

УДК 622.276.43

А.В. Насыбуллин, д.т.н., начальник отдела развития информационных технологий и моделирования пластовых систем института «ТатНИПИнефть», e-mail: arslan@tatnipi.ru; **Р.З. Саттаров**, ведущий инженер отдела развития информационных технологий и моделирования пластовых систем института «ТатНИПИнефть», e-mail: satram@tatnipi.ru

Анализ зависимости коэффициента охвата пласта заводнением от основных показателей макронеоднородности

Выполнена серия расчетов по стохастическим моделям, получена зависимость коэффициента расчлененности от коэффициента песчаности, выполнена оценка влияния размера линз на характер этой зависимости. На основе результатов стохастического моделирования построен график зависимости коэффициента охвата заводнением от коэффициента расчлененности.

Ключевые слова: стохастическое моделирование, неоднородность, коэффициент расчлененности, коэффициент песчаности, коэффициент заводнения, песчаное тело, линза.

Проблема обеспечения более полного охвата пластов процессом заводнения становится с каждым годом все более актуальной. Сложное строение нефтяных залежей затрудняет полное дренирование всего объема залежи, особенно полный охват – вытеснением нефти водой через нагнетательные скважины в добывающие. Очень часто нефтеносные пласты состоят из хаотически расположенных проницаемых песчаных (терригенных) или известняковых и непроницаемых слоев, линз и пропластков. Иногда расчлененность пластов достигает величин до 20 пропластков в пределах разреза одной скважины. В частности, горизонт D_1 Ромашкинского месторождения представлен песчано-алевролитовыми продуктивными породами, которые переслаиваются с непроницаемыми глинистыми алевролитами и аргиллитами. Количество проницаемых пластов в скважинах колеблется от 1–2 до 11–12 (при среднем 6–8). Пласты чрезвычайно изменчивы по толщине и не выдержаны по площади. Диаграммы электрокаротажа по двум соседним скважинам, пробуренным на расстоя-

нии нескольких сотен метров друг от друга, часто имеют совершенно различный характер. Такая сложная картина значительно затрудняет корреляцию разрезов скважин [1].

Довольно часто отдельные пропластки, входящие в объекты разработки, могут не охватываться заводнением, и, следовательно, из них не вытесняется нефть. Неравномерное обводнение отдельных нефтяных скважин даже при их строго упорядоченном расположении на нефтеносной площади месторождения приводит к тому, что в пласте остаются нефтенасыщенные зоны, не охваченные заводнением.

Коэффициент охвата заводнением оказывает существенное влияние на коэффициент извлечения нефти в целом. Он зависит от геологических и технологических факторов.

Технологическими факторами являются система разработки, темп ввода залежи или месторождения в разработку, темп отбора нефти.

Геологическими факторами являются макронеоднородность залежей и изменчивость фильтрационных и емкостных характеристик пласта (пори-

стость, проницаемость). Макронеоднородность характеризуется латеральной изменчивостью эффективной толщины пласта, значение которой зависит от пространственного распределения коллекторов и неколлекторов в пределах продуктивного горизонта. Основными показателями макронеоднородности служат коэффициент песчаности ($K_{пес}$), показывающий соотношение коллекторов и неколлекторов в общем объеме эксплуатационного объекта, и коэффициент расчлененности ($K_{рас}$), характеризующий вертикальную неоднородность продуктивного горизонта или объекта разработки. Коэффициент расчлененности вычисляется путем подсчета числа прослоев – коллекторов в разрезе скважины. В целом по объекту производят суммирование проницаемых прослоев по всем скважинам, а затем делят их на число скважин. Коэффициент расчлененности равен единице, если весь продуктивный горизонт состоит из одного пласта-коллектора. Чем больше количество проницаемых пропластков в разрезе каждой скважины, тем выше значение $K_{рас}$. Это увеличивает вероятность прерывания входящих

в пласт пропластков. Соответственно, снижается выдержанность пласта. Совместное использование коэффициентов расчлененности и песчаности позволяет составить представление о макронеоднородности разреза. Чем больше коэффициент расчлененности и меньше коэффициент песчаности, тем выше макронеоднородность объекта.

Основная цель работы заключалась в определении степени влияния этих показателей макронеоднородности на коэффициент охвата пласта заводнением. В работах [2, 3, 4] представлена формула для определения коэффициента охвата заводнением:

$$K_{зав} = 1 - \frac{Z}{3} \frac{P(1-P)(0.427 + 0.733P - 0.826P^2)}{\exp[13.19(P-0.60)^2]}, \quad (1)$$

где P – вероятность наличия коллектора (коэффициент песчаности); Z – безразмерное расстояние между зоной нагнетания и отбора.

Аналитическая формула была получена А.Н. Юрьевым [3] путем моделирования на стохастических моделях (моделировалась четырехкратная промывка объема пор). Коэффициент заводнения был получен аппроксимацией отношения добытой нефти к запасам в связанной области пласта при различных значениях P и Z. Представленная зависимость наглядно показывает влияние геологического фактора (коэффициент песчаности P) и технологического фактора (безразмерное расстояние между зоной нагнетания и отбора Z) на эффективность разработки, в данном случае – на коэффициент заводнения. График зависимости представлен на рисунке 1. На данных графиках видно наличие экстремума при значении коэффициента песчаности примерно 0,53. Это связано с максимальным усложнением геометрии связанной области при данном значении.

Как уже отмечалось, на усложнение геологического строения пластов влияет их расчлененность в совокупности с песчаностью. Поэтому было решено провести анализ зависимости коэффициента расчлененности ($K_{рас}$) от коэффициента песчаности ($K_{пес}$) с применением стохастического моделирования. В качестве метода сто-

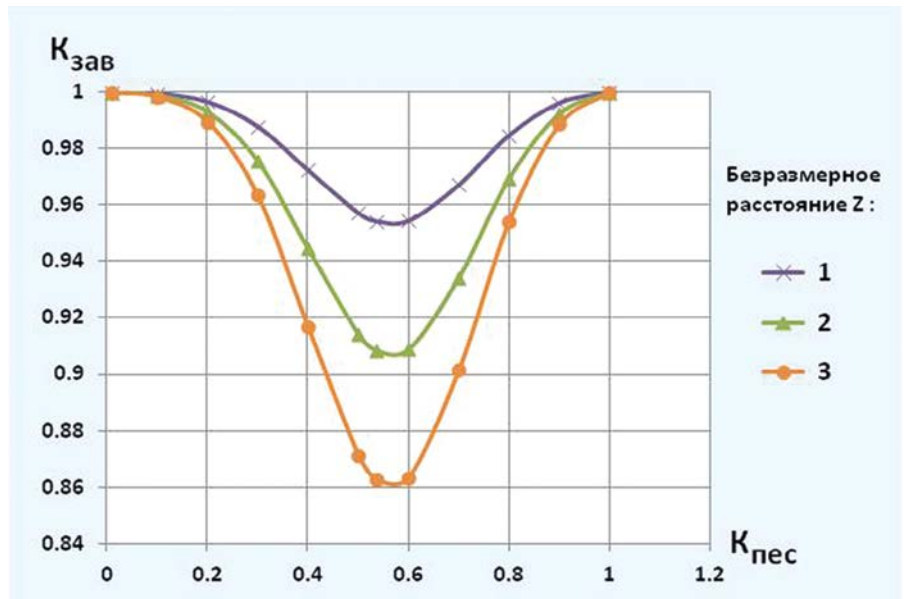


Рис. 1. Зависимость коэффициента заводнения от коэффициента песчаности

хастического моделирования выбран объектный метод Composite, который заключается в случайном распределении литологических тел (объектов) с определенной геометрией и размерами. Примеры объектов для моделирования: литологические и фациальные тела (конусы, эллипсы, прямоугольники), каналы, русловые структуры. В качестве параметра моде-

лирования использовался дискретный параметр литологии (0 – неколлектор, 1 – коллектор). Куб литологии формировался случайным образом, но с учетом таких важных параметров неоднородности, как песчаность и размеры песчаных тел (линз). В качестве геометрической формы объекта был принят эллипс. Шаг сетки модели равнялся 50 м, количество слоев

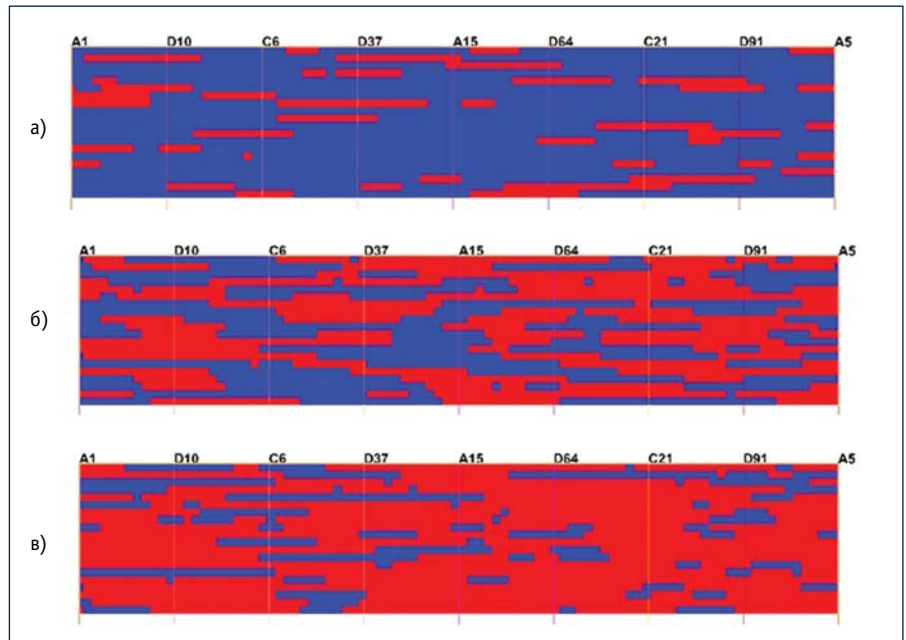


Рис. 2. Пример геологических профилей по линиям скважин с различными характеристиками неоднородности:

а) $K_{пес} = 0,2$; $K_{рас} = 3,1$; б) $K_{пес} = 0,6$; $K_{рас} = 5,11$; в) $K_{пес} = 0,8$; $K_{рас} = 3,85$ (красным цветом – коллектор, синим – неколлектор)

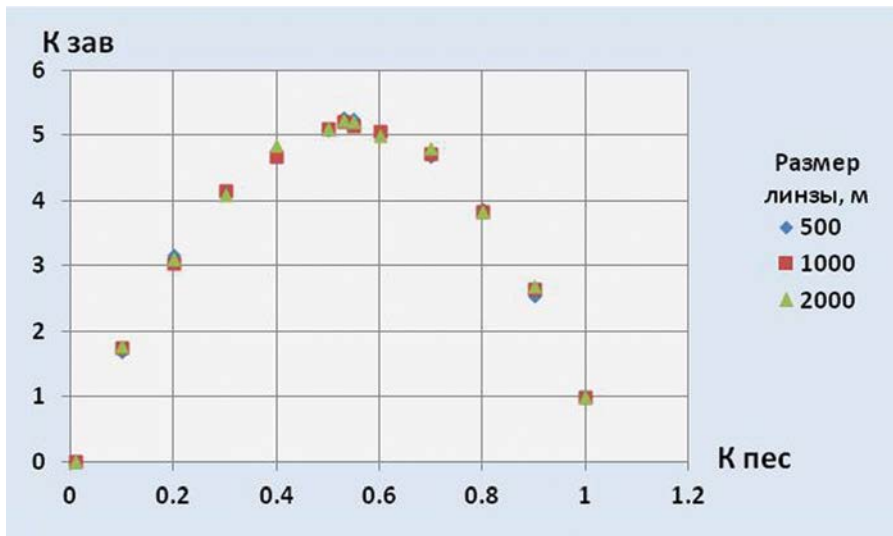


Рис. 3. Зависимость коэффициента расчлененности от коэффициента песчаности

– 20. Первоначально расстояние от кровли до подошвы составляло 20 м. Геометрические размеры линз (длина, ширина, высота) распределялись по нормальному закону. В качестве средних значений вероятностного распределения принимались принятые характерные размеры. Коэффициент песчаности изменялся в пределах от 0 до 1, в качестве характерных (средних) размеров линз принимались значения от 500 до 2000 м. Высота линзы фиксировалась значением в 1 м. Скрипт для вычисления коэффициента расчлененности написан на встроенном языке программирования IPL пакета Irap RMS. Расчлененность определялась в каждом вертикальном наборе ячеек

куба путем суммирования количества пропластков и представлялась в виде поля. Осреднением этого поля получали искомое среднее значение коэффициента расчлененности в целом по кубу. Примеры геологических профилей кубов литологии с различными значениями коэффициента песчаности наглядно демонстрируют зависимость коэффициента расчлененности от этого параметра неоднородности (рис. 2). Самая сложная геометрия связанной области коллектора представлена на рисунке 2б. Результаты проведенных экспериментов представлены на рисунке 3. Как видим, наблюдается четкая взаимозависимость этих параметров макронеоднородности

пласта. Причем зависимость не коррелирует с размерами линз. Это говорит о масштабной инвариантности (фрактальности) прерывистых пластов [5]. Все остальные эксперименты по определению взаимовлияния коэффициентов было решено проводить при размере линз 500 м. Другим параметром, влияющим на расчлененность, является толщина пласта. Толщина пласта изменялась от 1 до 30 м. Полученные графики представлены на рисунке 4. В результате многочисленных экспериментов была получена аналитическая формула:

$$K_{\text{рас}} = \frac{(H_{\text{пл}} - h_{\text{л}})}{h_{\text{л}}} (1,02 K_{\text{пес}} - 1,01 K_{\text{пес}}^2 - 0,01) + K_{\text{пес}} \quad (2)$$

где $H_{\text{пл}}$ – толщина пласта, м;
 $h_{\text{л}}$ – минимальная высота линзы, представляющей продуктивный пласт, м;
 $K_{\text{пес}}$ – коэффициент песчаности, д. ед.

На графиках видно, что одно и то же значение $K_{\text{рас}}$ возможно при двух значениях $K_{\text{пес}}$, кроме максимального значения расчлененности. Экстремум функции при $H_{\text{пл}} \rightarrow \infty$ достигается при $K_{\text{пес}} = 0,5$. Изменение толщины пласта до 5 м незначительно смещает положение экстремума вправо (на рисунке 4 отмечено областью серого цвета). Как мы видим, диапазон экстремумов этой функции совпадает с экстремумом функции (1). Это подтверждает максимально сложное строение связанной области в точках экстремумов. Начиная

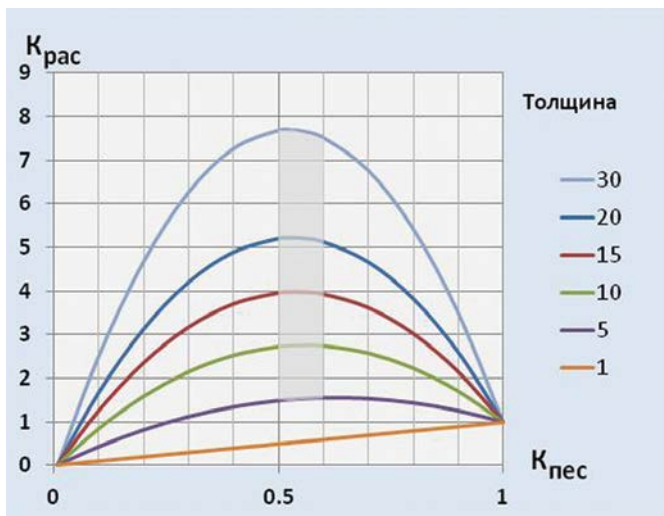


Рис. 4. Зависимость коэффициента расчлененности от коэффициента песчаности при различных значениях толщины пласта ($h_{\text{л}} = 1$)

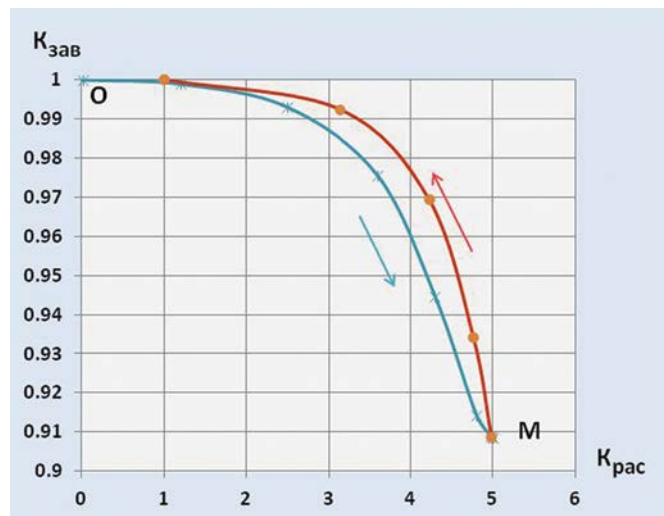


Рис. 5. Зависимость коэффициента охвата заводнением от коэффициента расчлененности

Новые технологии в производстве труб*



УРАЛЬСКИЙ
ТРУБНЫЙ ЗАВОД

ТОЛЩИНА СТЕНКИ

3-22^{мм}



ДИАМЕТР

от \varnothing **146** мм
до \varnothing **630** мм

КРУГЛЫЕ ТРУБЫ

Электросварные прямошовные

\varnothing 146x4-8

\varnothing 159x4-8

\varnothing 168x4-8

\varnothing 219x5-20

\varnothing 273x5-22

\varnothing 325x5-22

\varnothing 377x6-22

\varnothing 426x6-22

\varnothing 530x6-22

\varnothing **630x8-22**

Длина трубы – 6-18 м.

ГОСТ 10705-80, ГОСТ 10704-91, ГОСТ 20295-85, API 5L - 2007, API 5-CT

* Новые технологии в производстве труб.
Электросварные круглые трубы \varnothing 530, 630 мм
изготавливаются из рулонного проката
с толщиной стенки от 3 до 22 мм.
Внесены изменения в ГОСТ 10705-80, 10704-91

Подробности на сайте www.uraltrubprom.ru

на правах рекламы



УРАЛЬСКИЙ
ТРУБНЫЙ ЗАВОД

ОАО «Уральский трубный завод»
623107, Свердловская область,
г. Первоуральск, ул. Сакко и Ванцетти, 28
тел.: +7 (3439) 297 539, 297 540
факс: +7 (3439) 297 538, 297 534
e-mail: market@trubprom.com
www.uraltrubprom.ru

с толщины пласта 5 м и до 1 м, максимальное значение функция принимает при изменении $K_{\text{пес}}$ от 0,6 до 1 соответственно. Коэффициент расчлененности равен единице при полном заполнении пласта коллектором ($K_{\text{пес}} = 1$). При толщине пласта, равной толщине линзы, график зависимости представляет собой прямую. Это самый нижний график на рисунке 4. Коэффициент расчлененности в этом случае будет равен коэффициенту песчаности и не опустится ниже значения $K_{\text{пес}}$. Исходя из уравнений (1) и (2), можно построить график зависимости коэффициента заводнения от коэффициента расчлененности (рис. 5). График этой зависимости напоминает петлю гистерезиса. Стрелками обозначено увеличение песчаности. Сначала от точки 0 происходит увеличение песчаности от 0 до критического значения расчлененности, при котором наблюдается максимальное усложнение литологического строения пласта. Это синяя кривая графика. При дальнейшем

увеличении песчаности увеличение происходит не по прежней траектории, а по траектории со значениями выше прежних и сходится в одной точке при $K_{\text{пес}} = 1$. Этой траектории соответствует красная кривая графика. Важной точкой на этом графике является точка М. Она соответствует минимальному значению коэффициента заводнения по формуле (1) и максимальному значению коэффициента расчлененности по формуле (2). Этот график был построен для безразмерного расстояния между зоной нагнетания и отбора $Z = 2$, толщины пласта $H_{\text{пл}} = 20$ м и толщины линзы $h_{\text{л}} = 1$ м. Изменение этих параметров изменит положение точки М на графике. Но характер зависимости коэффициента заводнения от коэффициента расчлененности остается всегда неизменным.

ВЫВОДЫ

1. В результате стохастического моделирования получено уравнение зависимости коэффициента расчлененности от коэффициента песчани-

стости прерывистого пласта при фиксированной толщине литологического тела (линзы).

2. Определено, что размер линзы не влияет на характер этой зависимости, что говорит о масштабной инвариантности (фрактальности) прерывистого пласта.

3. Подтверждено наличие экстремума (максимального значения $K_{\text{рас}}$) при $K_{\text{пес}} = 0,53-0,6$, что подтверждает сложное строение коллектора при этих значениях.

4. На основе результатов стохастического моделирования построен график зависимости коэффициента охвата заводнением от коэффициента расчлененности.

5. Показано, что коэффициент охвата заводнением пласта зависит как от коэффициента песчаности, так и от коэффициента расчлененности. Это свидетельствует о важности учета влияния этих показателей макронеоднородности пласта при проектировании разработки нефтяных месторождений.

Литература:

1. Бадьянов В.А. Методика корреляции продуктивных пластов в условиях значительной фашиальной изменчивости (на примере горизонта Д1 Ромашкинского месторождения) // НТС ВНИИ по добыче. – М., 1964. – Вып. 24. – С. 3–5.
2. Бадьянов В.А. Методы компьютерного моделирования в задачах нефтепромысловой геологии. – Тюмень, 2010. – 135 с.
3. Бадьянов В.А., Ревенко В.М., Юрьев А.Н., Закомолдина Н.М. Исследование влияния прерывистости пласта на коэффициент охвата процессом вытеснения // Проблемы нефти и газа Тюмени. – 1984. – Вып. 61. – С. 31–33.
4. РД 39-0147035-214-86 «Методическое руководство по расчету коэффициентов извлечения нефти из недр». – М., 1986. – 254 с.
5. Мирзаджанзаде А.Х., Хасанов М.М., Бахтизин Р.Н. Моделирование процессов нефтегазодобычи. – Москва – Ижевск: ИКИ, 2004. – 368 с.

UDC 622.276.43

A.V. Nasybullin, D.Sc. (Engineering), Head of the Information Technology Development and Reservoir-Type Systems Modeling of TatNIPIneft Institute, e-mail: arslan@tatnipi.ru; **R.Z. Sattarov**, Lead Engineer of the Information Technology Development and Reservoir-Type Systems Modeling of TatNIPIneft Institute, e-mail: satram@tatnipi.ru

Analysis of dependence of sweep efficiency on the main macroinhomogeneity indicators

A series of calculations according to stochastic models was performed, dependence of number of permeable intervals on net-to-gross ratio was obtained, and impact of lenses size on this dependence was assessed. Based on the results of stochastic modeling, a diagram of dependence of sweep efficiency on number of permeable intervals was drawn up.

Keywords: stochastic modeling, inhomogeneity, number of permeable intervals, net-to-gross ratio, flooding factor, sand package, lens.

References:

1. Badyanov V.A. Metodika korrelyatsii produktivnykh plastov v usloviyakh znachitel'noi fatsial'noi izmenchivosti (na primere gorizonta D1 Romashkinskogo mestorozhdeniya) (Producing layers correlation methods under considerable facies variation (in terms of horizon D1 of Romashkinskoye field)) // Science and Engineering Board of All-Russian Research Institute of Extraction. – Moscow, 1964. – Issue 24. – P. 3–5.
2. Badyanov V.A. Metody kompyuternogo modelirovaniya v zadachakh neftepromyslovoi geologii (Methods of computer modeling in the oil field geology). – Tyumen, 2010. – 135 p.
3. Badyanov V.A., Revenko V.M., Yuryev A.N., Zakomoldina N.M. Issldovanie vliyaniya preryvistosti plasta na koeffitsient okhvata protsessom vytesneniya (Study of discontinuity impact on areal sweep efficiency) // Problems of Tyumen oil and gas. – 1984. – Issue 61. – P. 31–33.
4. RD 39-0147035-214-86 «Metodicheskoe rukovodstvo po raschetu koeffitsientov» (Guideline for calculation of oil recovery factor from subsoil). – Moscow, 1986. – 254 p.
5. Mirzadzhanzade A.Kh., Khasanov M.M., Bakhtizin R.N. Modelirovanie protsessov neftegazodobychi (Modeling of oil and gas extraction processes). – Moscow-Izhevsk: IKI, 2004. – 368 p.

Ждем Вас на выставке «Нефтегаз 2014»
26-29 мая 2014г.
Павильон 2.2 Стенд 22С65



ПОЛНЫЙ СПЕКТР СОЕДИНЕНИЙ «ПРЕМИУМ»



ЗАО «Торговый Дом «ТМК»
105062, Россия, Москва, ул. Покровка, д.40, стр. 2а
тел.: +7 495 775-7600, факс: +7 495 775-7601
www.tmk-group.ru