



DOI: 10.25558/VOSTNII.2023.22.84.001

УДК 622.257.122

© Д.П. Кулик, А.Е. Майоров, 2023

## Д.П. КУЛИК

ведущий инженер,

аспирант

ФИЦ УУХ СО РАН, г. Кемерово



## А.Е. МАЙОРОВ

д-р техн. наук,

профессор РАН,

заведующий лабораторией

ФИЦ УУХ СО РАН, г. Кемерово

профессор

КузГТУ, г. Кемерово



## ОСОБЕННОСТИ ИНЪЕКЦИОННОЙ ЦЕМЕНТАЦИИ ГОРИЗОНТАЛЬНЫХ ТРЕЩИН ДЛЯ ИЗОЛЯЦИИ УГОЛЬНОГО ПЛАСТА

*Раскрыты особенности формирования плоскопараллельного потока при инъекционном тампонаже трещин активными технологическими суспензиями (ТС) на основе цементов с целью более эффективного управления физическим состоянием краевой части угольного пласта (приконтурных зон бортов разрезов или горных выработок шахт). На модели искусственной горизонтальной трещины выявлены три основных режима течения, связанных со скоростью потока и седиментацией полидисперсных по крупности частиц цемента. Установлена количественная нелинейная зависимость между массовым расходом и концентрацией частиц цемента в потоке, предложен подход для оценки реологических характеристик и процессов течения ТС с целью повышения качества тампонажа угольного пласта.*

Ключевые слова: ГОРНАЯ ВЫРАБОТКА, УГОЛЬ, ТРЕЩИНА, ТАМПОНАЖ, ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ СУСПЕНЗИИ, ПРОНИЦАЕМОСТЬ, ФИЛЬТРАЦИЯ, ИЗОЛЯЦИЯ ПЛАСТА.

### ВВЕДЕНИЕ

Вскрытие нативного пласта угля при отработке открытым и подземным способами неизбежно приводит к нарушению массива горных пород, что негативно влияет на его устойчивость, развитие процессов самонагревания угля и выделения метана. Наиболее активной областью формирования нарушений в виде систем раскрытых трещин с последую-

щим окислением угля является именно краевая часть пласта — приконтурные зоны бортов разрезов или горных выработок шахт, пройденных по пласту (пластовые выработки). Обоснование эффективных перспективных способов управления физическим состоянием краевой части пласта является актуальной научно-практической задачей, направленной на решение проблем плановой консервации склонных к окислению и само-

возгоранию обрабатываемых запасов угля, экстренной локализации зон самовозгорания пластов, стабилизации смещений нарушенной приконтурной зоны с повышением ее прочности и устойчивости.

Для решения указанной комплексной проблемы наиболее эффективным и доступным является способ инъекционного тампонажа, обеспечивающий быстрый доступ к системе трещин с возможностью введения в обрабатываемый массив активных составов. Однако промышленную апробацию в основном получили способы для решения узкоспециализированных задач.

Для выполнения данного исследования были использованы следующие результаты. Обоснован тампонаж нарушений горных по-

род химически активными суспензиями, гелями, пастами [1, 2]. Рассмотрены особенности разделения (седиментации, водоотдачи) и фильтрации раствора на цементной основе, выявлены особенности режимов его плоскопараллельного течения по трещине с образованием зон осадкообразования и магистральных протоков (каналов) с пониженной концентрацией частиц. Отмечено, что при фильтрации ТС по трещине, в месте уменьшения её раскрытия (сужения), существует риск образования «пробки» из твердых частиц, что может привести к остановке потока. Рис. 1 иллюстрирует образование «пробки» при плоскопараллельном течении цементного раствора в месте уменьшения раскрытия трещины с 0,5 мм до 75 мкм [3, 4, 5].

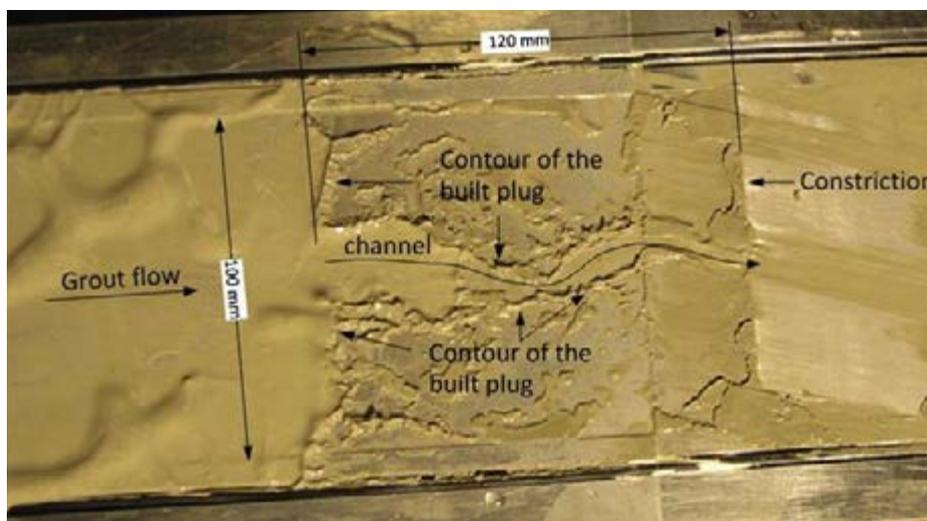


Рис. 1. Пример развития процесса фильтрации в месте сужения плоской трещины — сформировалось каналное течение слабоконцентрированной ТС между зонами уплотненных частиц цемента

Проблема устойчивости горных пород и снижения водопроницаемости в скважинах эффективно решена для широкого круга задач нефтегазодобычи и разведки месторождений полезных ископаемых [6, 7]. Фундаментальными практико-ориентированными работами в области стабилизации контура горных выработок и водопритока при строительстве и эксплуатации шахт широко известны Донецкая и Кузбасская школы тампонажа, развиваемые более 60 лет МакИСИ (ДонНАСА), ДонУГИ, Спецтампонажгеология, ОАО «КузНИИшахтострой», КузГТУ, Институтом угля ФИЦ УУХ СО РАН и др. Принци-

пиален подход, рассматривающий водо-твердые суспензии в виде гетерогенной системы, когда сжимаемостью фаз и силами инерции при ускорении материальных частиц можно пренебречь. Из анализа работ очевидно, что тампонаж проходит с неравномерным распределением ТС в трещине. В процессе фильтрационного течения ТС по длине трещин горных пород происходит повышение концентрации раствора за счет отфильтровывания жидкой фазы, в результате чего снижается его проникающая способность и дальность распространения [8, 9, 10, 11, 12]. Отмечается, что в результате седиментации твердых

частиц и отфильтровывания жидкой фазы по длине тампонируемой трещины происходит нелинейное изменение концентрации и структурно-реологических характеристик потока цементного раствора [13].

Несмотря на широту проработки вопросов, связанных с цементацией горных пород, до настоящего времени не решена задача комплексного управления физическим состоянием именно угольного пласта, как наиболее сложного по своим характеристикам объекта, обладающего высокой химической активностью нативной поверхности и плохой смачиваемостью, препятствующей фильтрации ТС по разнонаправленным трещинам.

Одним из первых положительных результатов, доказывающих возможность и эффективность тампонажа угольного пласта смесями на основе цементов и шлаков, является разработанная технология возведения изолирующих перемычек с окружающей тампонажной завесой. Технологические решения апробированы и внедрены в различных условиях более 30 шахт Кузбасса (Научно-производственная компания УГМ-Сервис, Кемерово при научном руководстве Института угля ФИЦ УУХ СО РАН) [14]. Также обоснованы процессы фильтрационного массопереноса нестабильных дисперсных сред в химически активных трещиновато-пористых средах на примере инъекционной локализации и дезактивации очагов самонагревания вскрытых угольных пластов. Предложены эффективные способы инъекционного тампонажа склонного к самовозгоранию угольного пласта с применением активных составов на основе цементов, шлаков и других минеральных наполнителей (научный проект № 20-45-420011 РФФИ и Кемеровской области-Кузбасса 2020–2022 гг.) [15, 16, 17].

Полученные результаты обосновывают целесообразность и необходимость проведения дальнейших исследований процессов фильтрации ТС в трещинах, направленных на повышение качества и технологичности инъекционного тампонажа нарушенных массивов горных пород.

*Задачи исследования:*

– разработать методику исследования фильтрационного течения технологических суспензий при заполнении трещин горных пород;

– провести качественный анализ основных режимов фильтрации цементного раствора с установлением зависимости между расходом и концентрацией потока в плоской искусственной трещине и трещине со стенкой, сформированной трещиновато-пористой средой угля.

#### **Методика исследования**

Для исследования особенностей процесса плоскопараллельного течения ТС разработан реологический стенд, работающий по принципу перепускного целевого вискозиметра. Стенд состоит из: подающей емкости 4, трещины 2, приемной емкости 1; шиберной заслонки 5, устройства фото/видео записи 3 и кюветы 6, заполненной образцами угля. Искусственная трещина состоит из двух параллельных стеклянных пластин с наведенной шероховатостью. При этом нижняя стеклянная пластина может быть заменена на кювету, заполненную образцами угля или породы (см. рис. 2, где  $L$  — длина модели трещины, м;  $H$  — ширина модели трещины, м;  $l$  — расстояние до центра выпускного отверстия (до конца модели трещины), м;  $\delta$  — ширина раскрытия трещины, м;  $h$  — высота столба ТС, м;  $S$  — длина кюветы, м;  $s$  — высота кюветы, м.

*Подготовка образцов угля.* Отобранные по марочному составу образцы угля подвергаются механическому дроблению с последующим рассевом на калиброванных ситах. Образцы промываются проточной водой для устранения пылеватых частиц. Нормализация влажности проводится на впитывающей салфетке.

*Подготовка образцов ТС.* В соответствии с заданным массовым водо-твердым соотношением подготавливают навески цемента. Испытываемый образец затворяют в необходимом количестве водопроводной воды. С помощью смесителя (1450 об/мин) раствор перемешивается в течение 2 минут. Объем полученного раствора не должен превышать объем подающей емкости.

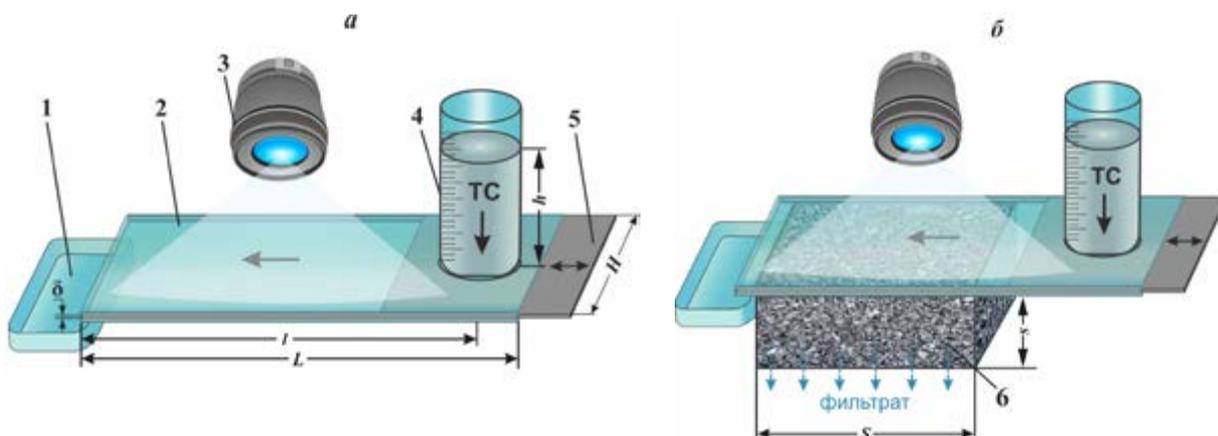


Рис. 2. Реологический стенд для исследования процесса движения потока ТС при фильтрационном течении через пространство трещины (а) и через трещину с кюветой, заполненной образцами угля (б): 1 — сливная емкость; 2 — модель трещины с наведенной шероховатостью; 3 — устройство фото/видео записи; 4 — подающая емкость; 5 — шиберная заслонка; 6 — кювета

**Порядок исследования.** Проводят осмотр трещины и шиберной заслонки. При наличии кюветы, в нее помещают необходимое количество образца угля с вибрационной укладкой частиц. В подающую емкость заливают заданное количество исследуемой ТС. Шиберная заслонка расположена в закрытом положении, при этом сообщение между подающей емкостью и трещиной отсутствует. Устройство записи фото/видео устанавливают в режим записи. После открывают шиберную заслонку для выпуска ТС с фиксацией времени и объема истечения. После истечения заданного объема ТС в принимающую емкость эксперимент останавливают и выполняют промывку стенда чистой водой.

**Обработка полученных данных.** Проводят качественный анализ фото и видео результата. Строят зависимость массового расхода от изменения массовой концентрации раствора  $\alpha$  при фиксированном объеме истечения. Далее рассчитывают линейную плотность потока раствора на единицу длины трещины  $\chi$ , кг/м:

$$\chi = \frac{M_{\text{ц}}}{V_{\text{р}}/S_{\text{тр}}} = \frac{\text{Ц}}{(\text{Ц}/\rho_{\text{ц}} + \text{В}/\rho_{\text{в}})/S_{\text{тр}}},$$

где  $M_{\text{ц}}$  — масса цемента в трещине, кг;  $V_{\text{р}}$  — объем раствора в трещине, м<sup>3</sup>;  $S_{\text{тр}}$  — площадь трещины, м<sup>2</sup>; Ц и В — относительное массовое содержание цемента и воды в растворе концентрацией  $\alpha = \text{Ц}:\text{В}$ ;  $\rho_{\text{ц}}$  и  $\rho_{\text{в}}$  — плотность соответственно цементной частицы и воды,  $\rho_{\text{ц}} = 3000 \text{ кг/м}^3$ ,  $\rho_{\text{в}} = 1000 \text{ кг/м}^3$ .

При анализе результатов исследований строят зависимость массового расхода по цементу  $Q_{\text{м}}$  (кг/с) от линейной плотности потока частиц цемента  $\chi$ . Ключевыми являются пиковые значения и точки перегиба графиков. Полученные зависимости позволяют оценить особенности фильтрационного плоскопараллельного течения ТС.

#### Исходные данные

В качестве образца для исследований использован уголь марки Д, размерной фракцией 1,0–1,25 мм. Для приготовления раствора использован шлакопортландцемент ЦЕМ II/A-Ш 32.5 Б (ООО «Топкинский цемент», г. Топки). Измерение массы воды и цемента осуществляли с помощью лабораторных весов М-ER 122ACFJR-300.005 с погрешностью измерения 5,0 мг. Стенд выполнен по следующим размерам:  $L = 0,27 \text{ м}$ ;  $H = 0,07 \text{ м}$ ;  $l = 0,23 \text{ м}$ ;  $S = 0,15 \text{ м}$ ;  $s = 0,03 \text{ м}$ ;  $\delta = 0,001 \text{ м}$  и  $h = 100 \text{ мм}$ . Объем подающей емкости составляет 500 мл. Начальное давление нагнетания составляло 100 Па. Объем естественного гидростатического истечения ТС составляет 300 мл при комнатной температуре 22 °С. Для записи фото/видео использована камера с разрешением 3840 × 2160 пикселей и частотой 60 кадров/с.

#### Результаты и анализ исследования

Полученные результаты исследований фильтрационного течения ТС через непроницаемую трещину и трещину с кюветой, заполненную образцами угля, представлены в табл. 1.

Таблица 1

Результаты исследований фильтрационного течения ТС

№	Ц/В, кг/кг	$\alpha$	$M_{ц}$ , кг	$\chi$ , кг/м	$Q_{m1}$ , кг/с	$Q_{m2}$ , кг/с	$t_1$ , с	$t_2$ , с
1	1/1	1	0,012	0,048	0,037	0,161	130	30
2	1/1,25	0,8	0,010	0,040	0,067	0,177	72	26
3	1/1,5	0,67	0,009	0,035	0,102	0,190	43	23
4	1/1,75	0,57	0,008	0,030	0,119	0,201	35	20
5	1/2	0,5	0,006	0,026	0,157	0,231	25	17

$\alpha$  — концентрация ТС;  $Q_{m1}$  и  $Q_{m2}$  — массовый расход ТС при течении через непроницаемую трещину и трещину с кюветой, соответственно, кг/с;  $t_1$  и  $t_2$  — время истечения ТС через непроницаемую трещину и трещину с кюветой, соответственно, с.

На основании полученных результатов построены графики зависимости между концентрацией ТС  $\alpha$  и временем её истечения  $t$  (рис. 3), а также массовым расходом  $Q_m$  и концентрацией ТС  $\alpha$  при фильтрации через плоскую непроницаемую трещину и трещину с кюветой, заполненной образцами угля (рис. 4). Итоговая зависимость массового расхода по цементу  $Q_m$  (кг/с) от линейной плотности потока частиц цемента  $\chi$  представлена

на рис. 5. На рис. 6–11 представлены изображения фильтрационного течения ТС при соотношении Ц/В = 1/1, 1/1,5 и 1/2, полученные в результате эксперимента.

При течении ТС через трещину с кюветой, заполненной образцами угля, расход раствора увеличивается на этапе заполнения порового пространства с дальнейшим отфильтровыванием и истечением жидкой фазы.

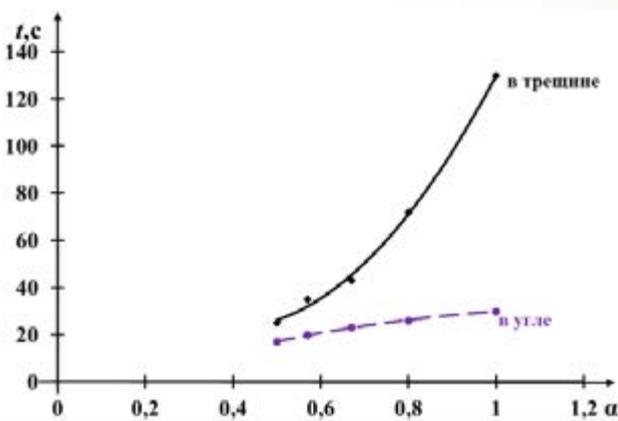


Рис. 3. Зависимость между концентрацией ТС  $\alpha$  и временем её истечения при фильтрации через плоскую непроницаемую трещину и трещину с кюветой, заполненную образцами угля

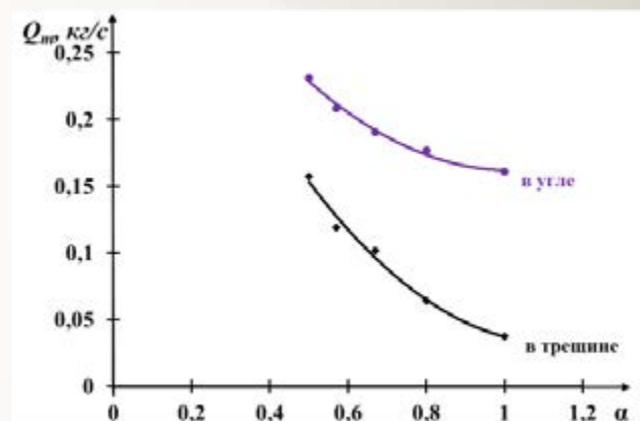


Рис. 4. Зависимость массового расхода  $Q_m$  от концентрации ТС  $\alpha$  при фильтрации через плоскую непроницаемую трещину и трещину с кюветой, заполненной образцами угля

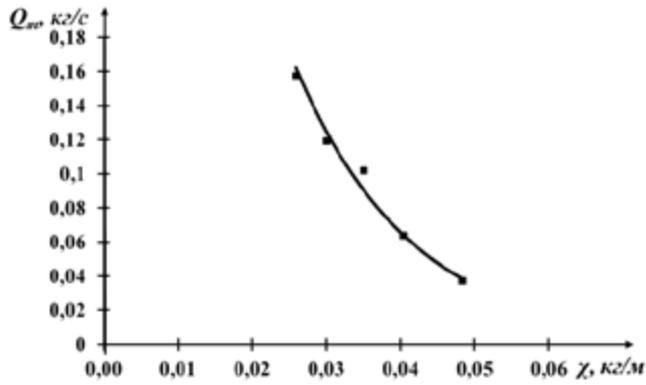


Рис. 5. Зависимость массового расхода  $Q_m$  от линейной плотности потока частиц  $\chi$  при фильтрации через плоскую непроницаемую трещину

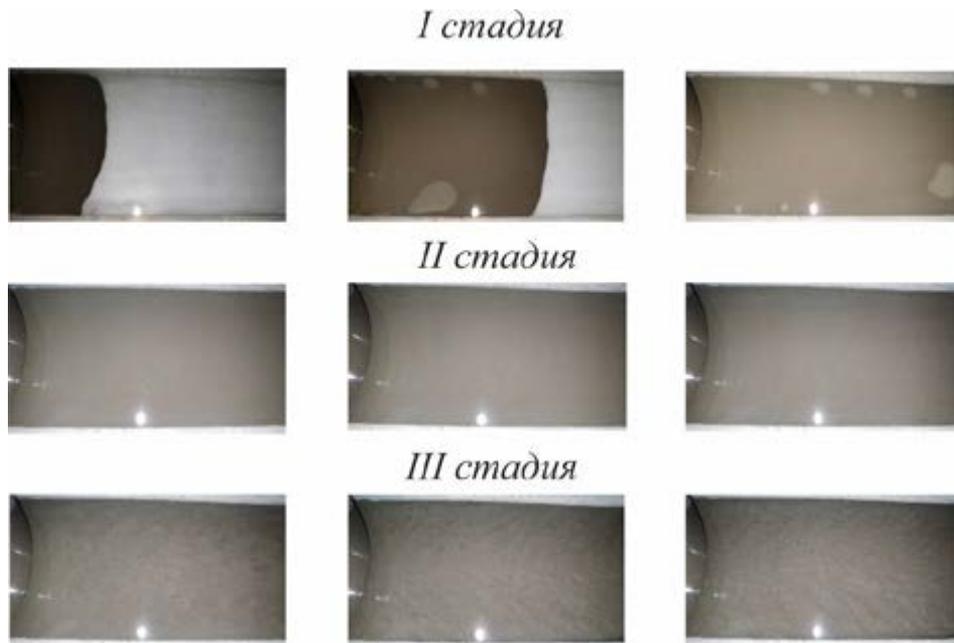


Рис. 6. Фотоизображения выявленных стадий течения ТС в плоской трещине при исходной концентрации Ц/В = 1/1

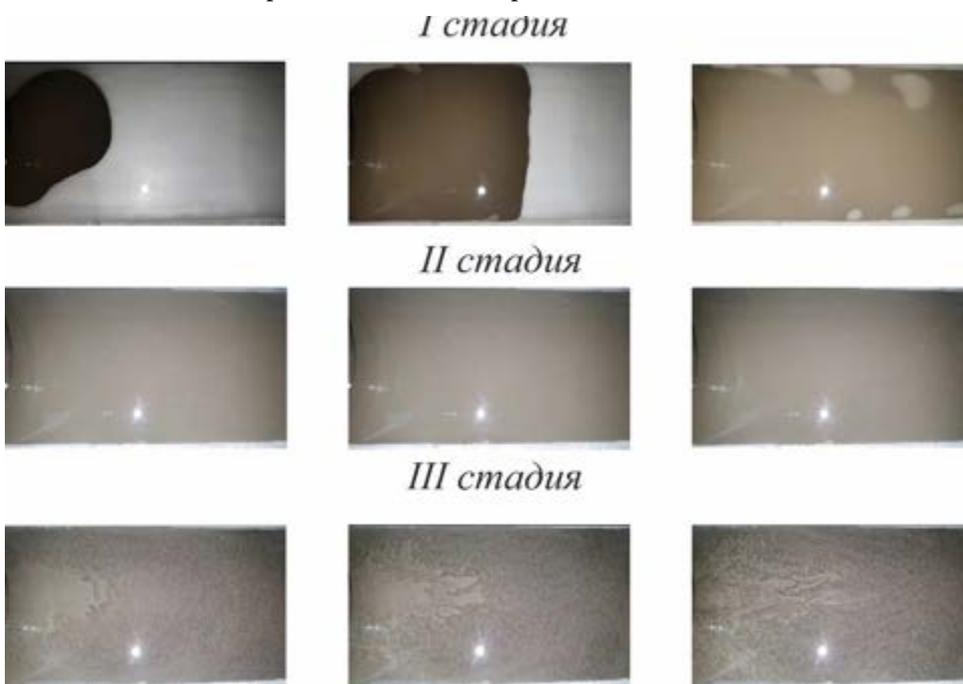


Рис. 7. Фотоизображения выявленных стадий течения ТС в плоской трещине при исходной концентрации Ц/В = 1/1,5

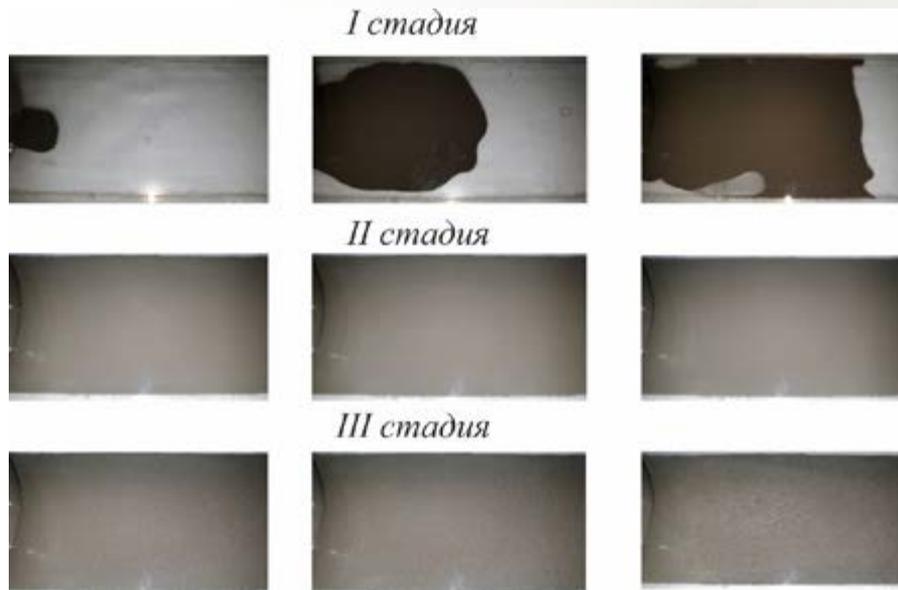


Рис. 8. Фотоизображения выявленных стадий течения ТС в плоской трещине при исходной концентрации Ц/В = 1/2

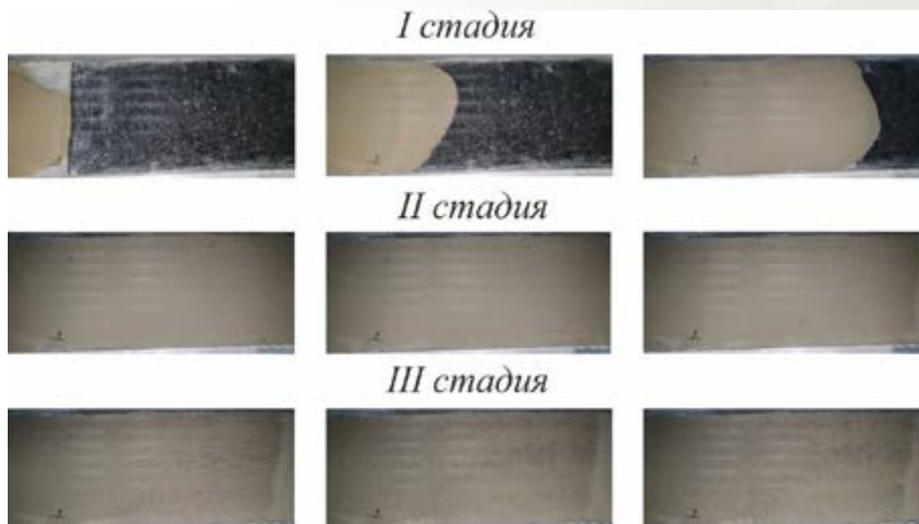


Рис. 9. Фотоизображения выявленных стадий течения ТС через трещину с кюветой, заполненную образцами угля при исходной концентрации Ц/В = 1/1



Рис. 10. Фотоизображения выявленных стадий течения ТС через трещину с кюветой, заполненной образцами угля при исходной концентрации Ц/В = 1/1,5

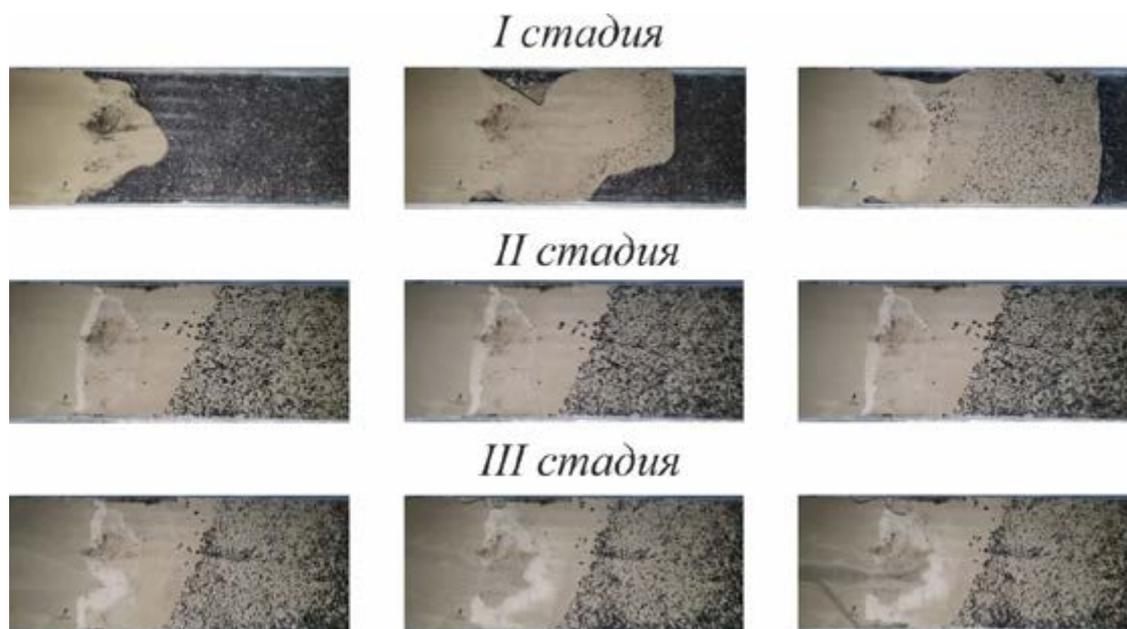


Рис. 11. Фотоизображения выявленных стадий течения ТС через трещину с кюветой, заполненной образцами угля при исходной концентрации Ц/В = 1/2

Качественный анализ фото и видеоматериала позволил выявить 3 стадии формирования течения со скоростью  $v$  по трещине, зависящие от концентрации ТС и критической безосадочной скорости гидротранспортирования частиц в потоке  $v_{кр}$ :

*I стадия* — выход на установившийся режим течения — начало заполнения трещины, фронт движения неоднородный;

*II стадия* — установившееся течение ( $v \geq v_{кр}$ ) — условно однородное течение ТС с выраженным ядром потока;

*III стадия* — седиментирующее течение ( $v < v_{кр}$ ) при снижении давления нагнетания (в примере лабораторных исследований) снижается скорость потока до значений, меньших  $v_{кр}$ . Далее преобладает процесс седиментации и отфильтровывания жидкой фазы раствора в потоке, где более крупные частицы создают локальные сопротивления с формированием островных локаций повышенной плотности частиц цемента. Островные локации имеют более плотную упаковку частиц цемента, что приводит к их дополнительной водоотдаче с формированием каналов в потоке ТС. Магистральный поток ТС начинает ветвиться в плоскости трещины. Явление структурирования ТС с самоорганизацией русловых

потоков при пониженной концентрации частиц в итоге приводит к общей плотностной анизотропии на последних стадиях тампонажа трещин.

## ВЫВОДЫ:

1. Разработана методика исследования фильтрационного течения водо-твердых технологических суспензий при заполнении плоских горизонтальных трещин. Данная методика позволяет оценить качественные и количественные характеристики при фильтрационном плоскопараллельном течении ТС, моделирующей поведение трещины в массиве горных пород.

2. Установлена нелинейная зависимость изменения массового расхода по цементу от линейной плотности потока частиц цемента при фильтрационном течении ТС в пространстве плоской трещины.

3. Выявлено качественное различие в процессах фильтрационного течения ТС по плоской горизонтальной трещине с явным выделением трех основных стадий, а также особенностей распространения ТС при наличии пористого блока угля. Выделение указанных режимов течения поможет обосновать

рациональные технологические параметры инъекционного тампонажа трещин горных пород современными ТС с заданными характеристиками.

4. При снижении скорости фильтрации ТС до значений менее  $v_{кр}$  активно проявляется седиментация цементных частиц, сопровождаемая более активным массопереносом более мелкой фракции. Тем самым, обеспечивается частичное уплотнение структуры цементного раствора за счет процессов мас-

сопереноса при микрофильтрации. Соответственно, для повышения качества заполнения трещин ТС при инъекционном тампонаже краевой части пласта нагнетательные скважины рекомендуется выдерживать под давлением нагнетания не менее 5 минут для микрофильтрации и не более 30 минут от начала процесса схватывания с потерей подвижности цементных частиц. Указанное приводит к более равномерному распределению частиц цемента в объеме трещины.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Qin B., Ma B., Li F., Li Y. Aqueous clay suspensions stabilized by alginate fluid gels for coal spontaneous combustion prevention and control // *Environmental Science and Pollution Research*. 2017. Vol. 24. P. 24657–24665.
2. Stevenson F.J. *Humus Chemistry: Genesis, Composition, Reactions*. New York: John Wiley&Sons, 1994. 443 p.
3. Draganovic A. Bleeding and filtration of cement-based grout / Doctoral thesis. Division of soil and rock mechanics. Department of civil and architectural engineering // Royal institute of technology (KTH). Stockholm, 2009. 188 p.
4. Draganovic A. Separations-och filtreringsstabilitet hos cementbaserat injekteringsbruk / Licentiatavhandling. Avdelningen för Jordoch Bergmekanik. Institutionen för Byggetenskap // Kungliga Tekniska Högskolan. Stockholm, 2007. 177 p.
5. Hosseini R., Yalta S. Application of Dynamic Grouting to Improve the Grout Spread Using Varying Aperture Long Slot (VALS). An experimental study / Master of Science thesis. Degree project in soil and rock mechanic // Royal Institute of Technology (KTH). Stockholm, 2018. 73 p.
6. Зварыгин В.И. Тампонажные смеси: учеб. пособие. Красноярск, 2014. 216 с.
7. Булатов А.И., Измайлов Л.П., Крылов В.И. и др. Справочник по креплению нефтяных и газовых скважин. М., 1981. 240 с.
8. Заславский И.Ю., Компанец В.Ф., Файвищенко А.Г., Клещенков В.М. Повышение устойчивости подготовительных выработок угольных шахт. М., 1991. 235 с.
9. Заславский Ю.З., Лопухин Е.А., Дружко Е.Б., Качан И.В. Инъекционное упрочнение горных пород. М., 1984.
10. Комплексный метод тампонажа при строительстве шахт. Днепропетровск, 2004. 367 с.
11. Хямяляйнен В.В., Бурков Ю.В., Сыркин П.С. Формирование цементационных завес вокруг капитальных горных выработок. М., 1994. 400 с.
12. Бурков Ю.В., Хямяляйнен В.А., Франкевич Г.С. Комбинированные инъекционные крепи // РАЕН. Кемерово, 1999. 298 с.
13. Майоров А.Е., Хямяляйнен В.В. Консолидирующее крепление горных выработок. Новосибирск: СО РАН, 2009. 258 с.
14. Нургалиев Е.И. Обоснование и разработка технологии изоляции пластовых выработок безврубовыми монолитными перемышками с одновременным возведением тампонажных завес: дисс. канд. техн. наук по специальности 25.00.22 – Геотехнология (подземная, открытая и строительная) // Нургалиев Евгений Илдарович. Кемерово, 2020. 311 с.
15. Семенова С.А., Патраков Ю.Ф., Майоров А.Е. Окисление углей в пластах и методы оценки склонности углей к окислению и самовозгоранию. Обзор // *Кокс и химия*. 2020. № 5. С. 12–21.

16. Майоров А.Е., Патраков Ю.Ф., Семенова С.А. и др. Обоснование актуальности инъекционной локализации и дезактивации эндогенного самовозгорания угольных пластов // Научные технологии разработки и использования минеральных ресурсов. 2020. № 6. С. 324–330.

17. Майоров А.Е., Патраков Ю.Ф., Семенова С.А. и др. Обоснование применения технологических шлаковых суспензий для инъекционной локализации участков самонагрева угольного пласта // Рациональное освоение недр. 2022. № 1(63). С. 52–57.

---

**DOI: 10.25558/VOSTNII.2023.22.84.001**

**UDC 622.257.122**

© D.P. Kulik, A.E. Mayorov, 2023

**D.P. KULIK**

Leading Engineer, Graduate Student

Federal Research Center for Coal and Coal Chemistry, Kemerovo

**A.E. MAYOROV**

Doctor of Engineering Sciences,

Professor of the Russian Academy of Sciences,

Head of the Laboratory

Federal Research Center for Coal and Coal Chemistry, Kemerovo

professor

KuzSTU, Kemerovo

**FEATURES OF INJECTION CEMENTATION OF HORIZONTAL FRACTURES FOR COAL SEAM ISOLATION**

*Features of formation of plane-parallel flow during injection plugging of cracks by active process suspensions (TS) based on cements are disclosed in order to more effectively control physical condition of edge part of coal seam (marginal zones of sides of sections or mine workings of mines). Three main flow modes related to flow rate and sedimentation of polydispersed cement particles were identified on the model of artificial horizontal fracture. A quantitative nonlinear relationship between the mass flow rate and the concentration of cement particles in the stream has been established, an approach has been proposed to assess the rheological characteristics and processes of the TC flow in order to improve the quality of grouting of the coal seam.*

Keywords: MINING, COAL, CRACK, GROUTING, PROCESS SUSPENSIONS, PERMEABILITY, FILTRATION, FORMATION ISOLATION.

**REFERENCES**

1. Qin B., Ma B., Li F., Li Y. Aqueous clay suspensions stabilized by alginate fluid gels for coal spontaneous combustion prevention and control // Environmental Science and Pollution Research. 2017. Vol. 24. P. 24657–24665.

2. Stevenson F.J. Humus Chemistry: Genesis, Composition, Reactions. New York: John Wiley&Sons, 1994. 443 p.

3. Draganovic A. Bleeding and filtration of cement-based grout / Doctoral thesis. Division of soil and rock mechanics. Department of civil and architectural engineering // Royal institute of technology (KTH). Stockholm, 2009. 188 p.

4. Draganovic A. Separations-och filtreringsstabilitet hos cementbaserat injekteringsbruk /

Licentiatavhandling. Avdelningen för Jordoch Bergmekanik. Institutionen för Bygghälsa // Kungliga Tekniska Högskolan. Stockholm, 2007. 177 p.

5. Hosseini R., Yalta S. Application of Dynamic Grouting to Improve the Grout Spread Using Varying Aperture Long Slot (VALS). An experimental study / Master of Science thesis. Degree project in soil and rock mechanics // Royal Institute of Technology (KTH). Stockholm, 2018. 73 p.

6. Zvarygin V.I. Grouting mixtures: textbook. Stipend. Krasnoyarsk, 2014. 216 p. [In Russ.].

7. Bulatov A.I., Izmailov L.P., Krylov V.I., etc. Handbook on fixing oil and gas wells. M., 1981. 240 p. [In Russ.].

8. Zaslavsky I.Yu., Companets V.F., Fayvishenko A.G., Kleshchenkov V.M. Increasing the stability of preparatory workings of coal mines. M., 1991. 235 p. [In Russ.].

9. Zaslavsky Yu.Z., Lopukhin E.A., Druzhko E.B., Kachan I.V. Injection hardening of rocks. M., 1984. [In Russ.].

10. A complex method of grouting in the construction of mines. Dnepropetrovsk, 2004. 367 p. [In Russ.].

11. Khamalyainen V.V., Burkov Yu.V., Syrkin P.S. Formation of cementation curtains around capital mine workings. M., 1994. 400 p. [In Russ.].

12. Burkov Yu.V., Khamalyainen V.A., Frankevich G.S. Combined injection supports // RAEN. Kemerovo, 1999. 298 p. [In Russ.].

13. Majorov A.E., Khamalyainen V.V. Consolidating fastening of mine workings. Novosibirsk: SB RAS, 2009. 258 p. [In Russ.].

14. Nurgaliev E.I. Substantiation and development of technology for isolation of reservoir workings by pipe-less monolithic lintels with simultaneous construction of grouting curtains: dissertation of Candidate of Technical Sciences in specialty 25.00.22 – Geotechnology (underground, open and construction) // Nurgaliev Evgeny Ildarovich. Kemerovo, 2020. 311 p. [In Russ.].

15. Semenova S.A., Patrakov Yu.F., Mayorov A.E. Oxidation of coals in formations and methods for assessing the propensity of coals to oxidation and spontaneous combustion. Review // Coke and chemistry [Koks i himiya]. 2020. No. 5. P. 12–21. [In Russ.].

16. Mayorov A.E., Patrakov Yu.F., Semenova S.A., etc. Substantiation of the relevance of injectable localization and decontamination of endogenous spontaneous combustion of coal seams // High-tech technologies for the development and use of mineral resources. 2020. No. 6. P. 324–330. [In Russ.].

17. Mayorov A.E., Patrakov Yu.F., Semenova S.A., etc. Justification of the use of technological slag suspensions for injection localization of coal seam self-heating sites // Rational development of the subsoil. 2022. No. 1 (63). P. 52–57. [In Russ.].