

Код МРНТИ 52.01.93

Н.Д. Спатаев, *Г.С. Саттарова, С.С. Кудрявцев, Н.М. Сулейменов

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

ВЛИЯНИЕ ИЗОЛЯЦИИ ВЫРАБОТАННОГО ПРОСТРАНСТВА ЛАВЫ НА СОСТОЯНИЕ ПРОВЕТРИВАНИЯ ВЫЕМОЧНОГО УЧАСТКА

Аннотация. В статье исследовано влияние изоляции выработанного пространства лавы на аэрогазовую ситуацию выемочного участка при прямооточной схеме проветривания. Цель – разработка аэродинамического способа управления вентиляцией с оптимизацией параметров изоляции для обеспечения устойчивого проветривания и безопасности ведения горных работ. На основе численного моделирования выявлены особенности распределения воздуха и выделения метана. Установлено, что повышенная воздухопроницаемость выработанного пространства и рост аэродинамического сопротивления поддерживаемых выработок вызывают локальные зоны загазирования. Обосновано, что изоляция выработанного пространства лавы со стороны поддерживаемой вентиляционной выработки является наиболее эффективным способом управления аэрогазовой ситуацией, обеспечивающим стабилизацию воздушного потока, снижение утечек и устранение зон опасного загазирования.

Ключевые слова: прямооточная схема проветривания, очистной забой, изоляция выработанного пространства, загазирования, расход воздуха, поддерживаемая вентиляционная выработка, аэродинамическое сопротивление.

Лаваның өндіріліп алынған кеңістігін оқшаулаудың қазу аймағын желдету күйіне әсері

Аннотация. Бұл мақалада желдетудің тікелей тізбекті сызбасы кезінде аэрогазды жағдайға байланысты қазылған лаваның оқшаулауы, өңделген кеңістікке әсері зерттелді. Мақсат – тұрақты желдетуді және қауіпсіз тау-кен жұмыстарын қамтамасыз ету үшін оңтайландырылған оқшаулау параметрлері бар аэродинамикалық желдетуді басқару әдісін әзірлеу. Сандық модельдеу негізінде ауаның таралу заңдылықтары мен метан бөлінуі анықталды. Өндіріліп алынған кеңістіктің ауа өткізгіштігінің жоғарылауы және тірек қазбаларының аэродинамикалық кедергісінің артуы жергілікті газдану аймақтарын тудыратыны анықталды. Лаваның қазылған кеңістігін тірелген желдету жүйесінің жағынан оқшаулау ауа мен газ жағдайын бақылаудың ең тиімді жолы екені дәлелденген, бұл ауа ағынының бағыты мен жылдамдығын тұрақтандыруға, ауа ағып кетуін азайтуға және қауіпті газбен ластану аймақтарын іс жүзінде жоюға мүмкіндік береді.

Түйінді сөздер: тікелей ағынды желдету сызбасы, жұмыс беті, өндірілген кеңістікті оқшаулау, газдандыру, ауа шығыны, ұсталымдағы желдету қазбасы, аэродинамикалық кедергі.

The influence of the isolation of the worked-out lava space on the state of ventilation in the excavation site

Abstract. The article studies the influence of isolation of the worked-out lava space on the air and gas situation in the excavation site with a direct-flow ventilation scheme. The aim is to develop an aerodynamic method of ventilation control with optimization of isolation parameters to ensure stable ventilation and safety of mining operations. Based on numerical modeling, the features of air distribution and methane emission were identified. It was found that the increased air permeability of the worked-out space and the increase in aerodynamic resistance of the worked-out areas cause local gas accumulation zones. It has been substantiated that isolating the worked-out space of the longwall from the supported ventilation output is the most effective way to control the air and gas situation, allowing to stabilize the air flow, reduce air leaks, and eliminate dangerous gas accumulation zones.

Key words: direct-flow ventilation scheme, working face, isolation of the mined-out space, gas accumulation, air consumption, supported ventilation output, aerodynamic resistance.

Введение

Угольная промышленность остается одной из ключевых отраслей экономики Казахстана, однако подземная добыча угля, особенно в Карагандинском бассейне, сопровождается высокими производственными рисками. Наиболее опасным фактором является выделение метана и образование взрывоопасных метановоздушных смесей, что нередко приводит к тяжелым авариям с человеческими жертвами и разрушением горных выработок и оборудования. Поэтому обеспечение безопасной разработки угольных месторождений и соблюдение требований промышленной безопасности остается актуальной задачей для энергетики и экономики страны.

В период с 1993 по 2023 год в угольных шахтах Казахстана произошло множество крупных аварий, связанных со взрывами метана, выбросами угля и газа и пожарами, унесших жизни сотен горняков. К наиболее трагическим относятся аварии 2004 г. на шахте «Шахтинская» (23 погибших), 2006 года на шахте им. Ленина (41 погибший) и 2023 г. на шахте им. Костенко, где при взрыве метановоздушной смеси погибли 46 человек [1]. Основным способом борьбы с метаном является проветривание горных выработок, обеспечивающее поддержание допустимых концентраций газа. Однако существующие меры часто оказываются недостаточно эффективными, что обуславливает необходимость совершенствования методов управления газовой выделением, мониторинга метана и разработки более надежных схем проветривания выемочных участков.

Вопросам проветривания угольных шахт посвящено значительное количество научных исследований, что связано с необходимостью повышения надежности и эффективности вентиляции горных выработок и обеспечения безопасности горных работ. Особенно активно данная проблематика изучается в Китае. Анализ публикаций по вентиляции шахт за 2010–2023 годы, представленный в работе [2], показывает этапы стабильного развития, замедленного роста и последующего быстрого подъема исследований. Основные направления работ связаны с моделированием воздушных потоков, газодинамикой и совершенствованием систем управления вентиляцией. Так, в исследованиях [3–5] разработаны трехмерные модели вентиляционных сетей, методы распределения расхода воздуха, устранения утечек, повышения точности измерений скорости воздуха, а также экспериментально подтверждена эффективность увеличения подачи воздуха для снижения концентрации газа в очистных забоях.

Современные исследования ориентированы на внедрение цифровых и интеллектуальных решений, включая дистанционное управление вентиляцией, применение датчиков и методов искусственного интеллекта для анализа данных в реальном времени [6–8]. Это позволяет оперативно корректировать распределение воздуха, выявлять опасные зоны и снижать риск техногенных аварий. В работе [9] предложен системный риск-ориентированный подход к снижению аварийности на основе моделирования аэрологической и газовой обстановки и анализа предвестников взрывоопасных состояний.

Несмотря на наличие целого ряда научных исследований в области шахтной вентиляции, применение инновационных технологий в проветривании проблема снижения рисков взрывов метана в угольных шахтах все еще не решена. Оценка, управление и снижение риска взрыва метановоздушной смеси на выемочных участках является составной частью системы управления промышленной безопасности шахт и представляет собой одну из приоритетных научных проблем. Вместе с тем проблемы устойчивого проветривания выемочных участков и предотвращения локальных загазований в очистных забоях, особенно при прямоточной схеме проветривания и наличии выработанного пространства лавы, остаются недостаточно изученными, что определяет необходимость разработки эффективных аэродинамических способов управления метановыделением и вентиляционными режимами выемочных участков.

Для решения научной проблемы в статье предложен и научно обоснован аэродинамический метод управления вентиляционным режимом выемочного участка. Его принципиальная новизна заключается в оптимизации параметров изоляции выработанного пространства лавы как ключевого фактора регулирования воздухораспределения. Реализация этого подхода позволяет повысить устойчивость проветривания, снизить риск локальных загазований и обеспечить безопасные условия ведения очистных работ.

Методы исследования

Исследование выполнено с применением комплекса аналитических, натурных и расчетных методов. В ходе исследований проведен анализ научно-технических публикаций и нормативных документов по вопросам проветривания выемочных участков и управления метановыделением при прямоточной схеме проветривания.

Натурные исследования основывались на анализе данных о состоянии аэрогазовой обстановки выемочного, полученные в ходе натурных газовоздушных и депрессионных съемок в очистных забоях лав 45К₁₀-З и 43К₂-З шахты им. Костенко Карагандинского угольного бассейна. Сбор данных проводился в соответствии с требованиями промышленной безопасности и методиками газо-воздушных и депрессионных съемок. При проведении газо-воздушных съемок в опорных точках исследуемых зон фиксировались значения таких параметров как C – объемное содержание метана в воздухе (%), скорость движения воздушного потока V (м/с) и расход воздуха Q (м³/с). При проведении депрессионных съемок в дополнение к замеренному расходу воздуха Q , замерялись потери напора h (даПа) между точками. Для изучения механизма загазования, утечек воздуха через обрушенный массив и их притоков в поддерживаемую вентиляционную выработку замеры проводились в натурных условиях действующих шахт. Зона загазования рассматривалась в трехмерной системе координат (X, Y, Z) , где точка 0 на почве в районе сопряжения линии очистного забоя и стенки поддерживаемой вентиляционной выработки служила началом координат. Ось Y направлена вдоль забоя, ось Z – перпендикулярно плоскости залегания пласта. Учитывая, что наиболее опасная газовая ситуация формируется у груди

очистного забоя в верхней его части, измерение концентрации метана проводились на расстоянии 0,05 м – 0,1 м от груди забоя и 2,2 м – 2,5 м от почвы очистного забоя. Измерения содержания метана по указанной линии проводились на участке равном 50 м – 60 м от сопряжения очистной выработки с поддерживаемой вентиляционной с шагом измерения 3 м – 5 м.

Для анализа распределения воздушных потоков использовалось численное моделирование на основе квазисетевой модели выемочного участка, позволяющее оценить влияние изоляции выработанного пространства на аэрогазодинамическую ситуацию. Достоверность расчетов подтверждена производственными экспериментами по изоляции выработанного пространства лавы и последующими контрольными измерениями.

Результаты исследования

В Карагандинском бассейне технологии выемки угольных пластов с прямоточной схемой проветривания на поддерживаемую вентиляционную выработку позволяют значительно увеличивать нагрузку на очистные забои, сокращать объем и затраты на подготовительные выработки, минимизировать потери угля в присечных целиках, а также создавать безопасные условия для локализованного сбора и удаления метана по источникам его выделения. Утечки воздуха из очистного забоя существенно влияют на газовый баланс выемочного участка. С одной стороны, часть метана благодаря утечкам минует добычный участок и удаляется на поддерживаемую вентиляционную выработку, с другой – уменьшается объем воздуха, участвующего в проветривании лавы, что повышает риск загазования призабойного пространства. Исследования аэродинамики выработанных пространств показали, что при прямоточной схеме проветривания с подсыжением струи воздуха возникают особенности формирования утечек: опасная по концентрации метана зона возникает в местах высокой воздухопроницаемости выработанного пространства лавы, особенно около точки взаимодействия основного потока воздуха по лаве и подсыжающей струи, подаваемой через прилегающую выработку к очистному забою.

Состояние поддерживаемой вентиляционной выработки оказывает ключевое влияние на аэрогазодинамику выемочного участка. Подверженная действию горного давления и обрушения пород, она испытывает деформацию крепи и уменьшение поперечного сечения в зоне первичной посадки кровли, что дополнительно влияет на распределение потоков воздуха и метана.

Исследованиями [10], проведенными на шахтах Карагандинского бассейна, установлено, что удельное аэродинамическое сопротивление таких выработок может возрастать до 40 раз и привести к изменению направления потока воздуха в призабойном пространстве лавы и образованию в 10–30 метрах от сопряжения лавы с поддерживаемой вентиляционной выработкой застойной зоны с повышением содержания метана. Поддержание вентиляционной выработки в нормальном состоянии с одновременным увеличением сопротивления выработанного пространства лавы является важным моментом в стабили-

зации газовой обстановки на выемочном участке. Выполнение этих условий в определенной степени может быть обеспечено при возведении охранно-изолирующих полос вдоль вентиляционной выработки. Это свидетельствует о том, что в системе «изолирующие сооружения – выработанное пространство», в процессе управления метановыделением определяющая роль принадлежит изолирующим сооружениям.

В ходе исследования сравнивались аэрогазовые ситуации в лаве в зоне загазирования (от 0 до 50–60 м от сопряжения с поддерживаемой вентиляционной выработкой) при различных режимах регулирования проветривания, таких как:

- без проведения каких-либо мероприятий;
- с применением подрывки почвы поддерживаемой вентиляционной выработки;
- с проведением изоляции выработанного пространства лавы со стороны поддерживаемой вентиляционной выработки на удаление до 200 м от сопряжения с лавой.

Численное моделирование естественного распределения потоков воздуха в участковой вентиляционной сети было осуществлено на базе разработанной квазисетевой модели выемочного участка [11]. Общее количество участков, на которое делились лавы, и отработанная часть пласта были приняты одинаковыми для двух лав и равнялись $n = 10$.

По мере подвигания очистного забоя наблюдалось значительное, до 60%, уменьшение сечения поддерживаемой вентиляционной выработки по сравнению с проектным сечением. В связи с этим, по лаве 45K₁₀-3 проводилась подрывка почвы поддерживаемой вентиляционной выработки на удаление до 1000 м от сопряжения с очистным забоем, что, однако не дало существенного изменения аэрогазовой ситуации в очистном забое. По данным, полученным по лаве 45K₁₀-3, проведено моделирование, которое показало, что на расстоянии 30 м от сопряжения с поддерживаемой выработкой воздух опрокидывается. Фактические измерения показали, что в пределах 50 м от сопряжения скорость воздуха находится в пределах 0,1–0,2 м/с и вектор движения скорости по лаве обратный. В пределах зоны от 10 до 30 м по лаве скорость воздуха менее 0,1 м/с. Вектор движения скорости не определяется.

Дальнейшее моделирование с применением изоляции выработанного пространства лавы со стороны поддерживаемой вентиляционной выработки на расстояние 32 метра и 54 метра от лавы показало, что аэрогазовая ситуация в лаве меняется незначительно. Для получения объективных данных о влиянии изоляции выработанного пространства лавы первоначально предусматривалась изоляция поддерживаемой вентиляционной выработки участками длиной 20, 40 и 60 м. Однако обследование ее фактического состояния перед шахтным экспериментом выявило значительные деформации арочной крепи и вывал породы, что затруднило проведение изоляционных работ. В связи с этим изоляция вентиляционного штрека в шахтных условиях была выполнена на участках длиной 32 и 54 м, что обусловило соответствующий выбор параметров моделирования аэрогазовой ситуации выемочного участка. При дальнейшем увеличении протяженности изо-

ляции выработанного пространства лавы со стороны поддерживаемой вентиляционной выработки до 128 метров вектор скорости движения воздуха в лаве стабилизируется по всей длине, однако скорость движения воздуха ниже допустимого требованиями безопасности минимального и составляет 0,11–0,12 м/с.

Для обеспечения скорости движения воздуха по лаве, согласно требованиям промышленной безопасности, как показали расчеты, протяженность изоляции выработанного пространства лавы со стороны поддерживаемой вентиляционной выработки должна составлять не менее 192 метра. Согласно разработанным мероприятиям по управлению проветриванием проводилась изоляция выработанного пространства лавы со стороны поддерживаемой вентиляционной выработки. Проверочный эксперимент проводился следующим образом. Примыкающая к выработанному пространству лавы часть поддерживаемой вентиляционной выработки от почвы до середины верхняка арочной крепи изолировалась на протяжении 200 метров от лавы. В качестве изоляции применялся воздухонепроницаемый материал (вентиляционная труба, полиэтилен). Полосы материала крепились к элементам сетчатой и железобетонной затяжки между рамами крепи, стыки уплотнялись.

После проведения изоляции поддерживаемой вентиляционной выработки проводились контрольные измерения скорости движения и количества воздуха по лаве и поддерживаемой выработке. На рис. 1 представлены данные о влиянии различных способов управления проветриванием лавы 45K₁₀-3. Аналогичные исследования, проведенные для лавы 43K₂-3, показаны на рис. 2. Анализ полученных результатов демонстрирует, что зона загазирования в обеих лавых имеет протяженность около 30 м и располагается в интервале от 13 до 40 м от сопряжения лавы с поддерживаемой вентиляционной выработкой. Эти данные позволяют сделать вывод о схожести характера загазирования в рассматриваемых выработках.

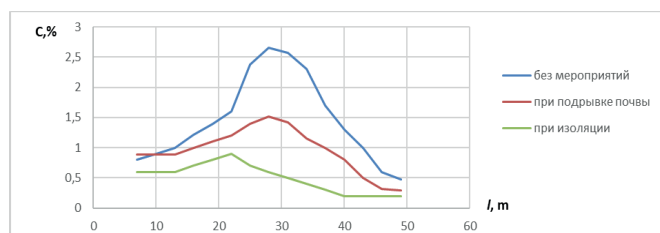


Рис. 1. Графики изменений концентраций метана в очистной выработке 45K10-3.

Сурет 1. 45K10-Z тазалау қазбасындағы метан концентрациясының өзгеру графикатері.

Figure 1. Graphs of changes in methane concentrations in the 45K10-W working face.

При проведении подрывки почвы в поддерживаемой вентиляционной выработке зоны загазирования в лаве 45K₁₀-3 уменьшились до 20 м, при этом концентрация газа уменьшилась с 2,4% до 1,5%. В лаве же 43K₂-3 зона загазирования практически не изменилась, однако максимальная концентрация метана понизилась с 2,2% до 1,8%. Относительно слабое влияние подрывки почвы поддер-

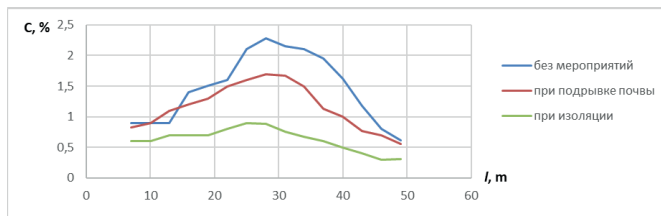


Рис. 2. Графики изменений концентраций метана в очистной выработке 43К₂-З.

Сурет 2. 43К₂-З тазала қазбасындағы метан концентрациясының өзгеру графиктері.

Figure 2. Graphs of changes in methane concentrations in the 43K₂-W working face.

живаемой вентиляционной выработки во втором случае можно объяснить более высокой проницаемостью выработанного пространства лавы 43К₂-З.

При изоляции выработанного пространства лавы со стороны поддерживаемой вентиляционной выработки на расстояние до 200 м от сопряжения с лавой зона загазирования в обоих случаях практически отсутствовала, что видно из приведенных графиков на рис. 1 и 2. Следует также отметить, что после проведения изоляции выработанного пространства лавы со стороны поддерживаемой вентиляционной выработки, как одного из мероприятий по управлению проветриванием, зоны сильного загазирования, протяженностью от 8 м до 10 м, имевшие место в обеих лавках, практически отсутствовали.

Таким образом, для обеспечения требований промышленной безопасности по содержанию метана необходимо проводить мероприятия по изоляции выработанного пространства лавы со стороны поддерживаемых вентиляционных выработок. Наиболее удобной конструкцией для изоляции выемочного пространства является переносная изолирующая стенка из гибкого воздухопроницаемого материала, имеющего устройства фиксации этой изолирующей стенки на элементах горной крепи.

Обсуждение результатов

Результаты исследования показывают, что эффективность изоляции выработанного пространства лавы со стороны поддерживаемой вентиляционной выработки обусловлена воздействием на основной путь утечек воздуха. Повышение аэродинамического сопротивления перетокам обеспечивает перераспределение воздушных потоков в

пользу очистного забоя, стабилизацию вентиляционной струи и устранение зон опасного загазирования. В отличие от подрывки почвы поддерживаемой выработки, изоляция обеспечивает устойчивый вентиляционный режим при протяженности не менее 190–200 м.

Преимуществом исследования является комплексное применение натуральных газо-воздушных и депрессионных съемок совместно с численным моделированием, что позволило количественно обосновать параметры изоляции для условий шахт Карагандинского угольного бассейна. Ограничения связаны с привязкой результатов к конкретным горно-геологическим условиям и использованием квазисетевой модели. Перспективы дальнейших исследований заключаются в уточнении параметров изоляции с учетом изменения газоносности и глубины разработки, а также интеграции аэродинамических методов с системами дегазации и автоматизированного мониторинга.

Заключение

Натурные исследования и результаты численного моделирования показали, что такие мероприятия, как подрывка почвы поддерживаемой вентиляционной выработки, не обеспечивают устойчивой стабилизации вентиляционного режима и в ряде случаев способствуют увеличению утечек воздуха через выработанное пространство. Наиболее эффективным способом управления аэрогазовой ситуацией является изоляция выработанного пространства лавы со стороны поддерживаемой вентиляционной выработки, позволяющая снизить утечки воздуха, стабилизировать направление и скорость воздушного потока в лаве и практически устранить зоны опасного загазирования.

Установлено, что для обеспечения требований промышленной безопасности по минимальной скорости движения воздуха и допустимому содержанию метана протяженность изоляции выработанного пространства должна составлять не менее 190–200 м от сопряжения лавы с поддерживаемой вентиляционной выработкой. Производственные эксперименты подтвердили достоверность расчетных и модельных данных. Полученные результаты могут быть использованы при проектировании и эксплуатации выемочных участков угольных шахт с прямоточной схемой проветривания для повышения устойчивости вентиляции, снижения риска образования взрывоопасных концентраций метана и обеспечения безопасных условий труда горнорабочих.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Повышение безопасности угольных шахт за счет регулирования аэродинамического сопротивления в очистных забоях: подход с использованием квазисетевой модели / Спатаев Н.Д. [и др.] // *Международный журнал по технике безопасности*. 2025. № 5 (15). С. 883–891 (на английском языке)
2. Янь Сюэ, Цзиньмяо Ван, Цзюнь Сяо. Библиометрический анализ и обзор литературы по шахтной вентиляции, опубликованной в период с 2010 по 2023 год // *Гелион*. 2024. № 10. С. 1–24 (на английском языке)
3. Анализ метода распределения расчетного количества воздуха при вентиляции угольных шахт на примере конкретного случая / Ван Ю. [и др.] // *Научные доклады*. 2024. № 14. С. 1–9 (на английском языке)
4. Экспериментальное исследование улучшения модели шахтной вентиляционной сети с использованием непрерывного мониторинга воздушного потока / Чжоу Л. [и др.] // *Горное дело, металлургия и геологоразведка*. 2022. № 39 (3). С. 887–895 (на английском языке)

5. Экспериментальное исследование по согласованию спроса и предложения на вентиляцию для снижения риска возникновения аварийных ситуаций с забойным газом в угольных шахтах / Сяодун Пей [и др.] // Геоматика, природные катаклизмы и риски. 2020. № 1 (11). С. 1299–1318 (на английском языке)
6. Сюй Хуан, Юньлун Лю. Исследование и проектирование интеллектуальной архитектуры шахтных вентиляционных сооружений // Международный журнал низкоуглеродных технологий. 2022. № 17. С. 1232–1238 (на английском языке)
7. Семин М., Кормициков Д. Применение искусственного интеллекта в шахтной вентиляции: краткий обзор // Рубежи в области искусственного интеллекта. 2024. № 7 (1402555). С. 1–8 (на английском языке)
8. Су С., Оуян М. Интеллектуальный метод управления вентиляцией угольной шахты, основанный на грубой установке и усовершенствованной капсульной сети // Наука и техника в области угля. 2021. № 49 (7). С. 124–132 (на китайском языке)
9. Ермаков А.Ю., Качурин Н.М., Сенкус В.В. Системный подход к обеспечению вентиляции и безопасности угольных шахт по аэрогазодинамическому фактору // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2018. № 7. С. 212–218 (на русском языке)
10. Акимбеков А.К. Специальные способы борьбы с метановыделением в горные выработки: рукопись деп. в КазгосИНТИ – № 6214–Ка95: Алматы, 1995. 103 с. (на русском языке)
11. Обеспечение здоровых и безопасных условий труда в очистном забое при прямоточной схеме вентиляции / Спатаев Н.Д. [и др.] // Известия Национальной академии наук Республики Казахстан. Серия геологии и технических наук. 2023. № 2. С. 177–187 (на английском языке)

ПАЙДАЛАНЫЛҒАН ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

1. Тазарту кенжарларындағы аэродинамикалық кедергіні реттеу арқылы көмір шахталарының қауіпсіздігін арттыру: квази-желілік модельді қолдану тәсілі / Спатаев Н.Д. [және т. б.] // Қауіпсіздік техникасы бойынша халықаралық журнал. 2025. № 5 (15). Б. 883–891 (ағылшын тілінде)
2. Ян Сюэ, Джинмяо Ван, Джун Сяо. 2010–2023 жылдар аралығында жарияланған шахталық желдету әдебиеттерін библиометриялық талдау және шолу // Гелион. 2024. № 10. Б. 1–24 (ағылшын тілінде)
3. Нақты жағдай мысалында көмір шахталарын желдету кезінде ауаның есептік мөлшерін бөлу әдісін талдау / Ван Ю. [және т. б.] // Ғылыми баяндамалар. 2024. № 14. Б. 1–9 (ағылшын тілінде)
4. Ауа ағынының үздіксіз мониторингін қолдана отырып, шахтаның желдету желісінің моделін жетілдіруге арналған эксперименттік зерттеу / Чжоу Л. [және т. б.] // Тау-кен, металлургия және геологиялық барлау. 2022. № 39 (3). Б. 887–895 (ағылшын тілінде)
5. Көмір шахталарында кенжар газымен авариялық жағдайлардың туындау қаупін азайту үшін желдетуге сұраныс пен ұсынысты келісу бойынша эксперименттік зерттеу / Сяодун Пей [және т. б.] // Геоматика, табиғи апаттар және тәуекелдер. 2020. № 1 (11). Б. 1299–1318 (ағылшын тілінде)
6. Сю Хуан, Юнлонг Лю. Шахталық желдету қондырғыларының интеллектуалды архитектурасын зерттеу және жобалау // Төмен көміртекті технологиялардың халықаралық журналы. 2022. № 17. Б. 1232–1238 (ағылшын тілінде)
7. Семин М., Кормициков Д. Шахталық желдетуде жасанды интеллектті қолдану: қысқаша шолу // Жасанды интеллект саласындағы шекаралар. 2024. № 7 (1402555). Б. 1–8 (ағылшын тілінде)
8. Су С., Оуян М. Дөрекі қондырғы мен жетілдірілген капсула желісіне негізделген көмір шахтасының желдетуін басқарудың интеллектуалды әдісі // Көмір саласындағы ғылым мен техника. 2021. № 49 (7). Б. 124–132 (қытай тілінде)
9. Ермаков А. Ю., Качурин Н.М., Сенкус В.В. Аэрогазодинамикалық фактор бойынша көмір шахталарының желдетуі мен қауіпсіздігін қамтамасыз етудің жүйелік тәсілі // Тау – кен ақпараттық-талдау бюллетені. 2018. № 7. Б. 212–218 (орыс тілінде)
10. Акимбеков А. К. Тау-кен қазбаларына метан шығарумен күресудің арнайы әдістері: қолжазба сақталды КазгосИНТИ – № 6214–Ка95: Алматы, 1995. 103 б. (орыс тілінде)
11. Желдетудің тікелей ағымдық схемасы кезінде тазарту кенжарында салауатты және қауіпсіз еңбек жағдайларын қамтамасыз ету / Спатаев Н.Д. [және т. б.] // Қазақстан Республикасы Ұлттық Ғылым академиясының Хабарлары. Геология және техникалық ғылымдар сериясы. 2023. № 2. Б. 177–187 (ағылшын тілінде)

REFERENCES

1. Improving Coal Mine Safety via Aerodynamic Resistance Control in Longwall Faces: A Quasi-Network Model Approach / Spatayev N.D. [et al.] // International Journal of Safety and Security Engineering. 2025. No. 5 (15). 883–891 pp. (in English)
2. Yan Xue, Jinmiao Wang, Jun Xiao. Bibliometric analysis and review of mine ventilation literature published between 2010 and 2023 // Heliyon. 2024. No. 10. 1–24 pp. (in English)

3. *Analysis of distribution method of designed air quantity in coal mine ventilation – a case study / Wang Y. [et al.] // Scientific Reports. 2024. No. 14. 1–9 pp. (in English)*
4. *Experimental study of improving a mine ventilation network model using continuously monitored airflow / Zhou L. [et al.] // Mining, Metallurgy & Exploration. 2022. No. 39 (3). 887–895 pp. (in English)*
5. *Experimental study on ventilation supply – demand matching to dispense the stope gas disaster risk of coal mines / Xiaodong Pei [et al.] // Geomatics, natural hazards and risk. 2020. No. 1 (11). 1299–1318 pp. (in English)*
6. *Xu Huang, Yunlong Liu. Research and design of intelligent mine ventilation construction architecture // International Journal of Low-Carbon Technologies. 2022. No. 17. 1232–1238 pp. (in English)*
7. *Semin M., Kormshchikov D. Application of artificial intelligence in mine ventilation: a brief review // Frontiers in Artificial Intelligence. 2024. No. 7 (1402555). 1–8 pp. (in English)*
8. *Su S., Ouyang M. Intelligent ventilation management method of coal mine based on rough set and improved capsule network // Coal Science and Technology. 2021. No. 49 (7). 124–132 pp. (in Chinese)*
9. *Ermakov A.Yu., Kachurin N.M., Senkus V.V. Sistemnyj podhod k obespecheniju ventiljaccii i bezopasnosti ugol'nyh shaht po ajerogazodinamicheskomu faktoru [A systematic approach to ensuring ventilation and safety of coal mines by the aerogasodynamic factor], Gornyi informatsionno-analiticheskii byulleten' [Mining information and analytical bulletin]. 2018. No. 7. 212–218 pp. (in Russian)*
10. *Akimbekov A. K. Spetsial'nye sposoby bor'by s metanovydeleniem v gornye vyrabotki: rukopis' dep. v KazgosINTI – № 6214–Ka95 [Special ways to control methane release into mining operations: The manuscript has been deposited KazgosINTI – No. 6214–Ka95]. Almaty, 1995. 103 p. (in Russian)*
11. *Ensuring healthy and safe working conditions in breakage face with direct-flow ventilation scheme / Spatayev N.D. [et al.] // News of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan. Series of geology and technical sciences. 2023. No. 2. 177–187 pp. (in English)*

Сведения об авторах:

Спатаев Н.Д., канд. тех. наук, ассоц. профессор кафедры «Промышленная безопасность и экология», НАО «Карагандинский технический университет им. Абылкаса Сагинова» (г. Караганда, Казахстан), n.spataev@ktu.edu.kz; <https://orsid.org/0000-0003-1967-7698>

Саттарова Г.С., канд. тех. наук, ассоц. профессор кафедры «Промышленная безопасность и экология», НАО «Карагандинский технический университет им. Абылкаса Сагинова» (г. Караганда, Казахстан), g.sattarova@ktu.edu.kz; <https://orsid.org/0000-0002-9764-2311>

Кудрявцев С.С., канд. биол. наук, профессор кафедры «Промышленная безопасность и экология», НАО «Карагандинский технический университет им. Абылкаса Сагинова» (г. Караганда, Казахстан), s.kudryavtsev@ktu.edu.kz; <https://orsid.org/0000-0002-7232-6304>

Сүлейменов Н.М., доктор Ph.D; ассоц. профессор кафедры «Промышленная безопасность и экология», НАО «Карагандинский технический университет им. Абылкаса Сагинова» (г. Караганда, Казахстан), n.suleymenov@ktu.edu.kz; <https://orsid.org/0000-0001-8875-2204>

Авторлар туралы мәліметтер:

Спатаев Н.Д., техн. ғылым. канд., «Өнеркәсіптік қауіпсіздік және экология» кафедрасының қауымдастырылған профессоры, «Әбілқас Сағынов атындағы Қарағанды техникалық университеті» КЕАҚ (Қарағанды қ., Қазақстан)

Саттарова Г.С., техн. ғылым. канд., «Өнеркәсіптік қауіпсіздік және экология» кафедрасының қауымдастырылған профессоры, «Әбілқас Сағынов атындағы Қарағанды техникалық университеті» (Қарағанды қ., Қазақстан)

Кудрявцев С.С., биол. ғылым. канд., «Өнеркәсіптік қауіпсіздік және экология» кафедрасының профессоры, «Әбілқас Сағынов атындағы Қарағанды техникалық университеті» КЕАҚ (Қарағанды қ., Қазақстан)

Сүлейменов Н.М., Ph.D докторы, «Өнеркәсіптік қауіпсіздік және экология» кафедрасының қауымдастырылған профессоры, «Әбілқас Сағынов атындағы Қарағанды техникалық университеті» (Қарағанды қ., Қазақстан)

Information about the authors:

Spataev N.D., Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Industrial Safety and Ecology, NPJSC «Abylkas Saginov Karaganda Technical University» (Karaganda, Kazakhstan)

Sattarova G.S., Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Industrial Safety and Ecology, NPJSC «Abylkas Saginov Karaganda Technical University» (Karaganda, Kazakhstan)

Kudryavtsev S.S., Candidate of Biological Sciences, Professor of the Department of Industrial Safety and Ecology, NPJSC «Abylkas Saginov Karaganda Technical University» (Karaganda, Kazakhstan)

Suleymenov N.M., Ph.D, Associate Professor of the Department of Industrial Safety and Ecology, NPJSC «Abylkas Saginov Karaganda Technical University» (Karaganda, Kazakhstan)