Electrophysical, Hydrophysical and Geomechanical Characteristics of the Jurassic Oil Collector on Electric Well Logs

D. Pavlova* (Novosibirsk State University), I. Yeltsov (IPGG SB RAS)

SUMMARY

Coupled geomechanic and fluid flow analysis is applied to reduce ambiguity of the solution of the inverse problem and to increase reliability of oil reservoir parameters definition. Interpretation of the oil well electrics data on the basis of geophysical and hydrodynamic compatibility model was carried out with materials from the Russkinsky and the Tevlinsko-Russkinsky oil fields of Western Siberia. The object of research is the Jurassic oil collector which has a complex structure of penetration zone. Input parameters of joint model were determined from data of geophysical study of borehole and core analysis.

Электрофизические, гидрофизические и геомеханические характеристики юрского нефтяного коллектора по данным скважинной геоэлектрики

Д.М. Павлова* (ИНГГ СО РАН, НГУ), И.Н. Ельцов (ИНГГ СО РАН)

Работа выполнена при частичной поддержке гранта РФФИ 16-05-00830

Введение

В последние годы при проведении геофизических работ в нефтяных скважинах все большее внимание уделяется изучению зоны проникновения. Она является источником дополнительной информации о таких важных для нефтяной отрасли свойствах коллектора, как пористость, проницаемость и нефтенасыщенность.

Зона проникновения характеризуется сложным строением, из-за чего решение обратной задачи имеет высокую неоднозначность. Для повышения достоверности определения параметров коллектора была предложена методика интерпретации данных скважинной геоэлектрики на основе совместной геофизической и гидродинамической (фильтрационной) модели с использованием программного комплекса моделирования фильтрации и солепереноса в условиях изменения напряженно-деформированного состояния среды. [Ельцов и др., 2012]

Входными данными для проведения гидродинамического моделирования являются характеристики продуктивного пласта и флюидов (пластовой воды и нефти), а также параметры глинистой корки, бурового раствора и данные ГТИ (геолого-технологических исследований).

В связи с большим числом используемых параметров необходимо провести анализ чувствительности сигнала (удельного электрического сопротивления (УЭС)) и установить, влияние каких параметров на результат гидродинамического моделирования наиболее существенно.

Объектом исследования является юрский нефтяной коллектор, выделяемый в ряде скважин Сургутского свода Западной Сибири. Он характеризуется большой глубиной залегания (2700-2900 м) и высокой нефтенасыщенностью (до 95%). Коллектор отличается сильной региональной изменчивостью, сложным строением проницаемой части разреза и низкими фильтрационными свойствами [Цику, 2015].

В работе использованы материалы с Рускинского и Тевлинско-Рускинского месторождений Западной Сибири.

Методика интерпретации

Интерпретация данных скважинной геоэлектрики на основе совместной геофизической и гидродинамической модели проводилась в три этапа:

- Стандартный подход (инверсия данных высокочастотного индукционного изопараметрического каротажного зондирования (ВИКИЗ) и бокового каротажного зондирования (БКЗ)).
- Гидродинамическое (фильтрационное) моделирование.
- Анализ полученных результатов, использование априорной геологической информации и построение итоговой модели.

Одномерная инверсия данных ВИКИЗ и БКЗ проводилась в программе EMF_Pro [Ельцов и др., 2016].

Для фильтрационного моделирования были использованы численные методы решения гидродинамических уравнений для пористой флюидонасыщенной среды и уравнения, описывающие напряженно-деформированное состояние изучаемой среды [Ельцов и др., 2012].

Интерпретация данных ГИС

На первом этапе интерпретации в программе EMF_Pro был получен набор эквивалентных радиально-слоистых моделей нефтяного коллектора ЮС2 для Русскинского и Тевлинско-Русскинского месторождений.

Особый интерес для дальнейшего исследования представляет высокоомный слой (промытая зона). Его высокое УЭС (более 120 Ом·м во всех эквивалентных моделях) может быть связано не только с проникновением пресного глинистого бурового раствора в пласт, но и уплотнением горных пород в прискважинной зоне из-за геомеханического и гидродинамического воздействия во время бурения.

На Русскинском месторождении (скважина №3755 (R5)) коллектор характеризуется значительной мощностью (10 м) и высоким нефтесодержанием (более 90%).

На Тевлинско-Русскинском месторождении (скважина №134) продуктивный пласт имеет небольшую мощность (2 м) и меньшую нефтенасыщенность (около 75%). В связи с этим для данного месторождения неоднозначность решения обратной задачи наиболее высока.

Гидродинамическое (фильтрационное) моделирование

Для проверки гипотезы, объясняющие наличие высокоомного пласта и выбора из множества эквивалентных радиально-слоистых моделей коллектора ЮС2, удовлетворяющей гидродинамическим и геомеханическим условиям, было проведено моделирование в программе, разработанной в ИНГГ СО РАН [Назаров и др., 2012].

Для проведения моделирования были использованы материалы по бурению, заключения по скважине, а также материалы исследований керна для Русскинского и Тевлинско-Русскинского месторождений.

Перед проведением фильтрационного моделирования были определены параметры, вносящие наиболее существенный вклад в результат. Такими параметрами для данной модели коллектора являются: пористость, нефтенасыщенность, соленость пластовой воды, соленость бурового раствора и параметры глинистой корки (пористость и проницаемость).

Значительно меньшее влияние на результат моделирования имеют такие параметры, как предел прочности породы на сдвиг, исходная проницаемость пласта и плотность вмещающих горных пород.

Для Русскинского месторождения было подтверждено, что наличие высокоомного слоя можно объяснить образованием зоны уплотнения горных пород вблизи скважины и замещением соленой пластовой воды и нефти на пресный глинистый буровой раствор.

По данным с Тевлинско-Русскинского не было установлено наличие высокоомного слоя, в связи с отсутствием зоны уплотнения в прискважинной зоне, а также использованием более соленого полимер-глинисто-карбонатного бурового раствора.

Рисунок 1. Радиальный профиль УЭС по данным гидродинамического моделирования (синяя линия) и одномерная четырехслойная модель, полученная в результате инверсии данных ВИКИЗ и БКЗ. Русскинское месторождение, ЮС2.

Из множества эквивалентных моделей, полученных в ходе инверсии данных ГИС, была выбрана одна, удовлетворяющая гидродинамическим и геомеханическим условиям, как для Русскинского (Рис. 1), так и для Тевлинско-Русскинского (Рис. 2) месторождений.

Рисунок 2. Радиальный профиль УЭС по данным гидродинамического моделирования (синяя линия) и одномерная четырехслойная модель, полученная в результате инверсии данных ВИКИЗ и БКЗ. Тевлинско-Русскинское месторождение, ЮС2.

Были определены такие важные для нефтяной отрасли параметры продуктивного пласта, как пористость, нефтенасыщенность и проницаемость.

Выводы

В результате проведения интерпретации было установлено, что использование совместной геофизической и гидродинамической модели позволяет уменьшить неоднозначность решения обратной задачи и повысить достоверность определения параметров продуктивного пласта. Например, с помощью приведенного алгоритма интерпретации для Русскинского месторождения была определена нефтенасыщенность юрского коллектора с точностью $\pm 0.3\%$ (нефтенасыщенность пласта равна 90.3%).

Для двух месторождений Западной Сибири – Русскинского и Тевлинско-Русскинского из множества эквивалентных моделей была выбрана одна, удовлетворяющая гидродинамическим и геомеханическим условиям.

Было определено, что влияние таких входных параметров, как пористость, нефтенасыщенность, соленость бурового раствора, соленость пластовой воды и характеристики глинистой корки (пористость и проницаемость) на результат моделирования наиболее существенно. Наименьшее влияние имеет предел прочности пород на сдвиг и плотность вмещающих горных пород.

Оценено влияние погрешностей определения входных параметров на результат гидродинамического моделирования. Например, погрешность определения плотности вмещающих горных пород $\pm 8\%$ вызывает изменение сигнала (УЭС) на $\pm 1\%$. Погрешность определения солёности пластовой воды на $\pm 1.5\%$ вызывает изменение УЭС на $\pm 1\%$. Изменение пористости продуктивного пласта на $\pm 1.4\%$ вызывает изменение сигнала на $\pm 3\%$.

Библиография

Ельцов И.Н., Назаров Л.А., Назарова Л.А., Нестерова Г.В., Эпов М.И. [2012] Интерпретация геофизических измерений в скважинах с учетом гидродинамических и геомеханических процессов в зоне проникновения, Доклады РАН, Т. 442, №6, С. 677-680.

Ельцов И.Н., Власов А.А., Соболев А.Ю., Фаге А.Н., Байкова М.А. [2016] Обработка, визуализация и интерпретация геофизических исследований в скважинах в системе EMF Pro, Новосибирск: Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А.А. Трофимука СО РАН, 94 с.

Назаров Л.А., Назарова Л.А., Нестерова Г.В., Ельцов И.Н. [2012] Свидетельство о гос. регистрации программ для ЭВМ № 2012619496 РФ. ГЕНМ, Правообладатель: Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А.А. Трофимука СО РАН, № 2012619496 от 19.10.2012.

Цику Ю.К. [2015] Исследование и разработка методов контроля и оптимизации выработки запасов многопластовых объектов при одновременно-раздельной эксплуатации (на примере Русскинского месторождения). Дис. канд. техн. наук, Москва, 146 с.

References

Yeltsov I.N., Nazarova L.A., Nazarov L.A., Nesterova G.V., Epov M.I. [2012] Geomechanics and fluid flow effect on interpretation of well logs in penetration zone. Reports RAS, T. 442, №6, pp. 677-680.

Epov M.I., Kayurov K.N., Yeltsov I.N., Sukhorukova K.V., Petrov A.N., Sobolev A. Yu., Vlasov A.A. [2010] New SKL Logging Equipment, Methods and EMF Pro Programs for Data Interpretation. Bureniei Neft, No. 2, pp. 16-19.

Nazarova L.A., Nazarov L.A., Nesterova G.V., Yeltsov I.N., [2012] Certificate on the state registration of the computer programs № 2012619496 RF. GEHM, Owner: Trofimuk Institute of Petroleum Geology and Geophysics, Siberian Branch of Russian Academy of Science, № 2012619496 of 19.10.2012.

Ciku Yu.K. [2015] Issledovanie i razrabotka metodov kontrolya i optimizacii vyrabotki zapasov mnogoplastovyh ob"ektov pri odnovremenno-razdel'noj ehkspluatacii (na primere Russkinskogo mestorozhdeniya). Dis. kand. tekhn. nauk, Moscow, 146 p.