

Оценка точности интерполяционных геологических моделей

К.Е. Закревский

к.г.-м.н., главный специалист¹
kezakrevskiy@rosneft.ru

В.Л. Попов

старший научный сотрудник²
PopovVL@tomsknipi.ru

¹ПАО «НК «Роснефть», Москва, Россия

²ОАО «ТомскНИПИнефть», Томск, Россия

В статье приводятся результаты численных расчетов, выполненных на синтетических цифровых геологических моделях. Описывается методика создания синтетических геологических моделей и вариации исходных данных. Анализируется степень влияния изменчивости исходных данных на точность интерполяции скважинных данных в межскважинном пространстве.

Материалы и методы

Численные расчеты на синтетических моделях.

Ключевые слова

вариограмма, горизонтальный радиус, расстояние, изменчивость, скважины, песчанность

Создание цифровых геологических моделей осуществляется сегодня на всех этапах жизни месторождения, сопровождая создание отчетов по подсчету запасов и проектных документов на разработку. При этом осуществляется создание каркаса модели и последующее заполнение его литологическими типами пород, характеризующимися различными распределениями фильтрационно-емкостных свойств (ФЕС) в объеме резервуара. Подавляющая часть моделей является на сегодняшний день интерполяционными, поскольку распределение пород и их ФЕС в межскважинном пространстве осуществляется интерполяцией (кригингом) скважинных данных.

В этой ситуации погрешность распределения пород и их ФЕС интерполяцией зависит как от изменчивости геологических характеристик изучаемого объекта, так и от плотности наблюдений (сетки скважин). Попытки установить закономерности изменения величины ошибки интерполяции, в зависимости от изменчивости геологических характеристик и плотности наблюдений, выполнялись достаточно давно [1, 2]. Так, например, были построены графики изменчивости ошибки интерполяции в зависимости от сетки скважин для разных величин амплитуды полуволн колебаний эффективной толщины, определяемой по профильным разрезам [1]. В настоящее время одним из основных параметров, характеризующих изменчивость геологических характеристик, является радиус (ранг) вариограммы — range [3–5]. С увеличением радиусов вариограмм коллекторов (вертикального и горизонтального) возрастает степень выдержанности коллектора в объеме резервуара.

Появление мощных компьютеров позволяет выполнять многовариантные численные расчеты на синтетических моделях, осуществляя вариацию геологических характеристик, в первую очередь, радиусов вариограмм коллекторов и плотности сетки скважин, оценивая затем погрешность интерполяции свойств

в межскважинном пространстве. Далее рассматриваются технологии таких многовариантных расчетов и анализируются полученные результаты.

Поскольку основное влияние на запасы УВ и направление фильтрационных потоков в резервуаре оказывает распределение коллекторов, то целью выполняемых расчетов была оценка величины ошибки интерполяции в зависимости от изменчивости коллекторов и плотности наблюдений. Расчеты проводились на синтетической модели, построенной в программном продукте Petrel 2013 (Schlumberger). Синтетическая модель имеет размерность 10х10 км, размер ячейки 50х50 м, толщина ячейки 0,3 м, количество слоев — 50. В геологической модели были заданы три равномерные квадратные сетки скважин со сторонами квадрата 500, 1000 и 2000 м.

На синтетической модели исследовались: воспроизводимость куба литотипов (точность прогноза коллекторов в межскважинном пространстве) и воспроизводимость объема залежей (ошибка прогноза запасов залежи, в зависимости от средней песчанности, рангов вариограмм, анизотропии свойств по латерали, размера сетки скважин). Расчеты проводились в следующем порядке. Для получения исходного куба литотипов (1 — коллектор, 0 — неколлектор) производилось последовательное индикаторное моделирование SIS (рис. 1).

Затем этот куб считался исходным распределением коллектора в залежи и ремасштабировался в каротажи литотипов по скважинам (рис. 2).

Эти каротажные данные далее использовались как исходные данные для расчета интерполяционного куба литологии (рис. 3).

После этого вычислялся итоговый куб разности исходного и интерполяционного кубов (рис. 4), по которому оценивалось расхождение объема коллектора и количество ячеек с литологией, отличной от исходного куба литотипов.

В процессе исследований в исходной модели варьировались: средний коэффициент песчанности (NTG) — от 0,1 до 0,9 с шагом 0,1, горизонтальный радиус вариограмм — от 500 до 10000 м, вертикальный радиус вариограмм — от 1 до 4 м, плотность сетки скважин — от 500 до 2000 м.

Для каждого значения NTG и рангов вариограмм считалось 15 равновероятных реализаций для снижения влияния случайных ошибок. Всего было построено более 10 000 реализаций, по которым были получены результаты, использованные для дальнейшего анализа. В качестве параметров, влияющих на ошибку объема и ошибку прогноза коллектора, изучались следующие параметры:

- средняя песчанность исходной модели (NTG);
- ранги вариограмм по осям X, Y и Z (R_x, R_y, R_z);

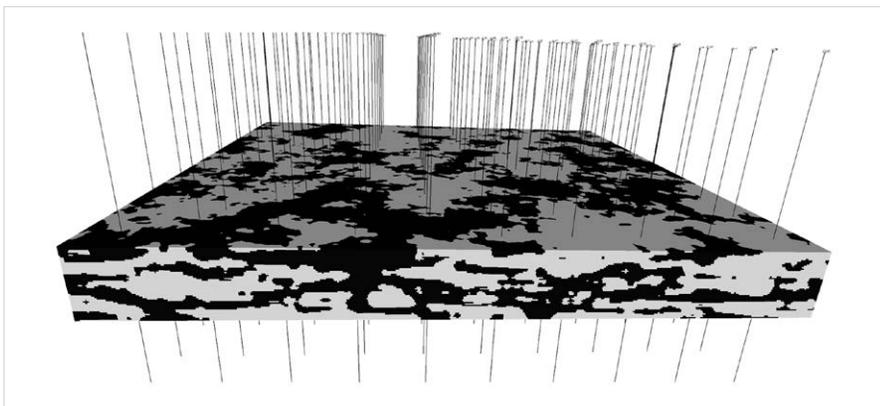


Рис. 1 — Пример случайного распределения коллекторов при сетке скважин 2000х2000 м (коллекторы показаны черным цветом)

- средний горизонтальный ранг вариограмм R , определяемый как Евклидово среднее между R_x и R_y (средний радиус эллипса с полуосями R_x и R_y);
- отношение рангов вариограмм R_x/R_y (латеральная анизотропия);
- отношение рангов вариограмм R/R_z (вертикальная анизотропия);
- сторона квадрата сетки скважин (L);
- коэффициент изменчивости $K_i=R/L$ (отношение среднего горизонтального ранга R к стороне квадрата сетки скважин).

Исследование влияния изменений песчаности показало, что для всех вариантов при постоянных рангах вариограмм и изменении песчаности ошибка прогноза коллектора менялась по одному закону. Величина максимальной ошибки в значении $NTG=0,5$ значимо коррелирует с размером сетки скважин — ошибка прогноза увеличивается с увеличением расстояния между скважинами.

Ошибка прогноза объема минимальна при NTG модели равной 0,5 и наибольшая при значениях NTG возле критических точек с $NTG=0,2$ и $NTG=0,8$. Такое поведение ошибки прогноза объема довольно просто объяснимо. При песчаности 0,5 количество ячеек коллектора и неколектора примерно одинаково и, независимо от их распределения в залежи, общий объем коллектора не изменяется. При снижении NTG , то есть для залежей со рваным коллектором плохого качества, объем залежи будет завышаться на модели, построенной на скважинных данных. Для моделей с выдержанным коллектором и высокой общей песчаностью объем залежи, наоборот, будет занижаться по модели относительно реального распределения. Изменения анизотропии и вертикального ранга существенного влияния на ошибки интерполяции не оказывают.

Обнаружено, что среднеквадратичная ошибка прогноза коллектора Δ в наибольшей степени связана с величиной коэффициента изменчивости $K_i=R/L$ (отношение среднего ранга вариограмм R к стороне квадрата сетки скважин L) — рис. 5.

Итоги

По результатам исследований, было определено, что ошибка прогноза коллектора менялась по одному закону, достигая максимума при песчаности 0,5 и снижаясь к величинам песчаности 1 и 0.

Кроме того, была вычислена среднеквадратичная ошибка прогноза коллектора по всем значениям NTG и проанализирована связь ошибки с различными факторами, которые могут оказать влияние на этот параметр.

Выводы

В результате проделанных расчетов, установлено существенное влияние комплексного параметра R/L на погрешность интерполяции коллекторов в межскважинном пространстве. Параметр R/L учитывает одновременно выдержанность коллекторов по латерали и плотность наблюдений (сетку скважин). Установлены критические величины R/L (1,5 и 5), характеризующие поведение функции ошибки прогноза Δ . Это позволяет, зная изменчивость коллекторов (R) данного пласта на разбуренной части месторождения или на

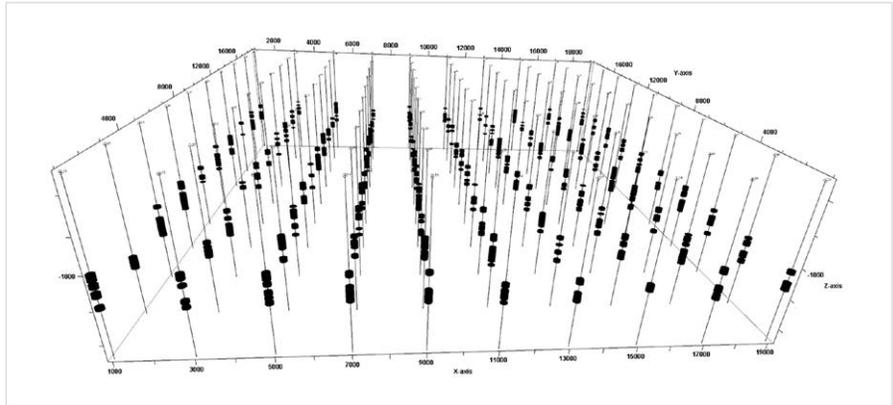


Рис. 2 — Пример случайного распределения коллекторов вдоль траекторий скважин (коллекторы показаны черным цветом)

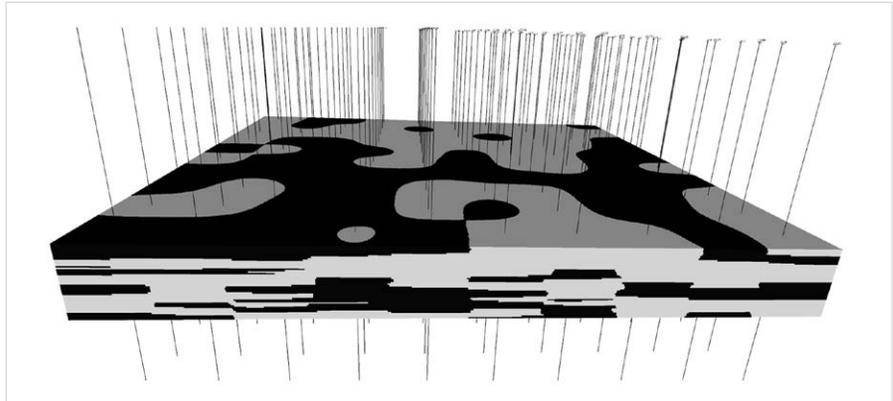


Рис. 3 — Распространение коллекторов интерполяцией (кригингом) в межскважинном пространстве, опираясь на скважинные данные (коллекторы показаны черным цветом)

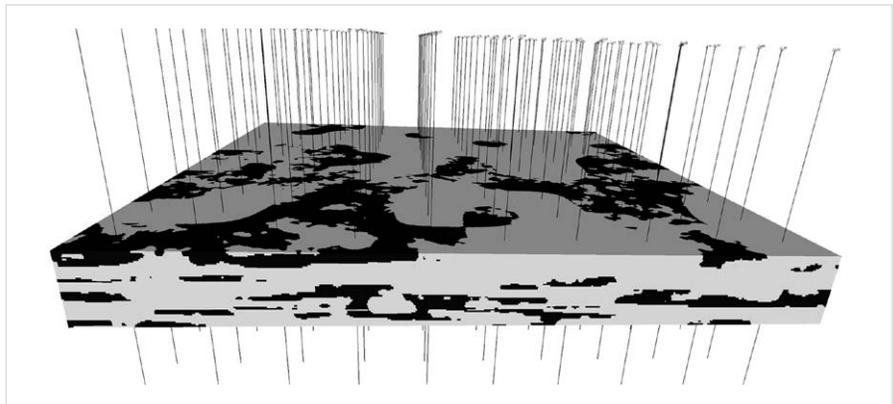


Рис. 4 — Куб различий исходного и интерполяционного кубов коллекторов (ячейки, имеющие индекс коллектора в обоих кубах, показаны черным цветом)

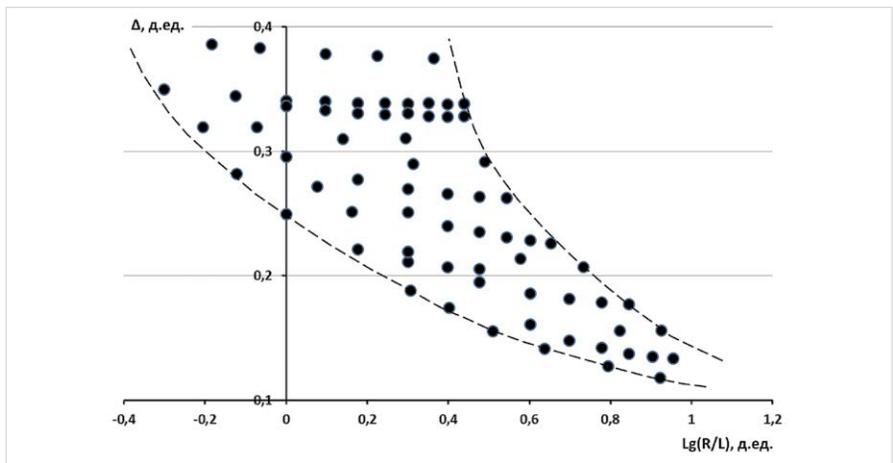


Рис. 5 — Зависимость погрешности прогноза коллекторов Δ от отношения латерального радиуса вариограмм R к сетке скважин L

СЕМИНАР- КОНФЕРЕНЦИЯ

«Инновационные решения
в области КРС, ПНП, ГНКТ,
внутрискважинные работы
и супервайзинг
в горизонтальных и
разветвленных скважинах»

05–09 июня 2017

г. Ялта, Республика Крым, РФ

«Эксплуатация-добыча
нефти и газа, ремонт и
бурение горизонтальных
скважин»

11–15 сентября 2017

г. Севастополь, Республика Крым, РФ



Инновационные
Технологии

+7 (3452) 534 009

togcf@bk.ru, in_tech@bk.ru

WWW.TOGC.INFO

месторождении-аналог, планировать про-
ведение сейсморазведочных работ 3Д или
сгущение сетки скважин для снижения доли
бурящихся пустых скважин на остальной ча-
сти месторождения.

Список литературы

1. Быков Н.Е., Фурсов А.Я., Максимов М.И.
Справочник по нефтепромысловой
геологии. М.: Недра, 1981. 525 с.
2. Борисов Ю.П., Воинов В.В.,
Рябинина З.К. Влияние неоднородности

пластов на разработку нефтяных
месторождений. М.: Недра, 1970. 288 с.

3. Дойч К.В. Геостатистическое
моделирование коллекторов.
М.–Ижевск: ИКИ, 2011. 400 с.
4. Дюбрул О. Использование
геостатистики для включения в
геологическую модель сейсмических
данных. Зейст: SEG EAGE, 2002. 296 с.
5. Косентино Л. Системные подходы к
изучению пластов. Ижевск: ИКИ, 2007.
374 с.

ENGLISH

GEOLOGY

Accuracy evaluation of interpolational geological models

UDC 551

Authors:

Konstantin E. Zakrevskiy — Ph.D., chief specialist¹, kezakrevskiy@rosneft.ru
Viktor L. Popov — senior researcher², PopovVL@tomsknipi.ru

¹JSC “NK “Rosneft”, Moscow, Russian Federation

²JSC “TomskNIPIneft”, Tomsk, Russian Federation

Abstract

The results of numerical calculations, based upon synthetic digital geological models, are presented in the article. The methodology for constructing synthetic geological models and variations of source data are also described in the article. The influence quantity on the variance of the source data on the accuracy of well data interpolation in the interwell space were analyzed by the author.

Materials and methods

Numerical calculations, based upon synthetic models.

Results

According to the test report, the forecast error of the reservoir follows the same law, reaching a maximum at 0,5 and decreasing to the NTG magnitude from 1 to 0.

Besides, the standard error of the reservoir forecast was calculated, taking into account the NTG magnitude; the relation between the error

and other different factors, that can influence on the parameter, was determined.

Conclusions

The significant influence of the complex parameter R/L on the reservoir error interpolation in the interwell space was determined on the basis of calculations. The parameter R/L registers the reservoir lateral sand continuity and the density of observations (well coverage). The critical value of R/L (1,5 and 5), describing error function forecast Δ , was determined.

The fact allows to plan the realization of 3D seismic exploration work or densening of well pattern to reduce the number of empty holes of the field, taking into account the variance of reservoirs (R) at the drilled part of the oilfield or the ideal analogue.

Keywords

variogram, horizontal range, distance, variance, wells, NTG

References

1. Bykov N.E., Fursov A.Ya., Maksimov M.I. *Spravochnik po neftepromyslovoy geologii* [Guide to Petroleum Geology]. Moscow: Nedra, 1981, 525 p.
2. Borisov Yu.P., Voynov V.V., Ryabinina Z.K. *Vliyaniye neodnorodnosti plastov na razrabotku neftyanykh mestorozhdeniy* [The influence of heterogeneity on the development of oil fields]. Moscow: Nedra, 1970, 288 p.
3. Doych K.V. *Geostatisticheskoe modelirovaniye kollektorov* [Geostatistical reservoir modeling]. Moscow–Izhevsk: Institute of computer science, 2011, 400 p.
4. Dyubrul O. *Ispol'zovaniye geostatistiki dlya vklucheniya v geologicheskuyu model' seysmicheskikh dannykh* [Geostatistics for seismic data integration in earth models]. Zeist: SEG EAGE, 2002, 296 p.
5. Kosentino L. *Sistemnyye podkhody k izucheniyu plastov* [Integrated reservoir studies]. Izhevsk: Institute of computer science, 2007, 374 p.