



УДК:622.276.1

ФРАКТАЛЫ В НЕФТЕГАЗОВОЙ ОТРАСЛИ

FRACTALS IN OIL AND GAS BRANCH

Орлова Инна Олеговна

кандидат технических наук,
доцент кафедры нефтегазового дела
имени профессора Г.Т. Вартумяна,
Институт нефти, газа и энергетики,
Кубанский Государственный
технологический университет
assoletta77@mail.ru

Даценко Елена Николаевна

кандидат технических наук,
доцент кафедры нефтегазового дела
имени профессора Г.Т. Вартумяна,
Институт нефти, газа и энергетики,
Кубанский Государственный
технологический университет
aldac@mail.ru

Авакимян Наталья Николаевна

кандидат технических наук, доцент,
доцент кафедры нефтегазового дела
имени профессора Г.Т. Вартумяна,
Институт нефти, газа и энергетики,
Кубанский Государственный
технологический университет
avnatali@mail.ru

Орлов Игорь Владиславович

студент,
Институт нефти, газа и энергетики,
Кубанский Государственный
технологический университет

Аннотация. Показана необходимость углубления фундаментальных знаний о пластовых системах на современном этапе разработки нефтегазовых месторождений. Рассматривается понятие фрактальности пространственных и временных объектов как один из аспектов знаний об этих системах. Отмечено, что фронт вытеснения, характер трещин при гидроразрыве пласта, сама нефть имеют фрактальную структуру.

Ключевые слова: фрактал, нефть, пласт, коллектор, самоподобие, теория перколяции.

Orlova Inna Olegovna

Candidate of Technical Sciences,
Associate professor of Oil and gas business
of a name of professor G.T. Vartumyan,
Institute of oil, gas and power,
Kuban State technological university
assoletta77@mail.ru

Datsenko Elena Nikolaevna

Candidate of Technical Sciences,
Associate professor of Oil and gas business
of a name of professor G.T. Vartumyan,
Institute of oil, gas and power,
Kuban State technological university
aldac@mail.ru

Avakimyan Natalya Nikolaevna

Candidate of Technical Sciences,
Associate professor,
Associate professor of Oil and gas business
of a name of professor G.T. Vartumyan,
Institute of oil, gas and power,
Kuban State technological university
avnatali@mail.ru

Orlov Igor Vladislavovich

Student,
Institute of oil, gas and power,
Kuban State technological university

Annotation. Need of deepening of fundamental knowledge of sheeted systems at the present stage of development of oil and gas fields is shown. The concept of fractality of spatial and temporary objects as one of aspects of knowledge of these systems is considered. It is noted that the front of replacement, character of cracks at layer hydraulic fracturing, oil have fractal structure.

Keywords: fractal, oil, layer, collector, self-similarity, theory of a perkolyation.

Заметный прогресс в области моделирования нефтегазовых месторождений, определяющего эффективные способы воздействия на продуктивные пласты, связан с ухудшением состояния мировых запасов нефти и газа, включая российские запасы углеводородного сырья. Основными причинами этого объективного процесса являются вступление многих известных месторождений в позднюю стадию разработки, когда уровень нефтегазодобычи снижается, и необходимость переоценки промышленно извлекаемых запасов нефти и газа с учетом появления новых высокоэффективных технологий добычи и геофизического мониторинга, базирующихся на более адекватных реальности методах моделирования нефтегазовых залежей [1, 2].

В условиях вступления месторождений в позднюю стадию разработки, которая отмечается повсеместно, главным резервом нефтегазовой отрасли является углубление фундаментальных знаний о процессах, происходящих в эксплуатируемых месторождениях углеводородов.



Понятие «фрактал» введено в научный обиход в 1975 г. Бенуа Мандельбротом. Фрактал (лат. fractus – дроблёный, сломанный, разбитый) – множество, обладающее свойством самоподобия (объект, в точности или приближённо совпадающий с частью себя самого, то есть целое имеет ту же форму, что и одна или более частей). Соответственно, фрактальной называется структура или множество, для которых любая подструктура или подмножество в каком-то смысле подобна целому (рис. 1). Мандельброт предложил неевклидову геометрию – негладких, шероховатых, зазубренных, изъеденных ходами и отверстиями, шершавых и т.п. объектов.



Рисунок 1 – Фрактальные структуры в ветвях дерева и трещинах горной породы

Фрактально-геометрическое описание случайных факторов поведения неупорядоченных систем в последнее время активно применяется в нефтедобыче. Фрактальная самоподобность, которая сохраняет свою структуру на разных уровнях масштабирования, характерна для множества реальных систем, в том числе для объектов нефтяных месторождений, вмещающих коллекторов и самой нефти. Нефти, помимо углерода и водорода, содержат также гетероэлементы, и прежде всего N, S, O, Ni и V. Концентрации этих металлов (V и Ni) в нефти отдельных месторождений столь значительны, что оказываются вполне сопоставимыми с содержаниями металлов в рудах. Выделяют ванадиевые ($V > Ni$) и никелевые ($Ni > V$) типы нефтей. Установлено, что уже на ранних стадиях образования абиогенной нефти пары N – Ni и S – V выполняют системообразующую функцию [4]. Ванадиевые нефти – тяжелые, высокосмолистые, сернистые и низкоазотистые, а никелевые – легкие, с низким содержанием серы, смол и асфальтенов, азотистые. Проявление подобных закономерностей на разных уровнях генезиса нефти свидетельствует о проявлении фрактальности, обусловленной системообразующей функцией пар N – Ni и S – V.

В годы бурного расцвета нефтяной промышленности и крупных открытий недостаточно уделялось внимания геолого-промысловому изучению нефтегазонасыщенных объектов. Среди специалистов длительное время природные резервуары ассоциировались с моделью порового однородного пласта-коллектора. Это считалось аксиомой при подсчете запасов и проектировании разработки. Однако в большинстве случаев запасы определялись первоначально с большой ошибкой и неоднократно уточнялись, фактические показатели разработки зачастую не соответствовали проектным. Отдельные исследователи на основе обширного геолого-промыслового материала приходят к выводу, что модель пласта-коллектора имеет более сложный характер, кроме пор в их строении принимают участие трещины и каверны. Поэтому геолого-геофизические данные поисково-разведочного этапа часто не согласуются с результатами испытаний и динамикой разработки.

Поведение нефтегазонасыщенных коллекторов, представленных пористыми средами, в существенной мере определяется стохастическими факторами, включая хаотическое распределение зерен породы коллекторов по форме и размерам. При изучении неупорядоченных систем все более эффективно используется фрактально-геометрическое описание стохастических элементов их поведения. Основным для аппарата фрактальной математики является понятие дробной размерности, впервые введенное Хаусдорфом. На языке фрактальной математики были сформулированы основные положения теории протекания. В частности, установлена фрактальная природа так называемых вязких пальцев в пористых средах, где сильно вязкая жидкость (нефть) вытесняется слабо вязкой жидкостью (водой) [3].

В работе [4] рассматривается возможность фрактального подхода к анализу процесса выработки запасов нефти из залежи. Предполагается, что процесс выработки запасов носит фрактальный характер при рассмотрении структуры функциональной зависимости как зависимости времени извлечения скважиной единицы запаса нефти от остаточных дренируемых запасов. В работе приводятся



результаты численного эксперимента процесса выработки объекта нефтедобычи с последующей аппроксимацией степенной функцией. Подход с фрактальной позиции к анализу выработки запасов дает возможность построить новую макрохарактеристику разработки.

В работе [5] в аспекте теории перколяции рассматривается фрактальная характеристика дренируемых запасов. Основываясь на асимптотическое решение уравнения двухфазной фильтрации несмешивающихся жидкостей в пористых средах, определена фрактальная размерность в зависимости от универсальных показателей теории перколяции: корреляционной длины, проводимости и мощности бесконечного кластера. На основе анализа полученных результатов в рамках системного подхода с использованием перколяционных представлений о фильтрации несмешивающихся жидкостей в пористых средах в водный период разработки месторождений показана возможность определения фрактальной размерности дренируемого объема залежи на основе анализа процесса выработки запасов нефти.

Статьи [6,7] посвящены анализу состояния разработки месторождения и определению фрактальной размерности фронта вытеснения нефти водой по данным нормальной эксплуатации скважин. В статье [6] изменение фронта вытеснения нефти водой исследуется на основе анализа вычисляемых монофрактальных и мультифрактальных размерностей для временных рядов промысловых данных, характеризующих процесс разработки и эксплуатации нефтяного месторождения. Анализ динамики рассматриваемых размерностей и их графическая иллюстрация дает возможность точнее характеризовать процесс вытеснения. Работа [7] посвящена в основном теоретическим положениям моно – и мультифрактальных размерностей.

В своей работе Иванникова В.И. рассматривает фрактальность нефтегазовых пластов как дробность породы-коллектора, разбитой сетью трещин [8]. Фрактальная природа трещин свидетельствует о непредсказуемости направления развития трещин при проведении ГРП.

Крупномасштабные фрактальные структуры возникают при закачке в пласт воды, газа и других агентов, поддерживающих пластовое давление. Наличие фрактальных структур может быть также связано с загрязнением прискважинных зон пласта.

Дальнейшее развитие представлений о нефтегазовой залежи как о сложной флюидодинамической системе с фрактальной структурой дало бы возможность обеспечить более полное извлечение остаточной нефти, улучшить технологии нефтедобычи, оперативно управлять процессами разработки.

Универсальная геофлюидодинамическая модель залежей нефти и газа, а также ее фрактальность, должна учитываться на всех стадиях освоения месторождений. Мониторинговое моделирование геофлюидодинамики нефтегазовых залежей способствует одновременной выработке трещинной и поровой сред, уменьшению обводненности продуктивных отложений, снижению непроизводительных затрат и комплексной ревизии запасов.

Литература:

1. Запывалов Н.П., Смирнов Г.И., Харитонов В.И. Фрактальная геодинамика нефтегазовых месторождений // Наука и технология углеводородов. – 2000. – № 2.
2. Харитонов В.И. Моделирование фрактальной структуры и геофлюидодинамики нефтегазовых залежей : дисс. ... канд. техн. наук. – Новосибирск, 2000. – 115 с.
3. Запывалов Н.П., Смирнов Г.И. Фрактальный анализ нефтегеологических систем / Тезисы Всероссийской конференции Науки о Земле на пороге XXI века: Новые идеи, подходы, решения. – М. : РФФИ, Научный мир, 1997. – С. 62.
4. Иманов А.М. Возможности фрактального подхода при анализе процесса выработки запасов нефти из залежи // Геология, геофизика и разработка нефтяных и газовых месторождений. – 2007. – № 4. – С. 35–38.
5. Мальшаков А.В. Анализ процесса выработки запасов нефти из залежи и определение фрактальной характеристики дренируемых запасов // Нефтяное хозяйство. – 2009. – № 8. – С. 38–41.
6. Сулейманов Б.А., Исмаилов Ф.С., Дышин О.А., Гусейнова Н.И. Определение фрактальной размерности фронта вытеснения нефти водой на основе данных нормальной эксплуатации скважин // Нефтяное хозяйство. – 2011. – № 12. – С. 111–115.
7. Сулейманов Б.А., Исмаилов Ф.С., Дышин О.А., Гусейнова Н.И. Анализ состояния разработки нефтяного месторождения на основе мультифрактального подхода // Нефтяное хозяйство. – 2011. – № 2. – С. 92–96.
8. Иванников В.И. Фрактальность нефтегазовых пластов и добыча углеводородов // Бурение и нефть. – 2011. – № 2.

References:

1. Zapivalov N.P., Smirnov G.I., Kharitonov V.I. Fractal geodynamics of oil and gas fields // Science and technology of hydrocarbons. – 2000. – No. 2.
2. Kharitonov V.I. Modeling of fractal structure and geoflyuidodinamika of oil and gas deposits : yew. ... Cand. Tech. Sci. – Novosibirsk, 2000. – 115 p.
3. Zapivalov N.P., Smirnov G.I. The fractal analysis of petrogeological systems / Theses of the All-Russian conference of Science about Earth on the dawn of the 21st century: New ideas, approaches, decisions. – M. : Russian Federal Property Fund, Scientific world, 1997. – P. 62.



4. Imanov A.M. Possibilities of fractal approach in the analysis of process of development of reserves of oil of a deposit // *Geology, geophysics and development of oil and gas fields.* – 2007. – No. 4. – P. 35–38.
5. Malshakov A.V. The analysis of process of development of reserves of oil of a deposit and definition of the fractal characteristic of the drained stocks // *Oil economy.* – 2009. – No. 8. – P. 38–41.
6. Suleymanov B.A., Ismaylov F.S., Dyshin O.A., Guseynova N.I. Determination of fractal dimension of the front of replacement of oil by water on the basis of the wells given to normal operation // *Oil economy.* – 2011. – No. 12. – P. 111–115.
7. Suleymanov B.A., Ismaylov F.S., Dyshin O.A., Guseynova N.I. The analysis of a condition of development of the oil field on the basis of multifractal approach // *Oil economy.* – 2011. – No. 2. – P. 92–96.
8. Ivannikov V.I. Fractality of oil and gas layers and extraction of hydrocarbons // *Drilling and oil.* – 2011. – No. 2.