

УДК 622.83:681.58:681.32

## ИЗУЧЕНИЕ ОСОБЕННОСТЕЙ ФИЛЬТРАЦИИ ЖИДКОСТИ В КАПИЛЛЯРНО-ПОРИСТЫХ СРЕДАХ

Елкин Иван Сергеевич, к.т.н., доцент  
Ушаков А. Е., студент гр. МСб-171, II курс

Кузбасский государственный технический университет  
имени Т.Ф. Горбачева,  
г. Кемерово

**Аннотация.** Представлены результаты исследований по фильтрации воды в углях различных фракций на разработанном автоматизированном лабораторном комплексе. Разработанный автоматизированный лабораторный комплекс позволяет исследовать особенности процессов фильтрации в каменных углях. А также особенности процессов закупоривания пор и влияния смачивателей на активизацию процессов фильтрации. Показано, что на процесс фильтрации в углях существенную роль играют процесс смачивания, межфазные взаимодействия на границе раздела уголь-жидкость-газ, кольматация.

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

При проведении горных работ актуальным вопросом становится управление массопереносом в угольном пласте в целях изменения напряженного состояния в краевой части угольного массива, управления газовыделением, газодинамическим состоянием в краевой части угольного массива [1], [2], [3]. В связи, с чем актуальным является исследование фильтрационных свойств угля, изменение и управление его свойствами путем применения поверхностно-активных веществ (ПАВ).

В начале XXI века наблюдается интенсивное развитие информационных технологий, активная разработка и применение автоматических систем управления технических процессов. Применение таких технических решений нашло широкое применение в разработке робототехники, автоматизированных систем управления в технологических процессах и ведении научного эксперимента. Одним из направления является создания многофункциональных устройств, позволяющих решать многочисленные задачи по управлению периферийными устройствами. В основе таких устройств используются технологии, направленные на создание искусственного интеллекта. Направлением нашей разработки является разработка автоматизированного лабораторно-

го комплекса для исследования процессов фильтрации в каменных углях, в капиллярно-пористых средах и материалах.

Использование автоматизированных систем в лабораторных исследованиях позволяет достичь многих преимуществ, среди которых: значительно сократить влияние человеческого фактора на результаты опытов, уменьшить методическую погрешность при измерениях, изучить подробно особенности явления, выявить закономерности изучаемого явления. Основная получаемая погрешность в ходе проведения эксперимента в большинстве связана с измерением времени. Решением этой проблемы в обычных лабораторных исследованиях производится путем увеличения количества измерений и увеличения времени проведения эксперимента. Исключение влияния человека на прохождение эксперимента значительно уменьшает погрешность измерений, уменьшить время проведения эксперимента, количество опытов.

Целью данного направления является автоматизация научного лабораторного эксперимента, исследование различных факторов на фильтрационные свойства дисперсных сред.

Разработанный нами лабораторный комплекс позволяет исследовать фильтрационные процессы, как в изотропных пористых телах, так и в дисперсных средах, в угольных фракциях.

Установка обладает следующими особенностями.

Принцип работы установки заключается в следующем. Информация от датчиков преобразуется и поступает в блок управления, где перерабатывается по соответствующей разработанной программе, а затем даются команды периферийным устройствам.

Средой разработки, программным обеспечением является Arduino Mega. Основным используемым микроконтроллером является ATmega2560. Количество операций, которых позволяет считывать информацию и управлять периферийными устройствами составляет порядка 29 штук. Что вполне позволяет успешно решать множество инженерных и научно технических задач.

Основными элементами установки являются:

- 1) датчики уровня жидкости в смесительном резервуаре;
- 2) датчик температуры типа DS1820;
- 3) датчик давления типа BMP280;
- 4) блок управления на основе платформы Arduino;
- 5) дозатор ПАВ;
- 6) электромеханический клапан для управления потоком жидкости;
- 7) вспомогательное дополнительное оборудование: весы и др.

Особенностями установки заключаются в следующем.

В установке для подвода фильтрующей жидкости к исследуемому образцу использованы силиконовые трубы диаметром 8 мм, обладающие максимальной пропускающей способностью по сравнению с образцами горной породой.

Погрешность срабатывания автоматического набирания и слива воды в смесительный резервуар из наполнительной емкости составляет около 1 с. Тем самым позволяет с высокой точностью определять расход жидкости при фильтрации через исследуемую дисперсную среду. В нашем случае частицы угля различных классов фракций от 0 до 7 мм.

Разработанный лабораторный комплекс позволил установить ряд закономерностей при фильтрации воды в угле, горных пород, дисперсных средах.

Существенным отличием фильтрационных процессов в данных средах является влияние процессов кольматации на фильтрацию. Это проявляется в том, что с течением времени фильтрации существенно изменяется расход жидкости. Фактор времени межфазного взаимодействия становится определяющим в изменении коэффициента проницаемости дисперсной среды.

Соотношение массы частицы к массе потока жидкости будет определять процесс кольматации, закупоривание фильтрующих пор. В следствие которого время фильтрации одного и того же объема жидкости через пульпу увеличивается в несколько раз в зависимости от серии, стадии эксперимента. На рис.1 приведены зависимости времени фильтрации в зависимости от стадии фильтрации.

Совокупность явлений рассматриваемых при фильтрации имеет различное время протекания, что в конечном выражается в виде нелинейной функции изменения потока или расхода жидкости в зависимости от времени.

Наличие закупоривания фильтрующих капилляров приводит к тому, что процесс фильтрации становится непредсказуемым и не управляемым.

Причинами закупоривания капилляров являются:

- 1) изменение геометрического структуры капиллярно-пористой структуры угля в следствия действия механических напряжений, деформации твердого тела под влиянием внешних напряжений, сил;
- 2) влияние газовой фазы на процессы фильтрации, закупоривание капилляров газом;
- 3) закупоривание капилляров твердой фазой, частицами горных пород, инородными материалами, кольмататором.

Увеличение напряженного состояния приводит к деформации капиллярно-пористой структуры, уменьшению пористости, одновременно к увеличению способности к кольматации, закупориванию пор. Причем коэффициент проницаемости зависит от пористости, соотношения газовой фазы и твердого фазы в сухом состоянии, согласно модельным представлениям [2]:

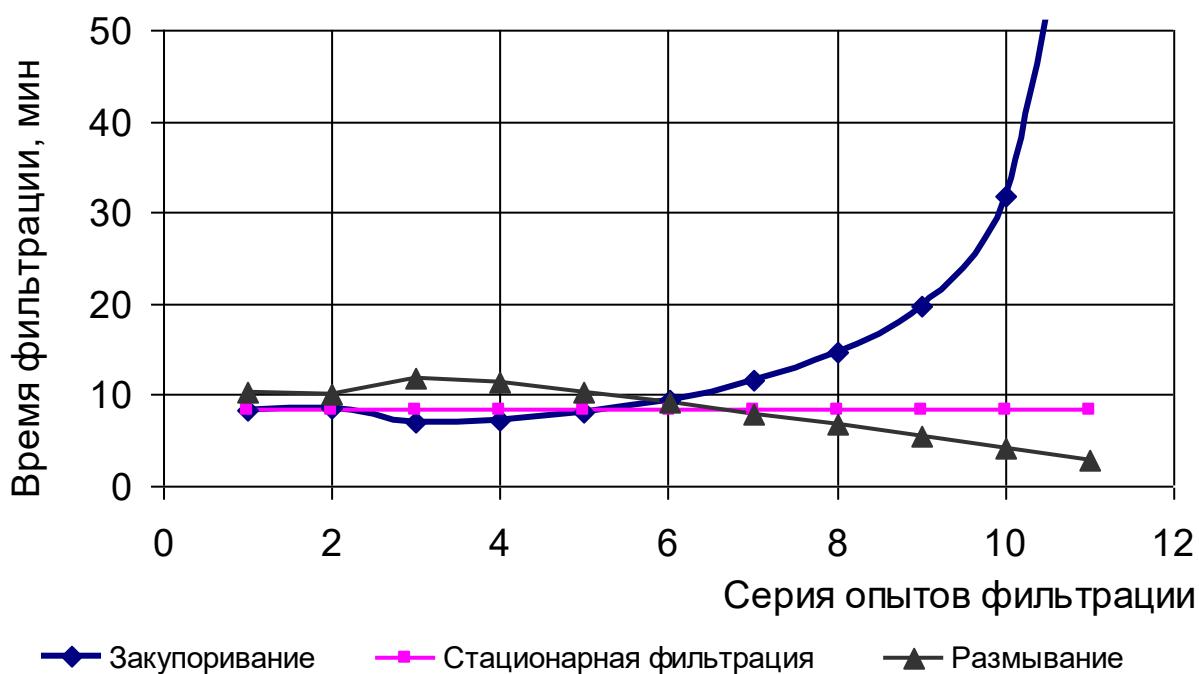


Рис. 1. Изменение характера фильтрации в зависимости от серии опытов

Влияние капиллярных процессов на фильтрацию достаточно большое. Величина краевого угла смачивания в данном случае будет определять возможность фильтрации по жидкости по данному капилляру. А также величина краевого угла смачивания будет определять сам процесс закупоривания фильтрующих пор, образования непроницаемых фильтрационных каналов. Уменьшение краевого угла смачивания приводит к увеличению числа капилляров, вовлекаемых в фильтрационный процесс. Учитывая нелинейный характер зависимости распределения капилляров по радиусам для угля, значение величины краевого угла смачивания будет существенно определять количество капилляров по которым протекает фильтрация.

В данном случае важным является подвижность твердых частиц, их размеры, определяющие способность перемещаться в дисперсной среде и закупоривать фильтрующие поры. Показано, что изменением гидравлического давления можно управлять процессом фильтрации, кольматацией.

#### Список литературы:

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

3. 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.
4. Адамсон А. Физическая химия поверхностей / А. Адамсон. – М.: Мир, 1979. – 568 с.
5. 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 . – М. : Изд-во МЭИ, 1999 . – 40 с.
6. Основы автоматизации эксперимента. Лабораторный практикум: Учебно-методическое пособие / А.Е. Герман. – Гродно: ГрГУ, 2004. – 150 с.