

Код МРНТИ 52.13.37

А.В. Садчиков, Д.Р. Ахматнуров, *Н.М. Замалиев, Н.Е. Исина

НАО «Карагандинский технический университет им. Абылкаса Сагинова» (г. Караганда, Казахстан)

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭНДОГЕННЫХ ПОЖАРОВ И МЕТОДЫ ИХ ПРЕДОТВРАЩЕНИЯ

Аннотация. Эндеогенные пожары остаются серьезной проблемой угледобычи Казахстана, возникая из-за самовозгорания угольных пластов. В статье рассматриваются их основные причины, включая окисление, влажность и тектонические особенности, а также методы борьбы: вентиляция, закачка инертных газов, изоляция зон, применение аэрозольных составов и автоматизированный мониторинг. Уделяется внимание профилактике самонагревания угля, трудностям ликвидации глубоких очагов возгорания и техническим ограничениям существующих методов. Несмотря на принятые меры, полностью решить проблему не удастся, что требует совершенствования технологий раннего обнаружения, эффективных методов тушения, разработки новых изоляционных материалов и усиленного контроля за опасными участками.

Ключевые слова: эндеогенные пожары, пенополистирол, угледобыча, самовозгорание угля, изоляционный барьер, подача горячего воздуха, предотвращение горения, шахтные технологии.

Эндеогендік өрт мәселелерін олармен күресу тұрғысынан зерттеу

Аңдатпа. Эндеогенді өрттер көмір өндіру саласындағы маңызды мәселе болып қалып отыр, олар көмір қабаттарының өздігінен тұтануы нәтижесінде пайда болады. Мақалала олардың негізгі себептері, соның ішінде тотығу, ығалдылық және тектоникалық ерекшеліктер, сондай-ақ күресу әдістері: желдету, инертті газдарды айдау, қауіпті аймақтарды оқшаулау, аэрозольді құрамдарды қолдану және автоматтандырылған мониторинг қарастырылады. Көмірдің өздігінен кызуын алдын алу шараларына, терең өрт ошақтарын жоюдағы қиындықтарға және қолданыстағы әдістердің техникалық шектеулеріне назар аударылады. Қабылданған шараларға қарамастан, бұл мәселені толық шешу мүмкін болмай отыр, сондықтан ерте анықтау технологияларын жетілдіру, тиімді сөндіру әдістерін дамыту, жаңа оқшаулағыш материалдарды әзірлеу және қауіпті аймақтарды бақылауды күшейту қажет.

Түйінді сөздер: эндеогенді өрттер, пенополистирол, көмір өндіру, көмірдің өздігінен тұтануы, оқшаулағыш тосқауыл, ыстық ауа беру, жанудың алдын алу, шахта технологиялары.

Research of endogenous fires and methods of their prevention

Abstract. Endogenous fires remain a serious problem in Kazakhstan's coal mining industry, occurring due to the self-ignition of coal seams. The article examines their main causes, including oxidation, moisture, and tectonic features, as well as firefighting methods such as ventilation, inert gas injection, zone isolation, aerosol compositions, and automated monitoring. Attention is given to measures for preventing coal self-heating, challenges in extinguishing deep fire sources, and technical limitations of existing methods. Despite the measures taken, the problem remains unresolved, requiring improvements in early detection technologies, more effective extinguishing methods, the development of new insulating materials, and enhanced monitoring of hazardous areas.

Key words: endogenous fires, foam plastic, coal mining, coal self-ignition, insulating barrier, hot air supply, fire prevention, mine technologies.

Введение

Эндеогенные пожары представляют одну из самых сложных и опасных проблем угледобывающей промышленности, возникая вследствие самовозгорания угольных пластов под воздействием окислительных процессов, влажности, тектонических нарушений и других факторов. Эти пожары трудно поддаются обнаружению на ранних стадиях, а их ликвидация требует значительных ресурсов и применения сложных технологий. В Казахстане, где угледобывающая отрасль играет важную роль в экономике, эндеогенные пожары приводят к серьезным производственным и экологическим проблемам, снижая рентабельность добычи и создавая угрозу для безопасности шахтеров [1].

На сегодняшний день в стране используются различные методы борьбы с эндеогенными пожарами, включая вентиляционные системы, закачку инертных газов, изоляцию опасных зон и термоконтрольные системы [2]. Однако многие из этих технологий обладают ограниченной эффективностью, особенно при длительном тлеющем горении в глубинных слоях угольных пластов. В связи с этим возникает необходимость в поиске новых решений, способных повысить эффективность локализации и тушения эндеогенных пожаров.

В данной статье предлагается инновационный подход к борьбе с самовозгоранием угля с использованием пенополистирола. Идея заключается в том, что закачка специальных полистироловых гранул составов в зоны потенциального возгорания может создать изоляционный барьер, препятствующий доступу кислорода и снижению теплопередачи. Ожидается, что такой метод позволит не только предотвращать самовозгорание, но и эффективно

блокировать уже начавшиеся эндеогенные процессы. Для проверки эффективности данного подхода планируется проведение эксперимента, результаты которого могут способствовать разработке новых технологий тушения и профилактики эндеогенных пожаров в Казахстане [3].

Методы исследования

Использование полистирола в сочетании с высокотемпературным паром может стать инновационным методом уплотнения выработанного пространства или герметизации отдельных участков. При воздействии горячего пара температурой 100–150 °С пенополистирол начинает расширяться, заполняя пустоты, а после насыщения паром и охлаждения затвердевает, образуя плотную и устойчивую структуру. В результате создается жесткий, теплоизоляционный и газонепроницаемый барьер из пенополистирола, который может использоваться для предотвращения пожаров в горных выработках.

Одним из ключевых применений данного метода является создание перемычек, способствующих предотвращению попадания кислорода в окисленную зону угля. После добычи угля в лаве остается выработанное пространство, которое тоже в определенных случаях потребует его изоляции [4]. Также применение полистирола с последующей обработкой его паром позволит создать уплотняющий барьер, что уменьшит риск выделения газа. Кроме того, данный метод может использоваться для локальной герметизации опасных зон с целью предотвращения выделения метана, что особенно актуально для угольных шахт Карагандинского бассейна, известных своей высокой газоносностью. Образование жесткого пенополистиролового барьера поможет изолировать потенциально опасные

участки, ограничивая утечки метана и снижая концентрацию газа в рабочей зоне [5, 6].

Для внедрения данной технологии требуется соответствующее оборудование. Основным элементом является парогенератор, который должен обеспечивать стабильную подачу пара через гибкие термостойкие шланги. Температура пара должна регулироваться в пределах 100–150 °С, чтобы обеспечить равномерное расширение и затвердевание полистирола. После подачи материала осуществляется контроль процесса с помощью датчиков температуры и давления, а также системы автоматического отключения подачи пара после завершения процесса. Важным аспектом является использование термостойких материалов и обеспечение безопасности рабочих в зоне применения технологии.

Основными преимуществами данного метода являются снижение затрат по сравнению с традиционными способами изоляции, быстрое заполнение пустот, возможность герметизации газоносных зон, увеличение безопасности шахтеров и дешевизна работ. Дополнительным плюсом является возможность добавления огнестойких компонентов в состав пенополистирола, что делает его безопасным для шахтных условий. Однако перед полноценным внедрением технологии необходимо провести полевой тест на небольшом участке лавы, оценить эффективность расширения и затвердевания полистирола, а также разработать регламент внедрения технологии в условиях шахты.

Результаты

В ходе эксперимента в лабораторных условиях, в макет выработки (рис. 1а), сделанный из плексигласа, который на 10% от объема макета был заполнен гранулами полистирола, были введены трубки, соединенные с парогенератором. После начала подачи горячего пара (рис. 1а), в течении 30–40 секунд полистирол начал активно расширяться, заполняя собой все больше пространства внутри контейнера. Визуально наблюдалось значительное увеличение объема материала, при этом гранулы полистирола постепенно сливались в единую монолитную массу. Эксперимент продолжался до тех пор, пока пенополистирол полностью не заполнил контейнер (рис. 1б), что заняло приблизительно 1,5 минуты (рис. 2). После отключения подачи пара и остывания материала, расширенный пенополистирол был извлечен из контейнера. Полученный материал обладал меньшей плотностью и большей эластичностью по сравнению с исходным полистиролом. Его структура стала более однородной. Результаты эксперимента наглядно демонстрируют способность полистирола к значительному расширению под воздействием горячего пара, что открывает широкие возможности для его применения в горнодобывающей отрасли.

Обсуждение результатов

В ходе лабораторного эксперимента было установлено, что процесс расширения пенополистирола способствует созданию плотного барьера, ограничивающего доступ кислорода и замедляющего развитие окислительных реакций.

Кроме того, пенополистирол формирует защитный слой, который снижает теплопередачу и предотвращает

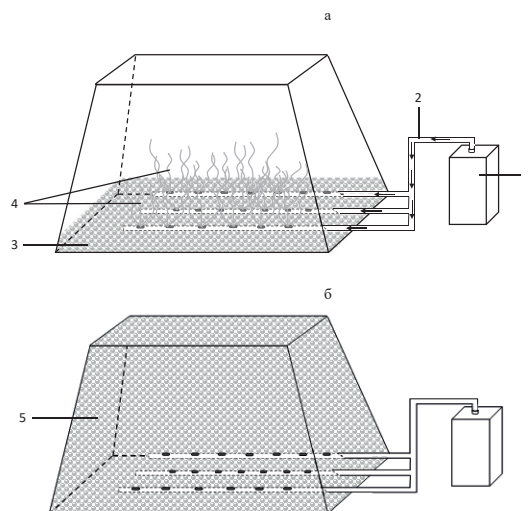


Рис. 1. Макет выработки. 1 – парогенератор, 2 – соединительные трубки с перфорацией, 3 – полистирол, 4 – пар, 5 – пенополистирол.

Сурет 1. Өндіріс макеті.

1 – бу генераторы, 2 – перфорациясы бар байланыстырушы түтіктер, 3 – полистирол, 4 – бу, 5 – полистирол көбік.

Figure 1. Production layout.

1 – steam generator, 2 – connecting tubes with perforation, 3 – polystyrene, 4 – steam, 5 – expanded polystyrene.

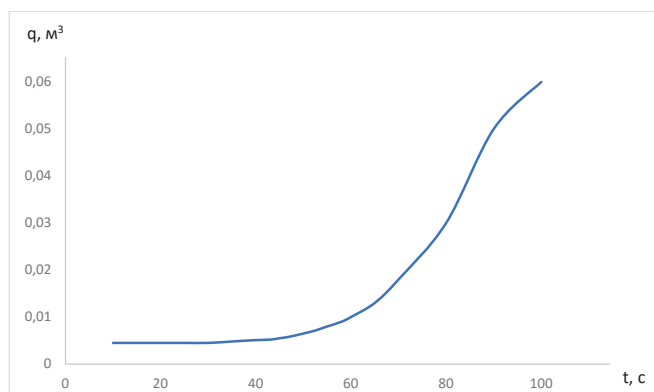


Рис. 2. Зависимость расширения полистирола во времени.

Сурет 2. Полистиролдың уақыт бойынша кеңеюіне тәуелділігі.

Figure 2. Time dependence of polystyrene expansion.

распространение эндогенного горения. Благодаря своей структуре материал способен проникать в труднодоступные зоны, где традиционные методы, такие как закачка инертных газов или водных суспензий, могут быть менее эффективными. Это делает пенополистирол перспективным средством для тушения пожара и предотвращения самовозгорания угля в шахтах и карьерах [7].

Однако одной из ключевых сложностей, выявленных в ходе исследования, является необходимость подачи горячего воздуха в шахту для обеспечения процесса расширения пенополистирола. В лабораторных условиях этот про-

цесс происходил в стабильной среде, но в реальных шахтных выработках доставка горячего воздуха на значительные глубины и расстояния может быть затруднена. Потери температуры при транспортировке, шахтной вентиляции на воздействие пенополистироловой массы и сложность создания равномерного прогрета требуют разработки эффективных технических решений для внедрения метода в промышленную эксплуатацию.

Таким образом, эксперимент подтвердил перспективность использования пенополистирола для борьбы с эндогенными пожарами. Дальнейшие исследования должны быть направлены на разработку оптимальных способов подачи горячего воздуха в шахтные условия или применение химических технологий, что позволит адаптировать технологию к реальной угледобыче и повысить ее практическую эффективность [8].

Заключение

В ходе исследования были изучены причины возникновения эндогенных пожаров, методы их предотвращения и борьбы, а также предложен инновационный подход с использованием пенополистирола. Анализ существующих технологий показал, что традиционные методы, такие как закачка инертных газов или водных суспензий, имеют ограничения в эффективности, особенно в труднодоступных зонах шахт. В связи с этим было рассмотрено применение пенополистирола, обладающего способностью расширяться и заполнять пустоты, что создает изоляционный барьер, препятствующий доступу кислорода и снижению теплопередачи.

Лабораторный эксперимент подтвердил, что пенополистирол способен замедлять процессы самовозгорания за

счет формирования плотного защитного слоя. Полученные результаты показывают, что данный материал может использоваться как превентивная мера для локализации потенциально опасных зон в угольных пластах. Особый интерес представляет его способность проникать в мелкие трещины и полости, что делает его перспективным средством для борьбы с эндогенными пожарами в угледобывающей отрасли [9].

Несмотря на положительные результаты, внедрение метода в промышленных масштабах требует дополнительных исследований. Основная сложность связана с необходимостью подачи горячего воздуха в шахту для активации процесса расширения пенополистирола. Это требует разработки эффективных инженерных решений, которые позволят поддерживать стабильную температуру на необходимой глубине. Для решения задачи удержания пенополистироловых гранул под воздействием вентиляционной струи, необходимо их заключать в сетчатый материал. Дальнейшие работы должны быть направлены на адаптацию технологии к условиям реальных шахт, проведение промышленных испытаний и оптимизацию процесса подачи горячего воздуха [10]. Решение этих задач позволит повысить эффективность борьбы с эндогенными пожарами и сделать метод пригодным для практического применения в угледобывающей промышленности.

Благодарность

Исследование было профинансировано Комитетом науки Министерства науки и высшего образования Республики Казахстан в рамках программно-целевого финансирования для реализации научной и научно-технической программы IRN №BR24993009.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Новоселов С.В., Попов В.Б., Голик А.С. Оценка риска возникновения эндогенных пожаров в угольных шахтах // Уголь. 2020. № 5. С. 21–25 (на русском языке)
2. Федоткин И.О., Федоткин Д.В. Проблемы пожаров в угольных шахтах и обзор современных подходов к их моделированию // Уголь. 2024. № 2. С. 69–73 (на русском языке)
3. Цибаев С.С., Кравченко И.А., Зорков Д.В. Совершенствование методов прогноза эндогенной пожароопасности на угольных шахтах // Вестник Кузбасского государственного технического университета. 2020. № 2. С. 67–74 (на русском языке)
4. Применение температурной и газовых съемок для обнаружения и локации очагов эндогенных пожаров на выходах пластов ликвидированной шахты / Портола В.А. [и др.] // Вестник Кузбасского государственного технического университета. 2023. № 3 (157). С. 79–90 (на русском языке)
5. Портола В.А., Овчинников А.Е., Жданов А.Н. Оценка мер по предупреждению эндогенных пожаров в угольных шахтах // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2019. № 12. С. 205–214 (на русском языке)
6. О результатах расследования аварии и ликвидации эндогенного пожара на шахте «Талдинская-Южная» / Шлапаков П.А. [и др.] // Вестник научного центра ВостНИИ по промышленной и экологической безопасности. 2020. № 1. С. 42–47 (на русском языке)
7. Выбор средства пожаротушения угольных шахт на основе автокорреляционного анализа аварий / Косьянова Е.Н. [и др.] // Пожары и чрезвычайные ситуации: предотвращение, ликвидация. 2022. № 2. С. 27–34 (на русском языке)
8. Дребенштедт К. Коркинский буроугольный карьер как пример эндогенного пожара // Международный инженерный журнал. 2021. № 1. С. 293–304 (на английском языке)

9. Аварии, вызванные самовозгоранием газа и угля в забоях крутопадающих сверхмощных угольных пластов / Чжан Цимин [и др.] // Журнал механики горных пород и геотехники. 2024. № 10. С. 4141–4153 (на английском языке)
10. Ши-Лэй Ю., Синь Лю. Исследование методов количественной оценки рисков по нескольким показателям для различных периодов самовозгорания угля в угольных шахтах // Наука и технология сжигания топлива. 2024. № 11. С. 1628–1641 (на английском языке)

ПАЙДАЛАНЫЛҒАН ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

1. Новоселов С.В., Попов В.Б., Голик А.С. Көмір шахталарында эндогендік өрттердің пайда болу қаупін бағалау // Көмір. 2020. № 5. Б. 21–25 (орыс тілінде)
2. Федоткин И.О., Федоткин Д.В. Көмір шахталарындағы өрттердің проблемалары және оларды модельдеудің заманауи тәсілдеріне шолу // Көмір. 2024. № 2. Б. 69–73 (орыс тілінде)
3. Цибаев С.С., Кравченко И. А., Зорков Д.В. Көмір шахталарында эндогендік өрт қаупін болжау әдістерін жетілдіру // Кузбасс мемлекеттік техникалық университетінің хабаршысы. 2020. № 2. Б. 67–74 (орыс тілінде)
4. Жойылған шахтаның шетіндегі эндогендік өрттерді анықтау және анықтау үшін температура мен газды зерттеуді қолдану / Портола В.А. [және т. б.] // Кузбасс мемлекеттік техникалық университетінің хабаршысы. 2023. № 3 (157). Б. 79–90 (орыс тілінде)
5. Портола В.А., Овчинников А.Е., Жданов А.Н. Көмір шахталарында эндогендік өрттердің алдын алу шараларын бағалау // Тау-кен ақпараттық-аналитикалық бюллетені. 2019. № 12. Б. 205–214 (орыс тілінде)
6. Апатты тергеу және Талдинская-Южная кенішіндегі эндогендік өртті жою нәтижелері туралы / Шлапаков П.А. [және т. б.] // Шығыс өнеркәсіптік және экологиялық қауіпсіздік ғылыми орталығының хабаршысы. 2020. № 1. Б. 42–47 (орыс тілінде)
7. Жазатайым оқиғалардың автокорреляциялық талдауы негізінде көмір шахталары үшін өрт сөндіргішті таңдау / Косьянова Е.Н. [және т. б.] // Өрттер мен төтенше жағдайлар: алдын алу, жою. 2022. № 2. Б. 27–34 (орыс тілінде)
8. Дребенштедт К. Коркинский қоңыр көмір карьері эндогендік өрттің мысалы ретінде // Халықаралық инженерлік журнал. 2021. № 1. Б. 293–304 (ағылшын тілінде)
9. Апаттары ауыр көмір қабаттарының тік құлауы жағдайында газ бен көмірдің өздігінен жануынан туындаған / Чжан Цимин [және т. б.] // Тау жыныстарының механикасы және геотехникасы журналы. 2024. № 10. Б. 4141–4153 (ағылшын тілінде)
10. Ши-Лэй Ю., Синь Лю. Көмір шахталарында көмірдің өздігінен жануының әр түрлі кезеңдеріндегі тәуекелдерді бірнеше көрсеткіштер бойынша сандық бағалау әдістерін зерттеу // Отынның жану ғылымы мен технологиясы. 2024. № 11. Б. 1628–1641 (ағылшын тілінде)

REFERENCES

1. Novoselov S.V., Popov V.B., Golik A.S. Otsenka riska vozniknoveniya endogennykh pozharov v ugol'nykh shakhtakh [Assessment of the risk of endogenous fires in coal mines], Ugol' [Coal]. 2020. No. 5. 21–25 (in Russian)
2. Fedotkin I.O., Fedotkin D.V. Problemy pozharov v ugol'nykh shakhtakh i obzor sovremennykh podkhodov k ikh modelirovaniyu [Problems of fires in coal mines and a review of modern approaches to their modeling], Ugol' [Coal]. 2024. No. 2. 69–73 pp. (in Russian)
3. Tsibaev S.S., Kravchenko I.A., Zorkov D.V. Sovershenstvovanie metodov prognoza endogennoi pozharoopasnosti na ugol'nykh shakhtakh [Improving methods for predicting endogenous fire hazards in coal mines], Vestnik Kuzbasskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta [Bulletin of the Kuzbass State Technical University]. 2020. No. 2. 67–74 pp. (in Russian)
4. Primenenie temperaturnoi i gazovykh s'emok dlya obnaruzheniya i lokatsii ochagov endogennykh pozharov na vykhodakh plastov likvidirovannoi shakhty [The use of temperature and gas surveys to detect and locate endogenous fires at the outcrops of the liquidated mine], Portola V.A. [et al.], Vestnik Kuzbasskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universitet [Bulletin of the Kuzbass State Technical University]. 2023. No. 3 (157). 79–90 pp. (in Russian)
5. Portola V.A., Ovchinnikov A.E., Zhdanov A.N. Otsenka mer po preduprezhdeniyu endogennykh pozharov v ugol'nykh shakhtakh [Assessment of measures to prevent endogenous fires in coal mines], Gornyi informatsionno-analiticheskii byulleten' [Mining information and analytical bulletin]. 2019. No. 12. 205–214 pp. (in Russian)

6. *O rezul'tatakh rassledovaniya avarii i likvidatsii endogenogo pozhara na shakhte «Taldinskaya-Yuzhnaya» [On the results of the investigation of the accident and the elimination of an endogenous fire at the Taldinskaya-Yuzhnaya mine], Shlapakov P.A. [et al.], Vestnik nauchnogo tsentra VostNII po promyshlennoi i ekologicheskoi bezopasnosti [Bulletin of the VostNII Scientific Center for Industrial and Environmental Safety]. 2020. No. 1. 42–47 pp. (in Russian)*
7. *Vybor sredstva pozharotusheniya ugol'nykh shakht na osnove avtokorrelyatsionnogo analiza avarii [Choosing a fire extinguishing agent for coal mines based on autocorrelation analysis of accidents], Kosyanova E.N. [et al.], Pozhary i chrezvychainye situatsii: predotvrashchenie, likvidatsiya [Fires and emergencies: prevention, elimination]. 2022. No. 2. 27–34 pp. (in Russian)*
8. *Drebenstedt K. Korkinsky brown coal quarry as an example of an endogenous fire // International Engineering Journal. 2021. No. 1. 293–304 pp. (in English)*
9. *Accidents caused by spontaneous combustion of gas and coal in the faces of steep-falling heavy-duty coal seams / Zhang Ziming [et al.] // Journal of Rock Mechanics and Geotechnics. 2024. No. 10. 4141–4153 pp. (in English)*
10. *Shi-Lei Yu, Xin Liu. A study of methods for quantifying risks by several indicators for different periods of spontaneous combustion of coal in coal mines // Science and technology of fuel combustion. 2024. No. 11. 1628–1641 pp. (in English)*

Информация об авторах:

Садчиков А.В., к.т.н., старший преподаватель, Карагандинский технический университет им. Абылкаса Сагинова (г. Караганда, Казахстан), a.sadchikov@kstu.kz; <https://orcid.org/0000-0002-6022-2073>

Ахматнуров Д.Р., доктор Ph.D, руководитель лаборатории, Карагандинский технический университет им. Абылкаса Сагинова (г. Караганда, Казахстан), d.akhmatnurov@gmail.com; <https://orcid.org/0000-0001-9485-3669>

Замалиев Н.М., доктор Ph.D, и.о. доцента, Карагандинский технический университет им. Абылкаса Сагинова (г. Караганда, Казахстан), nailzamaliev@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0003-0628-2654>

Исина Н.Е., бакалавр, магистрант кафедры «Разработка месторождений полезных ископаемых», Карагандинский технический университет им. Абылкаса Сагинова (г. Караганда, Казахстан), nazym.issina@gmail.com; <https://orcid.org/0009-0006-5914-6671>

Авторлар туралы мәліметтер:

Садчиков А.В., т.ғ.к., оқытушы, Әбілқас Сағынов атындағы Қарағанды техникалық университеті (Қарағанды қ., Қазақстан)

Ахматнуров Д.Р., Ph.D докторы, зертхана басшысы, Әбілқас Сағынов атындағы Қарағанды техникалық университеті (Қарағанды қ., Қазақстан)

Замалиев Н.М., Ph.D докторы, доцент м.а., Әбілқас Сағынов атындағы Қарағанды техникалық университеті (Қарағанды қ., Қазақстан)

Исина Н.Е., «Пайдалы қазбалар кен орындарын игеру» кафедрасының бакалавры, магистранты, Әбілқас Сағынов атындағы Қарағанды техникалық университеті (Қарағанды қ., Қазақстан)

Information about the authors:

Sadchikov A.V., Candidate of Technical Sciences, Senior Lecturer, Abylkas Saginov Karaganda Technical University (Karaganda, Kazakhstan)

Akhmatnurov D.R., Ph.D, Head of Laboratory, Abylkas Saginov Karaganda Technical University (Karaganda, Kazakhstan)

Zamaliev N.M., Ph.D, Acting Associate Professor, Karaganda Technical University named after Abylkas Saginov (Karaganda, Kazakhstan)

Issina N.E., Bachelor's degree, Master's student of the Department of Mining (Karaganda, Kazakhstan)