

УДК 543.632[4+22]:62[665.4+666]:66-935.5 © А.В. Таскин<sup>1</sup>,  
Д.Р. Федотов<sup>1</sup>, А.Л. Шкуратов<sup>1</sup>, С.И. Иванников<sup>1</sup>,  
Т.Г. Черкасова<sup>2</sup>, Д.А. Баранцев<sup>2</sup>, 2024

UDC 543.632[4+22]:62[665.4+666]:66-935.5 © A.V. Taskin<sup>1</sup>,  
D.R. Fedotov<sup>1</sup>, A.L. Shkuratov<sup>1</sup>, S.I. Ivannikov<sup>1</sup>,  
T.G. Cherkasova<sup>2</sup>, D.A. Barantsev<sup>2</sup>, 2024

<sup>1</sup> Дальневосточный федеральный университет,  
690922, г. Владивосток, Россия

<sup>1</sup> Far Eastern Federal University, Vladivostok, 690922, Russian Federation

<sup>2</sup> Институт химических и нефтегазовых технологий  
ФГБОУ ВО «Кузбасский государственный технический университет  
имени Т.Ф. Горбачева», 650000, г. Кемерово, Россия  
✉ e-mail: taskin@yandex.ru

<sup>2</sup> T.F. Gorbachev Kuzbass State Technical University (KuzSTU),  
Kemerovo, 650000, Russian Federation,  
✉ e-mail: taskin@yandex.ru

# Извлечение угольного концентрата из отходов углеобогащения как подготовка к выделению редких и редкоземельных элементов\*

## Extraction of coal concentrate from coal processing waste as a preparation step for separation of rare and rare earth elements

DOI: <http://dx.doi.org/10.18796/0041-5790-2024-4-40-44>

### ТАСКИН А.В.

Канд. хим. наук, заведующий лабораторией технологий использования вторичных ресурсов Дальневосточного федерального университета, 690922, г. Владивосток, Россия,  
e-mail: taskin@yandex.ru

### ФЕДОТОВ Д.Р.

Ассистент Политехнического института Дальневосточного федерального университета, 690922, г. Владивосток, Россия

Ежегодный рост объемов отвалов и терриконов угольной промышленности приводит к формированию ряда проблем негативного антропогенного влияния на окружающую среду, жизнь и здоровье человека. Поиск путей решения данной проблемы привлекает внимание многих исследователей, рассматривающих данные отходы в качестве техногенного минерального сырья, содержащего макрокомпоненты (соединения кремния, алюминия, железа, кальция и т.д.) и микрокомпоненты (рассеянные, благородные металлы, редкие и редкоземельные элементы). На сегодняшнее время наиболее исследовано направление применения отходов угольной промышленности в качестве сырья для строительных материалов, тогда как технологии комплексной переработки с целью извлечения редких и редкоземельных металлов проходят стадию поиска наиболее оптимальных и экономически выгодных вариантов. В каждом из описанных направлений важным требованием, предъявляемым к сырью, является содержание углеродной составляющей, так как наличие углерода заметно снижает прочность строительных материалов и увеличивает объем реактивов в химических методах комплексной переработки. В данной работе приведены дан-



Научно-образовательный  
центр «Кузбасс»

\* Исследование выполнено за счет гранта Минобрнауки России (Соглашение № 075-15-2022-1194).

ные, полученные в результате экспериментов по получению угольного концентрата из отходов углеобогащения ЦОФ «Березовская» Кемеровской области – Кузбасса. Показана возможность дообогащения отходов по углю с получением продукта, пригодного для сжигания в энергетических установках. Оставшаяся минеральная часть пригодна для последующего извлечения редких и редкоземельных элементов.

**Ключевые слова:** угледобывающая отрасль, отходы углеобогащения, угольный концентрат, гравитационное обогащение, электростатическая сепарация, гидроциклон, топливный брикет.

**Для цитирования:** Извлечение угольного концентрата из отходов углеобогащения как подготовка к выделению редких и редкоземельных элементов / А.В. Таскин, Д.Р. Федотов, А.Л. Шкуратов и др. // Уголь. 2024;(4):40-44. DOI: 10.18796/0041-5790-2024-4-40-44.

### Abstract

The annual growth in the volumes of dumps and landfills of the coal industry leads to the formation of a number of problems of negative anthropogenic impact on the environment and human life and health. The search for a solution to this problem attracts the attention of many researchers who consider these wastes as man-made mineral raw materials containing macro-components (compounds of silicon, aluminum, iron, calcium, etc.) and micro-components (dispersed, noble metals, rare and rare-earth elements). At present, the most researched direction is the use of coal industry waste as raw materials for building materials, while technologies for complex processing in order to extract rare and rare earth metals are undergoing the stage of searching for the most optimal and economically profitable options. In each of the described directions, an important requirement for raw materials is the content of the carbon component, since the presence of carbon significantly reduces the strength of building materials and increases the volume of reagents in chemical methods of complex processing. This paper presents data obtained as a result of experiments on the extraction of coal concentrate from coal enrichment waste from the central processing plant "Berezovskaya" of the Kemerovo region – Kuzbass. The possibility of further enrichment of waste by coal to produce a product suitable for combustion in power plants is shown. The remaining mineral part is suitable for the subsequent extraction of rare and rare earth elements.

### Keywords

Coal mining industry, Coal processing waste, Coal concentrate, Gravity concentration, Electrostatic separation, Hydrocyclone, Fuel brick.

### For citation

Taskin A.V., Fedotov D.R., Shkuratov A.L., Ivannikov S.I., Cherkasova T.G., Barantsev D.A. Extraction of coal concentrate from coal processing waste as a preparation step for separation of rare and rare earth elements. *Ugol'*. 2024;(4):40-44. (In Russ.). DOI: 10.18796/0041-5790-2024-4-40-44.

### Acknowledgements

The research was financially supported by a grant from the Russian Ministry of Education and Science (Agreement No. 075-15-2022-1194).

## ВВЕДЕНИЕ

Одной из значимых отраслей в экономике России является угольная, обеспечивающая твердым топливом предприятия энергетики, металлургии, коммунального хозяйства, являющаяся источником сырья для углехимии и ряда других отраслей.

Вместе с тем добыча угля и его обогащение сопровождаются естественным образованием отходов с ежегодным приростом в

## ШКУРАТОВ А.Л.

Канд. хим. наук, доцент, старший научный сотрудник Эколого-аналитического центра Дальневосточного федерального университета, 690922, г. Владивосток, Россия, e-mail: shkuratov.al@dvvu.ru

## ИВАННИКОВ С.И.

Канд. хим. наук, научный сотрудник Института наукоемких технологий и передовых материалов Дальневосточного федерального университета, 690922, г. Владивосток, Россия

## ЧЕРКАСОВА Т.Г.

Доктор хим. наук, профессор, директор Института химических и нефтегазовых технологий ФГБОУ ВО «Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева», 650000, г. Кемерово, Россия, e-mail: ctg.htnv@kuzstu.ru

## БАРАНЦЕВ Д.А.

Ассистент Института химических и нефтегазовых технологий ФГБОУ ВО «Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева», 650000, г. Кемерово, Россия, e-mail: kemche@yandex.ru

120 млн т [1]. Например, в Кемеровской области работают более 200 предприятий угольной отрасли, в результате производственной деятельности которых образуется свыше 2 млн т отходов угледобычи и углеобогащения. В связи с ростом содержания тонких классов в добываемых углях концентрация неизвлеченного угля в отходах углеобогащения повышается настолько, что позволяет отнести гидроотвалы углеобогащительных фабрик к техногенным месторождениям углесодержащего сырья [2, 3]. Вовлечение их в переработку направлено на решение проблемы ресурсосбережения, охраны недр, рационального землепользования и защиты окружающей среды [4, 5, 6, 7]. Одновременно отмечается рост потребности в углях и угольных концентратах с зольностью до 20% [3]. Помимо этого, данные отходы можно рассматривать как комплексные руды из-за наличия в них рассеянных, редких и редкоземельных элементов в промышленно значимых концентрациях [8, 9, 10, 11, 12].

В связи с этим в угледобывающей отрасли возрастает актуальность задачи по обогащению и комплексной переработке отходов и их вовлечению в хозяйственную деятельность.

Задача данного исследования – разработка и апробирование в лабораторных условиях технологических решений по снижению остатков угля в отходах углеобогащения и получению из отходов углеобогащения угольного концентрата с зольностью не выше 40%.

### ОСНОВНОЙ РАЗДЕЛ

В качестве объектов исследования выбраны следующие отходы углеобогащения ЦОФ «Березовская», Кемеровская область – Кузбасс: БФ-1 (отходы ФПО 0-0,5 мм); БФ-2 (промпродукт + 0,5-13 мм); БФ-3 (промпродукт +13); БФ-4 (порода +13); БФ-5 (порода +0,5-13).

Определение содержания матричных компонентов в пробах выполнено методом атомно-эмиссионной спек-

троскопии с индуктивно связанной плазмой на спектрометре iCAP 7600 Duo (Thermo Scientific, USA), определение содержания SiO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O, потери при прокаливании (ППП) выполнено методом гравиметрии. Результаты представлены в табл. 1.

Для работы по извлечению угля была выбрана проба БФ-3 с большим показателем ППП.

Обогащение пробы БФ-3 по углю методом сухой электростатической сепарации (ЭСС) проводилось следующим образом: навеска исходной пробы БФ-3 массой 100 г была измельчена в мокром виде на диспергаторе роторно-пульсационного типа марки РПА-5Р-55А-7,5-ПЧ-УЗ до размеров частиц от 50 до 150 мкм.

Тестирование метода сухой электростатической сепарации выполнено на трибоэлектростатическом сепараторе ЭРГА ЭСС 320x300/Т667. Из усредненной пробы БФ-3 была отобрана навеска массой 2 кг, навеска измельчена и классифицирована на аналитической просеивающей машине AS 200 basic для определения возможного изменения зольности по классам крупности. Отдельные классы: – 4 + 2 мм, – 2 + 0,5 мм и менее 0,5 мм для определения зольности прокаливались в муфельной печи ЭКСПС-300 в течение двух часов при температуре 825°C до достижения постоянной массы. Результаты представлены в табл. 2.

Для обеспечения оптимальных условий работы электростатического сепаратора на аналитической просеивающей машине AS 200 basic из измельченной пробы БФ-3 отобрана навеска классом крупности – 2 + 0,5 мм и массой 9,825 кг. Навеска подвергнута первой ЭС-сепарации (обогащению). Полученный после первой ступени обогащения концентрат был подвергнут повторной ЭС-сепарации. Зольность полученных образцов составила: БФ-3 (исходная) – 57% масс.; БФ-3 (концентрат первой ступени ЭС) – 53,6% масс.; БФ-3 (концентрат второй ступени ЭС) – 54% масс.

Таблица 1

Содержание матричных компонентов в пробах  
Content of matrix components in the samples

Наименование пробы	Содержание основных оксидов, %											
	SiO <sub>2</sub>	TiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MnO	MgO	CaO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	H <sub>2</sub> O	ППП
БФ-1	43,19	0,52	14,13	4,78	0,04	1,11	2,02	0,93	2,31	0,08	1,24	28,24
БФ-2	44,16	0,51	12,36	9,60	0,10	1,15	2,51	0,59	1,85	0,11	1,30	23,68
БФ-3	27,52	0,37	10,08	5,46	0,05	1,99	5,20	0,56	1,95	0,15	1,11	42,36
БФ-4	43,91	0,61	13,76	9,38	0,08	1,79	1,93	0,71	2,21	0,08	1,18	19,89
БФ-5	40,40	0,56	14,16	7,74	0,10	1,22	1,28	0,81	2,36	0,06	1,25	28,85

Таблица 2

Изменение зольности пробы БФ-3 по классам крупности  
Variation of the ash content in the BF-3 sample by the particle-size classes

Класс крупности навески, мм	Масса навески, г	Масса после прокаливания, г	Зольность, %
– 4 + 2	76,36	48,44	63,4
	80	46,68	58,4
– 2 + 0,5	80	46,9	58,6
	80,03	35,51	44,4
– 0,5	80,07	35,56	44,4
	80,07	36,1	45,1

Обогащение промпродукта БФ-2 по углю производили на гидроциклоне. Образец был разделен на фракции различной крупности. Фракцию с размером частиц от 1 до 2 мм и зольностью 52,6% масс. использовали для обогащения на гидроциклоне ГЦП-50-10. Основные параметры лабораторной установки гидроциклона представлены в *табл. 3*. Подача пульпы в гидроциклон осуществляется перистальтическим насосом НП-32-180 с номинальной производительностью 0,98 м<sup>3</sup>/ч и возможностью ее регулировки через частотный преобразователь в диапазоне от 0,9 до 1,47 м<sup>3</sup>/ч.

Для выделения угольного концентрата взято 735 г фракции (1-2 мм), которую внесли в питательную емкость с 10 л воды при постоянном перемешивании. Полученную пульпу пропустили через гидроциклон на максимальных оборотах насоса? при этом пиковое давление в системе достигало 0,01 МПа. В результате одной процедуры разделения получено 177 г (выход – 24%) угольного концентрата с зольностью 33,4% масс.

Обогащение пробы БФ-3 по углю гравитационным обогащением с предварительной масляной агломерацией проводилось на концентрационном столе СКО-1 пробы БФ-3, измельченной до класса – 0,5 + 0 и агломерированной отработанным моторным маслом. Измельченная проба в количестве 20 кг была загружена в цилиндрическую емкость и разбавлена водой до состояния густой суспензии Т:Ж = 1:5. В полученную смесь добавлен 1 кг (5% от веса сухой пробы БФ-3) моторного масла. Смесь активно перемешивалась двухвальным смесителем в течение 10 мин, затем туда добавлялась вода до Т:Ж = 1:10 при постоянном перемешивании смеси. Агломерированная смесь подавалась на концентрационный стол. При работе стола отдельно собирались плавающая часть смеси, хвосты стола, промежуточный продукт и алюмосиликатная часть. После первой операции обогащения собранные продукты высушивались до постоянной массы и взвешивались. От каждого продукта отби-

рались по три навески по 50 г и прокаливались для определения зольности. Показатели зольности усреднялись. Полученные результаты представлены в *табл. 4*.

В данной работе принципиально определена возможность получения угольного концентрата с зольностью до 30% из продуктов углеобогащения (проба БФ-3 ЦОФ «Березовская») гравитационным методом с использованием в качестве реагента отработанного моторного масла. При этом выход угольного концентрата может составить более 40% от массы отхода углеобогащения БФ-3.

Поскольку полученный угольный концентрат в высушенном виде представлен пылевидными частицами с размерами не более 100 мкм, использование которых в промышленной и бытовой сферах крайне ограничено, были выполнены эксперименты по его брикетированию. Опробованы способы брикетирования угольного концентрата (пыли) на лабораторном гидравлическом прессе и на экструдере с использованием вяжущего и без него. Оптимальный результат по качеству брикетов был получен на органическом вяжущем, разработанном в лаборатории ДВФУ с собственной низшей теплотой сгорания 4539 ккал/кг (высшая – 5272 ккал/кг) и зольностью 2,4%. При использовании вяжущего вещества зольность брикета снижает пропорционально его количеству.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

По результатам экспериментов с пробой БФ-3 выявлена устойчивая зависимость снижения зольности по мере уменьшения класса крупности частиц пробы, что позволяет сделать вывод о необходимости измельчения проб в случае организации переработки данных отходов с целью получения угольного концентрата.

Электростатическая сепарация не приводит к обогащению пробы БФ-3 по углю.

Использование гидроциклона дает хороший результат для обогащения промпродукта, имеющего небольшой по размерности диапазон частиц, позволяет получить концентрат с зольностью в районе 33% и выходом до 1/4 от исходной массы.

Гарантированный результат по содержанию угля в выделенном концентрате не менее 70% и зольностью не более 30% (*см. табл. 4*) получен при комбинировании метода масляной агломерации (упрощенный вариант) и одноступенчатого гравитационного обогащения на концентрационном столе. При этом расход отработанного масла на агломерацию не превышает 5% от веса высушенного обогащаемого материала.

Таблица 3

### Технические характеристики

Technical characteristics

Показатели	Значение
Рабочий угол конуса циклона, град	10
Диаметр приемной камеры, мм	50
Эквивалентный диаметр входного отверстия, мм	12
Диаметр сливного отверстия насадки, мм	10; 12
Диаметр выходного отверстия песковой насадки, мм	2; 4; 6; 8

Таблица 4

### Результаты определения зольности пробы БФ-3, измельченной и агломерированной маслом

Results of determining the ash content in the BF-3 sample milled and agglomerated with oil

Продукты обогащения СКО-1	Выход, г	Выход, %	Зольность, %
Хвосты стола (угольный концентрат)	3440	17,2	54,6
Промежуточный продукт	3800	19	75,1
Алюмосиликатная часть	2070	10,35	84,3
Плавающая часть (пена)	8690	43,45	24,6
Итого –0,5 + 0 мм	18 000	–	–
Потери	2000	10	–

Выделенный комбинированным способом углесодержащий концентрат представляет собой продукт, пригодный для применения в энергетических установках после придания ему удобной для использования формы, например в виде топливных брикетов. При использовании вяжущего зольность топливных брикетов может быть снижена.

### Список литературы • References

1. Государственный доклад «О состоянии и использовании минерально-сырьевых ресурсов Российской Федерации в 2020 году» от 22 декабря 2022 г. URL: [https://www.mnr.gov.ru/docs/gosudarstvennye\\_doklady/o\\_sostoyanii\\_i\\_ispolzovanii\\_mineralno\\_syrevykh\\_resursov\\_rossiyskoy\\_federatsii/](https://www.mnr.gov.ru/docs/gosudarstvennye_doklady/o_sostoyanii_i_ispolzovanii_mineralno_syrevykh_resursov_rossiyskoy_federatsii/) (дата обращения: 15.03.2024).
2. Хамзина Т. Угольный шлам: вторая жизнь // Глобус. 2021. № 1. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.vnedra.ru/tehnologii/ugolnyj-shlam-vtoraya-zhizn-13710/> (дата обращения: 15.03.2024). Khamzina T. Coal sludge: a second life. *Globus*. 2021;(1). [Electronic resource]. Available at: <https://www.vnedra.ru/tehnologii/ugolnyj-shlam-vtoraya-zhizn-13710/> (accessed 15.03.2024).
3. Таразанов И. Итоги работы угольной промышленности России за 2012 год // Уголь. 2013. № 3. С. 78-90. URL: <http://www.ugolinfo.ru/Free/032013pdf> (дата обращения: 15.03.2024). Tarazanov I.G. Russia's coal industry performance for 2012. *Ugol'*. 2013;(3):78-90. Available at: <http://www.ugolinfo.ru/Free/032013pdf> (accessed 15.03.2024). (In Russ.).
4. Киреева А.С. Современное состояние и экологическая оценка влияния породных отвалов предприятий угольной промышленности // Известия Тульского государственного университета. Науки о земле. 2022. № 1. С. 62-71. DOI: 10.46689/2218-5194-2022-1-1-62-71. Kireeva A.S. The current state and environmental assessment of the impact of rock dumps of coal industry enterprises. *Izvestiya Tul'skogo gosudarstvennogo universiteta. Nauki o zemle*. 2022;(1):62-71. (In Russ.). DOI: 10.46689/2218-5194-2022-1-1-62-71.
5. Качурин Н.М., Воробьев С.А., Чистяков Я.В., Рыбак Л.Л. Экологические последствия закрытия угольных шахт Кузбасса по газодинамическому фактору и опасности эндогенных пожаров на отвалах // Экология и промышленность России. 2015. Т. 19. № 4. С. 54-58. Kachurin N.M., Vorobyov S.A., Chistyakov Ya.V., Rybak L.L. Environmental consequences of the closure of Kuzbass coal mines by the gas dynamic factor and the danger of endogenous fires in landfills. *Ecologiya i promyshlennost Rossii*. 2015;19(4):54-58. (In Russ.).
6. Шадрюнова И.В., Зелинская Е.В., Волкова Н.А., Орехова Н.Н. Горнопромышленные отходы: ресурсный потенциал и технологии переработки (на примере Сибири и Урала). Современные проблемы комплексной переработки труднообогатимых руд и техногенного сырья (Плаксинские чтения). Материалы междунар. науч. конф. Красноярск, 2017. С. 15-21.
7. Перспективы экологически безопасного использования отходов производства на территориях горнодобывающих регионов / Н.М. Качурин, В.И. Ефимов, Е.К. Мосина и др. // Безопасность труда в промышленности. 2014. № 9. С. 81-84. Kachurin N.M., Efimov V.I., Mosina E.K., Faktorovich V.V. Prospects for the environmentally safe use of industrial waste in the territories of mining regions. *Bezopasnost' truda v promyshlennosti*. 2014;(9):81-84. (In Russ.).
8. Досмухамедов Н.К., Каплан В.А., Даруеш Г.С. Инновационная технология комплексной переработки золы от сжигания угля // Уголь. 2020. № 1. С. 58-63. DOI: 10.18796/0041-5790-2020-1-58-63. Dosmukhamedov N.K., Kaplan V.A., Daruesh G.S. Innovative technology of integrated processing of ash from coal combustion. *Ugol'*. 2020;(1):58-63. (In Russ.). DOI: 10.18796/0041-5790-2020-1-58-63.
9. Черкасова Т.Г., Черкасова Е.В., Тихомирова А.В., Пилин М.О., Баранцев Д.А. Анализ отходов угледобычи, углепереработки и углеобогащения месторождений Кузнецкого угольного бассейна // Вестник Кузбасского государственного технического университета. 2022. № 6(154). С. 59-66. (In Russ.). DOI: 10.26730/1999-4125-2022-6-59-66. Cherkasova T.G., Cherkasova E.V., Tikhomirova A.V., Pilin M.O., Barantsev D.A. Analysis of waste from coal mining, coal refining and coal enrichment of deposits of the Kuznetsk coal basin. *Vestnik Kuzbasskogo Gosudarstvennogo Tekhnicheskogo Universiteta*. 2022;6(154):59-66. DOI: 10.26730/1999-4125-2022-6-59-66.
10. Zhang W., Noble A., Yang X., Honaker R. A Comprehensive Review of Rare Earth Elements Recovery from Coal-Related Materials. *Minerals*. 2020;10(451):1-28. DOI: 10.3390/min10050451.
11. Peiravi M., Dehghani F., Ackah L. et al. A Review of Rare-Earth Elements Extraction with Emphasis on Non-conventional Sources: Coal and Coal Byproducts, Iron Ore Tailings, Apatite, and Phosphate Byproducts. *Mining, Metallurgy & Exploration*. 2021;(38):1-26. DOI: 10.1007/s42461-020-00307-5.
12. Slavković-Beškoski L., Ignjatović L., Čujić M. et al. Ecological and Health Risks Attributed to Rare Earth Elements in Coal Fly Ash. *Toxics*. 2024;12(71):1-15. DOI: 10.3390/toxics12010071.

#### Authors Information

**Taskin A.V.** – PhD (Chemistry), Head of the Laboratory of Technologies for the use of secondary Resources of Far Eastern Federal University, Vladivostok, 690922, Russian Federation, e-mail: taskin@yandex.ru

**Fedotov D.R.** – Assistant at the Polytechnic Institute of Far Eastern Federal University, Vladivostok, 690922, Russian Federation

**Shkuratov A.L.** – PhD (Chemistry), Associate Professor, Senior Researcher at the Environmental Analytical Center of Far Eastern Federal University, Vladivostok, 690922, Russian Federation, e-mail: shkuratov.al@dvfu.ru

**Ivannikov S.I.** – PhD (Chemistry), Researcher at the Institute of High-Tech Technologies and Advanced Materials of Far Eastern Federal University, Vladivostok, 690922, Russian Federation

**Cherkasova T.G.** – Doctor of Chemistry Sciences, Professor, Director of Institute of Chemical and Oil and Gas Technologies, T.F. Gorbachev Kuzbass State Technical University (KuzSTU), Kemerovo, 650000, Russian Federation, e-mail: ctg.htnv@kuzstu.ru

**Barantsev D.A.** – Assistant of Institute of Chemical and Oil and Gas Technologies, T.F. Gorbachev Kuzbass State Technical University (KuzSTU), Kemerovo, 650000, Russian Federation, e-mail: kemche@yandex.ru

#### Информация о статье

Поступила в редакцию: 25.02.2024

Поступила после рецензирования: 28.02.2024

Принята к публикации: 26.03.2024

#### Paper info

Received February 25, 2024

Reviewed February 28, 2024

Accepted March 26, 2024