

РУДНИЧНАЯ АЭРОГАЗОДИНАМИКА

УДК 622.822.2

ИЗОЛИРУЮЩЕЕ СВОЙСТВО СУГЛИНКА ДЛЯ ПРОФИЛАКТИКИ САМОВОЗГОРАНИЯ УГЛЯ И УГЛЕСОДЕРЖАЩИХ ПОРОД

В. А. Портола, Е. А. Киренберг

*Кузбасский государственный технический университет им. Т. Ф. Горбачева,
E-mail: portola2@yandex.ru, ул. Весенняя, 28, 650000, г. Кемерово, Россия*

Выполнены исследования значений коэффициента проницаемости скопления угля и слоя суглинка. Установлено, что коэффициент проницаемости суглинка в 51.6 раза меньше, чем у скопления угля. В этой связи для предупреждения самовозгорания угля и углесодержащих пород можно использовать эту дисперсную осадочную породу. Основной изолирующий эффект оказывает слой суглинка толщиной 0.06–0.08 м, снижающий коэффициент проницаемости изолированного скопления в 5 раз. Дальнейшее увеличение слоя суглинка незначительно влияет на проницаемость системы. Орошение водой уменьшает проницаемость суглинка, однако при высыхании в изоляционном материале образуются трещины, открывающие доступ воздуха к окисляющемуся углю. Для восстановления изолирующего эффекта после воздействия воды необходимо рыхление суглинка и его уплотнение.

Самовозгорание угля, суглинок, коэффициент проницаемости, изоляция угля и углесодержащих пород, профилактика самовозгорания, уплотнение, орошение водой

DOI: 10.15372/FTPRPI20250311
EDN: TIJBTG

Добыча полезных ископаемых приводит к появлению ряда факторов, негативно действующих на окружающую природную среду и на извлекаемое из недр земли полезное ископаемое. Нарушение природного равновесия из-за перемещения полезного ископаемого и вмещающих пород сопровождается взаимодействием раздробленной горной массы с атмосферным воздухом. Некоторые полезные ископаемые поглощают кислород воздуха с протеканием экзотермических реакций окисления. В результате накопления выделяющегося тепла экспоненциально увеличивается скорость взаимодействия горючего вещества и окислителя с дальнейшим ростом температуры и формированием очагов самовозгорания. Наиболее часто эндогенные пожары возникают в скоплениях угля и углесодержащих пород [1, 2]. Нередко самовозгорание происходит в руде и породе с большим содержанием серы [3, 4].

Эндогенные пожары наносят угледобывающим предприятиям большой экономический ущерб, угрожают здоровью и жизни шахтеров. Особенно опасны для людей токсичные газы, образующиеся при окислении и термическом разложении угля. Подземные пожары могут инициировать взрывы горючих газов [5]. Учитывая опасность эндогенных пожаров, возникающих в скоплениях угля и углесодержащих пород, исследуются условия, влияющие на формирование очагов самовозгорания [6, 7]. Важнейший фактор воздействия на динамику развития температурной аномалии — скорость фильтрации воздуха через скопления угля [8, 9]. Для скоплений угля и углесодержащих пород, находящихся на земной поверхности, проводятся исследования воздействия атмосферного ветра на появление очагов самовозгорания [10, 11].

Для эффективной борьбы с эндогенными пожарами, происходящими на угольных предприятиях, необходимо своевременно обнаруживать раннюю стадию самовозгорания, определять местонахождение очагов и их параметры. В шахтах, где большая часть очагов самовозгорания возникает в выработанном пространстве, для их обнаружения используют газоаналитический способ. Индикаторами процесса самовозгорания являются оксид углерода, водород, предельные и непредельные углеводороды. На разрезах, отвалах горной породы и складах угля, располагающихся на земной поверхности, применение газоаналитического метода затруднено из-за быстрого снижения концентрации выделяющихся индикаторных газов в атмосфере. На земной поверхности наиболее распространенный способ обнаружения и локации очагов подземных пожаров — температурная съемка. Учитывая, что необходимый для окислительных реакций кислород поступает в угольные скопления из атмосферы под действием молекулярной диффузии или ветрового напора, очаги таких эндогенных пожаров имеют небольшую глубину и образуют на земной поверхности температурные аномалии.

Основные механизмы формирования температурной аномалии над очагом самовозгорания — конвективные потоки разогретого воздуха и процесс теплопроводности в угле и углесодержащих породах. Для обнаружения и определения местонахождения таких очагов самовозгорания широко используется замер температуры поверхности контактными и дистанционными устройствами. Наиболее эффективны в поиске температурных аномалий тепловизоры, устанавливаемые на беспилотных летательных аппаратах, искусственных спутниках Земли [12, 13]. На разрезах и породных отвалах проводятся исследования возможности применения и геофизических методов обнаружения и локации очагов подземных пожаров [14, 15].

Основные способы предотвращения процессов самовозгорания на угольных предприятиях — изоляция угля от притока воздуха и снижение сорбционной активности окисляющегося скопления угля при сохранении контакта с воздухом. Для снижения скорости сорбции кислорода углем применяют различные антипирогены [16, 17]. Возможен дополнительный съем тепла от скопления угля в количестве, позволяющем предотвратить повышение температуры реагирующей массы. В шахтах применяют подачу инертных газов (азот, углекислый газ и др.), снижающих концентрацию кислорода в рудничной атмосфере до безопасного уровня [18].

Профилактику самовозгорания угля и углесодержащих пород, образующихся при ведении горных работ открытым способом, в большинстве случаев осуществляют методом изоляции негорючими материалами, присутствующими при добыче угля на разрезах [19]. Наибольший изолирующий эффект из распространенных материалов оказывают такие осадочные горные породы, как глина и суглинки, состоящие из мелкодисперсных частиц. Твердые породы, разрушаемые взрывами или горнодобывающей техникой, имеют крупную фракцию и являются легко проницаемыми для потоков воздуха, формируемыми под воздействием перепадов давления газа на поверхности.

В настоящее время недостаточно изучено изменение проницаемости суглинка под действием окружающей среды. Цель данной работы — проведение исследований проницаемости скопления угля и слоя суглинка, а также воздействие орошения водой и уплотнения на коэффициент проницаемости этого изолирующего материала.

МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ

Исследование проницаемости скопления раздробленного угля и суглинка проводилось на установке, схема которой приведена на рис. 1. Она состоит из цилиндрической камеры 2, в которую помещают слой угля на сетку 1. Подача воздуха в камеру осуществляется компрессором 7. Для определения расхода поступающий воздух проходит через ротаметр 6, а затем через штуцер 5 попадает в камеру. Замер избыточного давления воздуха в камере перед пробой угля выполняется манометром 3, подключенным к камере через штуцер 4. Поступающий воздух проходит через пробу угля и выходит в атмосферу.

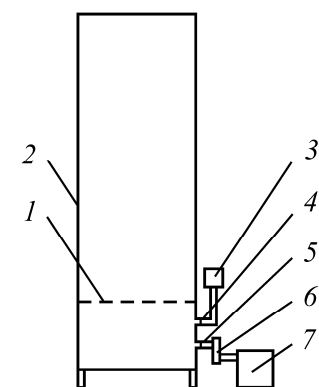


Рис. 1. Установка для исследования проницаемости угля: 1 — сетка; 2 — камера; 3 — манометр; 4 — штуцер для подключения манометра; 5 — штуцер для подключения ротаметра; 6 — ротаметр; 7 — компрессор для подачи воздуха

Камера имеет внутренний диаметр 0.23 м и высоту 1.15 м. Расстояние между сеткой и верхним краем камеры 1.05 м. Для определения количества воздуха, подаваемого в камеру, использовался ротаметр LZT-08A08M-V, работающий в диапазоне 4–40 л/мин. Избыточное давление воздуха в камере измерялось манометром Мегеон 51010 с рабочим диапазоном 10–10000 Па. Уголь перед заполнением камеры измельчался на дробилке ШД 200М до фракции 0–10 мм. Масса пробы раздробленного угля, помещаемой в камеру, достигала 52 кг. Высота исследуемого слоя угля в камере варьировала от 0.91 до 1.03 м.

В ходе экспериментов рассчитывалась скорость движения воздуха через скопление угля и коэффициент проницаемости скопления угля при различных количествах подаваемого воздуха. Расход подаваемого воздуха изменялся в пределах 4–20 л/мин. Затем в камеру на скопление угля размещали слой суглинка толщиной 0.02 м и определяли скорость движения воздуха и коэффициент проницаемости изолирующего материала. Замеры повторяли после нанесения каждого последующего слоя суглинка. Максимальная высота слоя суглинка 0.12 м.

На следующем этапе оценивали влияние уплотнения на проницаемость суглинка. Для этого поверхность инертного материала постепенно утрамбовывали и периодически пропускали воздух, определяя коэффициент проницаемости. В экспериментах изучали воздействие осадков в виде дождя на проницаемость суглинка. На поверхность слоя изолирующего материала рас-

сеивали по 100 мл дистиллированной воды, каждый раз фиксировали изменение коэффициента проницаемости суглинка. После подачи 400 мл воды наблюдали за поведением суглинка в процессе потери воды из-за ее испарения и периодически определяли изменение коэффициента проницаемости. Обработку поверхности водой повторили с последующим наблюдением за суглинком. На последнем этапе измеряли проницаемость скопления угля с изолирующим материалом после рыхления и уплотнения слоя суглинка.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОНИЦАЕМОСТИ УГЛЯ И СУГЛИНКА

Глина не всегда присутствует при ведении открытых горных работ, поэтому исследования проводили с суглинком, полученным из борта разреза. Скорость движения воздуха через скопление угля или пород, размещенных в установке, при ламинарном режиме течения зависит от перепада давления газа, коэффициента проницаемости скопления, длины пути фильтрации воздуха и описывается уравнением

$$v = \frac{HK}{\mu L},$$

где K , μ — коэффициенты проницаемости скопления угля и вязкости воздуха; H — перепад давления газа в скоплении угля; L — длина пути фильтрации воздуха через скопление угля.

Коэффициент проницаемости исследуемого скопления угля или пород вычисляется как

$$K = \frac{v\mu L}{H}. \quad (1)$$

Скорость движения воздуха рассчитывается, исходя из сечения скопления угля и расхода подаваемого воздуха:

$$v = \frac{Q}{S}, \quad (2)$$

Q — расход воздуха через уголь; S — сечение установки с насыпкой угля.

В первой серии экспериментов определяли коэффициент проницаемости в насыпке угля фракции 0–10 мм и толщиной 1.03 м при разных перепадах давления воздуха. Результаты замеров расхода воздуха и избыточного давления газа, а также расчета скорости воздуха и коэффициента проницаемости угольного скопления, осуществленные по (2) и (1), приведены в таблице. Согласно результатам, средний арифметический коэффициент проницаемости угольного скопления равен $4.29 \pm 0.20 \cdot 10^{-10} \text{ м}^2$ с надежностью 95 %. Скорость фильтрации воздуха с увеличением избыточного давления газа от 60 до 360 Па возросла от $1.61 \cdot 10^{-3}$ до $8.02 \cdot 10^{-3} \text{ м/с}$.

Проницаемость скопления угля

Расход воздуха, л/мин	Перепад давления, Па	Скорость воздуха, м/с	Коэффициент проницаемости, м ²
4.0	60	$1.61 \cdot 10^{-3}$	$4.91 \cdot 10^{-10}$
6.0	100	$2.41 \cdot 10^{-3}$	$4.41 \cdot 10^{-10}$
8.0	140	$3.20 \cdot 10^{-3}$	$4.23 \cdot 10^{-10}$
10.0	180	$4.02 \cdot 10^{-3}$	$4.09 \cdot 10^{-10}$
12.5	210	$5.01 \cdot 10^{-3}$	$4.36 \cdot 10^{-10}$
15.0	270	$6.02 \cdot 10^{-3}$	$4.08 \cdot 10^{-10}$
17.7	310	$7.03 \cdot 10^{-3}$	$4.15 \cdot 10^{-10}$
20.0	360	$8.02 \cdot 10^{-3}$	$4.08 \cdot 10^{-10}$

Вторая серия экспериментов осуществлялась после удаления из камеры угля и нанесения на поверхность сетки изолирующего материала из отобранного на разрезе суглинка. Толщина слоя суглинка менялась от 0.02 до 0.12 м при сохранении расхода воздуха на уровне 4 л/мин. Коэффициент проницаемости суглинка в среднем составил $8.31 \cdot 10^{-12} \text{ м}^2$, т. е. в 51.6 раза меньше, чем у скопления измельченного угля.

Третья серия экспериментов проводилась после заполнения камеры насыпкой угля с последующим нанесением на его поверхность изолирующего материала из отобранного на разрезе суглинка. Высота угольного скопления постоянна (0.91 м), размер слоя суглинка L_c постепенно увеличивался до 0.12 м. При изменении толщины слоя суглинка расход воздуха поддерживался на уровне 4 л/мин. Коэффициент проницаемости насыпки, состоящей из угля и слоя суглинка, в зависимости от толщины изолирующего материала, приведен на рис. 2. Основной изолирующий эффект от проникновения воздуха к скоплению угля обеспечивал слой суглинка толщиной $\sim 6-8$ см. После нанесения такого слоя суглинка коэффициент проницаемости снизился в 5 раз. Увеличение толщины изолирующего материала незначительно снижало коэффициент проницаемости насыпки из угля и суглинка. На основании экспериментов можно сделать вывод об эффективности способа предотвращения процесса самовозгорания угля и углесодержащих пород, включающего нанесение слоя изолирующего материала в виде суглинка.

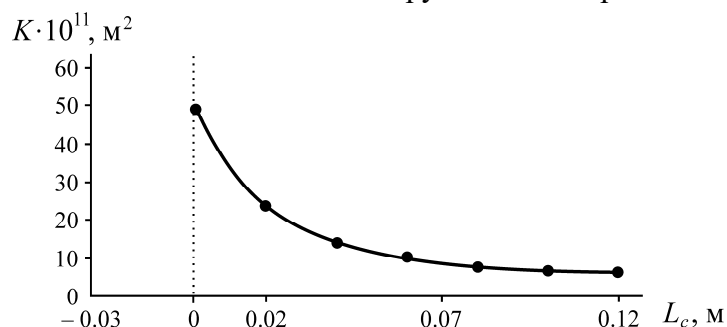


Рис. 2. Влияние толщины слоя суглинка на коэффициент проницаемости насыпки из угля и суглинка

Следующая серия экспериментов предусматривала уплотнение слоя суглинка, нанесенного на скопление угля. Длина скопления угля 0.91 м, начальная толщина слоя суглинка 0.12 м. К этому времени через 3 сут после окончания предыдущего этапа коэффициент проницаемости угля и суглинка снизился до $5.86 \cdot 10^{-11} \text{ м}^2$. Уплотнение осуществлялось нанесением ударов по поверхности суглинка ручной деревянной киянкой с площадью ударной поверхности 30×60 мм. По мере уплотнения уровень поверхности суглинка в установке снижался и через 6 мин воздействия практически стабилизировался. За время уплотнения толщина слоя изолирующего материала уменьшилась до 0.11 м. Изменение коэффициента проницаемости системы, состоящей из угля и слоя суглинка, за время уплотнения приведено на рис. 3.

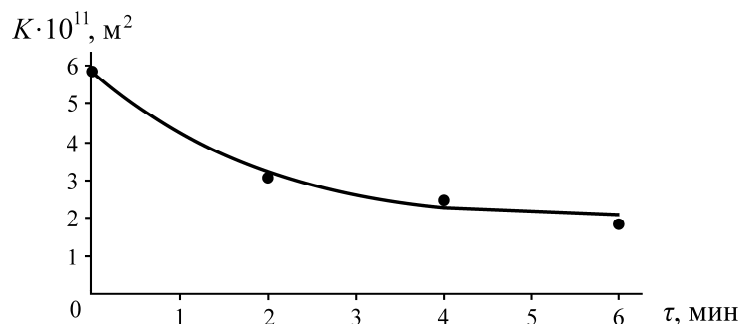


Рис. 3. Изменение коэффициента проницаемости насыпки, состоящей из угля и суглинка, от длительности уплотнения

По результатам исследований можно сделать вывод об эффективности уплотнения суглинка для предупреждения развития самовозгорания в изолируемом скоплении угля и углесодержащих пород. Уже за 2–3 мин уплотнения суглинка коэффициент проницаемости скопления угля с изолирующим материалом снизился более чем в 2 раза. Последующее уплотнение оказалось менее эффективным, за последние 3 мин коэффициент проницаемости уменьшился в 1.05 раза. Дальнейшее наблюдение показало, что без внешнего воздействия объем суглинка начал постепенно увеличиваться, коэффициент проницаемости скопления повысился за 10 сут с $1.85 \cdot 10^{-11}$ до $2.19 \cdot 10^{-11} \text{ м}^2$.

Дальнейшая серия экспериментов предусматривала исследование коэффициента проницаемости системы “уголь – суглинок” под воздействием осадков в виде дождя на слой суглинка (рис. 4). Размер насыпки угля сохранился равным 0.91 м, слой суглинка составил 0.11 м. Дистиллированная вода равномерно наносилась на поверхность суглинка через лейку порциями по 100 мл (расход 2.41 кг/м^2). После каждой обработки водой замерялся коэффициент проницаемости заложенных материалов. Расход воздуха через установку поддерживался на уровне 4 л/мин. Общее количество поданной воды 400 мл (9.64 кг/м^2). Подача воды на суглинок снижала коэффициент проницаемости (рис. 4). При увеличении расхода воды до 7.22 кг/м^2 медленно уменьшался коэффициент проницаемости системы с $2.11 \cdot 10^{-11}$ до $1.94 \cdot 10^{-11} \text{ м}^2$. Последняя порция воды привела к резкому снижению коэффициента проницаемости до $1.70 \cdot 10^{-11} \text{ м}^2$. Видимо, приток воды превысил фильтрационные возможности суглинка и жидкость начала заполнять поры и трещины в изолирующем материале. Всего при расходе воды в количестве 9.64 кг/м^2 коэффициент проницаемости скопления снизился в 1.29 раза.

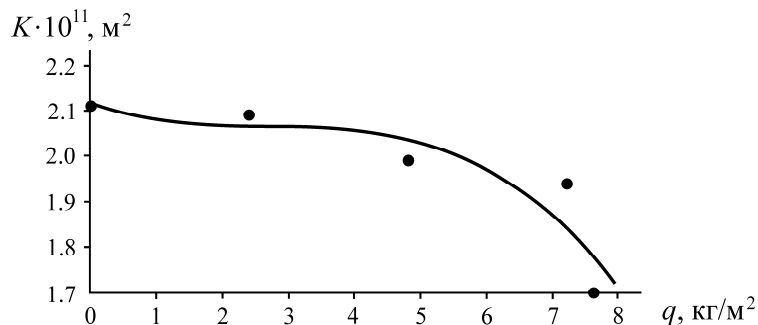


Рис. 4. Изменение коэффициента проницаемости насыпки, состоящей из угля и суглинка, в зависимости от расхода поданной воды

На следующем этапе наблюдали за проницаемостью скопления угля со слоем суглинка по мере высыхания поданной в суглинок воды. Температура воздуха в помещении 23°C , влажность 42 %. Установлено, что через сутки испарение воды привело к формированию в слое суглинка трещин, резко увеличивших проницаемость изоляционного материала. Через сутки коэффициент проницаемости всего скопления вырос с $1.70 \cdot 10^{-11}$ до $2.55 \cdot 10^{-11} \text{ м}^2$, что больше, чем было до подачи воды. За последующие 8 сут наблюдения испарение жидкости из суглинка привело к постепенному росту коэффициента проницаемости до $3.19 \cdot 10^{-11} \text{ м}^2$. Увлажнение суглинка водой, имитирующее осадки в виде дождя, вызвало краткосрочный эффект (~1 сут) усиления изоляции угля от притока атмосферного воздуха с последующим образованием трещин и увеличение проницаемости суглинка. Для оценки воздействия последующих осадков

на трещины в суглинке и коэффициент проницаемости скопления проведено повторное орошение суглинка водой. Вода подавалась порциями по 100 мл (расход 2.41 кг/м^2). После каждого орошения замеряли коэффициент проницаемости скопления. Всего на поверхность суглинка подано 300 мл воды. Изменение коэффициента проницаемости скопления с ростом расхода воды приведено на рис. 5.

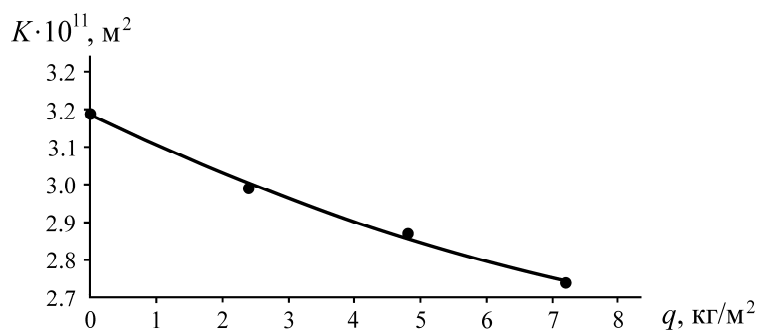


Рис. 5. Изменение коэффициента проницаемости скопления в зависимости от расхода повторно поданной воды

При общем расходе воды в количестве 7.22 кг/м^2 в слое суглинка сохранились трещины, однако за счет заполнения пор жидкостью коэффициент проницаемости скопления постепенно снижался с $3.19 \cdot 10^{-11}$ до $2.74 \cdot 10^{-11} \text{ м}^2$. Последующее наблюдение показало, что вследствие испарения жидкости постепенно повышался коэффициент проницаемости скопления угля и суглинка. Новые, визуально видимые трещины, не образовывались. Через 13 сут коэффициент проницаемости насыпки увеличился до $4.37 \cdot 10^{-11} \text{ м}^2$. Проверка показала, что в результате подачи воды и ее последующего испарения верхний слой суглинка затвердел. Механическим воздействием затвердевший слой суглинка был раздроблен, затем измельчен. В результате ударов происходило уплотнение суглинка. Выявлено, что после рыхления затвердевшего слоя суглинка, способствовавшего ликвидации трещин в изолирующем слое, и сопутствующего уплотнения коэффициент проницаемости всей насыпки снизился в 2.51 раза (с $4.37 \cdot 10^{-11}$ до $1.74 \cdot 10^{-11} \text{ м}^2$).

ВЫВОДЫ

Установлено, что коэффициент проницаемости суглинка, взятого на разрезе, в 51.6 раза меньше, чем у скопления угля фракции 0–10 мм. Использование суглинка в качестве изолирующего материала существенно снижает приток кислорода к углю, и может применяться для профилактики самовозгорания в скоплениях угля и углесодержащих пород. Слой суглинка толщиной 0.06–0.08 м позволяет уменьшить коэффициент проницаемости изолированного скопления угля в 5 раз. Дальнейший рост толщины слоя суглинка незначительно увеличивает изолирующий эффект.

Орошение водой суглинка приводит к снижению его проницаемости, однако последующее испарение жидкости уже через сутки резко увеличивает коэффициент проницаемости изолирующего слоя из-за образования трещин в затвердевшей дисперсной осадочной породе. Повторное орошение водой не позволило ликвидировать трещины, но коэффициент проницаемости системы снизился. Последующее испарение жидкости привело к постепенному увеличению коэффициента проницаемости.

Снизить коэффициент проницаемости суглинка позволяет его уплотнение. После первичного нанесения изолирующего слоя из разрыхленного суглинка коэффициент проницаемости системы (скопление угля и суглинок) уменьшился в эксперименте в 3.16 раза. После каждого орошения суглинка водой, приводящего после высыхания к твердению изолирующего материала и появлению в нем трещин, для восстановления изолирующего эффекта необходимо рыхление и последующее уплотнение суглинка.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Скочинский А. А., Огиевский В. М.** Рудничные пожары. — М.: Изд-во “Горное дело” ООО “Киммерийский центр”, 2011. — 375 с.
2. **Onifade M. and Genc B.** A review of research on spontaneous combustion of coal, *Int. J. Min. Sci. Technol.*, 2020, Vol. 30. — P. 303–311.
3. **Eremenko A. A., Darbinyan T. P., Shaposhnik Yu. N., Portola V. A., and Tsoi P. A.** Oxidizability and spontaneous combustion of native and water-bearing ore and rocks, *J. Min. Sci.*, 2023, Vol. 59, No. 6. — P. 957–964.
4. **Портола В. А., Бобровникова А. А., Палеев Д. Ю., Еременко А. А., Шапошник Ю. Н.** Исследование скорости сорбции кислорода самовозгорающимися сульфидными рудами // *Безопасность труда в пром-сти.* — 2020. — № 1. — С. 57–62.
5. **Li L., Qin B., Liu J., and Leong K.** Integrated experimentation and modeling of the formation processes underlying coal combustion-triggered methane explosions in a mined-out area, *Energy*, 2020, Vol. 203. — 117855.
6. **Акбаров Т. Г., Исраилов М. А., Махмудов Д. Р.** Изучение и предупреждение самовозгораемости углей Ангренского месторождения // *ГИАБ.* — 2021. — № 1. — С. 170–177.
7. **Onifade M. and Genc B.** Spontaneous combustion of coals and coal-shales, *Int. J. Min. Sci. Technol.*, 2018, Vol. 28. — P. 993–940.
8. **Lin Q., Wang S., Song S., Liang Y., and Ren T.** Analytical prediction of coal spontaneous combustion tendency: Velocity range with high possibility of self-ignition, *Fuel Proc. Technol.*, 2017, Vol. 159. — P. 38–47.
9. **Греков С. П., Головченко Е. А.** Динамика адсорбции кислорода углем в зонах геологических нарушений и температура его самонагрева // *Науч. вестн. НИИГД Респиратор.* — 2023. — № 2 (60). — С. 33–40.
10. **Moghtaderi B., Dlugogorski B. Z., and Kennedy E. M.** Effects of wind flow on self-heating characteristics of coal stockpiles, *Process Safety Env. Protec.*, 2000, Vol. 78, No. 6. — P. 445–453.
11. **Zhongyu Liu, Guo Qing, and Wanxing Ren.** Research on the effect of wind direction and speed on the distribution of coal temperature field, *Combustion Sci. Technol.*, 2024, Vol. 196. — P. 5536–5549.
12. **Портола В. А., Черских О. И., Протасов С. И., Серегин Е. А., Шваков И. А.** Особенности проведения тепловизионной съемки для обнаружения очагов самовозгорания на угольном разрезе // *Горн. пром-сть.* — 2023. — № 1. — С. 95–100.
13. **Верех-Белоусова Е. И., Олейник Н. В.** Анализ и оценка перспектив применения дистанционных методов исследования очагов самонагрева шахтных отвалов Луганщины // *Вестн. ЛугГУ им. В. Даля.* — 2023. — № 1 (67). — С. 44–48.

14. **Калайгорода В. В., Простов С. М.** Диагностирование очага самонагрева в породугольном массиве по аномалиям естественного электрического поля // Горн. журн. — 2024. — № 1. — С. 84–94.
15. **Калайгорода В. В., Никулин Н. Ю., Простов С. М., Шабанов Е. А., Крупина Н. В.** Мониторинг зоны самовозгорания породугольного массива георадиолокационным методом // Горн. журн. — 2022. — № 3. — С. 95–103.
16. **Moshood O., Bekir G., Abisola R., Andrew M., and Thapelo N.** Influence of antioxidants on spontaneous combustion and coal properties, Process Safety Environ Protect, 2021, Vol. 148. — P. 1019–1032.
17. **Xue Di, Hu Xiangming, Cheng Weimin, Wei Jianfeng, Zhao Yanyun, and Shen L.** Fire prevention and control using gel-stabilization foam to inhibit spontaneous combustion of coal: Characteristics and engineering applications, Fuel, 2020, Vol. 264. — 116903.
18. **Коврижкин О. И., Коляда А. Ю., Калинин Н. А.** Использование газообразного азота при ликвидации подземных пожаров // Науч. вестн. НИИГД Респиратор. — 2020. — № 3 (57). — С. 37–44.
19. **Акбаров Т. Г., Исраилов М. А., Махмудов Д. Р.** Изучение и предупреждение самовозгораемости углей Ангренского месторождения // ГИАБ. — 2021. — № 1. — С. 170–177.

Поступила в редакцию 29/I 2025

После доработки 27/III 2025

Принята к публикации 16/V 2025