

УДК 622.83

ИЗУЧЕНИЕ КОЛЬМАТАЦИИ В КАПИЛЛЯРНО-ПОРИСТОМ ТЕЛЕ ПРИ ФИЛЬТРАЦИИ

Елкин И. С., к.т.н., доцент
Веркошанский М. Е., студент гр. ТСб-191, I курс
Абышев Р. А., студент гр. ТСб-191, I курс

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

Аннотация. Представлены результаты исследований по фильтрации жидкостей, содержащих мелкие фракции кольматанта. Приведены результаты исследований на модельных материалах. Изучалось влияние размеров твердых фракций на процесс закупоривания фильтрующих пор, капилляров. Результаты исследований применимы к условиям массопереноса газожидкостного флюида в угольном массиве, а также нефтегазовой промышленности.

Ключевые слова: газовыделение, уголь, кольматация, кольматант, капилляры, массоперенос, закупоривание пор, фракция, фильтрация,

При проведении горных работ актуальным вопросом становится управление массопереносом в угольном пласте в различных целях. Основными направлениями и целями в управлении массопереносом в угольном массиве являются управление газовыделением, газодинамическим состоянием в краевой части угольного массива [1], [2]. В связи с чем актуальным является исследование фильтрационных процессов, изменение фильтрационных свойств угля в результате влияния множества факторов, условий, одним из которых является кольматация. Кольматация – явление закупоривания капилляров твердыми микродисперсными частицами, кольматантом.

Основные проблемы, связанные с изучением фильтрационных процессов, следуют из сложности структуры капиллярно-пористой системы угля и физико-химических свойств угля. Структурные и физико-химические свойства угля определяют неустойчивость фильтрации во времени, нестационарность, проявляющуюся 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], [3]. Существенным фактором при массопереносе, фильтрации жидкостей и газов является процесс закупоривания фильтрующих каналов, капилляров мелкодисперсными средами. Целью данных исследований является изучение влияния размеров частиц на процесс закупоривания при кольматации, моделирование процесса кольматации в угле.

Основное уравнение фильтрации описывается уравнением Дарси в виде:

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

где s - площадь фильтрации; $k_{\phi} = \frac{\rho}{\eta} k_{\text{пр}}$ - коэффициент фильтрации; $k_{\text{пр}}$ - коэффициент проницаемости; $\frac{\Delta H}{\Delta x}$ - градиент напора; η - динамический коэффициент вязкости.

Основной характеристикой, определяющей фильтрационные свойства капиллярно-пористого тела, является проницаемость или коэффициент проницаемости $k_{\text{пр}}$, определяемый количеством капилляров и их сечением

$$k_{\text{пр}} = \sum \nu R_i^2 N_i,$$

где N_i , R_i - число капилляров и их радиус, соответственно; ν - коэффициент, зависящий от формы капилляров.

В наших исследованиях образцы изготавливались таким образом, чтобы коэффициент проницаемости был для них одинаковым.

Особенностью фильтрации газожидкостного флюида в угле является высокая подвижность твердой фазы, что приводит к механическому закупориванию фильтрующих пор, коагуляции фильтрующих пор твердыми частицами, переносимых потоками жидкости.

Вместе с потоком жидкости одновременно происходит перенос твердой фазы, мельчайших частиц угольных, частиц горной породы. При слабонапорной фильтрации коагуляция оказывает существенное влияние на процесс фильтрации. Коагуляция представляется как механическое закупоривание капилляров, при котором значительно уменьшается эффективное сечение фильтрующих капилляров. Это явление является сложным для исследования вследствие влияния многих факторов. Исследования в этом направлении были проведены в [4] и другими авторами. Сопутствующими явлениями являются седиментация, суффозия.

Фильтрация газожидкостного флюида в угле имеет крайне нестационарный характер. Основными наблюдаемыми явлениями и причинами неустойчивости картины фильтрации являются: межфазные взаимодействия на границе уголь-жидкость-газ; закупоривание фильтрующих капилляров.

Важным в наших представлениях является исследование влияния размеров капилляров и размеров частиц коагулянта, соотношение этих размеров, при котором протекает закупоривание капилляров за максимально короткий промежуток времени.

Нами была разработана лабораторная установка для проведения исследований, разработана методика исследований. Основными параметрами, измеряемыми на установке, являлись: время фильтрации жидкого флюида, содержащего дисперсные частицы.

В качестве дисперсных частиц, кольматанта использовались частицы различных размеров, фракций различных материалов и горных пород: уголь, бетон, песок.

В данном случае моделирование производилось с использованием материалов типа пеноплекс, из которого изготавливались образцы с каналами-отверстиями различного диаметра от 1 до 10 мм. Данный материал позволяет делать капиллярные каналы любого диаметра, что упрощает изготовление модели капиллярно-пористого тела и проведение исследований. Длина фильтрующих капилляров соответствовала высоте образца, равное 5 см.

В качестве кольматанта использовался уголь марки Д и другие материалы. Уголь легко разрушается, коэффициент крепости по шкале Протодяконова составляет 1,2 – 1,5, путем рассеивания разбивается на фракции, не вступает в химическое взаимодействие с водой, что позволяет быстро изготовить кольматант любого фракционного состава. Кроме того, по плотности уголь близок к воде, что приводит к образованию смеси уголь-вода с большей взвешенности состояния угля в воде, меньше проявляется седиментации при фильтрации.

Массовая доля кольматанта в воде является дополнительным фактором в уменьшении скорости фильтрации, проницаемости. Уменьшение расхода пропорционально массовой доли кольматанта в воде. В наших опытах массовая доля кольматанта изменялась в диапазоне от 10 до 50 г на 100 мл воды. Снижение массосодержания кольматанта в газожидкостном флюиде приводит к снижению эффекта кольматации.

Основным измеряемым параметром при фильтрации на установке является время фильтрации, при заданных других постоянных: напор жидкости, геометрические параметры объекта исследования.

На рис.1 приведены зависимости времени фильтрации в зависимости от радиуса частиц кольматанта при различных размерах капилляров, каналов.

Нестационарный характер фильтрации зависит от размера фракции угля. Совокупность явлений рассматриваемых при фильтрации имеет различное время протекания, все это зависит от радиуса капилляров, каналов.

Результаты исследований показали, что закупоривание фильтрующих капилляров кольматантом, наряду с другими факторами, такие как тепловое воздействие, набухание вследствие межфазных взаимодействий для угля, может оказывать существенное значение на фильтрацию газожидкостного флюида. Причем, имеется оптимальный максимум в соотношении между размерами капилляров и размером частиц кольматанта. По результатам наших экспериментов следовало, что минимум скорости фильтрации составляет при радиусе частиц 0,2 – 0,3 мм.

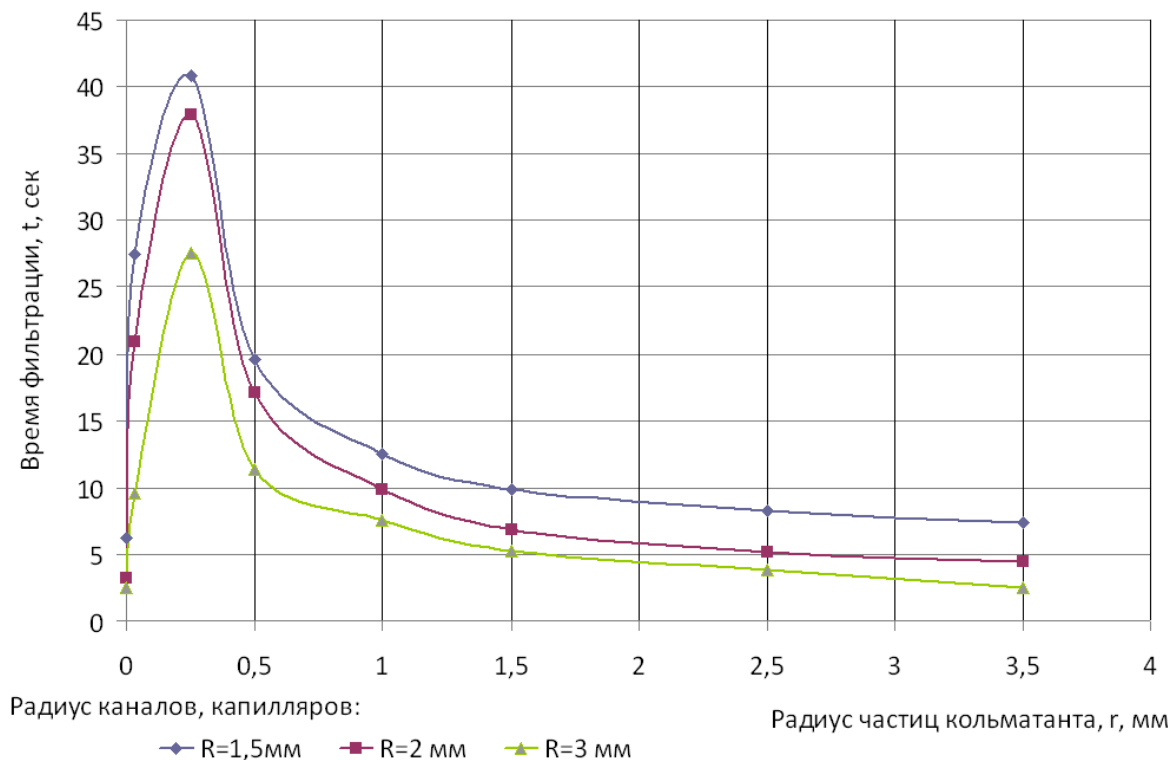


Рис. 1. Влияние радиуса частиц кольматанта на время фильтрации при кольматации

При значительно больших размерах частиц кольматанта при фильтрации закупоривание происходило в меньшей степени. Кольматант образовывал пористую среду с постоянной проницаемостью.

Список литературы:

1. Чернов, О. И. Подготовка шахтных полей с газовойбросоопасными 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: Кузбассвузиздат, 2001. – 100 с.
3. Адамсон, А. Физическая химия поверхностей / А. Адамсон. – М.: Мир, 1979. – 568 с.
4. Герасимов О. В., Простов С. М., Хмяляйнен В. А. Изменение физических свойств грунтового массива при высоконапорной инъекции // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2008. № 1. С. 150-156.