

Научная статья

УДК 691

doi:10.37614/2949-1215.2023.14.4.034

СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ И МИНЕРАЛЬНЫЕ ВЯЖУЩИЕ ВЕЩЕСТВА НА ОСНОВЕ ГИДРАТИРОВАННЫХ ЗОЛОШЛАКОВЫХ ОТХОДОВ УГЛЕСЖИГАЮЩИХ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ И ОТХОДОВ УГЛЕОБОГАЩЕНИЯ

**Андрей Васильевич Таскин¹, Татьяна Григорьевна Черкасова², Роман Сергеевич Федюк³,
Валерий Иванович Петухов⁴, Демьян Романович Федотов⁵, Никита Дмитриевич Кулаков⁶,
Егор Андреевич Матвеев⁷, Игорь Иванович Панарин⁸**

^{1–8}Дальневосточный федеральный университет, Владивосток, Россия

¹taskin@yandex.ru

²ctg.htnv@kuzstu.ru

³roman44@yandex.ru, <http://orcid.org/0000-0002-2279-1240>

⁴petukhov.vi@dvfu.ru

⁵deskarp@mail.ru

⁶nikita.kulakov.2001@inbox.ru

⁷matveev.ea@students.dvfu.ru

⁸panarin.ii@dvfu.ru, 0000-0002-4471-0229

Аннотация

Приведены результаты научных исследований по разработке комплексной технологии переработки отходов угледобычи и углепереработки в том числе в строительные материалы и минеральные вяжущие вещества. В производственных условиях апробирована технология извлечения недожога, шлакового песка, железосодержащего концентрата и микросфер.

Ключевые слова:

золошлаковые отходы, отходы угледобычи и углеобогащения, алюмосиликаты, строительные материалы, бесцементные вяжущие

Благодарности:

результаты исследования получены при финансовой поддержке комплексной научно-технической программы «Разработка и внедрение комплекса технологий в областях разведки и добычи твердых полезных ископаемых, обеспечения промышленной безопасности, биоремедиации, создания новых продуктов глубокой переработки из угольного сырья при последовательном снижении экологической нагрузки на окружающую среду и рисков для жизни населения» (Соглашение между Минобрнауки России и КузГТУ им. Т. Ф. Горбачева от 30 сентября 2022 г. № 075-15-2022-1194).

Для цитирования:

Строительные материалы и минеральные вяжущие вещества на основе гидратированных золошлаковых отходов углесжигающих электростанций и отходов углеобогащения / А. В. Таскин [и др.] // Труды Кольского научного центра РАН. Серия: Технические науки. 2023. Т. 14, № 4. С. 201–206. doi:10.37614/2949-1215.2023.14.4.034

Original article

BUILDING MATERIALS AND MINERAL BINDING SUBSTANCES BASED ON HYDRATED WASTE FROM COAL-BURNING POWER PLANTS AND WASTE OF COAL PREPARATION

**Andrey V. Taskin¹, Tatyana G. Cherkasova², Roman S. Fediuk³, Valery I. Petukhov⁴,
Demian R. Fedotov⁵, Nikita D. Kulakov⁶, Egor A. Matveev⁷, Igor I. Panarin⁸**

^{1–8}Far Eastern Federal University, Vladivostok, Russia

¹taskin@yandex.ru

²ctg.htnv@kuzstu.ru

³roman44@yandex.ru, <http://orcid.org/0000-0002-2279-1240>

⁴petukhov.vi@dvfu.ru,

⁵deskarp@mail.ru

⁶nikita.kulakov.2001@inbox.ru

⁷matveev.ea@students.dvfu.ru

⁸panarin.ii@dvfu.ru,

Abstract

The results of scientific research on the development of a comprehensive technology for processing waste from coal mining and coal refining, including in building materials and mineral binders, are presented. The technology of extraction of underburning, slag sand, iron-containing concentrate and microspheres has been tested in production conditions.

Keywords:

ash and slag waste, coal mining and coal enrichment waste, aluminosilicates, building materials, cement-free binders

Acknowledgments:

the results of the study were obtained with the financial support of the CSTP "Development and implementation of a set of technologies in the areas of exploration and production of solid minerals, ensuring industrial safety, bioremediation, creating new products of deep processing from coal raw materials while consistently reducing the environmental impact on the environment and risks for the life of the population" (Agreement between the Ministry of Education and Science of Russia and T. F. Gorbachev State Technical University dated September 30, 2022 No. 075-15-2022-1194).

For citation:

Building materials and mineral binding substances based on hydrated waste from coal-burning power plants and waste of coal preparation / A. V. Taskin [et al.] // Transactions of the Kola Science Centre of RAS. Series: Engineering Sciences. 2023. Vol. 14, No. 4. P. 201–206. doi:10.37614/2949-1215.2023.14.4.034

Введение

В структуре промышленных отходов РФ до 67 % от общей массы занимают отходы угледобывающей отрасли в объеме около 7 млрд т [1–2]. Другой отраслью, не менее заметной в генерировании отходов, является угольная энергетика с накопленным объемом 1,8 млрд т и ежегодным приростом до 40 млн т [3]. Учитывая негативное воздействие этих отходов на окружающую среду, актуальность вопроса об их размещении и переработке не снижается до настоящего времени.

В последних годы многие отечественные и зарубежные исследования посвящены применению отходов энергетики в качестве компонентов строительных материалов [4–6]. Хорошие результаты по применению различных топливных зол в качестве компонентов дорожно-строительных материалов получены научным коллективом под руководством В. В. Строковой [7].

Научная школа Санкт-Петербургского государственного политехнического университета Петра Великого под руководством Н. И. Ватина и Ю. Г. Барабанщикова [8] доказывает, что можно в качестве пуццолановых добавок применять не только высокоактивные золы-уноса, но и менее активные золошлаковые смеси, пролежавшие несколько лет в золоотвалах. Научная школа Г.И. Яковлева применяла метакаолин в качестве структурирующей добавки в цементных композитах [9]. Эффективность использования золы-уноса считается доказанной [10–12], но это не решает проблему крупнотоннажной переработки ЗШО, ввиду объективно существующих ограничений по объемам потребляемых строительных материалов на рынках, территориально приближенных к местам переработки ЗШО, и по причине низкой экономической эффективности переработки отходов в монопродукты.

Не менее актуальна задача крупнотоннажной переработки отходов угледобычи и углеобогащения. Традиционно данные отходы применяются в закладочных смесях, при рекультивации земель и в дорожном строительстве [13]. Но эти направления позволяют переработать не более 10–12 % [14] от выхода породы вследствие ограничений по химическому и вещественному составу, физико-механическим свойствам и, как в ситуации с ЗШО, экономической неэффективности.

Результаты

Лабораторией технологий использования вторичных ресурсов Политехнического института Дальневосточного федерального университета совместно с Дальневосточным представительством международного научно-образовательного центра «Геоника (геомиметика)» проводятся научно-прикладные исследования по разработке комплексной экономически эффективной технологии переработки гидратированных золошлаковых отходов углесжигающих электростанций и отходов углеобогащения.

Цель работы — доведение лабораторных разработок до стадии промышленного внедрения с созданием продуктов с гарантированным сбытом и в том числе с высокой добавленной стоимостью и импортозамещающим потенциалом. На данный момент на примере ЗШО Приморской ГРЭС получены практические результаты, позволяющие утверждать, что заявленная цель вполне реализуема: на подготовительном этапе комплексной переработки из некондиционных ЗШО удаляются компоненты, препятствующие последующей глубокой переработке отходов — недожог (несгоревший уголь), крупная фракция (шлаковый алюмосиликатный песок), оксиды железа и полые алюмосиликатные микросферы, при их наличии (рис. 1).

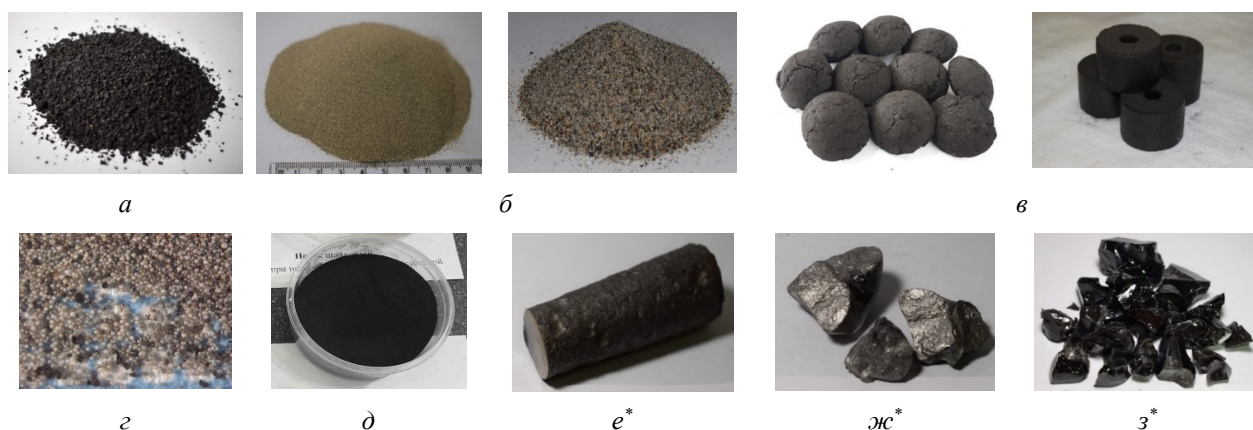


Рис. 1. Продукты подготовительного этапа:

a — недожог; *б* — шлаковый песок; *в* — топливные брикеты; *з* — микросферы; *д* — магнетит; *е, ж, з* — продукты переработки магнетита: передельный чугун, ферросилициевый сплав, шлаковое стекло (*результаты получены в сотрудничестве с Красноярским научным центром СО РАН)

Уже на этом этапе в полезные продукты переводится от 15 до 25 % отходов при расчетной положительной экономической эффективности процесса переработки. Продукты подготовительного этапа не имеют высокой добавочной стоимости, но гарантированно продаются на месте производства (кроме магнетита и его производных).

Следующий этап комплексной переработки представляет возможность перевода в полезные продукты дополнительно до 50–60 % отходов (рис. 2).

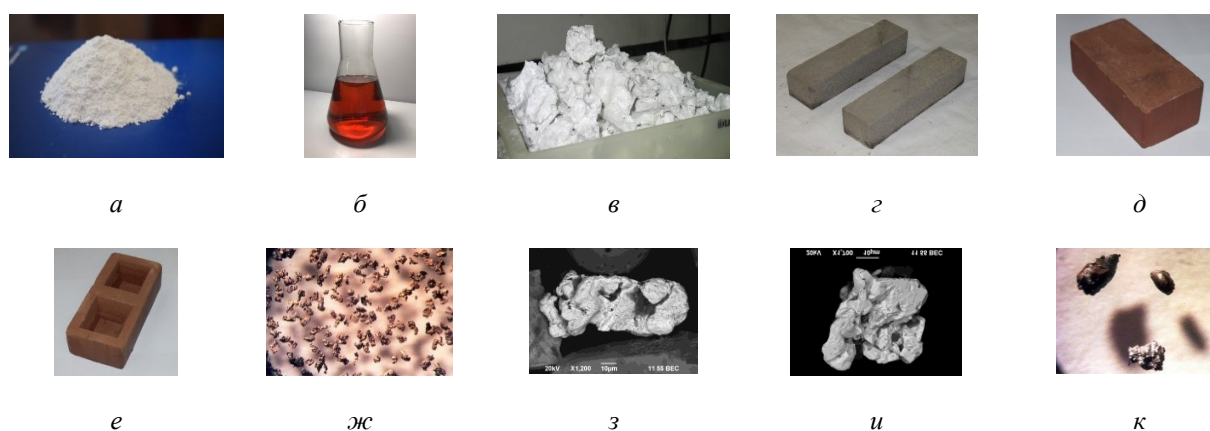


Рис. 2. Продукты второго этапа:

a — диоксид кремния; *б* — жидкое алюмосиликатное вяжущее; *в* — оксид алюминия; *г* — геополимерный бетон на бescементном вяжущем; *д, е* — высокопрочная строительная керамика с золонасыщением 100 %; *ж, з, и* — золотосодержащий концентрат и отдельные золотины; *к* — частицы металлов платиновой группы

Продукты этого этапа получены как побочные при разработке технологии извлечения из ЗШО редкоземельных и тяжелых металлов. Тем не менее они обладают высокой добавленной стоимостью, на которую практически не влияют транспортные затраты. Диоксид кремния — продукт с высоким потенциалом импортозамещения, так как в РФ импортируется более 70 % SiO_2 . Керамический кирпич со 100 % золонасыщением и геополимерные (бесцементные) вяжущие в России не производятся. Технологические переделы данного этапа находятся в стадии доработки. По некоторым представленным результатам достигнута стабильная воспроизводимость.

В отдельный этап комплексной переработки выделена группа технологий по производству строительных материалов (рис. 3).

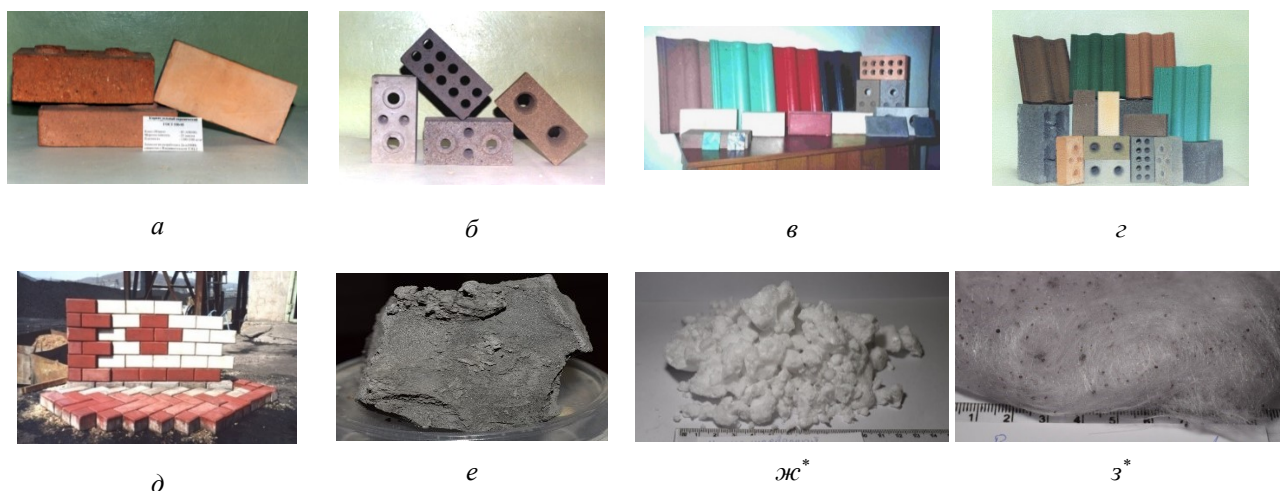


Рис. 3. Строительные материалы из ЗШО:

a — кирпич керамический строительный (лицевой и рядовой) с золонасыщением 95–98 %; *б* — кирпич рядовой на бесцементных вяжущих веществах с золонасыщением 80 %; *в, з* — черепица кровельная, стеновые и облицовочные материалы; *д* — брусчатка; *е* — очищенный от примесей алюмосиликат; *ж* — утеплитель из пеноалюмосиликата;

з — минеральная вата (*результаты получены в сотрудничестве с Красноярским научным центром СО РАН)

Технологические решения данного этапа обеспечивают полную переработку алюмосиликатной смеси, оставшейся после предшествующих технологических переделов. Очевидно, что объем и ассортимент строительных материалов определяются емкостью местного строительного рынка, но это ограничение исчезает при производстве бесцементных вяжущих материалов из ЗШО, так как в преобладающем большинстве регионов объемы потребления вяжущих материалов в разы выше, чем объемы образующихся отходов.

Выводы

Разработанные технологические решения, частично апробированные на промышленном оборудовании с использованием ЗШО Приморской ГРЭС, универсальны и с незначительной адаптацией могут быть применены к отходам угледобычи, углеобогащения и отходам ГОК.

Наиболее перспективными являются разрабатываемые технологические решения по извлечению из отходов ценных компонентов и производству из алюмосиликатного остатка геополимерных (бесцементных) вяжущих материалов, являющихся альтернативой цементу по прочности, долговечности, стойкости к воздействию агрессивных материалов и кратному снижению ущерба окружающей среде при их производстве.

Список источников

1. Таразанов, И. Г. Итоги работы Угольной промышленности России за январь – март 2019 года // Уголь. 2019. № 6. С. 67–77.
2. Семина И. С., Андроханов В. А., Куляпина Е. Д. Опыт использования отходов углеобогащения для рекультивации нарушенных участков // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2020. № 9. С. 159–175.
3. Alekseyko L. N., Taskin A. V. Complex recycling of ASW of energy enterprises // Proc. IX Int. Conf. Ecology and Development of Society, Saint Petersburg. 2005. P. 12–21.
4. Лесовик В. С., Федюк Р. С. Композиты нового поколения для специальных сооружений // Строительные материалы. 2021. № 3. С. 9–17.
5. Лесовик В. С., Федюк Р. С., Гридчин А. М., Мурали Г. Повышение эксплуатационных характеристик защитных композитов // Строительные материалы. 2021. № 9. С. 32–40.
6. Лесовик В. С., Федюк Р. С. Повышение эффективности малопроницаемых цементных композитов // Вестник МГСУ. 2021. Т. 16, № 10. С. 1346–1356.

7. Strokova V. V., Markova I. Yu., Markov A. Yu., Stepanenko M. A., Nerovnaya S. V., Bondarenko D. O., Botsman L. N. Properties of a composite cement binder using fuel ashes // *Key Engineering Materials*. 2022. V. 909. P. 184–190.
8. Vatin N., Barabanshchikov Y., Usanova K., Akimov S., Kalachev A., Uhanov A. Cement-based materials with oil shale fly ash additives // *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2020. V. 17. 012043.
9. Яковлев Г. И., Первушин Г. Н., Пудов И. А., Полянских И. С., Саидова З. С. Об опыте применения метакеолина в качестве структурирующей добавки в цементных композитах // *Вестник ВСГУТУ*. 2021. № 2 (81). С. 58–68.
10. Teixeira E. R., Camões A., Branco F. G. Synergetic effect of biomass fly ash on improvement of high-volume coal fly ash concrete properties // *Construction and Building Materials*. 2021. V. 314, Part A. 125680.
11. Kumar B. G., Muthu M., Govindaraj V. The effect of silica fume on the washout resistance of environmentally friendly underwater concrete with a high-volume of siliceous fly ash // *Construction and Building Materials*. 2022. V. 327. 127058.
12. Муртазаев С.-А. Ю., Чернышева Н. В., Аласханов А. Х. Использование золошлаковых смесей ТЭЦ для производства композиционных гипсовых вяжущих // *Экология и промышленность России*. 2013. № 7. С. 26–29.
13. Севостьянов В. В., Фрянов В. Н., Родионов А. Е., Шишорин В. А., Севостьянов А. В. Утилизация отходов добычи и переработки угля. СибГИУ. Новокузнецк. 2000. С. 55.
14. Панишев Н. В., Бигеев В. А., Галиулина Е. С. Перспективы утилизации хвостов углеобогащения и твердых отходов тепловых электростанций // *Теория и технология металлургического производства*. 2015. № 2(17). С. 69–77.

References

1. Tarazanov I. G. Itogi raboty Ugol'noj promyshlennosti Rossii za yanvar'-mart 2019 goda [Results of the work of the Coal industry of Russia for January-March 2019]. *Ugol'* [Coal], 2019, no. 6, pp. 67–77. (In Russ.).
2. Semina I. S., Androkhonov V. A., Kulyapina E. D. Opyt ispol'zovaniya othodov ugleobogashcheniya dlya rekul'tivacii narushennykh uchastkov [The experience of using coal enrichment waste for recultivation of disturbed areas]. *Gornyy informacionno-analiticheskij byulleten'* [Mining information and analytical bulletin], 2020, no. 9, pp. 159–175. (In Russ.).
3. Alekseyko L. N., Taskin A. V. Complex recycling of ASW of energy enterprises. *Proc. IX Int. Conf. Ecology and Development of Society*, Saint Petersburg, 2005, pp. 12–21.
4. Lesovik V. S., Fedyuk R. S. Kompozity novogo pokoleniya dlya special'nykh sooruzhenij [New generation composites for special structures]. *Stroitel'nye materialy* [Building materials], 2021, no. 3, pp. 9–17. (In Russ.).
5. Lesovik V. S., Fedyuk R. S., Gridchin A. M., Murali G. Povyshenie ekspluatatsionnykh harakteristik zashchitnykh kompozitov [Improving the performance characteristics of protective composites]. *Stroitel'nye materialy* [Building materials], 2021, no. 9, pp. 32–40. (In Russ.).
6. Lesovik V. S., Fedyuk R. S. Povyshenie effektivnosti malopronicaemykh cementnykh kompozitov [Improving the efficiency of low-permeable cement composites]. *Vestnik MGSU* [Herald of Moscow State University of Civil Engineering], 2021, vol. 16, no. 10, pp. 1346–1356. (In Russ.).
7. Strokova V. V., Markova I. Yu., Markov A. Yu., Stepanenko M. A., Nerovnaya S. V., Bondarenko D. O., Botsman L. N. Properties of a composite cement binder using fuel ashes. *Key Engineering Materials*, 2022, vol. 909, pp. 184–190.
8. Vatin N., Barabanshchikov Y., Usanova K., Akimov S., Kalachev A., Uhanov A. Cement-based materials with oil shale fly ash additives. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 2020, vol. 17, 012043.
9. Yakovlev G. I., Pervushin G. N., Pudov I. A., Polyanskikh I. S., Saidova Z. S. Ob opyte primeneniya metakaolina v kachestve strukturiruyushchej dobavki v cementnykh kompozitakh [On the experience of using metakaolin as a structuring additive in cement composites]. *Vestnik VSGUTU* [Bulletin of East Siberia State University of Technology and Management], 2021, no. 2 (81), pp. 58–68. (In Russ.).
10. Teixeira E. R., Camões A., Branco F. G. Synergetic effect of biomass fly ash on improvement of high-volume coal fly ash concrete properties. *Construction and Building Materials*, 2021, vol. 314, part A, 125680.
11. Kumar B. G. The effect of silica fume on the without resistance of environmentally friendly underwater concrete with a high-volume of siliceous fly ash. Kumar B. G., Muthu M., Govindaraj V. *Construction and Building Materials*, 2022, vol. 327, 127058.
12. Murtazaev S.-A. Yu., Chernysheva N. V., Alaskhanov A. H. Ispol'zovanie zoloshlakovykh smesey TEC dlya proizvodstva kompozitsionnykh gipsovykh vyazhushchih [The use of ash and slag mixtures of thermal power plants for the production of composite gypsum binders]. *Ekologiya i promyshlennost' Rossii* [Ecology and industry of Russia], 2013, no. 7, pp. 26–29. (In Russ.).
13. Sevostyanov V. V., Fryanov V. N., Rodionov A. E., Shishorin V. A., Sevostyanov A. V. *Utilizatsiya othodov dobychi i pererabotki uglya* [Utilization of coal mining and processing waste. Textbook]. Novokuznetsk, SibGIU, 2000, p. 55. (In Russ.).

14. Panishev N. V., Bigeev V. A., Galiulina E. S. Perspektivy utilizacii hvostov ugleobogashcheniya i tverdyh othodov teplovyh elektrostancij [Prospects of utilization of tailings of coal enrichment and solid waste of thermal power plants]. *Teoriya i tekhnologiya metallurgicheskogo proizvodstva* [Theory and technology of metallurgical production], 2015, no. 2(17), pp. 69–77. (In Russ.).

Информация об авторах

А. В. Таскин — кандидат химических наук, заведующий лабораторией технологий использования вторичных ресурсов;
Т. Г. Черкасова — доктор химических наук, профессор, директор;
Р. С. Федюк — доктор технических наук, профессор;
В. И. Петухов — доктор технических наук, заместитель директора;
Д. Р. Федотов — аспирант, сотрудник лаборатории технологий использования вторичных ресурсов;
Н. Д. Кулаков — студент, сотрудник лаборатории технологий использования вторичных ресурсов;
Е. А. Матвеев — студент, сотрудник лаборатории технологий использования вторичных ресурсов;
И. И. Панарин — начальник кафедры.

Information about the authors

A. V. Taskin — PhD (Chemistry), Head Of Laboratory;
T. G. Cherkasova — Dr. Sc. (Chemistry), Director;
R. S. Fediuk — Dr. Sc. (Engineering), Professor;
V. I. Petukhov — Dr. Sc. (Engineering), Deputy Director;
D. R. Fedotov — Graduate Student;
N. D. Kulakov — Student;
E. A. Matveev — Student;
I. I. Panarin — Head Of Department.

Статья поступила в редакцию 25.01.2023; одобрена после рецензирования 31.01.2023; принята к публикации 01.02.2023.
The article was submitted 25.01.2023; approved after reviewing 31.01.2023; accepted for publication 01.02.2023.