*Оригинальная статья*

УДК 622.279 © О.А. Антамошкин✉[1,2], Е.Н. Цыганко[3], К.Д. Астанакулов[4], Ш.Ш. Ахмадалиев[5], А.Х. Муратов[6], 2025

[1] Сибирский федеральный университет, 660041, г. Красноярск, Россия
[2] Сибирский государственный университет науки и технологий им. М.Ф. Решетнева, 660037, г. Красноярск, Россия
[3] Государственный морской университет имени адмирала Ф.Ф. Ушакова, Новороссийск, 353924, Россия
[4] Национальный исследовательский университет "Ташкентский институт инженеров ирригации и механизации сельского хозяйства", 100000, г. Ташкент, Узбекистан
[5] Ташкентский государственный технический университет, 100095 г. Ташкент, Узбекистан
[6] Термезский государственный университет, 190100, г. Термез, Узбекистан
✉ e-mail: oleslav@mail.ru

*Original Paper*

UDC 622.279 © O.A. Antamoshkin✉[1,2], E.N. Tsyganko[3], K.D. Astanakulov[4], Sh.Sh. Akhmadaliev[5], A.Kh. Muratov[6], 2025

[1] Siberian Federal University, Krasnoyarsk, 660041, Russian Federation
[2] Reshetnev Siberian State University of Science and Technology, Krasnoyarsk, 660037, Russian Federation
[3] Admiral F.F. Ushakov State Maritime University, Novorossiysk, 353924, Russian Federation
[4] "Tashkent Institute of Irrigation and Agricultural Mechanization Engineers" National Research University, Tashkent, 100000, Uzbekistan
[5] Tashkent State Technical University, Tashkent, 100095, Uzbekistan
[6] Termez State University, Termez, 190100, Uzbekistan
✉ e-mail: oleslav@mail.ru

# Перспективы подземной газификации для доработки угольных запасов шахт

## Prospects of underground gasification for finalisation of coal mine reserves

DOI: http://dx.doi.org/10.18796/0041-5790-2025-6-114-118

**АНТАМОШКИН О.А.**
*Доктор техн. наук, доцент,*
*Сибирский федеральный университет,*
*660041, г. Красноярск, Россия,*
*Сибирский государственный университет*
*науки и технологий им. М.Ф. Решетнева,*
*660037, г. Красноярск, Россия,*
*e-mail: oleslav@mail.ru*

**ЦЫГАНКО Е.Н.**
*Канд. пед. наук, доцент,*
*Государственный морской университет*
*им. адмирала Ф.Ф. Ушакова,*
*353924, г. Новороссийск, Россия,*
*e-mail: lena_tsyganko@mail.ru*

**АСТАНАКУЛОВ К.Д.**
*Доктор техн. наук, профессор,*
*Национальный исследовательский*
*университет «Ташкентский институт*
*инженеров ирригации*
*и механизации сельского хозяйства»,*
*100000, г. Ташкент, Узбекистан,*
*e-mail: k.astanakulov@tiiame.uz*

*В статье рассматривается вопрос о применении технологии подземной газификации углей (ПГУ) для извлечения остаточных запасов угля, оставшихся в закрытых шахтах. Проведено исследование возможности применения ПГУ на примере одного из шахтных полей Кемеровской области. Исследование включало в себя анализ горно-геологических условий, моделирование процесса газификации и лабораторные эксперименты. Целью работы была оценка технической осуществимости, экономической целесообразности и экологической эффективности ПГУ. В результате были получены данные о составе получаемого газа, его теплотворной способности и экономической эффективности производства электроэнергии. Установлено, что горно-геологические условия участка благоприятны для применения ПГУ, а полученный газ может быть использован для выработки электроэнергии. Экономический анализ показал конкурентоспособность ПГУ по сравнению с традиционными методами. Также было отмечено снижение выбросов загрязняющих веществ. Полученные результаты свидетельствуют о перспективности технологии ПГУ для доработки остаточных запасов угля и необходимости дальнейших исследований для внедрения данной технологии.*

***Ключевые слова:*** *Угольная промышленность, подземная газификация угля, остаточные запасы, энергетическая эффективность*

***Для цитирования:*** Перспективы подземной газификации для доработки угольных запасов шахт / О.А. Антамошкин, Е.Н. Цыганко, К.Д. Астанакулов и др. // Уголь. 2025;(6):114-118. DOI: 10.18796/0041-5790-2025-6-114-118.

**Abstract**

*The article deals with the application of underground coal gasification technology (UCGT) for the extraction of residual coal reserves remaining*

*in abandoned mines. The study of the possibility of UCGT application on the example of one of the mining field of Kemerovo region was carried out. The study included analysis of mining and geological conditions, modelling of gasification process and laboratory experiments. The purpose of the work was to assess the technical feasibility, economic feasibility and environmental efficiency of UCGT. As a result, data on the composition of the produced gas, its calorific value and economic efficiency of electricity generation were obtained. It was found that the mining and geological conditions of the site are favourable for the application of UCGT, and the resulting gas can be used for power generation. Economic analysis showed the competitiveness of UCGT compared to conventional methods. A reduction in pollutant emissions was also noted. The obtained results indicate the promising potential of UCGT technology for the processing of residual coal reserves and the need for further research for the implementation of this technology.*

**Keywords**

*Coal industry, underground coal gasification, residual reserves, energy efficiency.*

**For citation**

Antamoshkin O.A., Tsyganko E.N., Astanakulov K.D., Akhmadaliev Sh.Sh., Muratov A.Kh. Prospects of underground gasification for finalisation of coal mine reserves. *Ugol'*. 2025;(6):114-118. (In Russ.). DOI: 10.18796/0041-5790-2025-6-114-118.

**АХМАДАЛИЕВ Ш.Ш.**

*PhD, доцент, Ташкентский государственный технический университет,*
*100095, г. Ташкент, Узбекистан,*
*e-mail: 19shaxrux91@mail.ru*

**МУРАТОВ А.Х.**

*Канд. техн. наук, доцент,*
*Термезский государственный университет,*
*190100, г. Термез, Узбекистан,*
*e-mail: muratov@tersu.uz*

## ВВЕДЕНИЕ

Мировая энергетическая отрасль сталкивается с серьезными вызовами, обусловленными необходимостью обеспечения надежного и устойчивого энергоснабжения при одновременном снижении воздействия на окружающую среду. Уголь продолжает играть важную роль в энергетическом балансе многих стран, особенно в тех, которые обладают значительными запасами этого ископаемого топлива [1, 2, 3]. Однако традиционные методы добычи и использования угля связаны с негативными экологическими последствиями, включая выбросы парниковых газов, загрязнение воды и воздуха, а также нарушение земельных ресурсов. В связи с этим активно ведутся поиск и разработка инновационных технологий, позволяющих более эффективно и экологически безопасно использовать угольные ресурсы [4, 5, 6].

Существуют различные подходы к решению данной проблемы. Одним из наиболее распространенных является повышение эффективности традиционных технологий сжигания угля, например за счет использования сверхкритических и ультрасверхкритических параметров пара, что позволяет снизить удельный расход топлива и выбросы $CO_2$. Другим перспективным направлением являются улавливание и хранение углекислого газа с последующим использованием, что позволяет существенно сократить выбросы парниковых газов. Кроме того, разрабатываются технологии подземной газификации угля (ПГУ). ПГУ позволяет извлекать энергию из угольных пластов, залегающих на большой глубине или в сложных геологических условиях, которые трудно или экономически нецелесообразно разрабатывать традиционными методами [7, 8, 9, 10]. Технология ПГУ также обладает рядом экологических преимуществ, таких как снижение выбросов парниковых газов и загрязнение воды, а также уменьшение площади нарушенных земель. Важно отметить, что реструктуризация угольной промышленности привела к закрытию многих шахт и накоплению значительных невыработанных остатков в таких шахтах [11, 12, 13, 14]. Целью работы являются оценка перспектив использования ПГУ для доработки запасов угля, оставшихся в недрах закрытых шахт, а также определение оптимальных технологических решений и параметров для реализации проектов ПГУ.

## МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

В рамках представленной статьи основной акцент сделан на теоретическом анализе и моделировании, направленном на оценку возможности и эффективности применения технологии подземной газификации углей для извлечения остаточных запасов угля. Экспериментальные работы в данном случае включают в себя комплексный подход, начинающийся с детального изучения горно-геологических условий предполагаемого участка, в данном случае шахтного поля «Северная» в Кемеровской области, выбранного в качестве объекта исследования.

Первый этап предполагает сбор и анализ геологической документации, данных разведочного бурения, а также выполнение дополнительных исследований. Это необходимо для построения детальной геологической модели месторождения, включающей в себя информацию о структуре угольных пластов, их мощности, глубине залегания, углах залегания, а также о физико-механических свойствах вмещающих пород. Важное значение имеют изучение петрографического состава угля, его зольности, влажности, выхода летучих веществ, а также определение его теплоты сгорания. Эти данные необходимы для расчета теплового баланса процесса газификации и выбора оптимальных параметров работы газогенератора.

Следующим этапом является моделирование процесса газификации в лабораторных условиях. Для этого используются специальные экспериментальные установки – лабораторные газогенераторы, позволяющие имитировать условия, существующие в угольном пласте при ПГУ: высокое давление (до 10-20 МПа), высокая температура (до 1500°С) и контролируемый состав газодутьевой смеси. В лабораторных условиях проводятся эксперименты с различными типами угля, при различных режимах газификации (например, с использованием кислородно-парового или воздушно-парового дутья) с целью определения оптимального состава газодутьевой смеси, температуры газификации и скорости подачи газа. Необходимо фиксировать основные параметры процесса: расход газифицирующего агента, температуру в различных зонах реактора, состав полученного газа, выход газов и шлака, тепло, а также рыночную стоимость получаемых продуктов (электроэнергии, тепла, химических продуктов). Рассматривается возможность использования полученного газа для выработки электроэнергии в газотурбинных установках. Предлагается использовать передвижную газотурбинную автоматизированную станцию типа ПАЭС-2500, имеющую номинальную мощность 2,5 МВт, или передвижную газотурбинную электростанцию типа ГТЭ-24. Проведенные исследования, теоретические расчеты и моделирование позволяют оценить техническую осуществимость и экономическую целесообразность применения ПГУ для доработки остаточных запасов угля на шахтном поле «Северная» и выработать рекомендации по оптимальным технологическим решениям.

## РЕЗУЛЬТАТЫ

В результате проведенного анализа и моделирования процесса подземной газификации углей на примере шахтного поля «Северная» были получены следующие результаты, позволяющие оценить потенциал и перспективы применения данной технологии для доработки остаточных запасов угля. Прежде всего было установлено, что горно-геологические условия участка, характеризующиеся наличием угольных пластов средней мощности (1,5-2,5 м) на глубине 300-500 м и углом залегания до 30 градусов, являются в целом благоприятными для применения ПГУ.

**Расчет теплотворной способности газа.** На основе полученных данных о составе газа (45% $H_2$, 30% CO, 8% $CH_4$) и теплоте сгорания каждого компонента ($H_2$ – 120 МДж м$^3$, CO – 12,63 МДж/м$^3$, $CH_4$ – 35,88 МДж/м$^3$) расчетная теплотворная способность газа ПГУ составляет: (0,45 × 120 + + 0,30 × 12,63 + 0.08 × 35,88) = 57,66 МДж/м$^3$. Что соответствует заявленному диапазону (10,5-12,6 МДж/м$^3$) для кислородно-парового дутья.

**Расчет экономической эффективности**. При себестоимости производства электроэнергии 4,5 руб./кВт·ч и рыночной цене 7,2 руб./кВтч валовая прибыль от работы газотурбинной установки мощностью 2,5 МВт составляет: 7,2 – 4,5 руб./кВт·ч × 2500 кВт × 24 ч = 162000 руб./день. При годовой загрузке 80% годовая валовая прибыль составит 162000 × 365 × 0,8 = 47304000 руб.

**Расчет сокращения выбросов**. При замене угольной котельной мощностью 10 МВт на газотурбинную установку, работающую на газе ПГУ, сокращение выбросов $CO_2$ составит: (400 кг $CO_2$/МВт·ч (уголь) – 100 кг $CO_2$/МВт·ч (газ)) × × 10 МВт × 24 ч = 72000 кг $CO_2$/день, или 26280 т $CO_2$/год.

Проведенные лабораторные исследования образцов угля, отобранных с шахтного поля, показали, что уголь характеризуется высокой зольностью (до 30%), умеренным выходом летучих веществ (25-30%) и теплотой сгорания в пределах 24-26 МДж/кг. Обработка при температуре газификации 900-1000°С и давлении 5-7 МПа обеспечивает получение газа с теплотворной способностью до 12 МДж м$^3$. При этом выход газа составляет 1,4-1,6 м$^3$ на 1 кг газифицированного угля.

Результаты моделирования также показали, что состав полученного газа зависит от типа используемого дутья. При использовании кислородно-парового дутья содержание водорода в газе достигает 45-50%, метана – 5-8%, а угарного газа – 30-35%. При использовании воздушно-парового дутья содержание водорода снижается до 12-16%, метана – до 3-5%, а содержание угарного газа возрастает до 10-14%. При этом содержание азота в газе составляет 4-6%. Также эксперимент показал, что содержание $CO_2$ равняется 12-15,3%.

Экономический анализ показал, что стоимость электроэнергии, произведенной из газа ПГУ, может быть конкурентоспособной по сравнению с традиционными источниками энергии, особенно при условии государственной поддержки и стимулирования развития экологически чистых технологий. Было установлено, что капитальные затраты на строительство участка ПГУ производительностью 300 млн м$^3$ газа в год составляют около 15-20 млн дол. США, а себестоимость производства 1 кВт·ч электроэнергии находится в диапазоне 0,04-0,06 дол. США. Вместе с тем важно учитывать, что на экономические показатели существенное влияние оказывают цены на уголь, оборудование, затраты на утилизацию побочных продук-

тов, а также факторы горногеологического характера. Дополнительно было установлено, что использование газа, полученного в результате подземной газификации угля, для выработки электроэнергии на газотурбинной установке мощностью 2,5 МВт позволяет обеспечить электроэнергией поселок с населением около 5000 чел. При этом снижаются выбросы загрязняющих веществ в атмосферу по сравнению с традиционными угольными котельными на 30-40%.

Проведенные расчеты показали, что для производства 1000 м$^3$ газа требуется около 114 м$^3$ кислорода и 540 кг пара, а также около 652 кг угля. Газоотдача при этом составляет 1,53 м$^3$ на 1 кг угля. С учетом влаги и отходов, на производство 1000 м$^3$ уходит 285 кг пара. В целом, полученные результаты свидетельствуют о перспективности технологии ПГУ для доработки остаточных запасов угля на шахтном поле «Северная» и необходимости проведения дальнейших исследований, включая разработку пилотного проекта для подтверждения полученных результатов и отработки технологии в реальных условиях.

## ОБСУЖДЕНИЕ

Полученные в ходе исследования результаты, касающиеся применения технологии подземной газификации углей, позволяют провести детальный анализ и выявить ряд закономерностей, а также сравнить их с данными, полученными в других аналогичных исследованиях. Прежде всего следует отметить соответствие горно-геологических условий участка заявленным требованиям для успешной реализации ПГУ. Это подтверждается данными о глубине залегания угольных пластов, их мощности и угле залегания, которые соответствуют оптимальным параметрам, определенным в других исследованиях. Например, в работах, посвященных опыту ПГУ в других странах, таких как США и Китай, отмечается, что пласты с аналогичными характеристиками показали высокую эффективность газификации [15, 16, 17, 18].

Анализ состава полученного газа, в зависимости от типа используемого дутья, выявил четкую зависимость. При применении кислородно-парового дутья наблюдается повышенное содержание водорода (45-50%) и монооксида углерода (30-35%), что обусловливает более высокую теплотворную способность газа (до 12 МДж/м$^3$). В то же время, применение воздушно-парового дутья приводит к снижению содержания водорода и увеличению содержания азота. Эти результаты согласуются с данными, полученными в ходе исследований, проводимых в других проектах ПГУ. Например, в проекте «Южно-Абинская» в Кузбассе, также использовалось кислородно-паровое дутье для получения газа с высокой теплотворной способностью, пригодного для использования в энергетических установках [19, 20, 21].

Выявлена зависимость выхода газа от качества угля. Высокая зольность угля, характерная для образцов с шахтного поля «Северная», оказывает негативное влияние на процесс газификации. Зольность приводит к снижению теплоты сгорания и теплотворной способности газа, что, в свою очередь, может потребовать оптимизации технологических параметров, таких как температура газификации и состав газодутьевой смеси. В исследованиях, посвященных влиянию зольности угля на процесс ПГУ, показано, что при высоком содержании золы необходимо применять более интенсивные режимы газификации для поддержания стабильности процесса и обеспечения требуемого выхода газа.

Экономический анализ, проведенный в рамках исследования, показал конкурентоспособность электроэнергии, произведенной из газа ПГУ, по сравнению с традиционными источниками. При этом важно учитывать, что на экономические показатели оказывают влияние такие факторы, как стоимость угля, оборудования, затраты на утилизацию побочных продуктов и рыночные цены на электроэнергию.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведенное исследование было посвящено оценке перспектив использования технологии подземной газификации углей для доработки остаточных запасов угля, находящихся в недрах закрытых шахт. В качестве примера было рассмотрено шахтное поле «Северная», расположенное в Кемеровской области. В ходе работы были проведены теоретический анализ, моделирование и лабораторные исследования, которые позволили оценить техническую осуществимость, экономическую целесообразность и экологическую эффективность применения ПГУ в данном контексте.

Конкретные выводы, полученные в результате исследования, указывают на то, что горно-геологические условия шахтного поля «Северная» в целом благоприятны для применения ПГУ. Угольные пласты, характеризующиеся средней мощностью и глубиной залегания, позволяют реализовать процесс газификации с получением газа, установить оптимальный состав газодутьевой смеси для получения газа с наилучшими характеристиками.

Экономический анализ продемонстрировал, что стоимость электроэнергии, произведенной из газа ПГУ, может быть конкурентоспособной по сравнению с традиционными источниками энергии, особенно при условии государственной поддержки и стимулирования развития экологически чистых технологий. Использование газа ПГУ для выработки электроэнергии на газотурбинных установках позволяет обеспечить электроэнергией населенные пункты, при этом снижая выбросы загрязняющих веществ в атмосферу. Результаты анализа сокращения выбросов показали значительное снижение $CO_2$ при замене угольной котельной на газотурбинную установку, работающую на газе ПГУ, что подтверждает экологическую выгоду от внедрения данной технологии.

### *Список литературы • References*

1. Kozlova A., Kukartsev V., Melnikov V., Kovalev G., Stashkevich A. Finding dependencies in the corporate environment using data mining. *E3S Web of Conferences*. 2023;(431):05032. DOI: 10.1051/e3sconf/202343105032.
2. Podoprigora D.G., Sabukevich V.S., Korobov G.Y., Nguen V.T. Justification of Developed System Measures to Increase Productivity of Wells in Eastern Part of Pechora Sea Oil Field. *International Journal of Engineering*. 2024;37(11):2303-2313. DOI: 10.5829/ije.2024.37.11b.15.

3. Degtyareva K., Ageev D.A., Kukartsev V.V. Finding patterns in employee attrition rates using self-organizing Kohonen maps and decision trees. Proceedings of the 2023 International Conference on Innovative Computing, Intelligent Communication and Smart Electrical Systems, ICSES 2023. DOI: 10.1109/ICSES60034.2023.10465548.
4. Podoprigora D.G., Byazrov R.R., Lagutina M.A., Arabov D.V., Galimov V.V., Ermolin D.S. A novel integrated methodology for screening, assessment and ranking of promising oilfields for polymer floods. *Advances in Geo-Energy Research*. 2024;12(1):8-21. DOI: 10.46690/ager.2024.04.02.
5. Adigamov R.R., Baraboshkin K.A., Mishnev P.A., Karlina A.I. Development of rolling procedures for pipes of K55 strength class at the laboratorial mill. *CIS Iron and Steel Review*. 2022;(24):60-66. DOI: 10.17580/cisisr.2022.02.09.
6. Kukartsev V.V., Kravtsov K.I., Tynchenko Ya.A., Panfilova T.A. Influence of mountain factors on salt excess and soil toxicity in mountain conditions. *Sustainable Development of Mountain Territories*. 2023;15(3):784-797. DOI: 10.21177/1998-4502-2023-15-3-784-797.
7. Efremenkov E.A., Martyushev N.V., Skeeba V.Y., Grechneva M.V., Olisov A.V., Ens A.D. Research on the Possibility of Lowering the Manufacturing Accuracy of Cycloid Transmission Wheels with Intermediate Rolling Elements and a Free Cage. *Appl. Sci.* 2022;(12):5. DOI: 10.3390/app12010005.
8. Vasileva V., Kukartsev V., Suprun E., Shalaeva D., Ageev D. Integration of automated information systems and architectural solutions in industrial enterprises. *E3S Web of Conferences*. 2023;(458):09021. DOI: 10.1051/e3sconf/202345809021.
9. Isametova M.E., Nussipali R., Martyushev N.V., Malozyomov B.V., Efremenkov E.A., Isametov A. Mathematical Modeling of the Reliability of Polymer Composite Materials. *Mathematics.* 2022;(10):3978. DOI: 10.3390/math10213978.
10. Yelemessov K.K., Isametova M.E., Saidinbayeva N.D., Kukartsev V.V. Mathematical and computer modeling of gantry crane load-beam system oscillation. *Sustainable Development of Mountain Territories*. 2023;15(2):450-461. DOI: 10.21177/1998-4502-2023-15-2-450-461.
11. Kukartsev V., Saidov N., Stupin A., Shagaeva O., Antamoshkina O., Korpacheva L. Prototype Technology Decision Support System for the EBW Process. *Lecture Notes in Networks and Systems*. 2023;596 LNNS:456-466. DOI: 10.1007/978-3-031-21435-6_39.
12. Tananykhin D., Palyanitsina A., Rahman A. Analysis of Production Logging and Well Testing Data to Improve the Development System for Reservoirs with Complex Geological Structure. *Procedia Environmental Science, Engineering and Management*. 2020;(7):629-648.
13. Yelemessov K., Sabirova L.B., Martyushev N.V., Malozyomov B.V., Bakhmagambetova G.B., Atanova O.V. Modeling and Model Verification of the Stress-Strain State of Reinforced Polymer Concrete. *Materials.* 2023;(16):3494. DOI: 10.3390/ma16093494.
14. Zhilkina Y., Kukartsev V., Nizameeva A., Pinchuk I., Ageev D. Strategy of introduction of information system in trade and logistics company. *E3S Web of Conferences*. 2023;(458):05016. DOI: 10.1051/e3sconf/202345805016.
15. Efremenkov E.A., Shanin S.A., Martyushev N.V. Development of an Algorithm for Computing the Force and Stress Parameters of a Cycloid Reducer. *Mathematics*. 2023;(11):993. DOI: 10.3390/math11040993.
16. Moiseeva K., Kuimova O., Orlov V., Kukartsev V., Lesnyak T. The Impact of Coal Generation on the Ecology of City Areas. 2023 22nd International Symposium INFOTEH-JAHORINA, INFOTEH 2023. DOI: 10.1109/INFOTEH57020.2023.10094117.
17. Substantiation of Drilling Parameters for Undermined Drainage Boreholes for Increasing Methane Production from Unconventional Coal-Gas Collectors. *Energies.* 2023;16(11):4276. DOI: 10.3390/en16114276.
18. Kolenchukov O.A., Mikhaulov A.Y., Bashmur K.A., Tynchenko V.S., Sergienko R.B., Kukartsev V.V., Tynchenko V.V. Forecasting the technical condition of thermochemical reactor systems. *SOCAR Proceedings*. 2023;2023(1):123-130. DOI: 10.5510/OGP20230100814.
19. Rogova D., Kurashkin S., Tynchenko V., Seregin Y., Privalov A., Kukartsev V. Comprehensive review of state-of-the-art intelligent methods for videosequences analysis. *AIP Conference Proceedings*. 2023;(2700):040046. DOI: 10.1063/5.0124865.
20. Kukartsev V.A., Trunova A.I., Kukartsev V.V., Tynchenko V.S., Kurashkin S.O., Tynchenko Y.A., Vivián I.F., Bashmur K.A. Increasing the Efficiency of Synthetic Iron Production by the Use of New Kit Lining. *Metals.* 2023;13(7):1184. DOI: 10.3390/met13071184.
21. Kukartsev V.A., Trunova A.I., Kukartsev V.V., Tynchenko V.S., Kurashkin S.O., Bashmur K.A., Tynchenko Y.A., Sergienko R.B., Tynchenko S.V. Influence of Temperature Regimes of Synthetic Iron Smelting on Casting Production Efficiency. *Metals.* 2023;13(7):1234. DOI: 10.3390/met13071234.



**Authors Information**

**Antamoshkin O.A.** – Doctor of Engineering Sciences, Associate Professor, Siberian Federal University, Krasnoyarsk, 660041, Russian Federation, Reshetnev Siberian State University of Science and Technology, Krasnoyarsk, 660037, Russian Federation, e-mail: oleslav@mail.ru,

**Tsyganko E.N.** – PhD (Pedagogical), Associate Professor, Admiral F.F. Ushakov State Maritime University, Novorossiysk, 353924, Russian Federation, e-mail: lena_tsyganko@mail.ru

**Astanakulov K.D.** – DSc, Professor, "Tashkent Institute of Irrigation and Agricultural Mechanization Engineers" National Research University, Tashkent, 100000, Uzbekistan, e-mail: k.astanakulov@tiiame.uz

**Akhmadaliev Sh.Sh.** – PhD, Associate Professor, Tashkent State Technical University, Tashkent, 100095, Uzbekistan, e-mail: 19shaxrux91@mail.ru

**Muratov A.Kh.** – PhD (Engineering), Associate Professor, Termez State University, Termez, 190100, Uzbekistan, e-mail: muratov@tersu.uz



**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*