

Научно-исследовательский журнал «**Chemical Bulletin**»

<https://cb-journal.ru>

2024, Том 7, № 3 / 2024, Vol. 7, Iss. 3 <https://cb-journal.ru/archives/category/publications>

Научная статья / Original article

УДК 661.183.2

DOI: 10.58224/2619-0575-2024-7-3-93-101

Исследование переработки ископаемых углей месторождений «Калейва» и «Тиджит» как сырья для производства активных углей парогазовой активацией

¹ Зо Е Найнг *,

¹ Со Вин Мьянн,

¹ Нистратов А.В.,

¹ Клушин В.Н.,

¹ Российский химико-технологический университет имени Д.И. Менделеева,

* Ответственный автор E-mail: zawye7@mail.ru

Аннотация: цели: в статье раскрываются результаты исследований технических показателей целевых продуктов процессов парогазовой активации ископаемых углей месторождений «Тиджит» и «Калейва» (Tigyit/Kalewa, Мьянма).

Методы. С целью оценки пригодности ископаемых углей месторождений Тиджит и Калейва для получения зерненных активных углей охарактеризованы результаты их петрографического анализа в виде материального состава и произвольных показателей отражения витринита, свидетельствующие о потенциальной возможности их использования для решения этой задачи, на основании данных термографических испытаний, выполненных в защитной атмосфере, оценены рациональные границы термического воздействия на данное сырьё при пиролизе.

Результаты. Представлены результаты парогазовой активации названного ископаемых углей, свидетельствующие о возможности получения активных углей с приемлемыми для практического использования структурно-адсорбционными свойствами, сделан вывод о необходимости совершенствования процессов названной паровой активации с целью их оптимизации.

Выводы. Таким образом, охарактеризованные результаты указывают на принципиальную возможность получения на базе ископаемых углей месторождений «Калейва» и «Тиджит» охарактеризованным приемом активных углей достаточно высокого качества.

Ключевые слова: ископаемый уголь, петрография, активация паром, активные угли, технические показатели

Для цитирования: Зо Е Найнг, Со Вин Мынт, Нистратов А.В., Клужин В.Н. Исследование переработки ископаемых углей месторождений «Калейва» и «Тиджит» как сырья для производства активных углей парогазовой активацией // Chemical Bulletin. 2024. Том 7. № 3. С. 93 – 101. DOI: 10.58224/2619-0575-2024-7-3-93-101

Поступила в редакцию: 6 мая 2024 г.; Одобрена после рецензирования: 10 августа 2024 г.; Принята к публикации: 17 сентября 2024 г.

Investigation of the processing of fossil coals from the Kalewa and Tigyit deposits as raw materials for the production of activated by steam-gas activation

¹ **Zaw Ye Naing ***,

¹ **Saw Win Myint,**

¹ **Nistratov A.V.,**

¹ **Klushin V.N.,**

¹ **D.I. Mendeleev University of Chemical Technology of Russia**

* Corresponding author: zawye7@mail.ru

Abstract: objectives: the article reveals the results of research on the technical indicators of the target products of the processes of steam-gas activation of fossil coals of the Tigyit and Kalewa deposits (Tigyit/Kalewa, Myanmar).

Methods. In order to assess the suitability of fossil coals from the Tigyit and Kalewa deposits for the production of granular activated carbons, the results of their petrographic analysis in the form of maceral composition and arbitrary vitrinite reflection indicators are characterized, indicating the potential possibility of their use to solve this problem, based on data from thermographic tests performed in a protective atmosphere, the rational limits of thermal effects on this raw material are estimated during pyrolysis.

Results. The results of steam-gas activation of the named fossil coals are presented, indicating the possibility of obtaining activated carbons with structurally acceptable adsorption properties for practical use, it is concluded that it is necessary to improve the processes of the named steam activation in order to optimize them.

Conclusions. Thus, the described results indicate the fundamental possibility of obtaining on the basis of fossil coals of the Kalewa and Tigyit deposits by the characterized reception of sufficiently high quality activated carbons.

Keywords: fossil coal, petrography, steam-gas activation, activated carbons, technical indicators.

For citation: Zaw Ye Naing, Saw Win Myint, Nistratov A.V., Klushin V.N. Investigation of the processing of fossil coals from the Kalewa and Tigyit deposits as raw materials for the production of activated by steam-gas activation. Chemical Bulletin. 2024. 7 (3). P. 93 – 101. DOI: 10.58224/2619-0575-2024-7-3-93-101

The article was submitted: May 6, 2024; Approved after reviewing: August 10, 2024; Accepted for publication: September 17, 2024.

Введение

Ископаемые угли остаются стратегическим природным ресурсом, несмотря на возрастающий объем добычи нефти, природного и попутного нефтяного газов. В развивающихся странах подавляющая масса каменных углей используется в качестве энергоносителей и сырья для изготовления кокса, потребляемого крупномасштабными металлургическими заводами [1, 2]. Вместе с тем они являются дешевым сырьем для производства активных углей, пористых сорбционно-активных материалов с развитой внутренней поверхностью [3, 4].

Современная Мьянма демонстрирует активный рост различных отраслей промышленности, что вызывает обострение проблем охраны окружающей среды от токсичных выбросов и сбросов и обуславливает необходимость их глубокой очистки. В современной мировой практике процессы глубокой очистки газовых и жидких сред наиболее часто реализуют с помощью углеродных адсорбентов. Их высокая цена на мировом рынке, являясь весьма важным аспектом, существенно осложняет практическое решение названных задач. Именно указанные обстоятельства определяют государственную необходимость выполнения исследований, связанных с оценкой возможности, целесообразности и эффективности получения активных углей пониженной себестоимости на сырьевой основе одного из собственных угольных месторождений Мьянмы. Положительные результаты таких исследований в перспективе могут способствовать более интенсивной реализации в стране мероприятий по подавлению и предотвра-

щению вредных производственных поступлений в объекты её биосферы [5- 8].

Материалы и методы исследований

Первоначальная оценка каменных углей базировалась на анализе физико-химических свойств в Горном институте НИТУ МИСиС, который выявил петрографические показатели образцов из месторождений «Тиджит» и «Калейва» (Мьянма). Эти показатели подтвердили пригодность сырья для производства из него активных углей. По итогам термографического анализа, проведенного в атмосфере азота при нагревании до 900 °C на дериватографе Q-1200 (Венгрия), установлены температурные пределы превращений данного сырья (с содержанием С около 75 %) в процессе пиролиза.

Назначенный петрографический анализ включал оценку содержания минералов и произвольного витринитового индекса отражения в соответствии с установленными протоколами, изложенными в [9, 10] для производства полномасштабных брикетов, согласно [11]. В лабораторных условиях далее были выполнены эксперименты по пиролизу каменных углей с последующей активацией различными методами. Для них использованы лабораторные установки, состоящие из стальных трубчатых реакторов, размещенных в электрических печах с контролем температурного режима и регулированием мощности.

Результаты и обсуждения

Анализ петрографического состава и отражательной способности витринита в образцах угля Калейва и Тиджит выявил следующее соотношение матералов в этих образцах: витринит (Vt)

92,08/89,46%, полувитринит (Sv) 2,37/3,76%, инертинит (I) 4,09/4,38% и липтинит (L) 1,36/2,17%. Содержание компонентов фузинита в чистом угле (\approx OK) составляет 6,04/7,02%, а коэффициент отражения витринита в масле (Ro,r) составляет 0,5976/0,4248 при стандартном отклонении 0,1008/0,0557. В то же время значения Ro для длиннопламенных углей (марка Д), используемых в России для промышленного производства активного угля [12], варьируются от 0,40 до 0,79% [13].

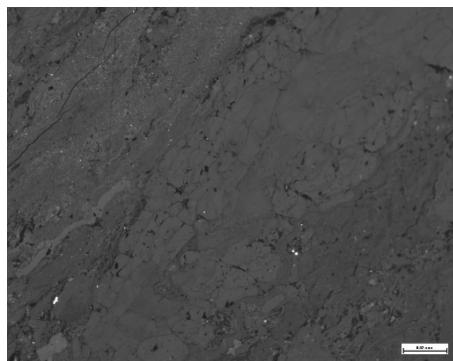


Рис. 1. Тиджит: витринит (телинит).

Fig. 1. Tidjite: vitrinite (telinite).

Изображения сканирующей электронной микроскопии образцов (системы SIAMS 620), представлены на рис. 1-4. Образец демонстрирует характерные микроструктурные особенности, с обилием телинита (витринита, сохраняющего свою ячеистую структуру) и присутствием инертинита в виде мелких обломочных фрагментов. Кроме того, образец содержит включения пирита размером от 1 до 10 микрон.

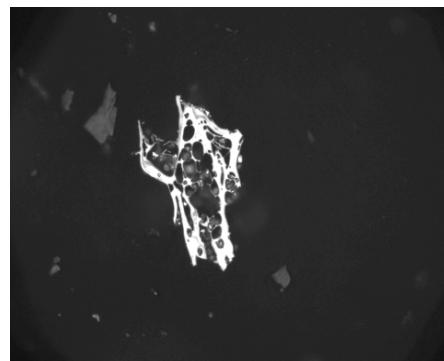


Рис. 2. Тиджит: инертинит.

Fig. 2. Tidjit: inertinite.

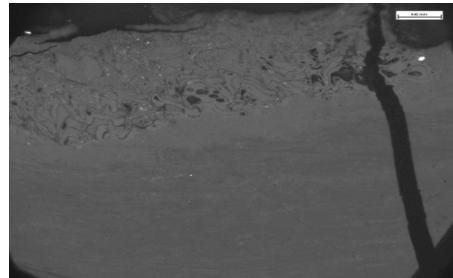


Рис. 3. Калейва: витринит (коллинит) и суберинит.

Fig. 3. Kaleiva: vitrinite (collinite) and suberinite.

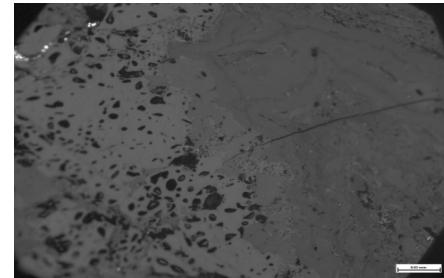


Рис. 4. Калейва: инертинит и витринит.

Fig. 4. Kaleiva: inertinite and vitrinite.

Следует отметить, что использование нормированных петрографических методик анализа твердых топлив позволяет определить качество продукта из окисленных углей, поскольку ни количественный состав, ни характеристики микрокомпонентов не изменяются в результате метаморфизма. Следовательно, приведенные выше эксперимен-

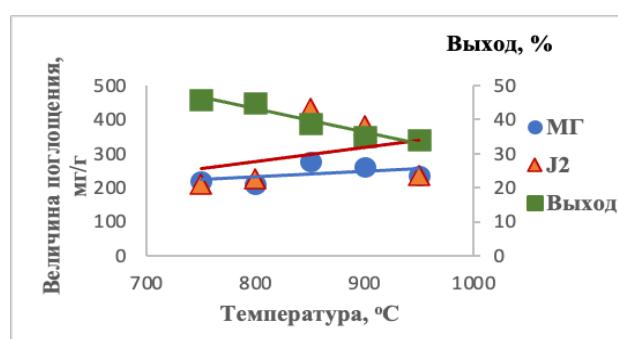
тальные данные обосновывают дальнейшие исследования перспектив использования каменных углей месторождений Калейва и Тиджит для переработки в активные угли.

Изучение пиролиза данного зернистого сырья фракцией 1-3 мм проведено в рамках температурных режимов, выявленных по результатам термо-

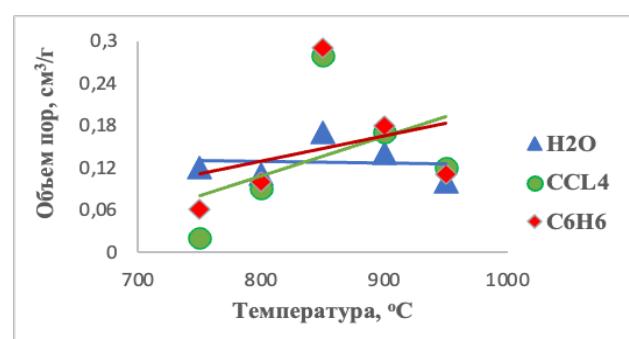
графического анализа [14, 15]. Наилучшее сочетание количества и пористой структуры карбонизата было достигнуто при нагревании образцов «Калейва» и «Тиджит» со скоростью 10/15 °C в минуту до 800 °C с дальнейшей выдержкой при этой температуре 60 минут. Выход соответствующих карбонизатов составил 54/40 %; они обладали следующими структурными и адсорбционными характеристиками: общая пористость по воде $V_{\Sigma} = 0,16/0,21 \text{ см}^3/\text{г}$, объем сорбирующих пор V_s в парах H_2O , CCl_4 и C_6H_6 при 20 °C – $0,14/0,10$; $0,10/0,09$ и $0,15/0,05 \text{ см}^3/\text{г}$ соответственно. Карбонизаты также проявили заметные адсорбционные свойства в водной среде: их статическая активность по метиленовому голубому (МГ) и йоду (I_2) при поглощении из их растворов равна 34/253 мг/г и 146/310%, соответственно.

При исследовании процесса активации карбонизированных остатков с использованием пара, как описано выше, в диапазоне удельного

расхода пара 0–20 г/г активата, скорости нагрева 5–20 °C/мин, максимальных температур 700–1000 °C, и времени изотермической выдержки 0–90 мин, было установлено, что для обеспечения умеренного обогара, достаточно развитых адсорбционных свойств целевого продукта удельный расход пара должен составлять 15 г/г, скорость нагрева, конечная температура и продолжительность активации – приблизительно 10 °C/мин, 850/900 °C, соответственно, и 45 минут у обоих образцов. Активные угли, полученные в этих условиях, имели выход 40/51 % от массы карбонизатов, при этом значения V_{Σ} и V_s в парах H_2O , CCl_4 и C_6H_6 , а также величины I_2 и МГ составляли 1,51/1,61; 0,18/0,24; 0,21/0,44; 0,25/0,35 $\text{см}^3/\text{г}$, 421/607 и 232/260 мг/г, соответственно. Данные, представленные на рис. 1 и 2, выражают температурные зависимости активации сырья водяным паром.



(а)



(б)

Рис. 1. Влияние температуры активации на структурные характеристики (а), выход и адсорбционную способность (б) активных углей из угля месторождения Калейва.

Fig. 1. The influence of activation temperature on the structural characteristics (a), yield and adsorption capacity (b) of activated carbons from the Kalciva deposit coal.

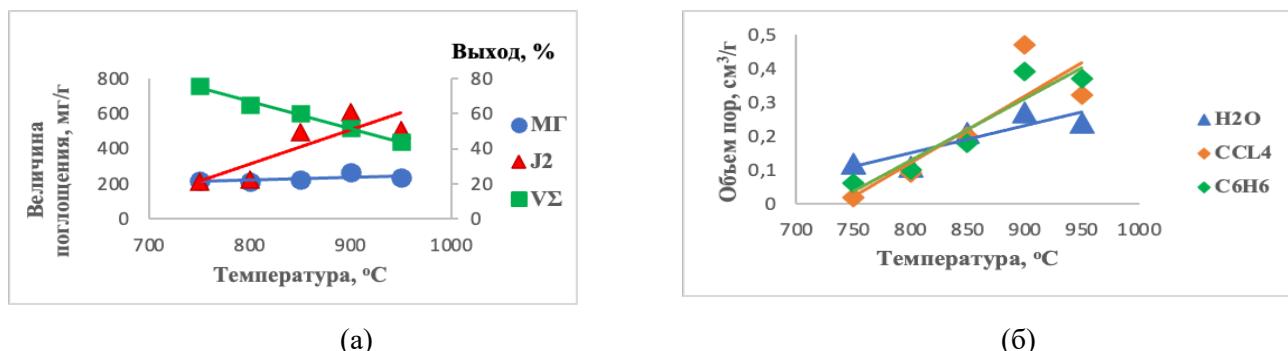


Рис. 2. Влияние температуры активации на структурные характеристики (а), выход и адсорбционную способность (б) активных углей из угля месторождения Тиджит.

Fig. 2. Effect of activation temperature on structural characteristics (a), yield and adsorption capacity (b) of activated carbons from coal from the Tidjitzit deposit.

Данные рис. 1 и 2 демонстрируют явное преимущество достижения максимальной температуры в 850 °С (Калейва) и 900 °С (Тиджит) в ходе процесса парогазовой активации.

Охарактеризованная адсорбционная активность по метиленовому голубому активных углей, полученных из ископаемых углей месторождений Калейва и Тиджит, она находится на уровне аналогов товарного активированного угля российского производства марки АГ-3 (110-300 мг/г), насыпная плотность несколько ниже (0,42-0,61 г/см³), а также стойкость к истиранию (83-98%), массовая влажность выше (<2,5%), а содержание золы соответствует 5-11% по массе.

С привлечением термографии и экспериментов лабораторных масштабов выполнена проведена оценка ископаемых углей, образующихся на предприятиях Республики Союз Мьянма в качестве

сырья для производства углеродных адсорбентов методом парогазовой активации. Показана возможность получения из названных отходов активных углей с выходом 40/51 % от сырья, качество которых не уступает таковому углей на каменноугольной основе российского производства марок АГ-3.

Выводы

Проведенные исследования позволили прийти к выводу, что каменные угли месторождений Калейва и Тиджит пригодны для переработки в активные угли. Предложенный авторами способ, предусматривающий превращение сырья путем пиролиза и последующей активации паром в оптимальных условиях, доказал свою высокую эффективность. Кроме того, показан большой потенциал парогазовой активации для переработки ископаемого угля из этих месторождений.

Список источников

1. Shifeng Dai, Robert B. Finkelman Coal as a promising source of critical elements: progress and future prospects // Int. J. Coal Geol. 2018. № 186. P. 155 – 164.
2. Shifeng Dai, Robert B Finkelman The importance of minerals in coal as the hosts of chemical elements // Int. J. Coal Geol. 1 August, 2019 Vol. 212. P. 103 – 251.

3. Кинле Х., Бадер Э. Активные угли и их промышленное применение / пер. с немец. под ред. Т.Г. Плаченова и С.Д. Колосенцева. Л.: Химия, 1984. 215 с.
4. Мухин В.М., Клушин В.Н. Производство и применение углеродных адсорбентов LAMBERT Academic Publishing. 2018. 308 p.
5. Редин В.И., Князев А.С., Костюк Л.В. Проектирование природоохранных объектов. СПб.: СПбГТИ (ТУ), 2010. 72 с.
6. Бирюков В.В. Основы промышленной биотехнологии: учеб. пособие для студентов вузов. М.: КолосС, 2004. 296 с.
7. Ветошкин А.Г. Процессы и аппараты защиты окружающей среды. Пенза: Высш. шк., 2008. 639 с.
8. Ветошкин А.Г. Процессы и аппараты газоочистки. Пенза: ПГУ, 2006. 297 с.
9. ГОСТ Р 55662-2013. Методы петрографического анализа углей. Часть 3. Метод определения матерального состава. М.: Стандартинформ, 2014. 21 с.
10. ГОСТ Р 55659-2013. (ИСО 7404-5:2009) Методы петрографического анализа углей. Часть 5. Метод определения показателя отражения витринита с помощью микроскопа. М.: Стандартинформ, 2014. 29 с.
11. ГОСТ Р 55663-2013 (ИСО 7404-2:2009). Часть 2. М.: Стандартинформ, 2014. 19 с.
12. Активные угли. Эластичные сорбенты, катализаторы, осушители и химические поглотители на их основе. Номенклатурный каталог / под ред. д.т.н. В.М. Мухина. М.: Изд. дом «Руда и металлы», 2003. 280 с.
13. Столбова Н.Ф., Исаева Е.Р. Петрология углей: учебное пособие. Томск: Изд-во ТПУ, 2013. 77 с.
14. Зо Е Найнг, Клушин В.Н. Характер деструкции ископаемого угля месторождения Калейва при нагревании // Успехи в химии и химической технологии. М: РХТУ им. Д.И. Менделеева. 2017. Т. XXXI. № 9. С. 37 – 38.
15. Зо Е Найнг, Клушин В.Н. Особенности термического и термоокислительного распада ископаемого угля месторождения Тейчик // Успехи в химии и химической технологии. Изд-во Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования Российской химико-технологический университет им. Д.И. Менделеева. Москва, 2017. Т. 31. № 9. С. 34 – 36.

References

1. Shifeng Dai, Robert B. Finkelman Coal as a promising source of critical elements: progress and future prospects. Int. J. Coal Geol. 2018. No. 186. P. 155 – 164.
2. Shifeng Dai, Robert B Finkelman The importance of minerals in coal as the hosts of chemical elements. Int. J. Coal Geol. 1 August, 2019 Vol. 212. P. 103 – 251.
3. Kienle H., Bader E. Activated carbons and their industrial application. trans. from German. edited by T.G. Plachenov and S.D. Kolosentsev. L.: Chemistry, 1984. 215 p.
4. Mukhin V.M., Klushin V.N. Production and application of carbon adsorbents LAMBERT Academic Publishing. 2018. 308 p.
5. Redin V.I., Knyazev A.S., Kostyuk L.V. Design of nature protection facilities. SPb.: SPbGTI (TU), 2010. 72 p.

6. Biryukov V.V. Fundamentals of industrial biotechnology: textbook for students of higher education institutions. Moscow: KolosS, 2004. 296 p.
7. Vetoshkin A.G. Processes and apparatuses for environmental protection. Penza: Higher. school, 2008. 639 p.
8. Vetoshkin A.G. Processes and apparatuses for gas purification. Penza: PSU, 2006. 297 p.
9. GOST R 55662-2013. Methods of petrographic analysis of coals. Part 3. Method for determination of maceral composition. M.: Standartinform, 2014. 21 p.
10. GOST R 55659-2013. (ISO 7404-5:2009) Methods of petrographic analysis of coals. Part 5. Method for determination of vitrinite reflectance index using a microscope. M.: Standartinform, 2014. 29 p.
11. GOST R 55663-2013 (ISO 7404-2:2009). Part 2. M.: Standartinform, 2014. 19 p.
12. Activated carbons. Flexible sorbents, catalysts, desiccants and chemical absorbents based on them. Nomenclature catalog. edited by Doctor of Engineering Sciences V.M. Mukhin. M.: Publishing house "Ore and Metals", 2003. 280 p.
13. Stolbova N.F., Isaeva E.R. Petrology of coals: a tutorial. Tomsk: TPU Publishing House, 2013. 77 p.
14. Zo E Naing, Klushin V.N. The nature of the destruction of fossil coal from the Kaleiva deposit during heating. Advances in Chemistry and Chemical Technology. Moscow: D.I. Mendeleyev University of Chemical Technology of Russia. 2017. Vol. XXXI. No. 9. P. 37 – 38.
15. Zo E Naing, Klushin V.N. Features of thermal and thermo-oxidative decomposition of fossil coal from the Teichik deposit. Advances in Chemistry and Chemical Technology. Publishing House of the Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education D.I. Mendeleyev University of Chemical Technology of Russia. Moscow, 2017. T. 31. No. 9. P. 34 – 36.

Информация об авторах

Зо Е Найнг, кандидат технических наук, докторант, Российский химико-технологический университет имени Д.И. Менделеева, г. Москва, ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-6676-9929>, email: zawye7@mail.ru

Со Вин Мьянт, кандидат технических наук, докторант, Российский химико-технологический университет имени Д.И. Менделеева, г. Москва, ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-2531-3575>, email: sawwinmyint86@gmail.com

Нистратов А.В., кандидат технических наук, доцент, Российский химико-технологический университет имени Д.И. Менделеева, г. Москва, ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-6089-5497>, email: nistratov.a.v@muctr.ru

Клушин В.Н., доктор технических наук, профессор-консультант, Российский химико-технологический университет имени Д.И. Менделеева, г. Москва, ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-9011-6039>, email: klushin.v.n@muctr.ru

Information about the authors

Zaw Ye Naing, PhD in Engineering Sciences, Doctoral Candidate, D.I. Mendeleyev University of Chemical Technology of Russia, Moscow, ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-6676-9929>, email: zaw-ye7@mail.ru

Saw Win Myint, PhD in Engineering Sciences, Doctoral Candidate, D.I. Mendeleyev University of Chemical Technology of Russia, Moscow, ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-2531-3575>, email: sawwinmyint86@gmail.com

Nistratov A.V., PhD in Engineering Sciences, D.I. Mendeleyev University of Chemical Technology of Russia, Moscow, ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-6089-5497>, email: nistra-tov.a.v@muctr.ru

Klushin V.N., Doctor of Engineering Sciences, Consulting Professor, D.I. Mendeleyev University of Chemical Technology of Russia, Moscow, ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-9011-6039>, email: klushin.v.n@muctr.ru