

давления и режим работы залежи. Компании-недропользователи и проектные институты смогут снизить риск ошибки при планировании, проектировании и расчете эффективности проведения ГРП, что будет способствовать, в свою очередь, поддержанию добычи на запланированных уровнях. Данная технология повысит экономическую привлекательность проведения операций гидравлического разрыва пласта на месторождениях Томской области.

**Литература**

1. RFD: tNavigator. Flow simulator Technical manual. 2016.
2. Алексеенко О.П., Вайсман А.М. Моделирование гидроразрыва нефтяного пласта, граничащего с пластичной вмещающей породой // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. 2001. – №4. – С. 67-73.
3. Кричлоу Г.Б. Современная разработка нефтяных месторождений. – проблемы моделирования. – М.: Недра, 1979. – 303 с.
4. Реутов В.А. Гидравлический разрыв пласта: условия образования трещин, их практическое определение и использование // Итоги науки и техники. Разработка нефтяных и газовых месторождений. М.: ВИНТИ, 1991. – Т.23. - С. 73 – 153.
5. Усачев П.М. Гидравлический разрыв пласт. М.: Недра, 1986. 165 с.
6. Черевко М.А. Разработка нефтяных месторождений Западной Сибири горизонтальными скважинами с многостадийными гидроразрывами пласта, А.Н. Янин, К.Е. Янин. – Тюмень-Курган, Издательство «Зауралье», 2015. – 268 с.

**АНАЛИЗ МЕТОДОВ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ГРАНУЛОМЕТРИЧЕСКОГО СОСТАВА ОСАДОЧНЫХ  
ГОРНЫХ ПОРОД**

**Т.И. Смагин, Е.Е. Емельянов**

Научный руководитель - старший преподаватель Е.М. Вершкова

**Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск, Россия**

Определение гранулометрического состава горных пород дает возможность установления многих свойств пористой среды, необходимых на этапе разработки месторождений нефти и газа. Анализ гранулометрического состава обеспечивает определение следующих параметров:

- Массовое содержание и корреляция частиц породы, имеющие разные размеры. Зная данные характеристики, можно вычислить пористость и проницаемость и сделать вывод о коллекторских свойствах данной горной породы;
- Капиллярные свойства пласта-коллектора. Именно от этих свойств зависит последовательность обводнения зёрен породы, а также подсчет и расположение остаточных запасов нефти в пласте;
- Подбор необходимого фильтрующего оборудования в зависимости от размера частиц;
- Палеогеографические условия формирования залежи. Сведения о генезисе той или иной толщи позволяют оценить её нефтеносный потенциал;
- Подбор оборудования, адаптированного под свойства конкретного месторождения (на стадии разработки месторождения).

Как можно заметить, исследование гранулометрического состава горных пород является одним из необходимых этапов успешной разработки нефтегазовых месторождений, что делает данную тему актуальной в современном мире.

Как показывает практика, при проведении экспериментов по определению размеров частиц и изучению их физических свойств, напрямую зависящих от величины зёрен исследуемого материала, возникает ряд проблем. Поиск рационального решения последних ведётся по сей день.

В наши дни существует множество классификаций методов дисперсионного анализа. Ниже приведена классификация Г.И. Ромашова (рисунок), опубликованная в 1938 году [3]. Все методы анализа сгруппированы в соответствии с физическими принципами, на которых они основаны.



**Рис. Классификация методов гранулометрического анализа, предложенная Г.И. Ромашовым.**

Как правило, при проведении исследований гранулометрического состава осадочных горных пород можно воспользоваться любым из вышеперечисленных методов, однако тут возникает некий парадокс. После

проведения экспериментов с одним и тем же образцом получаются отличные друг от друга результаты в зависимости от выбранного метода. Это связано с тем, что каждый метод накладывает на опыт свой «отпечаток».

Рассмотрим два метода дисперсионного анализа: метод оптической счетной микроскопии и метод седиментации. Согласно классификации Г.С. Ходакова [3], метод микроскопии является прямым, то есть определяет размер частиц с помощью какого-либо масштаба, используемого для проведения исследования с помощью данного прибора (цена деления шкалы микроскопа). Метод седиментации, напротив, Г.С. Ходаков относит к косвенным методам, потому как размеры зёрен определяются по косвенному показателю. В основе принципа действия лежит измерение скорости оседания частиц горной породы в вязкой среде. Рассмотренные методы дисперсионного анализа имеют разные алгоритмы обработки и принципы получения исследуемых данных, но при этом используется примерно один диапазон измеряемых значений (микроскоп 1–150 мкм, седиментометр 1–65 мкм) [1].

Метод счетной оптической микроскопии позволяет определить геометрический размер частицы. Однако микроскоп способен представить лишь двумерную картину объемной частицы. Как известно, большинство частиц, встречающихся в природе, не имеют правильной геометрической формы, которая, в свою очередь, определяет пористость, проницаемость, механические и аэромеханические свойства исследуемого образца. Поэтому для перехода от двумерной картины, которую мы наблюдаем в поле зрения микроскопа, в пространственную, описание реальной частицы приходится осуществлять с помощью изометричных математических аналогов, что вносит существенную погрешность в результат.

В методе седиментации размер частиц определяется на основе получения данных об их гидродинамических параметрах, а именно, по скорости их оседания в вязкой среде [2]. Приборы на основе весовой седиментации дают наиболее полную характеристику дисперсной системы, потому как исследуется гидравлический размер, который, в отличие от геометрического показателя, учитывает все три размера, характеризующих объемное тело.

Седиментационный анализ дисперсных систем основан на уравнении, которое выведено из закона Стокса и позволяет определить размеры частиц дисперсной фазы, исходя из значений скорости их осаждения под действием силы тяжести:

$$r = \sqrt{\frac{9 \cdot \eta \cdot U}{2 \cdot (D - D_0) \cdot g}};$$

При определении размеров частиц при помощи седиментометра, осаждение частиц происходит по прямолинейной траектории, ввиду образования монослоя – исследуемая дисперсионная фаза равномерно распределяется по поверхности дисперсионной среды.

Прибор оснащен высокочувствительной весоизмерительной системой, что позволяет совместить начало осаждения с началом отсчета, благодаря этому исключается образование погрешности, связанной с неопределённостью начального момента измерений. В этом преимущество использования седиментометра по сравнению с методами весовой седиментации из объема, где для достижения равномерного распределения дисперсионной фазы в среде, необходимо тщательно перемешивать суспензию. В связи с этим, траектория осаждения частиц отклоняется от прямолинейной, а этого закон Стокса не учитывает. Так же при использовании метода весовой седиментации из объема возникает неопределенность начального момента, обусловленная тем, что время задержки начала измерения выбирается по-разному.

Несмотря на неоспоримые достоинства седиментатора, данный прибор имеет ряд недостатков. При обработке полученных данных, здесь, как и в других методах используется уравнение Стокса, при использовании которого, считается, что частица имеет правильную шарообразную форму. Как было сказано выше, зачастую форма частиц далека от сферической, что опять же влияет на рост погрешности в полученных результатах эксперимента.

В связи с актуальностью данной проблемы необходимо увеличить точность анализа гранулометрического состава. Одним из способов решения является создание нового метода, использование которого не будет влиять на данные, полученные в ходе эксперимента.

Альтернативным вариантом может стать комплексирование уже используемых методов для уменьшения погрешности в ходе обработки полученных данных.

#### Литература

1. Дозморов П.С. Разработка программно-аппаратного комплекса для анализа гранулометрического состава осадочных пород // Международный научно-исследовательский журнал. – Москва, 2012. – № 7-1 (7). – С. 48 – 49.
2. Дозморов П.С. Контроль гранулометрического состава и проницаемости горных пород программноаппаратными методами // Вестник Томского государственного университета. Математика и механика. – Томск, 2015. – № 1. – С. 37 – 46.
3. Приваловская Г.А., Рунова Т.Г. Естественные ресурсы в народном хозяйстве СССР. – М.: Знание, 1977. – 48 с.