

**УДК 622.83:681.58:681.32**

Елкин Иван Сергеевич, доцент, к.т.н.  
(КузГТУ, г. Кемерово)

Ушаков Александр Евгеньевич, студент  
(КузГТУ, г. Кемерово)

Elkin Ivan Sergeevich, associate professor, candidate of engineering  
sciences

(KuzSTU, Kemerovo)

Ushacov Aleksandr Evgenevich, student  
(KuzSTU, Kemerovo)

## **ВЛИЯНИЕ КОЛЬМАТАЦИИ НА ФИЛЬТРАЦИОННЫЕ ПРОЦЕССЫ В УГОЛЬНОМ МАССИВЕ**

## **THE EFFECT OF COLMATATION ON FILTRATION PROCESSES IN THE COAL MASSIF**

### **Аннотация**

Представлены результаты исследований на разработанном экспериментальном лабораторном комплексе по исследованию фильтрационных процессов в дисперсных средах, каменных углях, горных породах, исследованию влияния ПАВ на фильтрацию в каменных углях. Показано различие между кольматацией и набуханием при фильтрации. Показана взаимосвязь между прочностными свойствами и фильтрационными свойствами горной породы.

### **Annotation**

The results of research on the developed experimental laboratory complex for the study of filtration processes in dispersed media, hard coals, rocks, and the study of the effect of surfactants on filtration in hard coals are presented. The difference between colmatation and swelling during filtration is shown. The relationship between strength properties and filtration properties of rock is shown.

**Ключевые слова:** уголь, фракция, фильтрация, смачивание, увлажнение, поверхностно-активные вещества, кольматант, дисперсная среда, кольматация.

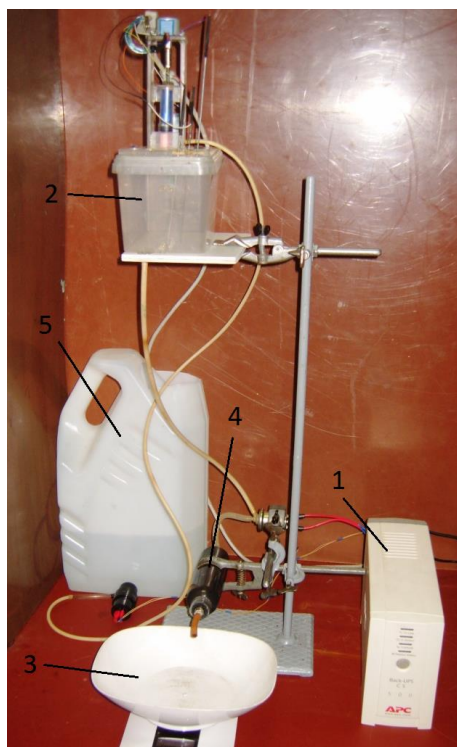
**Key words:** coal, fraction, filtration, wetting, wetting, surfactants, colmatant, dispersed medium, colmatation.

Управление состоянием угольного массива, напряжениями в краевой части угольного массива для обеспечения безопасности горных работ при разработке угольных месторождений возможно путем нагнетания газожидкостного флюида и управления массопереносом [1]. При рассмотрении процессов массопереноса в угольном массиве большое внимание уделяется состоянию массива горных пород, условиям нахождения массива, состав дисперсной среды. Как показывает практика предварительного увлажнения, наряду с фильтрационными процессами наблюдается снижение проницаемости массива вследствие межфазных взаимодействий на границе раздела, набухания, а также протекание процессов коагуляции [2].

Нами проведены исследования на разработанной лабораторной установке [3].

На рис. 1 представлен общий вид разработанной установки на платформе Atmega328 для проведения исследований. Управление и контроль процесса фильтрации (управление элементами, сервоприводами установки) осуществлялось с использованием разработанного программного обеспечения на C++ [4, 5]. Основные конструктивные элементы установки имеют определенные оптимальные параметры в целях повышения точности при измерении параметров фильтрации, что позволяет установить особенности фильтрации в той или иной пористой среде.

Проведенные исследования на лабораторной установке показали зависимость скорости фильтрации воды от наличия свободных или слабосвязанных частиц со скелетом в угольном фильтрате, количества (концентрация) микрочастиц в дисперсной среде, создающей капиллярно-пористое тело.



*Рис. 1. Лабораторный комплекс для исследования фильтрационных процессов в дисперсионных средах: 1 – блок контроля и управления; 2 – емкость с исследуемой жидкостью; 3 – емкость для сбора профильтровавшей жидкости; 4 – капсула с исследуемой горной породой, дисперсной средой; 5 – емкость для воды*

Как показывает опыт, если массив сложен из крепких пород, крупных частиц с коэффициентом крепости более 2,0–3,0 по шкале проф. М. М. Протоdjаконова и коэффициентом проницаемости более 20 Д (Дарси), фильтрация не изменяется в течение продолжительного времени. Соответственно, не изменяется коэффициент проницаемости (фильтрации). Это было показано при фильтрации воды в дисперсной среде, состоящей из частиц угля фракции 5–7 мм и более. Отрыв частиц и их перемещение внутри порового пространства при слабонапорной фильтрации происходит крайне редко и, соответственно, в этом случае не существенно влияет на изменение скорости фильтрации. Но когматация может активизироваться вследствие каких-либо механических изменений в поровом пространстве (изменение геометрических параметров капилляров) под влиянием изменения внешних механических напряжений или динамических процессов, оказывающих влияние на состояние дисперсной среды.

Другими сопутствующими факторами являются смачиваемость жидкости, форма частиц, геометрия порового пространства.

Совершенно по-другому представляется картина фильтрации воды в дисперсной среде, состоящей из частиц менее 3–5 мм. Фильтрация в этом случае крайне неустойчивая, коэффициент проницаемости изменяется с течением времени. Если скелетом капиллярно-пористого тела является при этом уголь, то дополнительными факторами являются смачиваемость углей, физико-химические свойства взаимодействующих фаз.

В любом случае существенными факторами при рассмотрении процесса фильтрации являются давление жидкости, как источник сил, приводящих к активации движения, смещения частиц внутри порового пространства и закупоривания фильтрующих пор, и скорость фильтрации жидкости.

При описании кольтматации целесообразно рассматривать несколько последовательно протекающих процессов: отрыв мелких частиц от скелета капиллярно-пористой среды; перемещение частиц вместе с потоком жидкости; закупоривание фильтрующих капилляров, снижение скорости фильтрации.

На рис. 2 представлены зависимости изменения расхода жидкости от времени при фильтрации воды для различных дисперсных сред, полученных из различных фракций угля.

Изменение расхода описывается экспоненциальной зависимостью вида:

$$Q = Q_0(1 - \alpha \exp(\beta t)),$$

где  $\alpha$ ,  $\beta$  – постоянные.

Соответственно, изменение расхода жидкости определяется вследствие изменения проницаемости капиллярно-пористой среды. Таким образом, коэффициент проницаемости также будет изменяться по экспоненциальному закону.

Дисперсные частицы твердой фазы образуют каркас, скелет капиллярно-пористого тела.

Существенно важным отличием процесса закупоривания фильтрующих капилляров путем кольтматации от набухания является способ активации фильтрации, способ повышения скорости фильтрации или проницаемости капиллярно-пористого тела, зависимости фильтрации от влажности дисперсионной среды.

В первом случае скорость фильтрации зависит от соотношения между эффективным диаметром капилляров и диаметром частиц кольтматанта  $\frac{d_k}{d_{\text{ч}}}$ , соотношения сил сцепления частиц с твердой фазой и

напорного давления  $\frac{F_{\text{сцеп}}}{F_{\text{напр}}}$ , где  $F_{\text{напр}} = pS$ ;  $p$  – давление жидкости в

капилляре;  $S$  – сечение капилляра. Тем самым указывается на существенное влияние напорного давления на процесс кольтатации. В первом приближении это соотношение можно определить через отношение плотности частиц кольтатанта к плотности жидкости  $\frac{\rho_{\text{ч}}}{\rho_{\text{ж}}}$ .

Таким образом, можно спрогнозировать снижение скорости фильтрации при кольтатации капилляров на основе лабораторных исследований и расчетов по модели фильтрации.

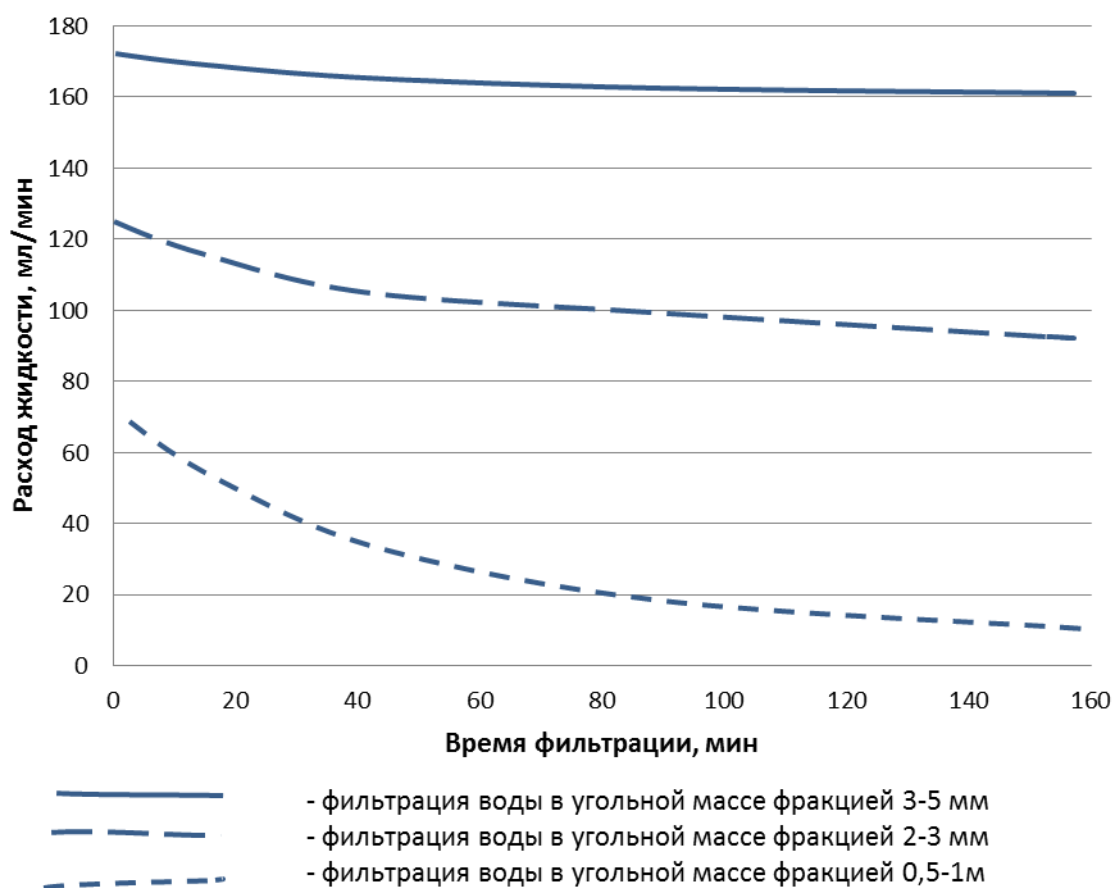


Рис. 2. Изменение расхода жидкости в капиллярно-пористой дисперсной среде в зависимости от времени фильтрации при кольтатации

### Список литературы

1. Чернов, О. И. Подготовка шахтных полей с газовыбросоопасными пластами / О. И. Чернов, Е. С. Розанцев. – Москва : Недра, 1975. – 287 с.
2. Елкин, И. С. Повышение эффективности низконапорного увлажнения угольных пластов / И. С. Елкин, В. В. Дырдин, В. Н. Михайлов. – Кемерово: Кузбассвуиздат, 2001. – 100 с.

3. Елкин И. С. Разработка лабораторной установки для исследования фильтрации раствора ПАВ в угле / И. С. Елкин, А. Е. Ушаков, С. В. Кибко // X Всероссийская научно-практическая конференция молодых ученых «Россия молодая» / 24–27 апреля 2018 г. <https://science.kuzstu.ru/wp-content/Events/Conference/RM/2018/RM18/pages/Articles/75106-.pdf>.
4. Автоматизация лабораторного эксперимента: учебное пособие по курсу «Автоматизированные системы научных исследований» / С. И. Ковалев, Е. В. Свиридов, А. В. Устинов ; ред. Г. Ф. Филаретов ; МЭИ ТУ . – Москва : Изд-во МЭИ, 1999 . – 40 с.
5. Основы автоматизации эксперимента. Лабораторный практикум: учебно-методическое пособие / А. Е. Герман. – Гродно: ГрГУ, 2004. – 150 с.