

Технология инъекционной изоляции пластовых выработок угольных шахт

А.Е. Майоров✉, Д.П. Кулик, И.Л. Абрамов

Федеральный исследовательский центр угля и углехимии Сибирского отделения Российской академии наук,
г. Кемерово, Российская Федерация
✉ majorov-ae@mail.ru

Резюме: Разработан базовый состав технологической суспензии для инъекционного тампонажа краевой части угольного пласта. Исследуемые водо-твердые технологические суспензии активно проявляют структурные характеристики при различных скоростях плоского потока в трещине. Повышение концентрации технологических суспензий и введение в состав золо-шлаков обеспечивает нелинейный рост динамического (предельного) напряжения сдвига τ_0 и сопровождается скачком его значения в диапазоне водо-твердого соотношения от 0,35 до 0,4. Разработаны схемы ведения тампонажных работ для различных категорий устойчивости угольных пластов, отличающиеся применением набрызг-изолирующего покрытия, коллекторной схемы подключения и системы вакуумирования инъекционных скважин. Контроль режимных параметров с текущей оперативной оценкой степени трещиноватости массива позволяет управлять движением потока и давлением нагнетания ТС, снижая потери раствора при повышении качества инъекционной изоляции.

Ключевые слова: угольный пласт, тампонаж, инъекционная изоляция, вакуумирование, технологические суспензии, фильтрация, радиус распространения

Благодарности: Работа выполнена в рамках государственного задания ФГБНУ «Федеральный исследовательский центр угля и углехимии Сибирского отделения Российской академии наук» проект FWEZ-2021-0002 «Разработка эффективных технологий добычи угля роботизированными горнодобывающими комплексами без постоянного присутствия людей в зонах ведения горных работ, систем управления и методов оценки технического состояния и диагностики их ресурса и обоснование обеспечения воспроизводства минерально-сырьевой базы» (рег. №АААА-А21-121012290021-1).

Для цитирования: Майоров А.Е., Кулик Д.П., Абрамов И.Л. Технология инъекционной изоляции пластовых выработок угольных шахт. *Горная промышленность*. 2023;(S2):47–52. <https://doi.org/10.30686/1609-9192-2023-S2-47-52>

Technology of injection isolation of coal mine workings

A.E. Majorov✉, D.P. Kulik, I.L. Abramov

Federal Research Center for Coal and Coal Chemistry of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences,
Kemerovo, Russian Federation
✉ majorov-ae@mail.ru

Abstract: The basic composition of technological suspension (TS) for injection grouting of the edge part of the coal seam has been developed. The investigated water-solid TS actively show structural characteristics at different velocities of flat flow in the fracture. An increase in the TS concentration and introduction of ash-slag into the composition provides nonlinear growth of dynamic (ultimate) shear stress τ_0 and is accompanied by a jump of its value in the range of water-solid ratio from 0.35 to 0.4. The schemes of grouting operations for different categories of coal seams stability have been developed, which differ in the application of spray-insulating coating, collector connection scheme and the evacuation system for the injection boreholes. Monitoring of the operating parameters with current operational assessment of the massif fracturing degree allows to control the flow movement and the TS injection pressure, reducing the solution losses while improving the quality of injection isolation.

Keywords: coal seam, grouting, injection isolation, vacuuming, technological suspension, filtration, grouting radius

Acknowledgments: The work was performed within the framework of the state assignment of the Federal Research Center of Coal and Coal Chemistry of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Project FWEZ-2021-0002 'Development of efficient technologies of coal mining by robotic mining complexes operating without permanent presence of personnel in mining zones, design of control systems and methods to assess their technical condition and operating life as well as justification of the mineral resource base reproduction' (Reg. No. АААА-А21-121012290021-1).

For citation: Majorov A.E., Kulik D.P., Abramov I.L. Technology of injection isolation of coal mine workings. *Russian Mining Industry*. 2023;(S2):47–52. <https://doi.org/10.30686/1609-9192-2023-S2-47-52>

Введение

Рост объемов и темпов подземной угледобычи приводит к увеличению глубины залегания и протяженности пластовых выработок, которые отличаются сильно нарушенной приконтурной зоной с низкой устойчивостью, активным окислением и самонагреванием угля, повышенной опасностью ведения горных работ [1; 2]. Постоянное перераспределение напряженно-деформированного состояния массива пород приводит к образованию новых систем трещин и зон отжима в приконтурной области выработанного пространства [3]. Данные условия предъявляют особые требования к технологиям, применяемым при проведении и поддержании пластовых выработок.

Известно, что наиболее эффективным способом повышения устойчивости и снижения проницаемости массива горных пород является инъекционный тампонаж трещин технологическими суспензиями (ТС) [4–7]. Однако значительный опыт разработки подобных технологий не учитывает особенности взаимодействия ТС с таким сложным объектом, как уголь [8]. Вследствие указанного возникает проблема обеспечения качества изоляции приконтурной зоны угольного пласта из горных выработок, характеризующейся критериями прочности и плотности.

В связи с этим Институтом угля ФИЦ УУХ СО РАН совершенствуется технология инъекционной изоляции приконтурной зоны горных выработок шахт, снижающая трещиноватость и фильтрационные характеристики краевой части угольного пласта.

Разработка базового состава технологической суспензии

Для разработки состава ТС выдвинуты основные технологические требования к обеспечению достаточной прочности и плотности обрабатываемого угольного пласта: максимально низкое значение динамического (предельного) напряжения сдвига τ_0 (Па) и эффективной динамической вязкости μ (Па·с) в рабочем диапазоне массового водо-твердого соотношения (В/Т) от 0,25 до 0,5. Для проведения лабораторных исследований по мере усложнения рецептуры выбрано три исходных состава, созданных путем последовательного введения портландцемента, золо-шлаковой смеси ТЭЦ, реологических и ингибирующих добавок: 1) портландцемент марки 500; 2) портландцемент марки 500 / золо-шлаковая смесь ТЭЦ (50/50%); 3) портландцемент марки 500 / пыль инертная / золо-шлаковая смесь ТЭЦ (45% / 23% / 23% и добавки в остатке).

Оценка реологических характеристик ТС проведена на базе методики вискозиметрических исследований (использован ротационный вискозиметр Rheotest RV 2.1). В процессе исследования проведено: уточнение режимов приготовления образцов ТС при заданных В/Т; измерение реологических параметров образцов ТС; определение коэффициентов реологических уравнений и построение кривых течения ТС. Полученные кривые оценивались по линейной, степенной и модифицированной моделям. Реологические измерения проводились при соотношении В/Т 0,3; 0,35; 0,4 и 0,45. Определены оптимальные реологические модели течения, наилучшим образом описывающие полученные экспериментальные данные для ТС при различном В/Т: образец №1) 0,3 и 0,4 – степенная модель; 0,35 и 0,45 – линейная модель; образец №2) 0,3 и 0,4 – степенная модель; 0,35 и 0,45 – линейная модель; образец №3) 0,25 – линейная модель; 0,3 и 0,35 – степенная модель; 0,4 и 0,45 – линейная модель. При этом для заданного значения

скорости сдвига j , равного 100 с^{-1} , дополнительно определена эффективная (динамическая) вязкость μ (Па·с), каждого образца с определенным В/Т (рис. 1). Также определены основные зависимости динамического (предельного) напряжения сдвига τ_0 (Па) (рис. 2) и эффективной (динамической) вязкости μ от массового В/Т соотношения ТС.

Из анализа полученных зависимостей выявлено снижение эффективной вязкости μ ТС при увеличении В/Т, но при этом ТС при различных скоростях плоского потока проявляют структурные характеристики, что также необходимо учитывать в технологических процессах тампонажа угольного пласта. У всех водо-твердых ТС выявлен скачок значений τ_0 (точки Y на рис. 2) в диапазоне В/Т = 0,35–0,40. Значение τ_0 как в общем, так и в точках Y₁–Y₃, увеличивается при повышении доли золо-шлаковых смесей ТЭЦ в составе ТС.

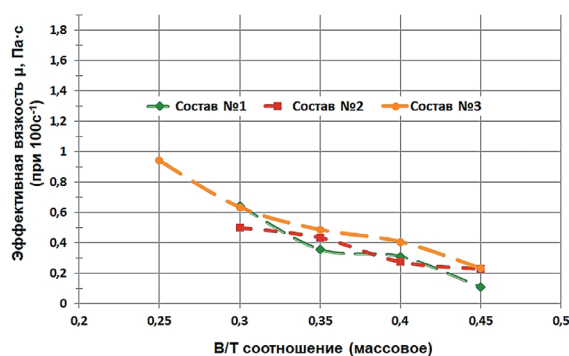


Рис. 1
Зависимость эффективной динамической вязкости μ каждого образца с определенным В/Т

Fig. 1
Dependence of the effective dynamic viscosity μ of each sample with a certain water/solid ratio

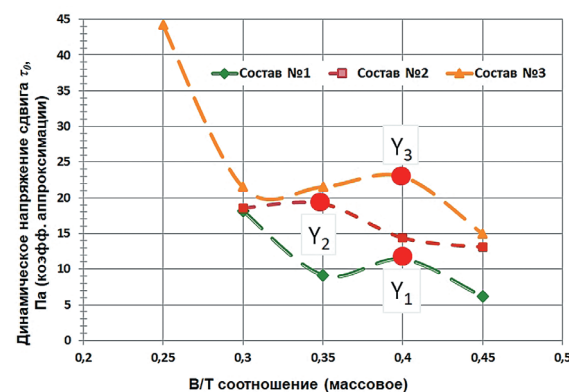


Рис. 2
Зависимость динамического (предельного) напряжения сдвига τ_0 от массового В/Т

Fig. 2
Dependence of the dynamic (limiting) shear stress τ_0 on the water/solid ratio by weight

Также повышение концентрации ТС обеспечивает нелинейный рост значения τ_0 , что непосредственно влияет на качество заполнения трещин и эффективность применения технологии управляемого тампонажа при изоляции приконтурной зоны пластовых выработок. Таким образом, для повышения проникающей способности и радиуса распространения по трещинам ТС в составах целесообразно контролировать содержание доли золо-шлаковых смесей ТЭЦ.

Учитывая комплекс выявленных реологических и физико-механических характеристик на этапе внедрения технологии предложен базовый состав ТС, включающий: портландцемент марки 500 – 35%, граншлак металлургический – 20%, зола – 42%, добавки в остатке – 3% (массовое В/Т 0,4-0,5; плотность раствора до 1900 кг/м³; время потери текучести до 10 мин; предел прочности при одноосном сжатии до 25 МПа).

Разработка способа инъекционной изоляции пластовых выработок

Разработаны концептуальные схемы бурения инъекционных скважин в приконтурной зоне пластовых выработок, непосредственно влияющих на качество заполнения трещин пласта. При наличии единой системы трещин приконтурной зоны с раскрытием до 5 мм возможно применение только одноуровневой схемы тампонажа. Наличие нескольких систем трещин с различным раскрытием обуславливает применение двухуровневой схемы тампонажа с порядным чередованием нагнетательных и вакуумных скважин (рис. 3 – цветом показаны тампонажная завеса второго уровня и точки забуривания инъекционной скважины), в которой инъекционные скважины бурят перпендикулярно и наклонно к контуру горной выработки. Данный подход формирует единый коллектор, обеспечивая относительно равный доступ нагнетаемой ТС в различные системы трещин.

Для устойчивых и среднеустойчивых угольных пластов (I и II категории устойчивости) тампонажные работы рекомендуется производить по следующей схеме: создание по периметру выработки изоляционного слоя (набрызг-

изолирующее покрытие), бурение скважин и последующее нагнетание под в скважины ТС двумя способами: при постоянном расходе или при постоянном давлении, которые реализуются тремя схемами нагнетания: циркуляционной, полуциркуляционной и зажимной [9].

По способам подключения нагнетательной установки к инъекционным скважинам в зависимости от условий и применяемого оборудования разработаны следующие технологические схемы подключения к инъекционным скважинам: коллекторная или индивидуальная по длине выработки и коллекторная или индивидуальная по контуру выработки. Нагнетание раствора необходимо производить от нижнего ряда скважин к верхнему. Коллекторная

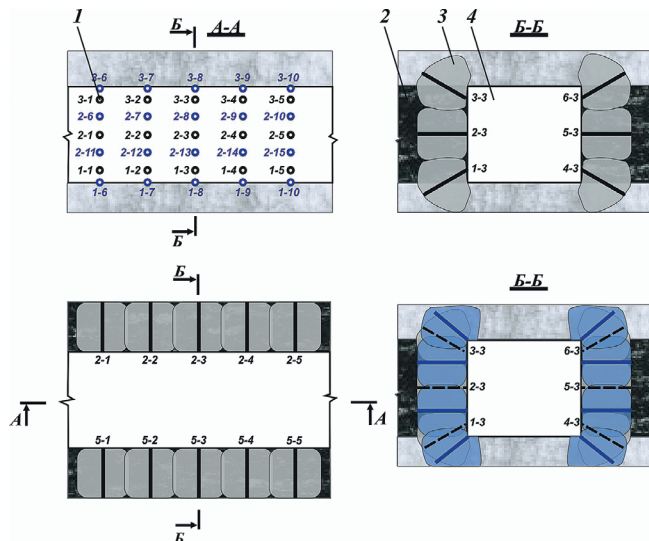


Рис. 3
Принципиальная двухуровневая схема расположения инъекционных скважин по контуру пластовой горной выработки:
1 – угольный пласт;
2 – инъекционная скважина;
3 – радиус тампонажной завесы; 4 – горная выработка

Fig. 3
A basic two-level scheme of the injection borehole location along the boundaries of the in-seam mine working:
1 – coal seam;
2 – injection borehole;
3 – radius of grouting barrier;
4 – mine workings

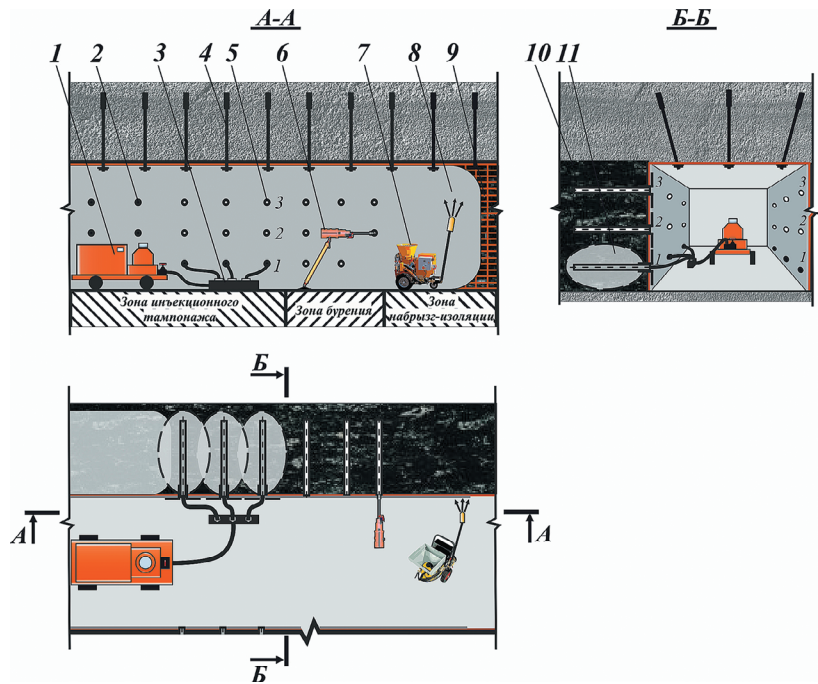


Рис. 4
Принципиальная технологическая схема ведения инъекционного тампонажа с коллекторным способом подключения к инъекционным скважинам по длине горной выработки:
1 – тампонажный комплекс;
2 – затампонирующая скважина;
3 – коллектор;
4 – анкер;
5 – незатампонирующая скважина;
6 – ручной перфоратор;
7 – торкрет-установка;
8 – набрызг-покрытие;
9 – сетка; 10 – угольный пласт;
11 – область распространения ТС

Fig. 4
A basic technological scheme of injection grouting with the collector method of connection to the injection boreholes along the mine working:
1 – grouting complex;
2 – grouted borehole;
3 – collector;
4 – rock bolt;
5 – non-grouted borehole;
6 – hand-held rock drill;
7 – shotcreting unit;
8 – spraying;
9 – grid;
10 – coal seam;
11 – TS spreading area

схема подключения в сочетании с нагнетанием ТС от нижнего ряда скважин к верхнему обеспечивает равномерное распределение частиц ТС в приконтурной зоне пласта. Пример принципиальной технологической схемы ведения инъекционного тампонажа с коллекторным способом подключения к инъекционным скважинам по длине горной выработки представлен на рис. 4.

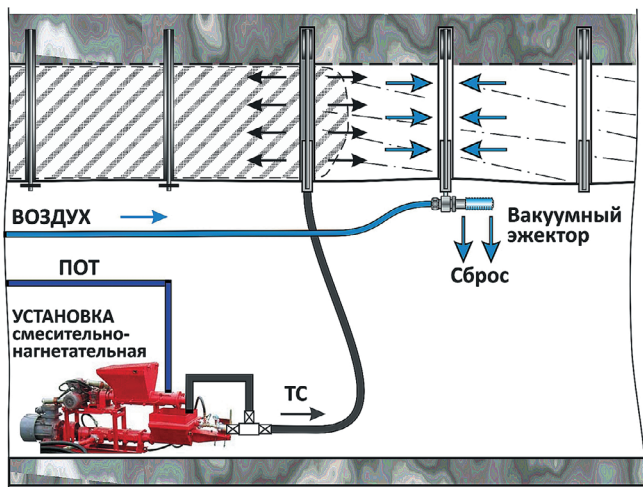


Рис. 5
Принципиальная схема организации работ по вакуум-инъекционному тампонажу ТС приконтурного углепородного массива

Fig. 5
A basic organization chart for vacuum-injection grouting of the peripheral coal-rock mass

Для неустойчивых и очень неустойчивых угольных пластов (III и IV категории устойчивости) бурение проводят с чередованием ряда нагнетательных скважин с вакуумными. Таким образом, при нагнетании ТС в скважину удаление жидкой фазы производится одновременно и совместно с удалением газовой среды из тампонируемых трещин при плавном увеличении величины разрежения в вакуумных скважинах. При этом величина разрежения поддерживается на уровне не менее величины потери давления нагнетания ТС по длине тампонируемой трещины, а процесс отфильтровывания продолжается после прекращения нагнетания ТС до окончания выхода жидкой фазы из системы трещин. Таким образом, технология позволяет управлять направлением движения потока раствора и давлением нагнетания, значительно снижая потери при изливе раствора в выработку и предотвращая гидроразрыв в краевой части угольного пласта при повышении плотности заполнения трещин и обеспечивая смыкание тампонажных завес. Для создания разрежения использован вакуумный воздушный насос-эжектор. Принципиальная схема организации работ вакуум-инъекционного тампонажа представлена на рис. 5.

Диагностика и контроль качества работ по инъекционной изоляции контура горной выработки

Для оценки фильтрационных характеристик горных пород важно выделить реометрический контроль, который относится к числу наиболее эффективных, простых и доступных инженерных методов оперативного контроля параметров нарушенной зоны объекта исследований с оценкой его фактической трещинной проницаемости [10]. В процессе замера показаний давления в аккумулялирующей емкости, подключенной к диагностической скважине через шланг с пакером, манометр-регистратор автоматически фиксирует несколько показаний в секунду, рассчитывая среднее значение, по которому и выстраивает гра-

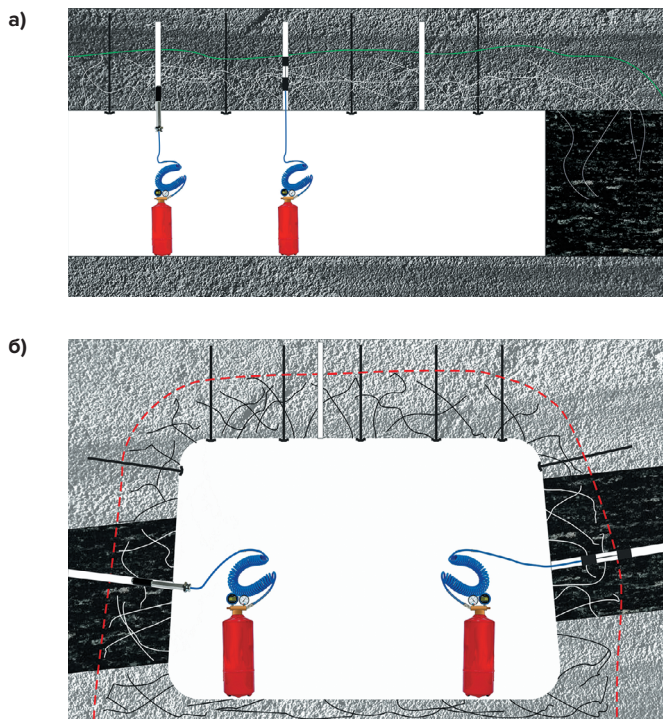


Рис. 6
Пример схем проведения замеров:
а – в кровле горной выработки;
б – в угольном пласте из выработки

Fig. 6
An example of measurement layouts:
a – in the roof of the mine workings;
b – in the coal seam with access from the mine working

фик изменения падающего давления [11; 12]. Схема оценки степени трещиноватости пласта и контроля качества последующего тампонажа включает: бурение двух скважин на расстоянии один метр – нагнетательную и сбросную, для возможности оценки перетока воздуха по трещинам. При проведении замеров в закрепленной анкерами выработке от диагностической скважины до любой соседней необходимо соблюдать расстояние не менее одного метра. Пример схем проведения замеров в кровле горной выработки (а) и в угольном пласте из выработки (б) представлен на рис. 6.

Заключение

1. Рост объемов и темпов подземной угледобычи приводит к увеличению глубины залегания и протяженности пластовых выработок, которые отличаются сильно нарушенной приконтурной зоной с низкой устойчивостью, активным окислением и самонагреванием угля, повышенной опасностью ведения горных работ. Данные условия предъявляют особые требования к технологиям, применяемым при проведении и поддержании пластовых выработок. При этом применение эффективной технологии инъекционного тампонажа ТС не получило широкого распространения ввиду отсутствия обоснованных решений, учитывающих: локальные нормативные требования; особенности нарушенной структуры угольного пласта, а также свойств его поверхности; режимы фильтрации специализированных технологических суспензий и режимы их нагнетания.

2. У всех исследуемых водо-твердых ТС выявлен скачок значений τ_0 в диапазоне $V/T = 0,35-0,40$. Значение τ_0 как в общем, так и в точках Y_1-Y_3 , увеличивается при повышении доли золо-шлаковых смесей ТЭЦ в составе, что непосредственно влияет на качество заполнения трещин и эффективность применения технологии. Таким образом, для повышения проникающей способности и радиуса распространения по трещинам ТС в составах целесообразно контролировать содержание доли золо-шлаковых смесей ТЭЦ.
3. На этапе внедрения технологии предложен базовый состав ТС, включающий: портландцемент марки 500 – 35%, граншлак металлургический – 20%, золу – 42%, добавки в остатке – 3% (массовое V/T 0,4–0,5; плотность раствора до 1900 кг/м³; время потери текучести до 10 мин; предел прочности при одноосном сжатии до 25 МПа).
4. Разработаны способы эффективной инъекционной изоляции угольного пласта, в зависимости от категории устойчивости применяются следующие схемы ведения работ: для I–II категорий устойчивости – применение набрызг-изолирующего покрытия с последующим нагнетанием раствора в скважины снизу вверх по коллекторной или индивидуальной схеме подключения для предотвращения стекания раствора и закупоривания трещин; для II–III категорий устойчивости – применение вакуум-инъекционного способа тампонажа.
5. Процесс вакуумирования при тампонаже краевой части угольного пласта позволяет управлять направлением движения потока раствора и давлением нагнетания, значительно снижая потери ТС и предотвращая гидроразрыв в краевой части угольного пласта при повышении плотности заполнения трещин со смыканием тампонажных завес.
6. При выполнении предъявляемых требований к составам ТС, режимам их нагнетания, способам и схемам инъекционного тампонажа трещин нарушенной приконтурной зоны пластовых выработок обеспечивается повышение качества изоляции при эффективной и безопасной подземной добыче угля.
7. Перспективы темы направлены на дальнейшее развитие теории фильтрации ТС в трещиновато-пористой среде угольного пласта и решение задач управления физическим состоянием горных пород при комплексной изоляции нарушенной приконтурной зоны пластовых выработок угольных шахт.

Список литературы

1. Игишев В.Г. *Борьба с самовозгоранием угля в шахтах*. М.: Недра; 1987. 177 с.
2. Штумпф Г.Г., Рыжков Ю.А., Шаламанов В.А., Петров А.И. *Физико-технические свойства горных пород и углей Кузнецкого бассейна*. М.: Недра; 1994. 447 с.
3. Черданцев Н.В., Черданцев С.В. Разработка и реализация математической модели геомеханического состояния горного массива, вмещающего угольный пласт и пройденную по нему выработку. *Вычислительные технологии*. 2017;22(1):84–96. Режим доступа: <http://www.ict.nsc.ru/jct/getfile.php?id=1777>
4. Хмяляйнен В.А. Развитие инъекционных способов уплотнения массивов горных пород в Кузбассе. *Вестник Кузбасского государственного технического университета*. 2015;(5):25–31. Режим доступа: <https://journals.kuzstu.ru/article/2936.pdf>
5. Майоров А.Е., Патраков Ю.Ф., Семенова С.А., Абрамов И.Л., Непейна Е.С. Обоснование актуальности инъекционной локализации и дезактивации эндогенного самовозгорания угольных пластов. *Научно-технические разработки и использование минеральных ресурсов*. 2020;(6):324–330.
6. Sun Y., Li G., Zhang J., Sun J., Huang J., Taherdangko R. New insights of grouting in coal mass: From small-scale experiments to microstructures. *Sustainability*. 2021;13(16):9315. <https://doi.org/10.3390/su13169315>
7. Nash W.R. Grouting in underground mine construction. *Mining Engineering*. 1984;(3):248–250.
8. Кулик Д.П. Обоснование технологии изоляции приконтурной зоны пластовых выработок. В кн.: Соболева О.А., Ушаков А.Г., Шевченко Р.А. (ред.) *Кузбасс: образование, наука, инновации. Молодежный вклад в развитие научно-образовательного центра «Кузбасс»: материалы 10-го Инновационного конвента, г. Кемерово, 30 января 2022 г.* Кемерово: Кемеровский государственный университет; 2022. С. 32–36. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/crhfhg>
9. Кулик Д.П. Обоснование технологических схем инъекционной изоляции краевой части угольного пласта. В кн.: *Майоров А.Е. (ред.) Развитие – 2021: материалы Ежегодной конференции молодых ученых, г. Кемерово, 11–13 мая 2021 г.* Кемерово: ФИЦ УУХ СО РАН; 2021. С. 22–36. https://doi.org/10.53650/9785902305620_22
10. Майоров А.Е., Абрамов И.Л., Кулик Д.П. Оценка трещиноватости и фильтрационных свойств массива горных пород. *Вестник Научного центра ВостНИИ по промышленной и экологической безопасности*. 2021;(2):12–21. <https://doi.org/10.25558/VOSTNII.2021.90.58.002>
11. Нурғалиев Е.В. *Обоснование и разработка технологии изоляции пластовых выработок безрубровыми монолитными переключками с одновременным возведением тампонажных завес: дис. ... канд. техн. наук*. Кемерово; 2021. 311 с.
12. Хмяляйнен В.А., Бурков Ю.В., Сыркин П.С. *Формирование цементационных завес вокруг капитальных горных выработок*. М.: Недра; 1994. 400 с.

References

1. Iqishev V.G. *Combating spontaneous combustion of coal in mines*. Moscow: Nedra; 1987. 177 p. (In Russ.)
2. Stumpf G.G., Ryzhkov Yu.A., Shalamanov V.A., Petrov A.I. *Physical and technical properties of rocks and coals of the Kuznetsk basin: reference book*. Moscow: Nedra; 1994. 447 p. (In Russ.)
3. Cherdantsev N.V., Cherdantsev S.V. Development and implementation of a mathematical model of the geomechanical state coal rock mass, enclosing the coal seam and the mine working in it. *Computational Technologies*. 2017;22(1):84–96. (In Russ.) Available at: <http://www.ict.nsc.ru/jct/getfile.php?id=1777>
4. Khyamyalyaynen V.A. Development of injection methods of consolidation of massifs of rocks in Kuzbass. *Bulletin of the Kuzbass State Technical University*. 2015;(5):25–31. (In Russ.) Available at: <https://journals.kuzstu.ru/article/2936.pdf>
5. Majorov A.E., Patrakov Y.F., Semenova S.A., Abramov I.L., Nepeina E.S. Justification of the relevance of injection localization and deactivation of endogenous spontaneous combustion of coal seams. *Naukoemkie Tekhnologii Razrabotki i Ispolzovaniya Mineralnykh Resursov*. 2020;(6):324–330. (In Russ.)
6. Sun Y., Li G., Zhang J., Sun J., Huang J., Taherdangkoo R. New insights of grouting in coal mass: From small-scale experiments to microstructures. *Sustainability*. 2021;13(16):9315. <https://doi.org/10.3390/su13169315>
7. Nash W.R. Grouting in underground mine construction. *Mining Engineering*. 1984;(3):248–250.
8. Kulik D.P. Justification of isolation technology of near-contour zone mine workings. In: Soboleva O.A., Ushakov A.G., Shevchenko R.A. (eds) *Kuzbass: Education, Science, Innovation. Youth contribution to the development of scientific and educational center “Kuzbass”: materials of the 10th Innovation Convention, Kemerovo, January 30, 2022*. Kemerovo: Kemerovo State University; 2022, pp. 32–36. (In Russ.) Available at: <https://www.elibrary.ru/crhhfhg>
9. Kulik D.P. Justification of technological schemes of injection insulation of the edge part of the coal seam. In: Majorov A.E. (ed.) *Development – 2021: materials of the Annual Conference of Young Scientists, Kemerovo, May 11–13, 2021*. Kemerovo: Federal Research Center of Coal and Coal Chemistry of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences; 2021, pp. 22–36. (In Russ.) https://doi.org/10.53650/9785902305620_22
10. Kulik D.P., Abramov I.L., Mayorov A.E. Evaluation of fracture and filtration properties of rock mass. *Bulletin of Scientific Centre VostNII for Industrial and Environmental Safety*. 2021;(2):12–21. (In Russ.) <https://doi.org/10.25558/VOSTNII.2021.90.58.002>
11. Nurgaliev E.V. *Justification and development of the technology for isolation of formation excavations by pipe-less monolithic cofferdams with simultaneous construction of grouting curtains*, Cand. eng. sci. diss., Kemerovo; 2021. 311 p. (In Russ.)
12. Khyamyalyaynen V.A., Burkov Yu.V., Syrkin P.S. *Formation of cementation curtains around capital mine workings*. Moscow: Nedra; 1994. 400 p. (In Russ.)

Информация об авторах

Майоров Александр Евгеньевич – доктор технических наук, профессор РАН, главный научный сотрудник, Институт угля Федерального исследовательского центра угля и углехимии Сибирского отделения Российской академии наук, г. Кемерово, Российская Федерация; <https://orcid.org/0000-0003-2093-775X>; e-mail: majorov-ae@mail.ru

Кулик Денис Петрович – ведущий инженер, Институт угля Федерального исследовательского центра угля и углехимии Сибирского отделения Российской академии наук, г. Кемерово, Российская Федерация; <https://orcid.org/0000-0002-8150-4344>; e-mail: kdp-sbras@mail.ru

Абрамов Игорь Леонидович – кандидат технических наук, доцент, старший научный сотрудник, Институт угля Федерального исследовательского центра угля и углехимии Сибирского отделения Российской академии наук, г. Кемерово, Российская Федерация; <https://orcid.org/0000-0002-2161-3354>; e-mail: ilabramov@rambler.ru

Информация о статье

Поступила в редакцию: 13.07.2023

Поступила после рецензирования: 14.08.2023

Принята к публикации: 15.08.2023

Information about the authors

Alexander E. Majorov – Dr. Sci. (Eng.), Professor of the Russian Academy of Sciences, Chief Re-searcher, Institute of Coal of the Federal Research Center of Coal and Coal Chemistry of Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Kemerovo, Russian Federation; <https://orcid.org/0000-0003-2093-775X>; e-mail: majorov-ae@mail.ru

Denis P. Kulik – Leading Engineer, Institute of Coal of the Federal Research Center of Coal and Coal Chemistry of Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Kemerovo, Russian Federation; <https://orcid.org/0000-0002-8150-4344>; e-mail: kdp-sbras@mail.ru

Igor L. Abramov – PhD. (Eng.), Associate Professor, Senior Researcher, Institute of Coal of the Federal Research Center of Coal and Coal Chemistry of Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Kemerovo, Russian Federation; <https://orcid.org/0000-0002-2161-3354>; e-mail: ilabramov@rambler.ru

Article info

Received: 13.07.2023

Revised: 14.08.2023

Accepted: 15.08.2023