

**УДК 622.83:681.58:681.32**

Елкин Иван Сергеевич, доцент, к.т.н.  
Ушаков Александр Евгеньевич, студ. гр. МСб-171, II курс  
Кибко Станислав Вячеславович, студ. гр. МТб-171, II курс  
(КузГТУ, г. Кемерово)

Ivan S. Elkin, candidate of technical Sciences, associate Professor  
Alexander E. Ushakov, student, II course  
Stanislav V. Kibko, student, II course  
(KuzSTU, Kemerovo)

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ОСОБЕННОСТЕЙ ФИЛЬТРАЦИИ ЖИДКОСТИ В РАЗЛИЧНЫХ ФРАКЦИЯХ УГЛЯ**

### **STUDY OF THE PECULIARITIES OF FLUID FILTRATION IN VARIOUS COAL FRACTIONS**

**Аннотация.** Представлены результаты исследований по фильтрации жидкости в углях различных фракций на разработанном лабораторном комплексе. Разработанный автоматизированный лабораторный комплекс позволяет исследовать особенности процессов фильтрации в каменных углях. Показано, что на процесс фильтрации в углях существенную роль играют процесс смачивания, межфазные взаимодействия на границе раздела уголь-жидкость-газ, колматационные процессы.

**Annotation.** The results of studies on the filtration of surfactant solutions in coals of different fractions on the developed laboratory complex for the study of the influence of surfactants on filtration in coal are presented. The developed automated laboratory complex allows to investigate the peculiarities of filtration processes in coal. It is shown that the filtration process in coal plays an important role wetting processes, interfacial interactions at the interface between coal-liquid-gas, colmatation processes.

**Ключевые слова:** уголь, массоперенос, фильтрация, закупоривание пор, смачивание, увлажнение, поверхностно-активные вещества, колматация.

**Keywords:** coal, fraction, filtration, wetting, moistening, surfactants, colmatation.

При подготовке к проведению горных работ актуальным вопросом становится управление массопереносом в угольном массиве и его краевой

части в целях изменения напряженного состояния, управления газовыделением, газодинамическим состоянием в краевой части угольного массива [1]. В связи, с чем актуальным является исследование массопереноса в угольном массиве, управление фильтрационными свойствами угля, управление свойствами нагнетающей жидкости, например, используя поверхностно-активные вещества (ПАВ).

Основные проблемы, связанные с изучением фильтрационных процессов в каменных углях, следуют из сложности его структуры, сложности капиллярно-пористой системы угля, физических и химических свойств угля. Структурные и физико-химические свойства угля предопределяет неустойчивость фильтрации во времени, проявляющаяся в существенной зависимости расхода от времени фильтрации, циклов нагнетания, давления, изменения структуры вследствие изменения напряженного состояния и протекания межфазных взаимодействий в угле при фильтрации [2].

Для описания процессов фильтрации в пористой среде обычно используют уравнение Дарси имеющее вид

$$Q = k_{\phi} \frac{\Delta H}{\Delta x} s,$$

где  $s$  - площадь сечения, через которую протекает фильтрация;  $k_{\phi} = \frac{\rho}{\eta} k_{\text{пр}}$

- коэффициент фильтрации;  $\eta$  - динамический коэффициент вязкости;  $\frac{\Delta H}{\Delta x}$

- градиент гидростатического напора жидкости.

Основной характеристикой, описывающей фильтрационные свойства капиллярно-пористого тела, является коэффициент проницаемости  $k_{\text{пр}}$ . Изучение этого показателя в зависимости от условий представляет основной интерес в данных исследованиях.

Характерной особенностью фильтрации жидкости в углях малых фракций 0 – 5 мм является неустойчивость соотношения между напором и расходом жидкости вследствие протекания одновременно множества процессов и явлений: межфазных взаимодействий на границе раздела фаз. Существенным фактором, оказывающим влияние на взаимодействие фаз становится смачивание поверхности твердого тела жидкостью, определяемая смачиваемостью  $\sigma \cos \Theta$ , где  $\Theta$  – краевой угол смачивания,  $\sigma$  – коэффициент поверхностного натяжения жидкости [2]. Это влияние оказывается существенным при изучении фильтрации в угольном массиве и требует более подробного изучения в лабораторных условиях на естественных образцах материалов и на моделях.

Для подробных исследований нами была разработана лабораторная установка. Особенностью установки является максимальная автоматизация проведения экспериментальных опытов [3, 4]. Основа для управления элементами установки использована платформа Atmega328, а также разрабо-

тальное программное обеспечение на языке программирования C++ для управления элементами, сервоприводами установки и считывания данных с датчиков. При разработке исследовательской установки были сконструированы и изготовлены: жидкостный электромеханический клапан, датчик уровня жидкости для смесительной емкости и дозатор ПАВ и др. элементы. Разработанный дозатор ПАВ на основе шагового 4-х фазного двигателя типа 28BYJ-48-5V с платой управления ULN2003 позволяет дозировать смачиватель с минимальной массой около 0,01г [4].

Объем профильтровавшей жидкости через исследуемую капсулу с углем определяется датчиками уровней жидкости в смесительной ёмкости. Основным измеряемым параметром при фильтрации на установке является время фильтрации, при заданных других постоянных: напор жидкости, геометрические параметры объекта исследования. Измеренные величины передавались на компьютер. Затем данные экспорттировались в таблицы Excel, где обрабатывались, строились графические зависимости параметров фильтрации от концентрации ПАВ в растворе, например.

Особенностью данной установки является использование в конструкции постоянного гидростатического давления с постоянным напорным давлением, что позволяет повысить точность в исследованиях, достичь независимость от технических характеристик насосных установок [5].

На рис. 1 приведены результаты исследований по фильтрации растворов ПАВ на разработанной лабораторной установке для углей различных фракций марки К пласта XXVI ш. Березовская. Показано, что размер фракции оказывает существенное влияние на характер фильтрации. В качестве ПАВ использовался смачиватель «Неолас», используемый на угольных предприятиях для борьбы с пылью. «Неолас» – хорошо растворимая жидкость, бесцветная, не имеющая резкого запаха. Коэффициент вязкости составляет при температуре 20 °С около 0,21 мПа·с

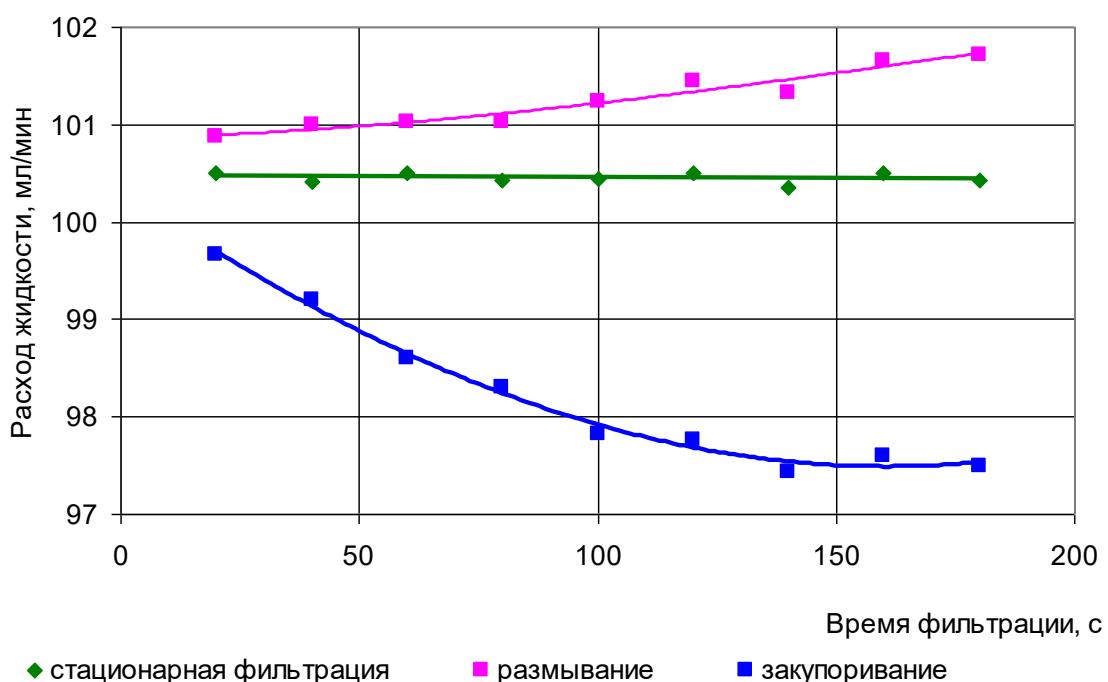


Рис. 1. Зависимость расхода жидкости от времени фильтрации

Нестационарный характер фильтрации зависит от размера фракции угля, свойств жидкости, капиллярно-пористой структуры угля.

Особенностью фильтрации воды в угольной фракции является подвижность твердой фазы, частиц угля, что приводит к механическому закупориванию фильтрующих пор, кольматации фильтрующих пор твердыми частицами, переносимые потоками жидкости.

Вместе с потоком жидкости одновременно происходит перенос твердой фазы, мельчайших угольных частиц. При слабонапорной фильтрации кольматация принимает существенное влияние на процесс фильтрации. Фильтрация в угольных фракциях имеет крайне нестационарный характер. Основными наблюдаемыми явлениями и причинами неустойчивости картины фильтрации являются

- 1) межфазные взаимодействия на границе уголь-жидкость-газ;
- 2) кольматация фильтрующих капилляров.

Особенностью влияния межфазных взаимодействий является протекание диффузных процессов на границе раздела, которые приводят к изменению краевого угла смачивания с течением времени, что оказывает влияние на фильтрацию.

Таким образом, при фильтрации жидкости в горных породах с низким коэффициентом прочности наблюдаются более интенсивные кольматационные процессы в виде снижения расхода жидкости с течением времени вследствие смещения твердых частиц и закупоривания фильтрующих пор. Существенным фактором здесь является способность твердых частиц к перемещению под действием фильтрационного потока жидкости.

### **Список литературы**

1. Чернов О. И. Подготовка шахтных полей с газовыбороноопасными пластами / О. И. Чернов, Е. С. Розанцев. – М. : Недра, 1975. – 287 с.
2. Адамсон А. Физическая химия поверхностей / А. Адамсон. – М. : Мир, 1979. – 568 с.
3. Автоматизация лабораторного эксперимента: Учебное пособие / С. И. Ковалев, Е. В. Свиридов, А. В. Устинов; Ред. Г. Ф. Филаретов; МЭИТУ. – М. : Изд-во МЭИ, 1999 . – 40 с.
4. Елкин И.С., Ушаков А.Е., Кибко С.В. Разработка лабораторной установки для исследования фильтрации раствора ПАВ в угле. / В сборнике: сборник материалов X Всероссийской, научно-практической конференции молодых ученых с международным участием «Россия молодая». – Кемерово, 2018. С. 75106.1-75106.4.
5. Ушаков А.Е., Шихалиева М.А. Исследование влияния ПАВ на эффективность нагнетающих насосных установок. / В сборнике: сборник материалов X Всероссийской, научно-практической конференции молодых ученых с международным участием «Россия молодая» 2018. с. 10810.1-10810.3.