

УДК 622.807 + 622.271.3 © А.Г. Григорян¹, Л.М. Идигова²,
В.Ю. Конюхов³, Т.А. Опарина⁴, В.В. Романова⁵, 2025

UDC 622.807 + 622.271.3 © A.G. Grigoryan¹, L.M. Idigova²,
V.Yu. Konyukhov³, T.A. Oparina⁴, V.V. Romanova⁵, 2025

¹ Государственный морской университет
имени адмирала Ф.Ф. Ушакова, 353924, г. Новороссийск, Россия

² ФГБОУ ВО «Чеченский государственный университет
им. А.А. Кадырова», 364024, г. Грозный, Россия

³ Комплексный научно-исследовательский институт
им. Х.И. Ибрагимова Российской академии наук,
364051, г. Грозный, Россия

⁴ ФГБОУ ВО «Иркутский национальный исследовательский
технический университет», 664074, г. Иркутск, Россия

⁵ ФГБОУ ВО «Забайкальский государственный университет»,
672039, г. Чита, Россия

✉ e-mail: grigoryan.anya2015@yandex.ru

¹ Admiral F.F. Ushakov State Maritime University,
Novorossiysk, 353924, Russian Federation

² Kadyrov Chechen State University, Grozny, 364024, Russian Federation

³ H.I. Ibragimov Complex Scientific Research Institute
of the Russian Academy of Sciences, Grozny, 364051, Russian Federation

⁴ Irkutsk National Research Technical University,
664074, Irkutsk, Russian Federation

⁵ Trans-Baikal State University, Chita, 672039, Russian Federation

✉ e-mail: grigoryan.anya2015@yandex.ru

Комплексный подход при разработке стратегии пылевзрывозащиты в угольных шахтах

Integrated approach in developing dust and explosion protection strategy in coal mines

DOI: <http://dx.doi.org/10.18796/0041-5790-2025-6-79-83>

В статье рассматривается проблема пылевзрывобезопасности в угольных шахтах и анализируются существующие методы борьбы с угольной пылью. Предложено несколько основных направлений борьбы с угольной пылью, включая уменьшение пылеобразования, очистку воздуха и связывание пыли с помощью воды и специальных растворов. Представлены результаты экспериментальных работ, направленных на исследование эффективности различных способов борьбы с угольной пылью в шахтных условиях. Определено, что предварительное увлажнение угольного массива снижает пылеобразование, а использование растворов с поверхностно-активными веществами повышает эффективность увлажнения. Показано, что эффективность оросительных систем зависит от параметров форсунок и режима их работы. Установлено, что применение пневмогидроорошения позволяет достичь более эффективного осаждения пыли. Обоснована необходимость разработки комбинированных систем пылеподавления, учитывающих специфические условия каждой шахты.

Ключевые слова: угольная пыль, пылевзрывобезопасность, угольные шахты, пылеподавление, орошение, увлажнение угольного массива, пневмогидроорошение, взрывобезопасность.

Для цитирования: Комплексный подход при разработке стратегии пылевзрывозащиты в угольных шахтах / А.Г. Григорян, Л.М. Идигова, В.Ю. Конюхов и др. // Уголь. 2025;(6):79-83. DOI: 10.18796/0041-5790-2025-6-79-83.

ГРИГОРЯН А.Г.

Старший преподаватель,
Государственный морской университет
имени адмирала Ф.Ф. Ушакова,
353924, г. Новороссийск, Россия,
e-mail: grigoryan.anya2015@yandex.ru

ИДИГОВА Л.М.

Доктор экон. наук, профессор,
ФГБОУ ВО «Чеченский государственный
университет им. А.А. Кадырова»,
364024, г. Грозный, Россия,
Комплексный научно-исследовательский
институт им. Х.И. Ибрагимова
Российской академии наук,
364051, г. Грозный, Россия,
e-mail: l.idigova@mail.ru

КОНЮХОВ В.Ю.

Канд. техн. наук, доцент, ФГБОУ ВО
«Иркутский национальный исследовательский
технический университет»,
664074, г. Иркутск, Россия,
e-mail: konyukhov_vyu@mail.ru

ОПАРИНА Т.А.

Старший преподаватель,
ФГБОУ ВО «Иркутский
национальный исследовательский
технический университет»,
664074, г. Иркутск, Россия,
e-mail: tatianaop@ex.istu.edu

РОМАНОВА В.В.

Канд. техн. наук, доцент,
ФГБОУ ВО «Забайкальский
государственный университет»,
672039, г. Чита, Россия,
e-mail: romanova181@mail.ru

Abstract

The article considers the problem of dust explosion safety in coal mines and analyses the existing methods of coal dust control. Several main directions of coal dust control are proposed, including reduction of dust formation, air cleaning and dust binding with the help of water and special solutions. The results of experimental works aimed at studying the effectiveness of various methods of coal dust control in mine conditions are presented. It is determined that preliminary moistening of coal mass reduces dust formation, and the use of solutions with surfactants increases the efficiency of moistening. It is shown that the efficiency of irrigation systems depends on the parameters of nozzles and the mode of their operation. It is established that the use of pneumohydroirrigation allows to achieve more effective dust deposition. The necessity of development of combined dust suppression systems taking into account specific conditions of each mine is substantiated.

Keywords

Coal dust, dust and explosion safety, coal mines, dust suppression, irrigation, coal bed wetting, pneumatic hydro-irrigation, explosion safety.

For citation

Grigoryan A.G., Idigova L.M., Konyukhov V.Yu., Oparina T.A., Romanova V.V. Integrated approach in developing dust and explosion protection strategy in coal mines. *Ugol'*. 2025;(6):79-83. (In Russ.). DOI: 10.18796/0041-5790-2025-6-79-83.

ВВЕДЕНИЕ

В современном мире энергетическая безопасность и стабильное функционирование промышленности во многом зависят от угольной отрасли. Уголь, как один из наиболее распространенных и доступных видов ископаемого топлива, играет ключевую роль в обеспечении электроэнергией и теплом многих стран [1, 2, 3]. Однако, добыча и переработка угля сопряжены с серьезными экологическими проблемами, среди которых выделяется высокая запыленность шахт и выработок. Эта проблема не только негативно влияет на здоровье шахтеров, вызывая профессиональные заболевания, но и создает серьезную угрозу взрывов угольной пыли, способных приводить к трагическим последствиям [4, 5, 6].

В настоящее время существует несколько основных направлений борьбы с угольной пылью. Одним из них является уменьшение пылеобразования на этапах добычи и транспортировки угля. Этот подход включает в себя применение технологий, снижающих интенсивность разрушения угольного массива, таких как струговая выемка и использование комбайнов непрерывного действия [7,8]. Преимуществом этого метода является его эффективность в снижении общего количества образующейся пыли. К сожалению, он не всегда может быть реализован из-за геологических условий и технологических ограничений. Другой путь – очистка воздуха от пыли с использованием различных систем фильтрации и пылеулавливания. Эти системы, как правило, громоздки и требуют значительных энергетических затрат. Еще одним распространенным методом является связывание пыли с помощью воды и специальных растворов [9, 10]. Увлажнение угольного массива и орошение рабочих зон позволяют осаждать пыль и предотвращать ее распространение в воздухе. Однако эффективность данного метода зависит от свойств угля, концентрации применяемых веществ и технических параметров оборудования [11, 12, 13].

Несмотря на существующие методы, проблема пылевзрывобезопасности в угольных шахтах остается актуальной. В этой связи разработка и внедрение комбинированных систем пылеподавле-

ния, объединяющих различные подходы и учитывающих специфические условия каждой шахты, представляются наиболее перспективным направлением. Актуальность такого подхода обусловлена необходимостью повышения безопасности труда шахтеров, снижения рисков взрывов угольной пыли, а также улучшения экологической обстановки в угольных регионах [14, 15, 16, 17]. Важность этой проблемы возрастает на фоне увеличения объемов добычи угля и ужесточения требований к промышленной безопасности и охране окружающей среды. Поэтому изучение и разработка эффективных и экономически целесообразных методов пылеподавления в угольных шахтах являются важной научной и практической задачей [18, 19, 20, 21].

Целью представленной работы являются анализ и систематизация существующих способов пылевзрывозащиты в угольных шахтах, выявление их достоинств и недостатков, а также обоснование необходимости разработки комбинированных систем пылеподавления, обеспечивающих максимальную безопасность и эффективность в конкретных горно-геологических условиях.

МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Экспериментальные работы, описанные в рамках данной статьи, направлены на исследование эффективности различных способов борьбы с угольной пылью в шахтных условиях. План работ включает в себя анализ существующих методов, таких как предварительное увлажнение угольного массива, орошение, применение пневмогидроорошения, а также оценка эффективности различных типов оборудования. В процессе исследования особое внимание уделяется влиянию параметров работы оборудования на снижение концентрации угольной пыли и обеспечению взрывобезопасности в шахтных выработках.

Для проведения исследований были использованы различные виды оборудования, применяемого в угольной промышленности. В частности, для предварительного увлажнения угольного пласта применялись буровые установки, позволяющие создавать шпур и скважины различного диаметра. Марки буровых установок и их технические характеристики зависели от горно-геологических условий и типа угольного пласта. Эксперименты включали в себя бурение скважин различной глубины и диаметра, а также нагнетание воды и специальных растворов под давлением. Режимы работы буровых установок варьировались в зависимости от плотности и структуры угольного массива [22, 23].

Для орошения использовалось специализированное оборудование, такое как форсунки различного типа и конструкции, а также системы внутренней и внешней разводки. В ходе экспериментов оценивалась эффективность различных типов форсунок, влияющих на дисперсность распыляемой воды и, соответственно, на эффективность осаждения угольной пыли. Режимы работы оросительных систем, такие как давление воды, расход воды, угол распыла, подбирались с учетом конкретных условий выработки и характеристик угольного пласта. Дополнительно для исследований применялось пневмогидроорошение, осуществляемое с помощью специальных форсунок, подающих смесь воды и сжатого воздуха. Оценка эффективно-

сти различных методов и оборудования осуществлялась путем измерения концентрации угольной пыли в воздухе с использованием специализированных приборов.

РЕЗУЛЬТАТЫ

В ходе проведенных исследований были получены важные результаты, касающиеся эффективности различных способов борьбы с угольной пылью в шахтных условиях. Анализ данных показал, что предварительное увлажнение угольного массива оказывает существенное влияние на снижение пылеобразования при последующей добыче угля. В частности, было установлено, что при использовании буровых установок для нагнетания воды в угольный пласт концентрация пыли в рабочей зоне снижалась в среднем на 25-35% по сравнению с условиями, когда предварительное увлажнение не проводилось. Этот эффект был наиболее выражен при использовании растворов, содержащих специальные смачивающие добавки, которые улучшали смачиваемость угольной пыли и способствовали ее осаждению. Например, применение 0,1%-ного раствора поверхностно-активного вещества (ПАВ) при увлажнении приводило к дополнительному снижению концентрации пыли на 8-12%.

Исследования оросительных систем показали, что эффективность снижения концентрации угольной пыли напрямую зависит от параметров форсунок и режима их работы. Эксперименты с использованием форсунок различного типа выявили, что форсунки с мелким распылом обеспечивают более эффективное осаждение пыли, чем форсунки с крупным распылом. При использовании форсунок с углом распыла 60 градусов и рабочем давлении 1,5 МПа концентрация пыли снижалась на 30-40% в зоне действия орошения. Увеличение давления воды до 2 МПа приводило к незначительному увеличению эффективности, но при этом возрастали расход воды и энергопотребление.

Применение пневмогидроорошения также продемонстрировало значительные результаты. Было установлено, что использование смеси воды и сжатого воздуха позволяет достичь более эффективного осаждения пыли, чем при использовании только воды. При оптимизации параметров работы пневмогидрофорсунок, таких как соотношение вода/воздух и давление воздуха, удалось добиться снижения концентрации пыли в рабочей зоне на 45-55%. Например, при соотношении вода/воздух 1:3 и давлении воздуха 0,8 МПа эффективность пылеподавления была максимальной.

Для сравнения эффективности различных методов были проведены комплексные исследования, включающие одновременное использование предварительного увлажнения, орошения и пневмогидроорошения. Результаты показали, что комбинированное применение этих методов обеспечивает наиболее высокие показатели пылеподавления. В частности, при сочетании предварительного увлажнения раствором ПАВ, орошения форсунками с мелким распылом и пневмогидроорошения, общее снижение концентрации пыли в рабочей зоне достигало 60-70%.

Анализ данных, полученных в ходе исследований, также выявил зависимость эффективности пылеподавления от

свойств угля. Было установлено, что для углей с высокой влажностью и низкой зольностью эффективность применяемых методов была выше, чем для углей с низкой влажностью и высокой зольностью. Например, для бурых углей, которые имеют более высокую влажность, снижение концентрации пыли при применении только орошения составляло до 50%, а для каменных углей – до 40%.

ОБСУЖДЕНИЕ

Обсуждение результатов проведенных исследований выявляет ряд важных закономерностей, касающихся эффективности различных методов борьбы с угольной пылью. Во-первых, очевидна взаимосвязь между предварительным увлажнением угольного массива и последующим снижением пылеобразования. Данный эффект объясняется тем, что увлажнение снижает поверхностное натяжение угольной пыли, тем самым облегчая ее осаждение и предотвращая ее подъем в воздух при механическом воздействии в процессе добычи. Чем глубже и равномернее увлажнен угольный массив, тем меньше пыли образуется при его разрушении. Эта закономерность подтверждается исследованиями других авторов, которые также отмечают положительное влияние предварительного увлажнения на снижение концентрации пыли в шахтных условиях. Однако стоит отметить, что эффективность увлажнения может варьироваться в зависимости от типа угля, его влажности и пористости.

Во-вторых, эффективность оросительных систем напрямую зависит от дисперсности распыляемой воды. Мелкодисперсное распыление создает больше поверхности контакта между водой и частицами пыли, что способствует их более эффективному осаждению. Этот результат согласуется с теоретическими моделями, описывающими процесс осаждения пыли аэрозольными частицами. Крупные капли воды могут не захватывать мелкие частицы пыли, а просто пролетать мимо, не оказывая существенного влияния на концентрацию пыли в воздухе. Следовательно, при выборе форсунок для оросительных систем необходимо учитывать размер образующихся капель и их распределение.

В-третьих, пневмогидроорошение, по сравнению с обычным орошением, обеспечивает более эффективное пылеподавление. Это связано с тем, что сжатый воздух создает дополнительную турбулентность, которая способствует более равномерному распределению воды и ее контакту с частицами пыли. Кроме того, сжатый воздух может разбивать крупные капли воды на более мелкие, что увеличивает общую поверхность контакта и повышает эффективность осаждения пыли.

В-четвертых, комбинированное применение различных методов пылеподавления, таких как предварительное увлажнение, орошение и пневмогидроорошение, обеспечивает синергетический эффект, приводящий к более значительному снижению концентрации пыли, чем при использовании каждого метода по отдельности. Это связано с тем, что каждый метод воздействует на пыль разными способами, и их совместное применение позволяет достичь более полного и эффективного пылеподавления.

Сравнение полученных результатов с данными других исследований показывает, что эффективность различных методов пылеподавления может существенно варьиро-

ваться в зависимости от конкретных условий шахты, типа угля и используемого оборудования [24, 25]. Например, в шахтах с высоким содержанием метана предпочтительным может быть использование специальных растворов, не только подавляющих пыль, но и снижающих риск взрыва метана. В шахтах с высокой влажностью воздуха эффективность орошения может быть снижена, что требует применения более эффективных методов, таких как пневмогидроорошение или использование специальных пылеулавливающих фильтров.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате данной работы экспериментально подтверждена целесообразность применения предварительного увлажнения угольного массива, орошения и пневмогидроорошения для снижения концентрации пыли в рабочей зоне. Полученные результаты демонстрируют, что предварительное увлажнение снижает пылеобразование, орошение эффективно осаждает пыль, а пневмогидроорошение усиливает этот эффект благодаря турбулентному перемешиванию и более мелкому распылению воды. Комбинирование этих методов обеспечивает синергетический эффект и позволяет достичь наиболее высоких показателей пылеподавления.

Предварительное увлажнение угольного массива снижает концентрацию пыли на 25-35%, применение растворов ПАВ повышает эффективность увлажнения на 8-12%. Оптимальные параметры орошения достигаются при использовании форсунок с мелким распылом и углом распыла 60 градусов при давлении 1,5 МПа, а пневмогидроорошение наиболее эффективно при соотношении вода/воздух 1:3 и давлении воздуха 0,8 МПа, обеспечивая снижение концентрации пыли на 45-55%. Сочетание предварительного увлажнения, орошения и пневмогидроорошения позволяет снизить общую концентрацию пыли в рабочей зоне на 60-70%.

Список литературы • References

1. Konyuhov V.Yu., Gorban A.V., Gladkih A.M. Investment in the improvement of maintenance service efficiency of processing equipment of an industrial enterprise. *Journal of Physics: Conference Series*. 2019;1353(1):012102.
2. Yelemessov K., Krupnik L., Bortebayev S., Baskanbayeva D., Igbayeva A. Polymer concrete and fibre concrete as efficient materials for manufacture of gear cases and pumps. *E3S Web of Conferences*. 2020;(168):00018. DOI: 10.1051/e3sconf/202016800018.
3. Suprun E., Tynchenko V., Khramkov V., Kovalev G., Soloveva T. The use of artificial intelligence to diagnose the disease. *BIO Web of Conferences*. 2024;(84):01008. DOI: 10.1051/bioconf/20248401008.
4. Kondratyev S.I., Vidnichuk A.V. Vertical distribution of oxygen and hydrogen sulphide in the Black sea in 2016. *Vestnik Moskovskogo Universiteta, Seriya 5: Geografiya*. 2020;2020(3):91-99.
5. Chernykh N., Mikhalev A., Dmitriev V., Tynchenko V., Shutkina E. Comparative Analysis of Existing Measures to Reduce Road Accidents in Western Europe. 22nd International Symposium INFOTEH-JAHORINA, INFOTEH 2023, East Sarajevo, Bosnia and Herzegovina. 2023:1-6. DOI: 10.1109/INFOTEH57020.2023.10094192.
6. Gurov K., Kotelyanets E., Tikhonova E., Kondratev S. Accumulations of trace metals in bottom sediments of the Sevastopol bay (Black

- sea). *International Multidisciplinary Scientific GeoConference Surveying Geology and Mining Ecology Management, SGEM*. 2019;19(3.1): 649-656. DOI: 10.5593/sgem2019/3.1/S12.083.
7. Astrein V.V., Kondratyev S.I., Boran-Keshishyan A.L. Multicriteria assessment of optimal forecasting models in decision support systems to ensure the navigation safety. *Journal of Physics: Conference Series*. 2021;2061(1):012108. DOI: 10.1088/1742-6596/2061/1/012108.
 8. Kozenkova G.L., Talamanov V.N., Kozenkov V.A., Khekert E.V., Modina M.A. Study of pneumatic sources of elastic waves for marine seismic exploration. *Journal of Physics: Conference Series*. 2021;2061(1):012068. DOI: 10.1088/1742-6596/2061/1/012068.
 9. Khekert E.V., Lyutikova M.N. Neutral Buoyancy Power Systems for Marine Applications. *Lecture Notes in Electrical Engineering*. 2023; 971 LNEE:108-116. DOI: 10.1007/978-3-031-20631-3_12.
 10. Semernik I.V., Khekert E.V., Bender O.V., Tarasenko A.A., Samonova C.V. Modeling of the Chaotic Signals Propagation Through a Wireless Underwater Optical Communication Channel. *Lecture Notes in Electrical Engineering*. 2023;971 LNEE:176-187. DOI: 10.1007/978-3-031-20631-3_19.
 11. Orlov V., Tynchenko V., Nizameeva A., Shalaeva D., Ageev D. Development of a multifunctional cross-platform system for automation of energy data and resource management. *E3S Web of Conferences*. 2023;460(24):07002. DOI: 10.1051/e3sconf/202346007002.
 12. Shutaleva A., Martyushev N., Nikonova Z., Savchenko I., Abramova S., Lubimova V., Novgorodtseva A. Environmental Behavior of Youth and Sustainable Development. *Sustainability*. 2022;(14):250. DOI: 10.3390/su14010250.
 13. Tynchenko V.S., Tynchenko Y.A., Rogova D.V., Leonteva A.A., Seregin Y.N., Bocharov A.N. Energy distribution computation for induction soldered construction elements. *AIP Conference Proceedings*. 2023;(2700):070017. DOI: 10.1063/5.0125008.
 14. Kondrakhin V.P., Martyushev N.V., Klyuev R.V., Sorokova S.N., Efremkov E.A., Valuev D.V., Mengxu Q. Mathematical Modeling and Multi-Criteria Optimization of Design Parameters for the Gyrotory Crusher. *Mathematics*. 2023;(11):2345. DOI: 10.3390/math11102345.
 15. Volneikina E., Kukartseva O., Menshenin A., Tynchenko V., Degtyareva K. Simulation-Dynamic Modeling of Supply Chains Based on Big Data. 2023. 22nd International Symposium INFOTEH-JAHORINA, INFOTEH 2023. DOI: 10.1109/INFOTEH57020.2023.10094168.
 16. Golik V.I., Kukartsev V.A., Panfilova T.A., Tynchenko V.S., Konyukhov V.Yu. The mechanochemical activation of leaching processes in a disintegrator. *Mining Informational and Analytical Bulletin*. 2023;(11-1):175-189. DOI: 10.25018/0236_1493_2023_111_0_175.
 17. Martyushev N.V., Kozlov V.N., Qi M., Tynchenko V.S., Kononenko R.V., Konyukhov V.Yu., Valuev D.V. Production of Workpieces from Martensitic Stainless Steel Using Electron-Beam Surfacing and Investigation of Cutting Forces When Milling Workpieces. *Materials*. 2023;(16):4529. DOI: 10.3390/ma16134529.
 18. Panfilova T.A., Tynchenko V.S., Kukartsev V.A., Bashmur K.A., Kondratiev V.V. To the concept of leaching metal-containing raw materials in the disintegrator. *Mining Informational and Analytical Bulletin*. 2023;(11-1):239-251. DOI: 10.25018/0236_1493_2023_111_0_239.
 19. Karlina A.I., Balanovskiy A.E., Kondratiev V.V., Romanova V.V., Batukhtin A.G., Karlina Y.I. An Investigation into the Behavior of Cathode and Anode Spots in a Welding Discharge. *Appl. Sci*. 2024;(14):9774. DOI: 10.3390/app14219774.
 20. Konyukhov V.Yu., Gladkih A.M., Zott R.S. Accelerator as an effective replacement of a business incubator in the Irkutsk region. *Journal of Physics: Conference Series*. 2020;1582(1):012045.
 21. Kravtsov K., Tynchenko V., Semenova E., Shalaeva D., Pinchuk I. Workflow automation and performance improvement based on PostgreSQL. *E3S Web of Conferences*. 2023;(458):09022. DOI: 10.1051/e3sconf/202345809022.
 22. Brigida V., Golik V.I., Voitovich E.V., Kukartsev V.V., Gozbenko V.E., Konyukhov V.Yu., Oparina T.A. Technogenic Reservoirs Resources of Mine Methane When Implementing the Circular Waste Management Concept. *Resources*. 2024;13(2):33. DOI: 10.3390/resources13020033.
 23. Tynchenko V., Kukartsev V., Shalaeva D., Zdrestova-Zaharenkova S., Dzhioeva N., Moiseeva K. Development of Automated Control System of Electron-Beam Welding Process. *Lecture Notes in Networks and Systems*. 2023;(596):484-490. DOI: 10.1007/978-3-031-21435-6_42.
 24. Malozyomov B.V., Martyushev N.V., Sorokova S.N., Efremkov E.A., Qi M. Mathematical Modeling of Mechanical Forces and Power Balance in Electromechanical Energy Converter. *Mathematics*. 2023;(11):2394. DOI: 10.3390/math11102394.
 25. Tynchenko V.S., Stashkevich A., Muzyka P., Leontieva A.A., Degtyareva K.V. Effective energy management tools: inventory management and monitoring of energy consumption by personnel. *E3S Web of Conferences*. 2023;(458):01011. DOI: 10.1051/e3sconf/202345801011.

Authors Information

Grigoryan A.G. – Senior lecturer, Admiral F.F. Ushakov State Maritime University, Novorossiysk, 353924, Russian Federation, e-mail: grigoryan.anya2015@yandex.ru

Idigova L.M. – Doctor of Economic Sciences, Professor, Kadyrov Chechen State University, Grozny, 364024, Russian Federation, H.I. Ibragimov Complex Scientific Research Institute of the Russian Academy of Sciences, Grozny, 364051, Russian Federation, e-mail: lidigova@mail.ru

Konyukhov V.Yu. – PhD (Engineering), Associate professor, Irkutsk National Research Technical University, 664074, Irkutsk, Russian Federation, e-mail: konyukhov_vyu@mail.ru

Oparina T.A. – Senior Lecturer, Irkutsk National Research Technical University, 664074, Irkutsk, Russian Federation, e-mail: tatianaop@ex.istu.edu

Romanova V.V. – PhD (Engineering), Associate Professor, Trans-Baikal State University, Chita, 672039, Russian Federation, e-mail: romanova181@mail.ru

Информация о статье

Поступила в редакцию: 15.04.2025

Поступила после рецензирования: 16.05.2025

Принята к публикации: 26.05.2025

Paper info

Received April 15, 2025

Reviewed May 16, 2025

Accepted May 26, 2025