

Метод автоматического контроля размера песка

А. С. Гончарова^{1,2}, И.В. Якимчук²

¹Московский физико-технический институт (государственный университет)

²Московский научный центр "Шлюмберже"

При разработке нефтегазовых месторождений нередко используется метод гидроразрыва пласта (ГРП). Суть технологии заключается в создании одной или нескольких трещин в нефтегазоносном пласте для увеличения притока добываемых углеводородов. Метод включает в себя закачку в трещину специальной жидкости и проппанта (расклинивающего наполнителя) для поддержания ее в открытом состоянии[1]. В качестве проппанта часто выступает песок различных фракций, причем его характеристики (плотность, прочность, размер, сферичность и т.д.) оказывают существенное влияние на эффективность ГРП. По этой причине перед использованием проппант проходит тщательный контроль качества. В данной работе рассмотрен удобный способ такого контроля посредством анализа фотографий песка.

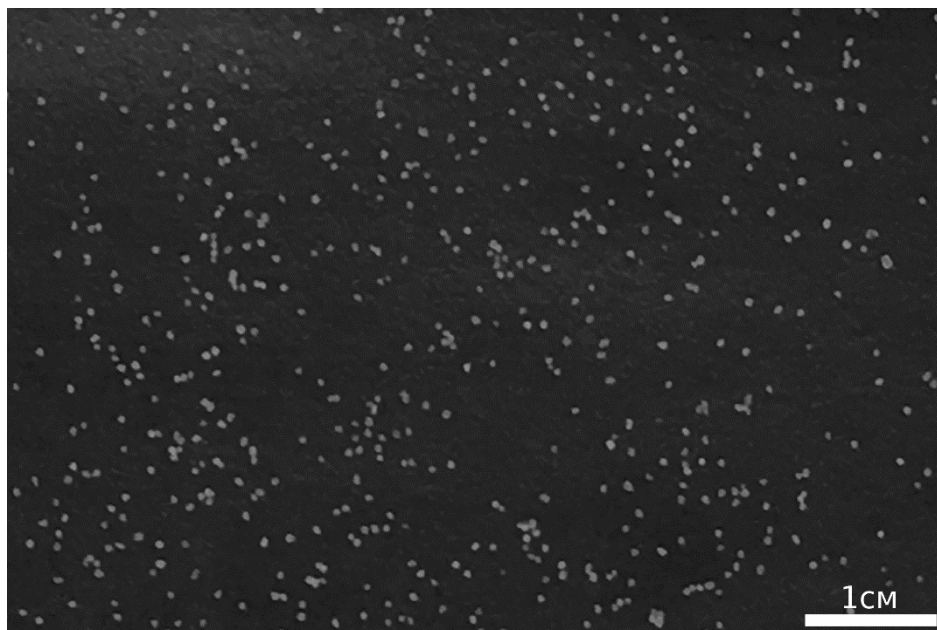


Рис. 1. Пример исходной фотографии

Анализ существующих в настоящее время методов измерения распределения частиц по размерам показал, что в каждом из них есть существенные ограничения, а получаемые результаты могут иметь заметные различия в зависимости от формы исследуемого песка[2]. Так, например, в результате использования метода ситового анализа (Dry sieve analysis) частицы сортируются по величине средней полуоси эллипсоида того же объема, что и частица, а в лазерном методе (Laser Particle Size Analysis) оценивается эквивалентный диаметр сферы того же объема, что и частица. В то же время предложенный в данной работе компьютерный метод анализа снимков является наиболее общим для различных частиц, требует минимального оборудования и прост в использовании.

Суть предложенного метода заключается в фотографировании небольшого количества частиц на хорошо поглощающей свет подложке и последующем анализе полученного изображения (рис. 1). Ввиду заметного контраста между частицами и фоном для обработки полученного снимка применяется метод пороговой бинаризации, в результате которого получается изображение *B*, где все пиксели фона имеют значение «0», а все сфотографированные песчинки – значение «1». В

некоторых случаях две (или более) песчинки расположены настолько близко друг к другу, что на фотографии отсутствует видимая граница между ними. Тогда при обработке исходного изображения эта группа будет распознана как одна большая слипшаяся частица, что не соответствует действительности. Для правильного разделения всех частиц применяется метод, основанный на алгоритме управляемого водораздела[3]. Для реализации этого метода необходимо к изображению *B* применить алгоритм distance transform, который заменяет значение каждого пикселя на расстояние до ближайшего пикселя фона (рис. 2а). Теперь все изображение рассматривается как топографическая карта, в которой роль высот играют значения яркостей пикселей, взятые с противоположным знаком. Локальные минимумы на такой карте, располагающиеся в окрестностях центров частиц, являются первоначальными местами зарождения так называемых бассейнов. При постепенном заполнении этих бассейнов водой соседние водоёмы начнут сливаться. Линиями водораздела называют места объединения этих бассейнов; они же и представляют примерные границы песчинок. Стоит заметить, что в ряде случаев при применении алгоритма водораздела к полученному набору маркеров может возникнуть излишняя сегментация (рис. 2б). Данную проблему решает преобразование Н-максимального [4], которое подавляет большинство ошибочно полученных максимумов(рис. 2в).

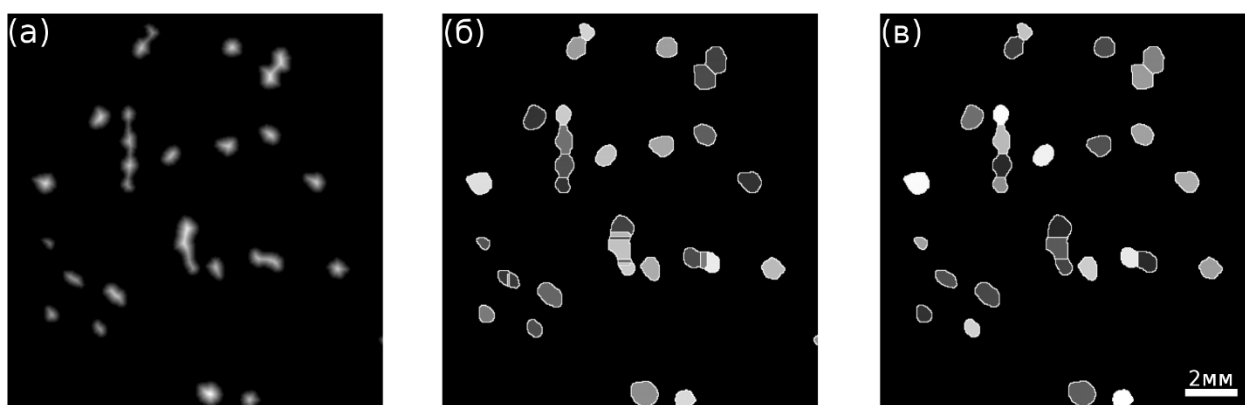


Рис. 2. Пример применения алгоритмов distance transform (а), излишняя сегментация при стандартном watershed(б), watershed с коррекцией (в).

В результате описанной выше обработки изображения создается маркированный список объектов-песчинок. Для каждого элемента этого списка (отдельной песчинки) вычисляется ряд геометрических параметров. Среди них наиболее важными являются эквивалентный диаметр, то есть диаметр, который бы имела абсолютно круглая частица такой же площади, и аспектное соотношение, показывающее отношение минимального линейного размера частицы к максимальному.

Данные результаты применяются для статистического анализа путем построения гистограмм и могут быть практически моментально получены на практике для любого вида песка. При анализе снимков имеющегося песка, во-первых, было выявлено, что распределение по эквивалентным диаметрам является унимодальным; рассматриваемому песку свойственны однородность и соответствие спецификации. Во-вторых, для большинства частиц аспектное соотношение близко к единице, то есть частицы имеют практически круглую форму.

Литература

1. Меликбеков А.С. Теория и практика гидравлического разрыва пласта. М.: Недра, 1967. 141с.
2. Zhang K., [et al.] "Particle Size Distribution Measurement Techniques and Their Relevance or Irrelevance to Sand Control Design" // SPE International 168152
3. Гонсалес Р.С., Вудс Р.Е. Мир цифровой обработки. Перевод Рубанова Л.И., Чочиа П.А. Техносфера, Москва, 2012. 1104 с.