

Код МРНТИ 52.13.33

Н.Д. Спатаев, *Г.С. Саттарова, С.С. Кудрявцев, Н.А. Медеубаев

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

ОЦЕНКА СЕЗОННОГО ВЛИЯНИЯ ЕСТЕСТВЕННОЙ ТЯГИ НА ВЕНТИЛЯЦИЮ ПОДЗЕМНЫХ ГОРНЫХ ВЫРАБОТОК РУДНИКОВ

Аннотация. В статье представлены результаты исследований по оценке влияния естественной тяги на проветривание подземных горных выработок рудника Ушкатын-3. На основе анализа сезонных температурных изменений и аэродинамического моделирования вентиляционной сети разработаны рекомендации по оптимизации режимов проветривания. Установлено, что зимой естественная тяга может вызывать рециркуляцию струи и обледенение выработок, а летом – снижать производительность вентиляторов главного проветривания. Предложены методы снижения ее негативного влияния за счет применения вентиляторов местного проветривания и рациональных схем вентиляции. Результаты могут быть использованы на горнодобывающих предприятиях с комбинированной открыто-подземной разработкой для повышения безопасности и устойчивости проветривания.

Ключевые слова: естественная тяга, проветривание подземных горных выработок, аэродинамическое сопротивление, вентиляционная сеть, сезонные режимы, рудник Ушкатын-3.

Тау-кен шахталарындағы жер асты кен жұмыстарын желдетуге табиғи тартылыстың маусымдық әсерін бағалау

Аңдатпа. Мақалада Ушкатын-3 кенішінің жерасты тау-кен қазбаларын желдетуге табиғи тартылыс күшінің әсерін бағалау нәтижелері ұсынылған. Маусымдық температуралық өзгерістерді талдау және желдету желісін аэродинамикалық модельдеу негізінде желдету режимдерін оңтайландыру бойынша ұсыныстар әзірленді. Қыс мезгілінде табиғи тартылыс ауа ағынының рециркуляциясын және қазбалар қабырғаларының мұздануын туындататыны, ал жазда – бас желдеткіштердің өнімділігін төмендететіні анықталды. Оның теріс әсерін азайту үшін жергілікті желдеткіштерді қолдану және тиімді желдету сұлбаларын таңдау ұсынылды. Зерттеу нәтижелері кен орнын ашық-жерасты аралас әдіспен игеретін тау-кен кәсіпорындарында жұмыстардың қауіпсіздігін және желдетудің тұрақтылығын арттыру үшін пайдаланылуы мүмкін.

Түйінді сөздер: табиғи тартылыс, жер асты кен жұмыстарының желдетілуі, аэродинамикалық кедергі, желдету жүйесі, маусымдық режимдер, Ушкатын-3 шахтасы.

Assessment of seasonal influence of natural draft on ventilation of underground mine workings

Abstract. The article presents the results of a study on the impact of natural draft on the ventilation of underground workings at the Ushkatyn-3 mine. Based on an analysis of seasonal temperature variations and aerodynamic modeling of the mine's ventilation network, recommendations were developed to optimize ventilation regimes. It was found that in winter, natural draft can cause airflow recirculation and ice formation on the walls of the workings, while in summer, it can reduce the performance of main ventilation fans. Methods to mitigate the negative effects of natural draft, such as the use of local ventilation fans and the selection of efficient ventilation schemes, are proposed. The results can be applied at mining enterprises using a combined open-pit and underground mining system to improve work safety and the stability of ventilation.

Key words: natural draught, ventilation of underground mine workings, aerodynamic resistance, ventilation network, seasonal operating modes, Ushkatyn-3 mine.

Введение

Рудники, функционирующие на территории Карагандинской области, характеризуются совокупностью сложных технологических и природно-геологических факторов, определяющих повышенный уровень промышленной опасности и обуславливающих их отнесение к категории опасных производственных объектов. В данном контексте особый интерес представляет рудник Ушкатын-3, расположенный в Жана-Аркинском районе, где разработка месторождения осуществляется с применением комбинированной открыто-подземной системы добычи железомарганцевых и барит-свинцовых руд. Климат района резко континентальный с экстремальными сезонными колебаниями температур (от -49°C зимой до $+43^{\circ}\text{C}$ летом), что создает специфические условия для организации проветривания подземных выработок. Выход ряда горных выработок непосредственно на борта карьера усложняет вентиляцию рудника из-за влияния естественной тяги воздуха, которая в реальных условиях не всегда учитывается при проектировании вентиляционных систем.

Актуальность исследования обусловлена необходимостью обеспечения безопасных условий труда работников в подземных выработках, где количественные показатели воздушной среды напрямую зависят от эффективности проветривания рудника. Естественная тяга, возникающая из-за разности плотностей воздушных масс различной температуры, может оказывать как положительное, так и отрицательное влияние на работу вентиляционных систем

рудника в зависимости от сезона и способа проветривания.

Вопрос устойчивости проветривания шахт и рудников в условиях воздействия естественной тяги воздуха является ключевым для обеспечения промышленной безопасности подземных работ. Современные исследования подтверждают, что естественная тяга формируется вследствие разности плотности воздуха внутри выработок и атмосферы и способна как усиливать работу вентиляторных установок, так и создавать дестабилизирующие рециркуляционные потоки. В работе [1] показано, что в условиях Крайнего Севера зимой естественная тяга повышает эффективность главной вентиляции, тогда как летом может способствовать формированию обратных потоков и накоплению вредных газов. Аналогичные сезонные закономерности отмечены на руднике Гадир (Азербайджан), где зимой тяга способствует усилению вентиляции и снижению энергопотребления [2]. На примере канадских рудников установлено, что естественная тяга может формировать управляемые тепловые потоки для энергоэффективной подготовки воздуха [3]. Исследования угольных шахт Чехии и Украины подтверждают критическую важность учета естественной тяги для устойчивости главной вентиляции в схожих климатических условиях [4].

Современные исследования показывают, что на величину естественной тяги существенно влияют метеорологические и геофизические факторы, включая скорость ветра и барометрическое давление. Предложенные корректиру-

ющие коэффициенты повышают точность аэродинамических расчетов [5]. Метод регрессионного анализа зависимости давления вентилятора от производительности позволяет определять доверительные интервалы значений тяги, однако не учитывает влияние локальных перемычек и сезонных температурных колебаний [6].

Численные исследования показывают, что нарушение устойчивости проветривания может быть связано с образованием вихревых структур и переходом конвективных потоков в неустойчивое состояние [7]. Оптимизация работы нескольких вентиляторов и разграничение зон их влияния повышают устойчивость вентиляции [8]. Математические модели естественной вентиляции подтверждают наличие различных режимов воздухообмена, зависящих от температуры наружного воздуха, при этом устойчивое проветривание наблюдается только в ограниченном температурном диапазоне [9]. Возникновение обратной тяги может вызывать дополнительную нагрузку на вентиляторы и повышать риск аварийных ситуаций [10].

Несмотря на значительный объем исследований, остается недостаточно изученным влияние сезонных и климатических факторов на устойчивость аэродинамических параметров проветривания при комбинированной системе разработки. Существующие методические подходы ограничены при анализе вентиляционных сетей сложной пространственной конфигурации с локальными перемычками, распределенными сопротивлениями и взаимодействием естественной и искусственной тяги. В связи с этим актуальна разработка интегрированных методов прогнозирования и управления естественной тягой, направленных на повышение промышленной безопасности и энергоэффективности проветривания рудников с учетом сезонной изменчивости климатических и технологических условий.

Обобщение результатов научных исследований показывает, что естественная тяга должна рассматриваться не как фоновый параметр вентиляционного процесса, а как динамический аэродинамический фактор, способный существенно трансформировать структуру и распределение воздушных потоков в шахтных вентиляционных системах. Современные научные исследования направлены на разработку высокоточных методов прогнозирования ее поведения, прежде всего в нестационарных режимах функционирования вентиляционных систем (пусковые режимы, остановка, реверсирование вентиляторных установок), а также при эксплуатации месторождений в условиях выраженной климатической контрастности. Учет естественной тяги является необходимым условием обеспечения промышленной безопасности персонала и повышения энергоэффективности функционирования горнодобывающих предприятий.

Цель исследования – повышение безопасности ведения горных работ и эффективности проветривания подземных выработок рудника Ушкатын-3 за счет учета влияния естественной тяги и разработки адаптивных вентиляционных режимов, учитывающих сезонные изменения климатических условий.

Научная новизна работы заключается в установлении закономерностей влияния естественной тяги воздуха с учетом сезонных колебаний на устойчивость проветривания подземных выработок рудника, а также в разработке

практических мер по снижению ее негативного воздействия с помощью вентиляторов местного проветривания и оптимизации расположения вентиляционных перемычек.

Практическая значимость работы заключается в возможности использования разработанных рекомендаций на действующих горнодобывающих предприятиях, имеющих аналогичные горно-геологические и климатические условия, что позволит обеспечить безопасность ведения горных работ за счет повышения устойчивости проветривания рудника, предотвращения рециркуляции воздушных потоков и поддержания оптимальных параметров воздушной среды в руднике.

Методы исследований

Методы исследования включали проведение натурных депрессионных съемок с целью получения исходных данных о состоянии вентиляционной сети действующего рудника в различные сезоны года. На их основе анализа распределения воздуха была построена и верифицирована детальная аэродинамическая модель сети, представленная в виде графа. Согласно планам горных работ построена расчетная схема, включающая 156 ветвей и 120 узлов.

Воздушно-депрессионная съемка проводилась с использованием комплекса контрольно-измерительного оборудования: крыльчатого анемометра Testo 417 и чашечного анемометра МС-13 для определения скорости движения воздушного потока, дифференциального микроанометра ММН-240 для измерения депрессии (перепада давления) между пунктами вентиляционной сети, а также термогигрометра Testo 610 для регистрации температуры и относительной влажности рудничного воздуха. В каждой точке проводилась серия повторных измерений с последующим усреднением результатов. Погрешность измерения скорости воздушного потока не превышала $\pm 0,1-0,2$ м/с, перепада давления – $\pm 1-2$ Па, температуры – $\pm 0,5$ °С, относительной влажности – $\pm 2,5\%$. Полученные данные использовались для определения аэродинамических параметров вентиляционных выработок.

По результатам депрессионных съемок для каждой ветви сети было рассчитано аэродинамическое сопротивление и сформирован массив данных аэродинамических сопротивлений, значения которых варьируются от 0,0001 до $10 \text{ Па} \cdot \text{с}^2/\text{м}^6$ в зависимости от типа крепи, размеров и состояния горных выработок. Подготовка данных об источниках тяги включала анализ аэродинамических характеристик вентиляторов главного проветривания (АЛ-17-2500), которые были аппроксимированы аналитическими зависимостями для различных режимов работы. Расчет депрессии естественной тяги проводился с использованием изотермического метода с учетом сезонных температурных градиентов. Выполнено моделирование режимов проветривания рудника в межсезонный период, зимний период при температуре наружного воздуха до -15 °С и экстремальный период при температуре наружного воздуха до -40 °С. Достоверность результатов обеспечена сопоставлением расчетных данных с результатами натурных депрессионных съемок, выполненных в различные сезоны года с соблюдением действующих методик и нормативных требований к расчетам вентиляционных параметров.

Результаты исследований

Выполненные замеры и анализ данных показал, что скорость воздуха в горных выработках изменяется в пределах от 0,01 м/с до 1,2 м/с и в большинстве случаев соответствует турбулентному режиму движения воздушных потоков, обеспечивающему эффективное перемешивание воздушных масс.

На рис. 1 представлена графическая зависимость изменения количества воздуха, поступающего в подземную систему выработок рудника при изменении температурных параметров внешней воздушной среды.

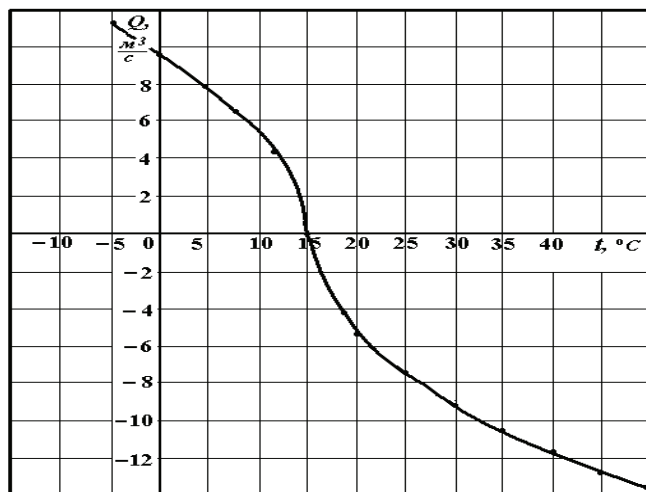


Рис. 1. Изменение расхода воздуха в зависимости от температуры внешней среды.

Сурет 1. Сыртқы орта температурасына байланысты ауа шығынының өзгеруі.

Figure 1. Change in air flow rate depending on ambient air temperature.

На рис. 1 показана динамика изменения количества воздуха, поступающего в вентиляционную систему рудника под влиянием депрессии естественной тяги. Если $t_{\text{ноcm}} = t_{\text{исx}}$, то эффект действия естественной тяги будет нулевым. В случае, если $t_{\text{ноcm}} < t_{\text{исx}}$, депрессия естественной тяги действует положительно и способствует увеличению объема воздуха, поступающего в подземные выработки. При $t_{\text{ноcm}} > t_{\text{исx}}$ естественная тяга действует отрицательно по отношению к работе вентилятора главного проветривания, создавая дополнительное сопротивление и способствуя уменьшению общего объема подаваемого воздуха.

При температуре наружного воздуха от +30 °C до +50 °C и температуре исходящей струи +15 °C естественная тяга противодействует работе вентиляторов главного проветривания, создавая дополнительное сопротивление от 27 до 61 Па. Это приводит к снижению подачи количества воздуха в вентиляционную систему на 9–14 м³/с, что составляет до 13% от номинальной производительности вентиляторов. В ночное время при понижении температуры наружного воздуха до +8...+15 °C наблюдается кратковременное положительное влияние естественной тяги, увеличивающей подачу воздуха на 4–7 м³/с.

При температуре наружного воздуха -15...-40 °C и температуре исходящей струи +3...+10 °C естественная тяга усиливает приток холодного воздуха в вентиляционную систему на 12–20 м³/с, создавая депрессию от 55 до 127 Па. Это приводит к следующим негативным последствиям: рециркуляции воздушных потоков в объеме до 137 м³/с; переохлаждению воздушных потоков выработок и обледенению их стенок; возможному опрокидыванию вентиляционных потоков на отдельных направлениях вентиляционной сети; снижению эффективности работы вентиляторов главного проветривания.

Результаты расчетов депрессии естественной тяги для различных температурных условий представлены в таблице 1.

Таблица 1

Депрессия естественной тяги при различных температурных условиях

Кесте 1

Әртүрлі температуралық жағдайлардағы табиғи тарту депрессиясы

Table 1

Natural draft pressure under different temperature conditions

$t_{\text{ноcm}}, ^\circ\text{C}$	$t_{\text{исx}} = 10 ^\circ\text{C},$ Па	$t_{\text{исx}} = 7 ^\circ\text{C},$ Па	$t_{\text{исx}} = 3 ^\circ\text{C},$ Па
-10	44–45	38–39	29–30
-20	68–70	63–64	54–55
-30	95–97	89–91	80–82
-40	124–127	118–121	110–112

Представленная таблица демонстрирует количественную оценку депрессии естественной тяги (h_e), Па, возникающей в вентиляционной сети рудника под влиянием разности температур между поступающим с поверхности воздухом ($t_{\text{ноcm}}$) и исходящим из выработок потоком ($t_{\text{исx}}$). Данные наглядно показывают, что депрессия естественной тяги является функцией двух ключевых параметров: абсолютного значения температуры наружного воздуха и температурного градиента.

С понижением температуры наружного воздуха, при постоянной температуре исходящей струи, величина естественной тяги существенно возрастает. Так, при температуре исходящей струи 7 °C поступление охлажденного воздуха от -10 °C до -40 °C увеличивает депрессию с ~38 Па до ~120 Па, то есть более чем в 3 раза.

При одинаковой температуре наружного воздуха более высокая температура в исходящей струе усиливает естественную тягу. При температуре поступающего воздуха -30 °C повышение температуры исходящей струи от 3 °C до 10 °C увеличивает h_e примерно с 81 Па до 97 Па.

Результаты анализа состояния проветривания рудника и выполненные расчеты показали, что принятый всасывающий способ проветривания рудника в летний период обеспечивает подачу требуемого количества воздуха на рабочие горизонты и рециркуляция воздушных масс в системе горных выработок отсутствует. В весенне-летний

и летне-осенний периоды естественная тяга оказывает отрицательное влияние на организацию проветривания подземных выработок. В зимних условиях величина депрессии естественной тяги зависит от разницы температур поступающего и исходящего из рудника воздуха. В условиях экстремально низких температур количество воздуха, поступающее в рудник под действием естественной тяги, достигает величины 20 м³/с, приводит к переохлаждению и обмерзанию основных выработок, что негативно отражается на обеспечении безопасности при ведении горных работ. Для уменьшения негативного влияния естественной тяги в экстремальных условиях зимнего периода предлагается использовать вентиляторы местного проветривания (ВМП), устанавливаемые в местах поступления холодных воздушных масс и работающие по схеме встречного взаимодействия струй. При этом выбор вентиляторной установки производится таким образом, чтобы при его работе не уменьшался общий расход воздуха и в то же время блокировались негативные последствия влияния естественной тяги.

Переход на нагнетательный способ проветривания рудника в условиях низких отрицательных температур атмосферного воздуха и установка вентиляторов главного проветривания в подземных выработках способствует поступлению холодных масс воздуха на нижележащие горизонты с изменением направления движения воздушных потоков на выходе из порталов или с опрокидыванием воздушных струй на отдельных направлениях. Негативное влияние естественной тяги способствует образованию мощных рециркуляционных процессов в вентиляционной сети, что приводит к ухудшению состояния воздушной среды в подземных выработках.

Обсуждение результатов

Проведенное исследование демонстрирует, что сезонное влияние естественной тяги является ключевым фактором, определяющим эффективность проветривания рудника Ушкатын-3.

Установленные закономерности влияния естественной тяги воздуха с учетом сезонных колебаний на устойчивость проветривания подземных выработок рудника позволили разработать меры по снижению ее негативного воздействия с помощью вентиляторов местного проветривания и оптимизации расположения вентиляционных перемычек. Практическая ценность результатов заключается в конкретных рекомендациях: оптимизации сезонных схем проветривания, определении мест установки и параметров ВМП для блокирования холодного притока зимой, а также минимизации рециркуляции. Это способствует повышению безопасности труда на руднике и снижению рисков для здоровья работников.

Основное ограничение модели связано с ее привязкой к конкретным условиям рудника Ушкатын-3, однако представленный алгоритм расчета применим для других предприятий в регионах с резко континентальным климатом. Полученные результаты создают основу для разработки автоматизированных систем адаптивного управления шахтной вентиляцией.

Заключение

В результате проведенных исследований установлено, что естественная тяга оказывает существенное влияние на состояние проветривания подземных горных выработок рудника Ушкатын-3, особенно в зимний период, вызывая рециркуляцию воздушных потоков (до 137 м³/с) и обледенение стенок выработок при отрицательных температурах наружного воздуха. Показано, что переход на нагнетательный способ проветривания рудника в зимнее время без учета естественной тяги воздуха приводит к ухудшению вентиляционных режимов и блокировке выдачи воздуха по основным направлениям вентиляционной сети, что противоречит требованиям безопасности ведения горных работ. Разработаны меры по снижению негативного влияния естественной тяги воздуха путем установки вентиляторов местного проветривания, работающих на встречном потоку направлении. Предложены практические рекомендации по организации проветривания рудника Ушкатын-3, включающие:

- использование всасывающего способа проветривания рудника в летний период;
- применение нагнетательного способа проветривания рудника с установкой вентиляторов местного проветривания для блокировки естественной тяги в зимний период;
- оптимизацию расположения вентиляционных перемычек для минимизации рециркуляции воздуха в вентиляционной сети;
- внедрение сезонных графиков проветривания рудника с учетом прогнозируемых температурных условий.

Разработанные рекомендации позволяют повысить безопасность ведения горных работ и эффективность проветривания, адаптировать вентиляционную систему к сезонным изменениям климатических условий, предотвратить аварийные ситуации, связанные с ухудшением состояния воздушной среды в подземных выработках.

Перспективы дальнейших исследований связаны с разработкой автоматизированной системы управления вентиляцией, позволяющей в реальном времени корректировать режимы проветривания в зависимости от изменяющихся температурных условий, а также с оценкой экономической эффективности предлагаемых мероприятий.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Хубиева В.М. Влияние естественной тяги на аэрологическую безопасность алмазодобывающих рудников // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2020. № 6–1. С. 186–193 (на русском языке)
2. Исмайлов Р.Т., Гамзаев В.Х. Повышение эффективности проветривания рудника Гадир // Азербайджанский журнал нефтяной промышленности. 2024. № 3. С. 4–7 (на русском языке)
3. Эффект естественной конвекции, обусловленной плавучестью, в системе предварительного кондиционирования воздуха в горных выработках, действующей как крупномасштабный накопитель

тепловой энергии / Горейши-Мадисе С.А. [и др.] // Прикладная энергетика. 2018. № 221. С. 268–279 (на английском языке)

4. Заплетал П., Худечек В., Трофимов В. Влияние естественного перепада давления в шахтной вентиляционной системе // Архив горных наук. 2014. № 59 (2). С. 501–508 (на английском языке)
5. Алборов И.Д., Заалишвили В.Б. Влияние ветрового режима и давления атмосферного воздуха на надежность вентиляции рудников и организм человека // Геология и геофизика Юга России. 2021. № 11 (3). С. 148–159 (на русском языке)
6. Лялькина Г.Б., Николаев А.В., Макарычев Н.С. Методика расчета величины и направления общерудничной естественной тяги с заданной доверительной вероятностью // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Геология Нефтегазовое и горное дело. 2018. № 17 (2). С. 181–188 (на русском языке)
7. Казаков Б.П., Шалимов А.В. Устойчивость конвективного проветривания рудника после отключения вентилятора // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. 2019. № 4. С. 122–130 (на русском языке)
8. Мальцев С.В., Казаков Б.П., Семин М.А. Разработка способов повышения эффективности проветривания рудников со сложными системами вентиляции // Известия ТулГУ. Науки о Земле. 2019. № 4. С. 283–291 (на русском языке)
9. Казаков Б.П., Шалимов А.В., Семин М.А. Устойчивость режима естественной вентиляции после остановки основного вентилятора // Международный журнал тепло- и массообмена. 2015. № 86. С. 288–293 (на английском языке)
10. Шалимов А.В., Казаков Б.П., Зайцев А.В. Аналитический подход к оценке эффекта водяной пробки в вентиляционных стволах шахт // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. 2021. № 332 (6). С. 39–48 (на русском языке)

ПАЙДАЛАНЫЛҒАН ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

1. Хубиева В.М. Алмаз кен орындарының аэрологиялық қауіпсіздігіне табиғи тартудың әсері // Таулы ақпараттық-талдамалық бюллетень. 2020. № 6–1. Б. 186–193 (орыс тілінде)
2. Исмайлов Р.Т., Гамзаев В.Х. Гадир кен орнындағы желдетудің тиімділігін арттыру // Әзербайжан мұнай өнеркәсібі журналы. 2024. № 3. Б. 4–7 (орыс тілінде)
3. Тау-кен шығару қуыстарында жылу қалдықтарын үлкен көлемде жинайтын жүйеде ауа алдын ала кондициялау жүйесінде табиғи конвекцияның әсері / Горейши-Мадисе С.А. [және т. б.] // Қолданбалы энергетика. 2018. № 221. Б. 268–279 (ағылшын тілінде)
4. Заплетал П., Худечек В., Трофимов В. Шахталық желдету жүйесіндегі табиғи қысым айырмашылығының әсері // Таулы ғылымдар архиві. 2014. № 59 (2). Б. 501–508 (ағылшын тілінде)
5. Алборов И.Д., Заалишвили В.Б. Кен орындарының жел режимі мен атмосфералық қысымның желдету сенімділігіне және адамның организміне әсері // Оңтүстік Ресейдің геологиясы және геофизикасы. 2021. № 11 (3). Б. 148–159 (орыс тілінде)
6. Лялькина Г.Б., Николаев А.В., Макарычев Н.С. Белгіленген сенімділік ықтималдығымен жалпы кен орындарының табиғи тарту мөлшерін және бағытын есептеу әдістемесі // Пермь ұлттық зерттеу политехникалық университетінің хабаршысы. Геология, мұнай-газ және тау өнеркәсібі. 2018. № 17 (2). Б. 181–188 (орыс тілінде)
7. Казаков Б.П., Шалимов А.В. Вентиляторды өшіруден кейін кен орнының конвективті желдету тұрақтылығы // Пайдалы қазбаларды өндірудің физико-техникалық мәселелері. 2019. № 4. Б. 122–130 (орыс тілінде)
8. Мальцев С.В., Казаков Б.П., Семин М.А. Күрделі желдету жүйесі бар кен орындарында желдетудің тиімділігін арттыру әдістерін әзірлеу // Тула мемлекеттік университетінің хабаршысы. Жер ғылымдары. 2019. № 4. Б. 283–291 (орыс тілінде)
9. Казаков Б.П., Шалимов А.В., Семин М.А. Негізгі вентиляторды тоқтатқаннан кейінгі табиғи желдету режимінің тұрақтылығы // Халықаралық жылу және масса алмасу журналы. 2015. № 86. Б. 288–293 (ағылшын тілінде)
10. Шалимов А.В., Казаков Б.П., Зайцев А.В. Шахталық штольняларда су тығыны әсерін бағалауға аналитикалық тәсіл // Томск политехникалық университетінің хабаршысы. Георесурстарды инжиниринг. 2021. № 332 (6). Б. 39–48 (орыс тілінде)

REFERENCES

1. Khubieva V.M. Vliyanie estestvennoj tjagi na aerologicheskiju bezopasnost' almazodobyvajushhih rudnikov [Influence of natural draft on the aerological safety of diamond mines], Gornyi informatsionno-analiticheskii byulleten' [Mining information and analytical bulletin]. 2020. No. 6–1. 186–193 pp. (in Russian)
2. Ismayilov R.T., Hamzayev V.Kh. Povyshenie jeffektivnosti provetrivaniya rudnika Gadir [Increasing the efficiency of ventilation of the Gadir mine], Azerbajdzhanskij zhurnal neftjanoy promyshlennosti [Azerbaijan Oil Industry Journal]. 2024. No. 3. 4–7 pp. (in Russian)

3. *Effect of buoyancy-driven natural convection in a rock-pit mine air preconditioning system acting as a large-scale thermal energy storage mass* / Ghoreishi-Madiseh S.A. [et al.] // *Applied Energy*. 2018. No. 221. 268–279 pp. (in English)
4. Zapletal P., Hudeček V., Trofimov V. *Effect of Natural Pressure Drop in Mine Main Ventilation* // *Archives of Mining Sciences*. 2014. No. 59 (2). 501–508 pp. (in English)
5. Alborov I.D., Zaalishvili V.B. *Vliyanie vetrovogo rezhima i davleniya atmosfernogo vozduha na nadezhnost' ventilatsii rudnikov i organizm cheloveka* [Influence of wind regime and atmospheric pressure on mine ventilation reliability and human health], *Geologiya i geofizika Juga Rossii* [Geology and Geophysics of Southern Russia]. 2021. No. 11 (3). 148–159 pp. (in Russian)
6. Lyalkina G.B., Nikolaev A.V., Makarychev N.S. *Metodika rascheta velichiny i napravleniya obshherudnichnoj estestvennoj tjagi s zadannoj doveritel'noj veroyatnost'ju* [Methodology for calculating the magnitude and direction of overall mine natural draft with a given confidence probability], *Vestnik Permskogo nacional'nogo issledovatel'skogo politehnicheskogo universiteta. Geologiya, Neftegazovoe i gornoe delo* [Bulletin of Perm National Research Polytechnic University. Geology, Oil & Gas and Mining]. 2018. No. 17 (2). 181–188 pp. (in Russian)
7. Kazakov B.P., Shalimov A.V. *Ustojchivost' konvektivnogo provetrivaniya rudnika posle otkljucheniya ventilatora* [Stability of convective mine ventilation after fan shutdown], *Fiziko-tehnicheskie problemy razrabotki poleznykh iskopaemykh* [Physical-Technical Problems of Mineral Resources Development]. 2019. No. 4. 122–130 pp. (in Russian)
8. Maltsev S.V., Kazakov B.P., Semin M.A. *Razrabotka sposobov povysheniya jeffektivnosti provetrivaniya rudnikov so slozhnymi sistemami ventilatsii* [Development of methods to improve ventilation efficiency in mines with complex ventilation systems], *Izvestiya TulGU. Nauki o Zemle* [Izvestia of Tula State University. Earth Sciences]. 2019. No. 4. 283–291 pp. (in Russian)
9. Kazakov B.P., Shalimov A.V., Semin M.A. *Stability of natural ventilation regime after main fan shutdown* // *International Journal of Heat and Mass Transfer*. 2015. No. 86. 288–293 pp. (in English)
10. Shalimov A.V., Kazakov B.P., Zaytsev A.V. *Analiticheskij podhod k ocenke jeffekta vodjanoj probki v ventilacionnykh stvolah shaht* [Analytical approach to evaluate water plug effect in mine shafts], *Izvestiya Tomskogo politehnicheskogo universiteta. Inzhiniring georesursov* [Bulletin of Tomsk Polytechnic University. Engineering of Geo-resources]. 2021. No. 332 (6). 39–48 pp. (in Russian)

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://orcid.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://orcid.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://orcid.org/0000-0002-7232-6304>

Медведубаев Н.А., канд. тех. наук, профессор кафедры «Промышленная безопасность и экология», НАО «Карагандинский технический университет им. Абылкаса Сагинова» (г. Караганда, Казахстан), n.medeubaev@ktu.edu.kz; <https://orcid.org/0000-0003-2086-4650>

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)

Медведубаев Н.А., техн. ғылым. канд., «Өнеркәсіптік қауіпсіздік және экология» кафедрасының 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)

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