

УДК 622.276

**ИССЛЕДОВАНИЕ РЕЛЬЕФА ПОВЕРХНОСТИ КЕРНОВОГО МАТЕРИАЛА
В ПРИБЛИЖЕНИИ ТЕОРИИ СЛУЧАЙНЫХ ПОЛЕЙ****Ямалетдинова К.Ш., Хакимов Р.М., Гоц С.С., Янгуразова З.А., Ямалетдинова А.А.,
Гимаев А.Р., Нурутдинов А.А., Тухватуллин М.Ф., Хуснутдинова Р.Р.,
Хафизов А.Р., Емельянов Д.В., Шайхутдинова М.Ш.***ФГБОУ ВО «Башкирский государственный университет», Уфа, e-mail: clara-yk@yandex.ru*

Развитие численных методов решения задач фильтрации позволило существенно увеличить возможности изучения течений в неоднородных пористых средах нефтяных залежей, где поровые каналы распределены в пространстве случайным образом. При исследовании фильтрации в неоднородных средах используется статистический подход, когда неоднородности пористых сред и фильтрационных процессов рассматривают с позиции случайных полей. В данной работе на капиллярной модели неоднородной пористой среды проведены экспериментальные исследования рельефа поверхности кернового материала нефтяной залежи на разных этапах просачивания нефти. В результате проведенного исследования оптимизирована статистическая модель рельефа поверхности керна пористой среды в приближении теории случайных полей для численных расчетов характеристик горной породы, что позволит выбрать оптимальную технологию воздействия на продуктивный пласт с учетом структуры его пористости и проницаемости.

Ключевые слова: фильтрация в неоднородных средах, проницаемость и пористость пласта, рельеф керна, статистическое моделирование, автокорреляционная функция, теория случайных полей

**STUDY OF THE SURFACE RELIEF OF CORE MATERIAL IN APPROXIMATION
THEORY RUNDOM FIELDS****Yamaletdinova K.Sh., Khakimov R.M., Gotz S.S., Yangurazova Z.A., Yamaletdinova A.A.,
Gimaev A.R., Nurutdinov A.A., Tukhvatullin M.F., Khusnutdinova R.R.,
Khafizov A.R., Emelyanov D.V., Shaykhutdinova M.Sh.***Bashkir State University, Ufa, e-mail: clara-yk@yandex.ru*

Development of numerical methods for solving problems of filtration allowed to essentially increase of studying flows in heterogeneous porous surroundings of oil fields where the pore channels are distributed in space randomly. The statistical approach is used in researching of filtration in heterogeneous surroundings when heterogeneities of porous surroundings and filtration processes are considered from the standpoint of random fields. In this paper experimental investigations of the surface's relief of oil field core material were realized by using of heterogeneous porous surrounding's capillary model at different stages of oil leakage. As a result of realized investigation the statistical model of the surface's relief of the core of the porous surrounding in the approximation theory of random fields for numerical calculations of the rock features was optimized that allow you to select the optimum technology impact on the producing layer, taking into account the structure of its porosity and penetration.

Keywords: filtration in heterogeneous surroundings, penetration and porosity of layer, core relief, statistical modeling, the autocorrelation function, the theory of random fields

Для выявления закономерностей физических явлений в продуктивных пластах углеводородов необходимо изучение пространственных неоднородностей с различным уровнем приближения. В частности, разумно использование одно-, двух- и трехмерного приближения в сочетании с различными моделями пористых сред. Неоднородность пористой среды оказывает существенное влияние на фильтрационные процессы в продуктивных пластах. В настоящее время в нефтяных технологиях для описания пространственных неоднородностей (структуры горных пород) используются достаточно простые модели пористых сред. Такой уровень рассмотрения был целесообразен на начальных фундаментальных стадиях

исследования в данной области [1]. Развитие численных методов решения задач фильтрации позволило существенно увеличить возможности изучения течений в неоднородных средах.

При исследовании фильтрации в неоднородных средах используется статистический подход, когда неоднородности пористых сред и фильтрационных процессов рассматривают с позиции случайных полей. Сегодня наука располагает существенно более серьезным математическим аппаратом описания теории случайных полей. Среди характеристик наиболее часто используемыми являются пространственно-корреляционные характеристики, пространственные двумерные спектральные характеристики и ряд коли-

ественных показателей, например, численные характеристики, определяющие периодичность, и хаотические составляющие структуры пористых сред [2]. Возможность подробного статистического анализа характеристик случайных полей с применением доступной и широко распространенной вычислительной техники, а также уровень развития измерительной техники позволяют с большой степенью точности исследовать зависимость выбора технологии воздействия на продуктивный пласт с учетом структуры пористых горных пород и описывать неоднородности пористой среды при выработке залежи [3–5]. Наиболее достоверную информацию о проницаемости пласта можно получить в результате измерений параметров кернов и при гидродинамических исследованиях на скважинах. Теоретически статистические характеристики случайных процессов и полей следует определять, усредняя нужные величины по всем реализациям процесса или поля. Практически при построении характеристик усреднение проводится по времени или по одной протяженной реализации поля. Если случайное поле однородно в пространстве трех измерений, то оно однородно и на любой плоскости или прямой. Поэтому усреднение по объему можно заменить в этом случае усреднением по площади или интервалу, принадлежащим соответствующим плоскостям или прямым при условии, что выполнены соответствующие условия эргодичности.

При исследовании характера проявления микропроцессов на капиллярной мо-

дели неоднородной пористой среды [6–7] проведено статистическое моделирование ожидаемого рельефа поверхности керна на разных этапах просачивания нефти. На цифровом фотоаппарате с высоким разрешением получены изображения поверхности керна, сделанные на различных этапах просачивания нефти. На рис. 1 и 2 приводится изображение рельефа поверхности керна, полученное на начальной стадии просачивания нефти через керновый материал.

Скорость просачивания нефти зависит как от создаваемого давления, так и от структуры порового пространства и сорбционных свойств скелета коллектора.

Полученные изображения поверхности керна были обработаны с помощью программы 3D_Image, позволяющей строить и обрабатывать трехмерные изображения [8]. Трехмерное изображение получается путем преобразования координаты по x , y и информации о коэффициенте отражения данного пикселя двумерного изображения в трех координатах полигона.

В результате исследований построены и в дальнейшем проанализированы пространственные корреляционные функции расположения точек проявления нефти. Данные проявления нефти можно определить как случайные поля. В работе исследуется стандартный набор статистических характеристик случайных полей: среднее значение яркостного профиля, коэффициент симметрии, одномерные функции распределения, дисперсия, спектральные характеристики, стандартное отклонение, коэффициент эксцесса.



Рис. 1. Изображение рельефа поверхности керна, полученное на начальной стадии просачивания нефти через керновый материал (однократный промежуток времени)

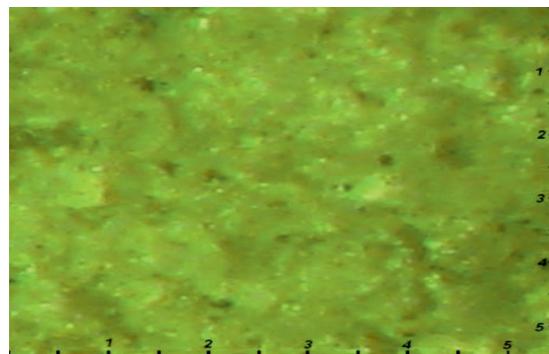


Рис. 2. Увеличенное изображение рельефа керна (одно деление соответствует 100 мкм)

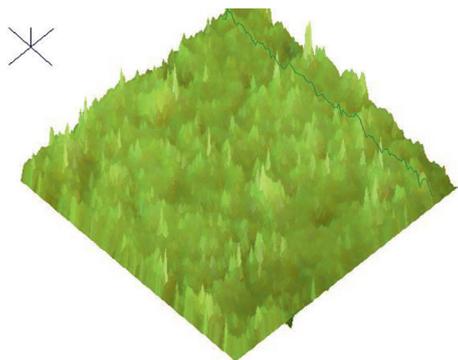


Рис. 3. Расчетное трехмерное изображение рельефа керна на начальном этапе просачивания нефти



Рис. 4. Расчетные пространственные корреляционные функции яркостных профилей керна, характеризующих рельеф просачивания нефти на начальном этапе

Случайные поля и характеризующие их пространственные корреляционные функции используют при вероятностном описании проницаемости и других параметров различных сред с пространственно неоднородной структурой. Если пространственная автокорреляционная функция монотонно уменьшается с увеличением своего аргумента, то мы имеем дело с хаотической структурой поверхности по исследуемому параметру. Амплитуда колебательной составляющей пространственной автокорреляционной функции позволяет оценивать соотношение между регулярной и хаотической составляющими исследуемых пространственных неоднородностей. Периодичность автокорреляционной функции позволяет анализировать пространственные и частотные характеристики исследуемых неоднородностей.

По автокорреляционной функции на рис. 4 можно сделать вывод о наличии как хаотических, так и регулярных пространственных корреляций ближнего пространственного порядка.

На рис. 5–6 приведены изображения кернового материала через кратный промежуток времени просачивания нефти.

Полученные снимки также были обработаны с помощью программы 3D_Image. Пространственные корреляционные функции случайных полей представлены на рис. 7.

Результаты исследований позволили заключить, что рельеф керна, полученный на второй стадии просачивания нефти, обладает четко выраженной пространственной корреляцией ближнего порядка. Можно отметить заметное уменьшение регулярной составляющей пространственных корреляций неоднородностей рельефа керна по его яркостному профилю. Результаты исследования представляют интерес с точки зрения изучения фильтрации жидкостных углеводородных смесей при их просачивании через субкапиллярные поры в горной породе диаметром менее 0,002 мм (2 мкм). По автокорреляционной функции (рис. 8) можно сделать вывод о наличии как хаотических, так и регулярных пространственных корреляций ближнего пространственного порядка.

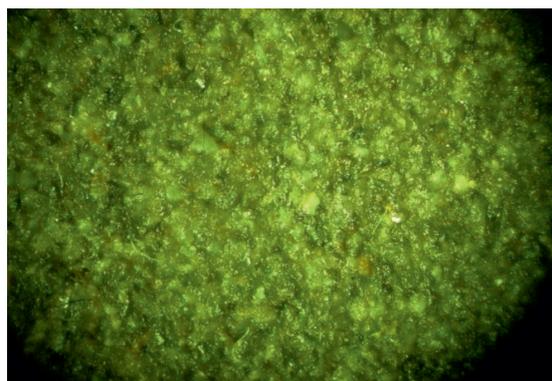


Рис. 5. Изображение рельефа кернового материала, полученное через 10-кратный промежуток времени стадии просачивания нефти

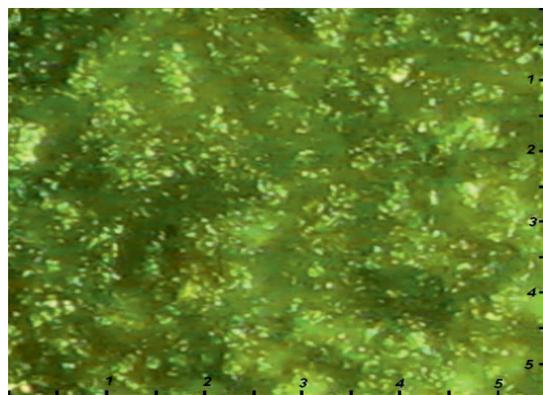


Рис. 6. Увеличенное изображение рельефа керна (одно деление соответствует 100 мкм)

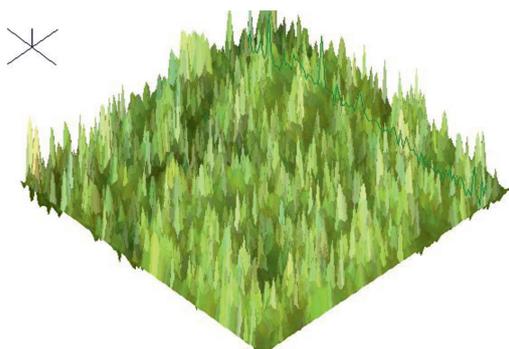


Рис. 7. Расчетное трехмерное изображение рельефа керна на второй стадии просачивания нефти

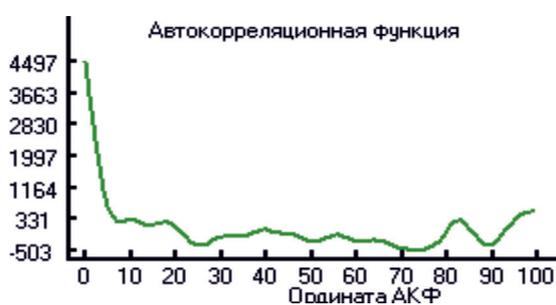


Рис. 8. Расчетные пространственные корреляционные функции яркостных профилей керна, полученные на второй стадии просачивания нефти

Статистическая модель пористой среды в приближении теории случайных полей оптимизирована для численных расчетов пористости и проницаемости продуктивного пласта.

Выводы

1. Экспериментальное исследование ядерного материала в приближении теории случайных полей позволило проводить численное моделирование ожидаемого рельефа поверхности ядерного материала на разных этапах просачивания нефти. Принципиальная особенность данной статистической модели – это возможность наблюдения

в течение относительно короткого времени процесса фильтрации, который в пластовых условиях может длиться годами и даже десятками лет.

2. В результате проведенного исследования оптимизирована статистическая модель рельефа поверхности керна пористой среды в приближении теории случайных полей для численных расчетов характеристик горной породы, что позволит выбрать оптимальную технологию воздействия на продуктивный пласт с учетом структуры его пористости и проницаемости.

Список литературы

1. Гимаев Р.Н., Халиков Г.А., Ямалетдинова К.Ш. Диффузия углеводородов в пористой среде/ Доклады Академии наук РФ. – 1998. – Т. 363, № 1. – С. 66–67.
2. Гоц С.С., Ямалетдинова К.Ш., Хиразов Э.Р. Статистическая обработка изображений в оптической микроскопии/ Электронный журнал «Нефтегазовое дело». – 2006. http://www.ogbus.ru/authors/Yamaletdinova/Yamaletdinova_1.pdf.
3. Дубинский Г.С. и др. Геолого-технологическое обоснование адресных методов увеличения нефтеотдачи и ограничения водопритока в залежах высоковязких нефтей / Дубинский Г.С., Андреев В.Е., Мияссаров А.Ш., Хузун Р.Р., Хузин Н.И. // Проблемы сбора, подготовки и транспорта нефти и нефтепродуктов. – 2013. – № 2 (92). – С. 5–15.
4. Халадов А.Ш. Интенсификация притоков нефти из песчано-алевролитовых трещиновато-пористых отложений Восточного Предкавказья [Текст] / А.Ш. Халадов, М.М. Дудаев. – Уфа, Проблемы сбора, подготовки и транспорта нефти и нефтепродуктов. – 2010. – № 1(79). – 5 с.
5. Халиков Г.А., Дегтярев Н.М., Ямалетдинова К.Ш., Надиров Н.К. Динамика образования переходной зоны в насыщенной пористой среде/ Доклады Академии наук СССР – 1990. – Т. 311, № 2. – С. 407–409.
6. Хакимов Р.М., Ямалетдинова А.А., Ямалетдинова К.Ш., Гумеров А.Г., Александров А.А., Янгуразова З.А. Исследование характера проявления микропроцессов на усовершенствованной капиллярной модели неоднородной пористой среды / Проблемы сбора, подготовки и транспорта нефти и нефтепродуктов // Научно – технический журнал. – ИПТЭР. – Уфа, 2013. – № 4(94). – С. 12–23.
7. Моделирование созданных на основе информационных потенциальных обратных связей автоматизированных систем управления процессами. Ямалетдинова А.А., Гоц С.С., Хафизов А.Р., Ямалетдинова К.Ш. Проблемы сбора, подготовки и транспорта нефти и нефтепродуктов. – 2015. – № 1. – С. 107–119.
8. Ямалетдинова К.Ш. Методы оптической компьютерной микроскопии в исследовании процессов массопереноса в теории подземной гидрогазодинамики / Монография. – Уфа: РИО БашГУ, 2006. – 212 с.