Вестник ВГУИТ/ Proceedings of VSUET ISSN 2226-910X E-ISSN 2310-1202
DOI: http://doi.org/10.20914/2310-1202-2026-3-359-364 Оригинальная статья/Research article
УДК 66.048.3:66.011 Open Access Available online at vestnik-vsuet.ru

Оптимизация технологического режима работы деизобутанизатора газофракционирующей установки

Жанна В. Николаева [1] do.nfsamgtu@mail.ru Место для ввода текста.
Владислав И. Пилясов [1] kcct@samgtu.ru Место для ввода текста.
Алексей В. Моисеев [1] moiseev.av@samgtu.ru Место для ввода текста.
Марк В. Воронов [2] kcct@samgtu.ru Место для ввода текста.

1 Самарский государственный технический университет, филиал в г. Новокуйбышевске

Аннотация. Использование изобутановой фракции никогда не теряло актуальности в виде высокооктановой добавки к бензинам и в качестве сырья в процессах алкилирования, дегидрирования. Получаемые в результате высокооктановые добавки, изобутилен, синтетический каучук и другие продукты нефтехимии находят всё больше спроса на современном рынке. Максимизация выхода легких товарных углеводородов и улучшение качества получаемых фракций на установках газофракционирования остается важной прикладной и исследовательской задачей. В работе рассматривается технологический блок действующей газофракционирующей установки Московского НПЗ, на котором реализовано ректификационное выделение изобутановой фракции в качестве дистиллята. Анализ данных состава получаемой изобутановой фракции на Московском НПЗ показал изменение в широких пределах (54–98% масс.). Это может быть обусловлено использованием не оптимального режима, неустойчивой работой контактных устройств, нарушением температурного профиля по высоте массообменных аппаратов. Цель исследования – поиск возможных технологических решений для улучшения качества получаемой изобутановой фракции без необходимости модернизации блока фракционирования. Анализ технологической схемы и показателей получаемых фракций проводили с использованием моделирующей среды UniSim Design. Вычислительным экспериментом показано, что режимные параметры действующей колонны деизобутанизации не дают возможность качественно и количественно выделить из сырья потенциальное содержание изобутановой фракции. Предложены измененные технологические параметры ректификационной колоны. Приводятся технологические параметры колонны и фракционный состав потоков ректификационной колонны. Разработанная модель может использоваться для оптимизации технологических режимов промышленных аппаратов.

Ключевые слова: ГФУ, газофракционирование, ректификационная колонна, изобутановая фракция, моделирование, UniSim Design.

Optimization of the operating mode of a deisobutanizer of a gas fractionation plant

Zhanna V. Nikolaeva [1] do.nfsamgtu@mail.ru Место для ввода текста.
Vladislav I. Pilyasov [1] kcct@samgtu.ru Место для ввода текста.
Alexey V. Moiseev [1] moiseev.av@samgtu.ru Место для ввода текста.
Mark V. Voronov [2] kcct@samgtu.ru Место для ввода текста.

1 Samara State Technical University, Novokuibyshevsk branch

Abstract. The use of the isobutane fraction has always been relevant as a high-octane gasoline additive and as a feedstock in alkylation and dehydrogenation processes. The resulting high-octane additives, isobutylene, synthetic rubber, and other petrochemical products are increasingly in demand in today's market. Maximizing the yield of light commercial hydrocarbons and improving the quality of the resulting fractions in gas fractionation units remains an important applied and research challenge. This paper examines the process unit of an existing gas fractionation unit at the Moscow Oil Refinery, which utilizes rectification to separate the isobutane fraction as a distillate. Analysis of the composition of the isobutane fraction obtained at the Moscow Oil Refinery revealed wide variations (54–98% by weight). This may be due to the use of a suboptimal mode, unstable operation of the contact devices, and irregularities in the temperature profile along the height of the mass-transfer apparatus. The objective of this study was to identify potential process solutions for improving the quality of the resulting isobutane fraction without the need to upgrade the fractionation unit. The process flow diagram and the parameters of the resulting fractions were analyzed using the UniSim Design modeling environment. A computational experiment demonstrated that the operating parameters of the deisobutanization column do not allow for the qualitative and quantitative separation of the potential isobutane fraction from the feedstock. Modified process parameters for the distillation column are proposed. The process parameters of the column and the fractional composition of the distillation column streams are presented. The developed model can be used to optimize the process modes of industrial equipment.

Keywords: GFU, gas fractionation, distillation column, isobutane fraction, modeling, UniSim Design.

Для цитирования
Николаева Ж.В., Пилясов В.И., Моисеев А.В., Воронов М.В. Оптимизация технологического режима работы деизобутанизатора газофракционирующей установки // Вестник ВГУИТ. 2026. Т. 88. № 3. С. 359–364. doi:10.20914/2310-1202-2026-3-359-364

For citation
Nikolaeva Z.V., Pilyasov V.I., Moiseev A.V., Voronov M.V. Optimization of the operating mode of a deisobutanizer of a gas fractionation plant. Vestnik VGUIT [Proceedings of VSUET]. 2026. vol. 88. no. 3. pp. 359–364. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2026-3-359-364

© 2026, Николаева Ж.В. и др. / Nikolaeva Z.V. et al.
This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution 4.0 International License

Введение

В условиях интенсивного развития энергетической и нефтехимической промышленностей постоянно наблюдается необходимость в дополнительном удовлетворении потребностей данных отраслей сырьевыми компонентами, одними из которых являются индивидуальные легкие углеводороды. Производство товарных углеводородов высокого качества является одной из стратегических задач нефте- и газоперерабатывающих, а также нефтехимических предприятий.

Решение этой задачи на нефтеперерабатывающих предприятиях обеспечивают в том числе и установки газофракционирования (ГФУ). Такие установки присутствуют на каждом современном нефтеперерабатывающем заводе (НПЗ). ГФУ внедряют в поточные схемы предприятий с целью разделения газовых смесей, получаемых на других установках, на индивидуальные компоненты, от четкости разделения и качественных показателей которых зависит их дальнейшее применение в нефтехимической отрасли. Кроме того, сбор заводских нефтяных газов, их очистка и разделение на компоненты, которые в дальнейшем можно эффективно использовать, является в настоящее время одним из самых квалифицированных методов их утилизации, в виду высокой экономической эффективности и минимизации выбросов углеводородных газов [1].

Ценным продуктом, получаемым в процессе газофракционирования предельных газов и широко применяемом в различных отраслях промышленности, является изобутановая фракция. Согласно требованиям СТО 05766480–004–2010 (таблица 1), изобутан товарный разделяется на три марки: А, Б и В соответственно [2]. Марки товарного газа отличаются друг от друга по содержанию целевого компонента и примесей: пропана и н-бутана.

Таблица 1.

Технические требования по СТО 05766480–004–2010

Table 1.

Technical requirements according to STO 05766480–004–2010

Показатель | Index	Норма по маркам Norm		
	А	Б	В
Массовая доля компонентов, %: | Mass fraction of components, %: Сумма метана и этана | Sum of methane and ethane	Не нормируется		
Пропан, не более | Propane, no more than	1,3	1,5	4,5
Изобутан, не менее | Isobutane, no less than	98,0	97,0	90,0
Сумма бутиленов, не более | Sum of butylenes, no more than	0,5	0,5	0,5
Н-бутан, не более | H-butane, no more than	0,7	2,0	6,0
Сумма углеводородов состава С5+ | Sum of C5+ hydrocarbons	Отсутствие		0,5
Массовая доля сероводорода и меркаптановой серы, млн-1, не более Mass fraction of hydrogen sulfide and mercaptan sulfur, ppm, no more than	50	50	50
Содержание H_2O и щелочи	Отсутствие		

Изобутановая фракция марки А является высокомаржинальным и востребованным продуктом, поскольку имеет широкую сферу применения: используется в процессах алкилирования для производства компонентов высокооктановых автобензинов различных марок, в качестве высокоэффективного энергоносителя, а также в нефтехимической промышленности в процессах дегидрирования при производстве синтетического каучука. Изобутан применяют и в пищевой промышленности в качестве глазирующего агента, и при производстве упаковок для продуктов питания; он входит в состав дезодорирующих смесей в баллончиках; применятся в качестве экстракционного и технологического растворителя для ароматизаторов; широко используется в качестве хладагента при производстве холодильников, морозильных камер и кондиционеров.

В настоящее время на многих предприятиях наблюдается недостаточно четкое разделение углеводородов, что приводит к отклонению от норм технических требований по качеству продукции, и, соответственно, к экономическим потерям. Эта проблема может быть связана как с нарушением оптимального технологического режима действующих установок, отклонением от температурного профиля по высоте колоны, так и работой внутренних контактных устройств.

Исследования по совершенствованию процесса фракционирования проводятся в различных направлениях, в том числе и с применением методов математического моделирования. Авторами [3–5] предлагается несколько направлений для решение этой задачи – оптимальное проектирование установки ГФУ, замена внутренних контактных устройств

в колонне с целью повышения эффективности работы колонны на фракционирующей установке, так и усовершенствованием системы управления технологическим процессом.

Цель работы – поиск возможных техноло-гических решений для улучшения качества получаемой изобутановой фракции без необходимости модернизации блока фракционирования.

Методы

Сырьём газофракционирующей установки являются: головная фракция колонны стабилизации бензина установки атмосферно-вакуумной перегонки нефти, головная фракция установки изомеризации, головная фракция колонны стабилизации гидрогенизата установки каталитического риформинга. Усредненный состав сырья приведен в таблице 2.

Таблица 2.

Состав сырьевой смеси колонны деизобутанизации

Table 2.

Composition of the feed mixture for the deisobutanization column

Компонент Component	Содержание, % масс. Content, % by weight
Пропан | Propane	0,001
Изобутан | Isobutane	14,08
н-Бутан | n-Butane	49,65
Изопентан | Isopentane	22,89
н-Пентан | n-Pentane	12,87
н-Гексан | n-Hexane	0,004
н-Гептан | n-Heptane	0,001

В настоящее время содержание изобутана во фракции, получаемой в колонне деизобутанизации ГФУ Московского НПЗ, изменяется в широких пределах (рисунок 1).

Рисунок 1. Концентрация изобутана в верхнем продукте деизобутанизатора

Figure 1. Isobutane concentration in the deisobutanizer overhead product

Наблюдаемая вариативность по содержанию целевого компонента – изобутана в верхнем продукте деизобутанизатора может иметь множество причин, к основным можно отнести: нестабильное качество сырья установки и деизобутанизатора по углеводородному составу; нестабильность таких техноло-гических параметров установки, как профиль распределения температур и давлений по высоте колонны, расход острого орошения; перебои по работе установки вследствие изменений работы установок, направляющих углеводородные потоки в сырье ГФУ.

Исходные данные для воспроизведения режима работы действующей колонны выделения изобутана – фактически достигнутые усредненные показатели работы ГФУ Московского НПЗ за 2024 год. В соответствии с литературными данными коэффициент разделения был принят 85% [6].

На рисунке 2 представлена действующая технологическая схема и технологический режим колонны деизобутанизации, разработанная в моделирующей среде Unisim Design.

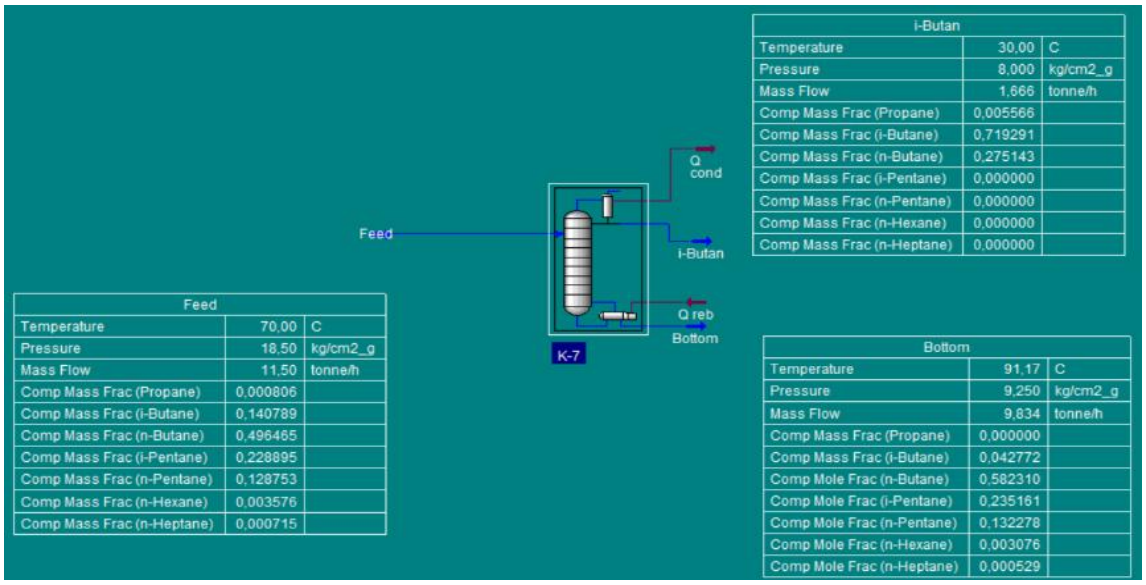

Рисунок 2. Действующая технологическая схема и технологический режим колонны деизобутанизатции ГФУ

Figure 2. Название на английском языке

Результаты и обсуждение

Сравнение показателей технологического режима и качества получаемой изобутановой фракции при воспроизведении фактической работы колонны деизобутанизации, позволяет сделать вывод, что повышенная концентрация н-бутана в верхнем продукте колонны может быть обусловлена либо неоптимальным температурным режимом колонны, либо недостаточным расходом острого орошения.

При слишком высокой температуре в ребойлере более высококипящие компоненты отбираются вместе с верхним продуктом колонны деизобутанизации, что заметно и по фактической работе. И, наоборот, при снижении температуры в ребойлере изобутан не в полной мере отпаривается из кубового продукта колонны, следовательно, снижена его концентрация в верхнем продукте и, как следствие, снижен отбор дистиллята. Неоптимальный расход острого орошения приводит к ухудшению четкости фракционирования и, как следствие, снижению концентрации изобутана в верхнем продукте.

В ходе проведения вычислительного эксперимента, направленного на оптимизацию работы колонны, были оценены мероприятия по изменению расхода острого орошения и температурного профиля колонны деизобутанизации.

Установлено, что при увеличении или снижении расхода острого орошения при фиксированной температуре в ребойлере, отбор верхнего продукта и концентрация изобутана в нем не претерпевают значительных изменений; следовательно, максимальное количество изобутана (из сырья) отбирается вместе с верхним продуктом колонны, а концентрация его остается низкой из-за присутствия высококипящих компонентов в верхнем продукте деизобутанизатора – н-бутана (рисунок 3).

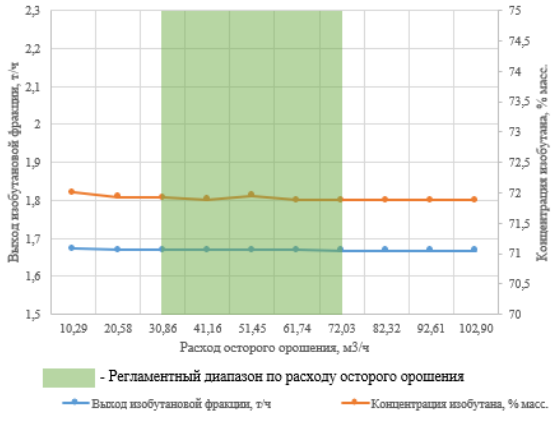

Рисунок 3. Зависимость выхода изобутановой фракции и концентрации изобутана в ней от расхода острого орошения

Figure 3. Dependence of the yield of isobutane fraction and the concentration of isobutane in it on the consumption of sharp irrigation

Расчеты при фиксированном расходе острого орошения с изменением температурного профиля колонны, напротив, показали изменение выхода изобутановой фракции и концентрация изобутана в ней (рисунок 4).

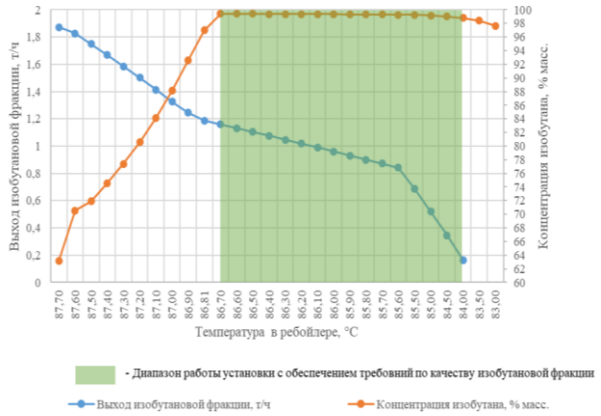

Рисунок 4. Зависимость выхода изобутановой фракции от температуры в ребойлере

Figure 4. Dependence of the yield of isobutane fraction on the temperature in the reboiler

Как видно из графика, представленного на рисунке 4, увеличение температуры в кубе приводит к увеличеснию количественного выхода изобутановой фракции, при этом снижается качество получаемого изобутана, что обусловлено увеличением концентрации н-бутана в дистилляте; при снижении температуры в ребойлере с 87,5 до 86,7 °С, концентрация изобутана в верхнем продукте колонны достигает регламентных значений 98% масс., однако снижается количественный выход и-бутана, поскольку н-бутан в меньшей мере концентрируется в верхнем продукте колонны; дальнейшее снижение температуры в ребойлере ниже 84 °С, приводит к значительному снижению концентрации изобутана, вследствие недостаточной отпарки его из кубового продукта.

Таким образом, в результате вычислительного эксперимента установлено, что соответсвие регламентных требований по качеству изобутановой фракции действующей ГФУ, достигается при снижении температурного профиля колонны за счет снижения температуры в ребойлере с 86,7 до 84 °С.

Заключение

Для колонны деизобутанизации действующей газофракционирующей установки Московского НПЗ в моделирующей среде была построена адекватная модель, с использованием которой, вычислительным экспериментом показано, что на существующей технологической схеме удается добиться улучшения качества получаемой изобутановой фракции путём изменений технологического режима колонны.

Для проработки мероприятий по повышению эффективности определены два определяющих качество изобутановой фракции внутренних фактора работы колонны деизобутанизации: расход острого орошения и температурный профиль деизобутанизатора.

Оценка влияния изменений по расходу острого орошения и температуры в ребойлере на качество изобутановой фракции показала, что наибольшее влияние на концентрацию изобутана в дистилляте оказывает температура в ребойлере. Повышенная температура в ребойлере способствует увеличению концентрации в изобутановой фракции н-бутана, что снижает концентрацию его изомера.

Расчеты показали, что концентрация изобутана в верхнем продукте 98% масс. достигается при снижении температуры в ребойлере с 87,5 до 86,7 °С. Кроме того, был оценен диапазон температуры в ребойлере для достижения требуемого качества изобутановой фракции – от 86,7 до 84 °С. Дальнейшее снижение температуры в ребойлере способствует повышению концентрации изобутана в кубовом продукте колонны.

Таким образом, выбран наиболее эффективный вариант оптимизации технологического режима работы деизобутанизирующей колонны – снижение температурного профиля. Указанное мероприятие позволяет достичь требуемой концентрации целевого компонента в получаемой изобутановой фракции, что позволит расширить товарный ассортимент НПЗ и увеличить экономическую прибыль предприятия.

Литература

1 Муллахаметова Л.И., Черкасова Е.И. Попутный нефтяной газ: подготовка, транспортировка и переработка // Вестник Казанского технологического университета. – 2015. – Т 18. – № 19. – С. 83–90. – URL: https://cyberleninka.ru/article/n/poputnyy-neftyanoy-gaz-podgotovka-transportirovka-i-pererabotka/viewer

2 СТО 05766480-004-2010 Изобутан. Технические условия (с Изменениями № 1, 2, 3). Применяется с 01.01.2011. – ИС «Кодекс: 6 поколение» Интранет. – URL: https://274418.selcdn.ru/cv08300-33250f0d-0664-43fc-9dbf-9d89738d114e/uploads/324668/1946f9d3-4ac0-4b55-9a89-c14c880290e3.pdf

3 Зиятдинов Н.Н., и др. Оптимальное проектирование газофракционирующей установки // Вестник Казанского технологического университета. – 2012. – С. 156–158. EDN: PANUEH.

4 Валиуллин И.И. Повышение эффективности колонного оборудования // Вестник науки и образования. – 2017. – Т. 35. – № 11. С. 19–29. EDN: ZSMFAT.

5 Камалиева К.В., и др. Система усовершенствованного управления центральной газофракционирующей установки // Вестник Казанского технологического университета. – 2016. – Т. 19. – № 24. – С. 106–108. EDN: ZSMFAT.

6 Манихин О.Ю., Ожерельев Д.А., Медведев М.В., Георгиевская Н.Р. Комплексное моделирование техноло-гических процессов промысловой подготовки углеводородного сырья с применением отечественного программного обеспечения // Газовая промышленность. – 2018. – Т. 771. – № 7. – С. 71–80.

References

1 Mullakhametova L. I., Cherkasova E. I. 2015. Poputnyi neftyanoi gaz: podgotovka, transportirovka i pererabotka [Associated petroleum gas: preparation, transportation and processing]. Bulletin of Kazan Technological University. T 18. URL:. No. 19. Pp. 83-90. URL: https://cyberleninka.ru/article/n/poputnyy-neftyanoy-gaz-podgotovka-transportirovka-i-pererabotka/viewer. (in Russian).

2 STO 05766480-004-. No. 1. Pp. 01. URL: https://274418.selcdn.ru/cv08300-33250f0d-0664-43fc-9dbf-9d89738d114e/uploads/324668/1946f9d3-4ac0-4b55-9a89-c14c880290e3.pdf. (in Russian).

3 Ziyatdinov N. N. 2012. Optimal'noe proektirovanie gazofraktsioniruyushchei ustanovki [Optimal design of a gas fractionation plant]. Bulletin of Kazan Technological University.. EDN: PANUEH. Pp. 156-158. (in Russian).

4 Valiullin I. I. 2017. Povyshenie effektivnosti kolonnogo oborudovaniya [Increasing the efficiency of column equipment]. Bulletin of science and education.. EDN: ZSMFAT. Vol. 35. No. 11. Pp. 19-29. (in Russian).

5 Kamalieva K. V. 2016. Sistema usovershenstvovannogo upravleniya tsentral'noi gazofraktsioniruyushchei ustanovki [Advanced control system for central gas fractionation unit]. Bulletin of Kazan Technological University. EDN: ZSMFAT. Vol. 19. No. 24. Pp. 106-108. (in Russian).

6 Manikhin O. Yu., Ozherel'ev D. A., Medvedev M. V., Georgievskaya N. R. 2018. Kompleksnoe modelirovanie tekhnologicheskikh protsessov promyslovoi podgotovki uglevodorodnogo syr'ya s primeneniem otechestvennogo programmnogo obespecheniya [Integrated modeling of technological processes for field preparation of hydrocarbon raw materials using domestic software]. Gas industry. Vol. 771. No. 7. Pp. 71-80. (in Russian).

Сведения об авторах

Жанна В. Николаева Место для ввода текста., Место для ввода текста., Самарский государственный технический университет, филиал в г. Новокуйбышевске, ул. Миронова, д. 5, г. Новокуйбышевск, 446200, Россия, do.nfsamgtu@mail.ru
https://orcid.org/Место для ввода текста.

Владислав И. Пилясов Место для ввода текста., Место для ввода текста., Самарский государственный технический университет, филиал в г. Новокуйбышевске, ул. Миронова, д. 5, г. Новокуйбышевск, 446200, Россия, kcct@samgtu.ru
https://orcid.org/Место для ввода текста.

Алексей В. Моисеев Место для ввода текста., Место для ввода текста., Самарский государственный технический университет, филиал в г. Новокуйбышевске, ул. Миронова, д. 5, г. Новокуйбышевск, 446200, Россия, moiseev.av@samgtu.ru
https://orcid.org/Место для ввода текста.

Марк В. Воронов Место для ввода текста., Место для ввода текста., Самарский государственный технический университет, филиал в г. Новокуйбышевске, ул. Миронова, д. 5, г. Новокуйбышевск, 446200, Россия, kcct@samgtu.ru
https://orcid.org/Место для ввода текста.

Information about authors

Zhanna V. Nikolaeva Место для ввода текста., Место для ввода текста., Samara State Technical University, Novokuibyshevsk Branch, st. Mironova, 5, Novokuibyshevsk, 446200, Russia, do.nfsamgtu@mail.ru
https://orcid.org/Место для ввода текста.

Vladislav I. Pilyasov Место для ввода текста., Место для ввода текста., Samara State Technical University, Novokuibyshevsk Branch, st. Mironova, 5, Novokuibyshevsk, 446200, Russia, kcct@samgtu.ru
https://orcid.org/Место для ввода текста.

Alexey V. Moiseev Место для ввода текста., Место для ввода текста., Samara State Technical University, Novokuibyshevsk Branch, st. Mironova, 5, Novokuibyshevsk, 446200, Russia, moiseev.av@samgtu.ru
https://orcid.org/Место для ввода текста.

Mark V. Voronov Место для ввода текста., Место для ввода текста., Samara State Technical University, Novokuibyshevsk Branch, st. Mironova, 5, Novokuibyshevsk, 446200, Russia, kcct@samgtu.ru
https://orcid.org/Место для ввода текста.

Вклад авторов

Все авторы в равной степени принимали участие в написании рукописи и несут ответственность за плагиат

Contribution

All authors are equally involved in the writing of the manuscript and are responsible for plagiarism

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Поступила 01/07/2026	**После редакции** 18/07/2026	**Принята в печать** 10/08/2026
Received 01/07/2026	**Accepted in revised** 18/07/2026	**Accepted** 10/08/2026