обычных дров [Электронный ресурс]. URL: <https://provseothody.ru/drevesina/toplivnye-brikety>.
7. Виды топливных брикетов. Рекомендации по выбору [Электронный ресурс]. URL: <https://agrostory.com/info-centre/knowledge-lab/vidy-toplivnykh-briketov-rekomendatsii-po-vyboru/>.
8. Производство топливных брикетов [Электронный ресурс]. URL: <https://agrostory.com/info>.

- centre/knowledge-lab/proizvodstvo-toplivnykh-briketov/.
- Современные технологии производства топливных брикетов [Электронный ресурс]. URL: <https://pandia.ru/text/78/003/70707.php>.
 - Топливные брикеты из семечек и лузги подсолнечника, общий обзор [Электронный ресурс]. URL: <https://ochg.ru/drova/toplivnye-brikety-iz-luzgi-podsolnechnika.html>.
 - Долгов М.С. Анализ связующих веществ для топливных брикетов // Молодой ученый. 2020. № 18 (308). С. 230-231.
 - Топливные брикеты: виды, отличия, преимущества и недостатки [Электронный ресурс]. URL: https://eurodrova.ru/eto_interesno1/stati_pro_biopellevy_evrodova/vidy_i_otlichiya_toplivnykh_briketov/.
 - Сравнительный анализ физико-механических свойств биоразлагаемых и синтетических полимеров / Ершова О.В., Медяник Н.Л., Мишурина О.А., Бессонова Ю.А., Багреева К.В. // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. 2021. Т. 19. №4. С. 56-63.
 - Technology of production of fuel briquettes. Available at: <https://siv-blog.com/tehnologiya-proizvodstva-toplivnykh-briketov/>.
 - All about fuel briquettes: types, better than firewood, advantages and disadvantages, selection recommendations. Available at: <https://term.od.ua/blog/toplivnie-brikety-drevesnie/>.
 - The use of fuel briquettes: pros and cons, types, production technology, better than conventional firewood. Available at: <https://provseothody.ru/drevesina/toplivnye-brikety>.
 - Types of fuel briquettes. Recommendations for their selection. Available at: <https://agrostory.com/info-centre/knowledge-lab/vidy-toplivnykh-briketov-rekomendatsii-po-vyboru/>.
 - Production of fuel briquettes. Available at: <https://agrostory.com/info-centre/knowledge-lab/proizvodstvo-toplivnykh-briketov/>.
 - Modern technologies for the production of fuel briquettes. Available at: <https://pandia.ru/text/78/003/70707.php>.
 - Fuel briquettes from sunflower seeds and husks: a general overview. Available at: <https://ochg.ru/drova/toplivnye-brikety-iz-luzgi-podsolnechnika.html>.
 - Dolgov M.S. Analysis of binders for fuel briquettes. *Molodoy ucheny* [Young scientist], 2020, no. 18 (308), pp. 230-231. (In Russ.)
 - Fuel briquettes: types, differences, advantages and disadvantages. Available at: https://eurodrova.ru/eto_interesno1/stati_pro_biopellevy_evrodova/vidy_i_otlichiya_toplivnykh_briketov/.
 - Ershova O.V., Medyanik N.L., Mishurina O.A., Bessonova Yu.A., Bagreeva K.V. Comparative analysis of physical and mechanical properties of biodegradable and synthetic polymers. *Vestnik Magnitogorskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta im. G.I. Nosova* [Vestnik of Nosov Magnitogorsk State Technical University], 2021, vol. 19, no. 4, pp. 56-63. (In Russ.)

References

- Zavorin A.S., Kazakov A.V., Tabakaev R.B. Experimental prerequisites for the production technology of fuel briquettes from peat. *Izvestiya Tomskogo politekhnicheskogo universiteta* [Bulletin of Tomsk Polytechnic University], 2012, vol. 320, no. 4, pp. 18-22. (In Russ.)
- Yablokova M.A., Ponomarenko E.A., Georgievsky N.V. Modern technologies and equipment for disposing fine non-commodity fractions of petroleum coke (review). *Izvestiya SPbGTI(TU)* [Bulletin of Saint Petersburg State Institute of Technology (Technical University)], 2016, no. 34, pp. 67-78. (In Russ.)
- Morozov D.K., Morozova I.V., Vasiliev S.B. The use of soft sawmill waste for the production of fuel briquettes. *Resources and Technology*, 2018, no. 15 (3), pp. 1-28 (2018).

Поступила 30.05.2022; принята к публикации 04.07.2022; опубликована 26.09.2022
Submitted 30/05/2022; revised 04/07/2022; published 26/09/2022

Муллина Эльвира Ринатовна – кандидат технических наук, доцент кафедры химии, Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова, Магнитогорск, Россия.
Email: e.mullina@inbox.ru. ORCID 0000-0002-4254-3260

Мишурина Ольга Алексеевна – кандидат технических наук, доцент кафедры химии, Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова, Магнитогорск, Россия.
Email: olegro74@mail.ru. ORCID 0000-0003-3412-8902

Бессонова Юлия Александровна – кандидат экономических наук, доцент, Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова, Магнитогорск, Россия.
Email: bessonova74@mail.ru. ORCID 0000-0001-8027-3567

Басков Владислав Андреевич – студент, Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова, Магнитогорск, Россия.
Email: baskov-vvvl@mail.ru.

Гамиров Данил Радикович – студент, Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова, Магнитогорск, Россия.
Email: danil.gamirov@yandex.ru.

Волкова Дарья Викторовна – студентка,

Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова, Магнитогорск, Россия.

Email: dashuta2003@inbox.ru.

Жамбуршина Карина Бахитжановна – студентка,

Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова, Магнитогорск, Россия.

Email: karina_tulubaeva@mail.ru.

Elvira R. Mullina – PhD (Eng.), Associate Professor of the Chemistry Department,

Nosov Magnitogorsk State Technical University, Magnitogorsk, Russia.

Email: e.mullina@inbox.ru. ORCID 0000-0002-4254-3260

Olga A. Mishurina – PhD (Eng.), Associate Professor of the Chemistry Department,

Nosov Magnitogorsk State Technical University, Magnitogorsk, Russia.

Email: olegro74@mail.ru. ORCID 0000-0003-3412-8902

Yuliya A. Bessonova – PhD (Economics), Associate Professor,

Nosov Magnitogorsk State Technical University, Magnitogorsk, Russia.

Email: bessonova74@mail.ru. ORCID 0000-0001-8027-3567

Vladislav A. Baskov – student,

Nosov Magnitogorsk State Technical University, Magnitogorsk, Russia.

Email: baskov-vvv1@mail.ru.

Danil R. Gamirov – student,

Nosov Magnitogorsk State Technical University, Magnitogorsk, Russia.

Email: danil.gamirov@yandex.ru.

Daria V. Volkova – student,

Nosov Magnitogorsk State Technical University, Magnitogorsk, Russia.

Email: dashuta2003@inbox.ru.

Karina B. Zhamburshina – student,

Nosov Magnitogorsk State Technical University, Magnitogorsk, Russia.

Email: karina_tulubaeva@mail.ru.