РАЗРАБОТКА НОВЫХ МЕТОДОВ КОНТРОЛЯ НАД ВОЗДЕЙСТВИЕМ НА ПРОДУКТИВНЫЕ ПЛАСТЫ НА ПРИМЕРЕ МЕСТОРОЖДЕНИЯ "НЕФТ ДАШЛАРЫ"

Х.М. Ибрагимов, Н.И. Гусейнова, А.А. Гаджиев

НИПИ «Нефтегаз», SOCAR, Баку, Азербайджан

Development of new controlling methods for the impact on the productive formation for "Neft Dashlary" oilfield

Kh.M. Ibrahimov, N.I. Huseynova, A.A. Hajiyev «OilGasScientificResearchProject», SOCAR, Baku, Azerbaijan

ABSTRACT

The article are showed the theoretical, laboratory-experimental and field studies results, which related with the developing and using of the new approaches for determining the injected water moving direction and distribution in the productive formation. The researching results were tested at the oilfield "Neft Dashlary" (X horizon). In the selected area of the oilfield "Neft Dashlary", the benefit from the calculation method using amounted to 62.9 thousand manats.

KEYWORDS

diagnostics, filtration; monitoring; streamlines; oil recovery; tracer; impact; productive formations

e-mail: Khidir.Ibrahimov@socar.az https://doi.org/10.53404/Sci.Petro.20210100005

Введение

Контроль над разработкой продуктивных пластов предусматривает непрерывный сбор и анализ данных о распределении закачиваемой жидкости в пластах эксплуатируемого объекта. Только при четко организованном контроле над распределением пластовой жидкости возможно своевременное принятие решений по целенаправленному регулированию процесса перемещения пластовых флюидов при проведении мероприятий по воздействию на пласт с целью повышения нефтеотдачи.

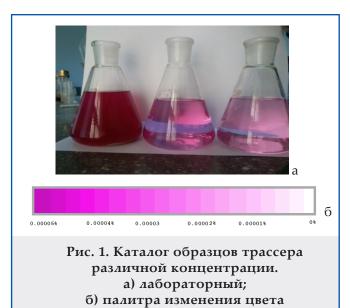
В данной статье представлены результаты научно-практических исследований, в ходе которых были разработаны как теоретические расчетные, так и практические методы, используемые для визуализации распределения пластовой жидкости и определения направления и скорости движения воды, закачиваемой в пласт.

Работа над поставленной задачей велась в трех направлениях:

1. Создание гидродинамической модели с учетом объема добываемой и закачиваемой в пласт жидкости на выделенном для исследования участке месторождения (расчетный подход).

Для контроля за воздействием на продуктивный пласт месторождения в условиях интер-

ференции скважин предложена экономически эффективная экспресс-методика расчета и визуализации распределения текущих значений гидродинамических параметров распределения жидкости как в целом по пласту, так и на выделенном для воздействия участке. В ходе решения поставленной задачи проводится обработка результатов наблюдения за текущими значениями дебитов скважин на рассматриваемом участке без дополнительной (количественной) информации о свойствах объекта. При этом предполагается, что в зоне фильтра скважин распределение потока жидкости имеет радиально-линейный характер. По результатам наблюдений над приемистостью нагнетательных скважин и обводненностью продукции добывающих скважин определяются следующие фильтрационные характеристики распределения пластовой жидкости: значения функций тока, потенциалов, модуля производной функции комплексного потенциала и их градиентов. Для решения поставленной задачи использовался метод сеточной регуляризации построения приближенного решения некорректно поставленных обратных задач. Правомочность использования данного подхода обоснована в работах [1-6]. Решение получено на основе соотношений теории комплексных переменных и применения принципа суперпозиции. Распределение вышеперечисленных гидродина-



мических параметров на определенный момент времени определяются как тензоры размерности nxm, где n – количество узлов разбиения воображаемой сетки, наложенной на участок, по оси ОХ, m - количество узлов разбиения в сетке по оси ОУ. i=1,...к – количество действующих скважин на выделенном для исследования участке месторождения. Для проведения расчетов и визуализации результатов была создана программа, реализуемая в интерактивной инженерной системе "MATLAB"[1, 7].

Предложенный подход позволяет получить карту одномоментного распределения фильтрационных потоков пластовой жидкости (типа фотографии, фиксирующей один момент из жизни) на выделенном участке пласта с учетом интерференции всех скважин на выделенном участке.

2. Разработка подходящего химического состава для введения в закачиваемую в продуктивный пласт воду с целью определения характера распределения и направления движения пластовой воды в межскважинном пространстве пласта на рассматриваемом месторождении (трассерный подход).

Были проведены лабораторные исследования по подбору подходящего для использования в промысловых условиях состава индикатора. Испытывалось несколько типов веществ, окрашивающих воду и обнаруживающих цвет в любом типе воды (пресной, морской и пластовой) при минимальной плотности. Вещества проверялись на устойчивость к агрессивной пластовой среде, растворимость в воде и нерастворимость в нефти, инертность к ионам пластовой жидко-

сти, отсутствие сорбции при контакте с горными породами. К новому индикатору предъявляются следующие требования: с одной стороны, он не должен увеличивать плотность и вязкость жидкости, взятой в качестве рабочего агента, с другой стороны необходимо, чтобы он образовывал молекулярный раствор с водой, который не разлагается в условиях пласта. Также важно, чтобы индикатор, добавляемый в закачиваемую в пласт воду, легко готовился из существующего доступного химического продукта. Контроль над концентрацией индикатора в добываемой воде позволяет получить информацию о скорости фильтрации и проницаемости флюида в пласте.

На основе проведенных лабораторно-экспериментальных исследований был выбран новый трассерный реагент и изучены его растворы в пресной, пластовой и морской воде. Трассер не показал значительного изменения плотности воды, в которую он добавлялся.

Также были проведены исследования по определению минимально необходимой концентрации индикатора в воде, закачиваемой в пласт. По образцам растворов различной концентрации был составлен цветовой каталог, позволяющий определить концентрацию индикатора в воде по палитре изменения цвета (рис.1). В ходе исследований было установлено, что в пластовых условиях индикатор не разлагается и не подвержен седиментации, с течением времени не наблюдается никаких изменений физических и химических свойств трассера.

3. Лабораторно-экспериментальные и промысловые исследования проведенные с целью сравнения результатов расчетного и трассерного подхода.

Для сравнительного анализа результатов расчетного и трассерного подхода к исследованиям перераспределения закачиваемой воды в межскважинном пространстве в лабораторно-экспериментальных условиях, была выбрана 5-точечная модель участка продуктивного горизонта. Модель пласта была заполнена песком разных фракций. Пористая среда, созданная в модели насыщена смесью пластовой воды и нефти. Для достижения установившейся фильтрации по всем добывающим скважинам проводилось вытеснение пластового флюида морской водой. При этом все скважины продуцировали разный объем жидкости, что указывало на неоднородное распределение проницаемости в модели. По завершении подготовительного этапа была определена остаточная нефтенасыщенность и водопроницаемость модели. Были определены дебиты скважин при фиксированном объеме закачки воды без трассерных добавок.

Основываясь на информации, полученной на начальном этапе эксперимента, с использованием предложенного расчетного метода были определены траектория, скорость и направление движения жидкости, закачиваемой в модель пласта, визуализированы характеристики распределения фильтрационного потока в 5-точечной модели пласта, рассчитано время, необходимое для того, чтобы флюид, от нагнетательной скважины достиг добывающей скважины. После получения расчетных значений был начат эксперимент с использованием нового трассера. Необходимый для использования в эксперименте объем трассерного раствора был подготовлен исходя из размеров модели. В модель был введен раствор индикатора в морской воде. После этого для вытеснения трассерного раствора в сторону добывающих скважин, в модель была возобновлена закачка морской воды. Целью проводимого эксперимента было фиксация времени, за которое закачанная оторочка из трассерного раствора, достигнет каждой из четырех добывающих скважин и когда концентрация индикатора в добываемой воде снизится до нуля.

Другой целью исследования было выяснить, адсорбируется ли индикатор на поверхности породы, обладает ли он способностью полностью вымываться из порового пространства и какой объем последующей закачки воды необходим для полной промывки введенного индикатора. Для этого объем рабочего агента, полученного из каждой из добывающих скважин замерялся с целью последующего сравнения с объемом закачанного раствора.

В лаборатории было проведена серия экспериментов. Каждый раз, когда проводился эксперимент, правила проведения эксперимента уточнялись, тем самым отрабатывалась методика проведения планируемого промыслового эксперимента. Результаты, полученные в ходе лабораторного эксперимента, подтвердили достоверность результатов расчета.

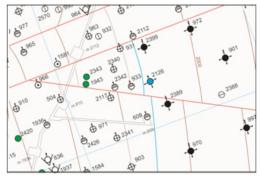
На основе результатов теоретических и лабораторно-экспериментальных исследований была разработана технология проведения расчетных и трассерных исследований текущего состояния продуктивного пласта в промысловых условиях. Была предложена технология определения оптимального расхода нового трассерного вещества для нагнетания в пласт и схема проведения исследования в промысловых условиях. На выбранном участке месторождения «Нефт Дашлары» (Х горизонт)) был поведен промыс-



Рис. 2. 5-точечная модель участка продуктивного горизонта

ловый эксперимент, направленный на проверку достоверности предварительно определенных расчетных значений гидродинамических параметров и направления потока воды закачиваемого в нагнетательные скважины. Работа проводилась в соответствии с утвержденным планом

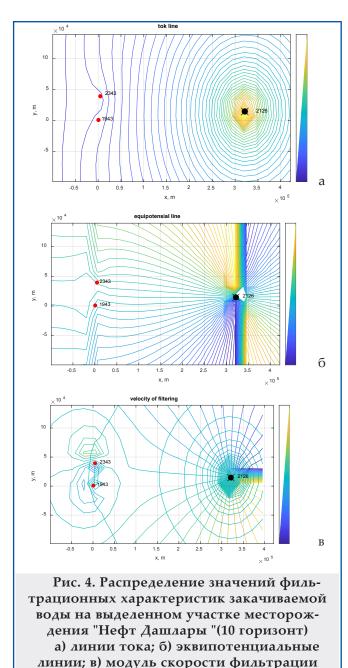
Месторождение "Нефт Дашлары" Карта разработки X горизонта Структура X горизонта по кровле Масштаб 1:10000



Условные обозначения:

- - эксплуатационные скважины
- нагнетательные скважины
 Возвращенные скважины:
- 🖢 по обводненности
- 🕁 по техническим причинам
- из нагнетательных

Рис. 3. Карта разработки месторождения "Нефт Дашлары "(Хгоризонт)



работы и положениями разработанного стандарта предприятия МС 1669347-15-2010. (НИР 2018.H.23.2018).

На выделенном для исследования участке располагались 3 скважины: 1 нагнетательная скважина (№ 2126) и 2 эксплуатационные скважины (№ 1943 и № 2343) (рис. 2). Перед началом испытания в промысловых условиях был проведен предварительный анализ гидродинамического состояния продуктивного пласта в выбранной зоне. Анализ проводился на основе использования предложенной методики расчета, примененной к данным регулярно измеряемых пока-

зателей нефтедобычи. Согласно разработанному алгоритму, были рассчитаны и визуализированы в виде карт следующие показатели, характеризующие фильтрацию закачиваемой воды, нефти и в целом пластовой жидкости в пласте на выделенном участке месторождения (рис. 4):

- 1) Текущее распределение функций тока;
- 2) Текущее распределение функций потенциала;
- 3) Распределение модуля функции скорости пластовой жидкости;

С учетом интерференции скважин и неоднородности пласта расчетным путем были определена траектория движения пластового флюида от нагнетательной скважины к эксплуатационным скважинам. Для этого была оценена длина эквипотенциалей, соединяющих нагнетательную и каждую из добывающих скважин. Для сравнения было определено расстояние между теми же скважинами по прямой. Согласно расчетам, расстояние по прямой и гидродинамический путь пластового флюида не одинаковы. Зная численное значение гидродинамического пути жидкости, нагнетаемой в пласт и изменение скорости фильтрации пластовой жидкости, было оценено время, за которое трассерный раствор может преодолеть путь от нагнетательной скважины до каждой из добывающих скважин. 19.07.2018 индикатор было смешан с морской водой в необходимой пропорции и раствор был закачан в нагнетательную скважину № 2126 на выделенном участке. 17.09.18 (через 58-59 дней) трассер, проявил себя в продукции скважины №1943, а (через 70-71 дней) появление трассера наблюдалось в продукции скважины №2343. Причем в продукции скважины №1943 трассер наблюдался всего один день. Результаты промыслового эксперимента подтверждены протоколом и актом приемочных испытаний.

Сравнение расчетных результатов гидродинамического анализа с результатами промыслового трассерного испытания подтвердило достоверность результатов полученных путем расчета. По результатам сравнительного анализа результатов гидродинамических расчетов с результатами полученными как в лабораторных, так и в промысловых условиях оценена экономическая эффективность от применения разработанной методики расчета. На выделенном участке месторождения "Нефт Дашлары" экономия от применения метода расчета составила 62.9 тыс.манатов. Следует отметить, что полученная цифра является разовой. При массовой диагностике продуктивных пластов месторождений с применением предложенного метода может быть достигнута более значительная экономия.

Заключение

На основании удовлетворительных результатов, полученных в результате применения нового метода расчета гидродинамических параметров и использования трассерного индикатора на месторождении "Нефт Дашлары" (Х горизонт), рекомендуется применять эти разработки на других месторождениях нефти и газа для массовой диагностики распределения пластовой жидкости на выделенном участке продуктивных пластов.

Литература

- 1. Леонов, А. С. (2016). Решение некорректно поставленных обратных задач: Очерк теории, практические алгоритмы и демонстрации в МАТЛАБ. *Москва:* Либроком.
- 2. Басниев, К. С., Власов, А. М., Кочина, И. Н., Максимов, В., М. (1986). Подземная гидравлика. *Москва: Недра,* 1986.
- 3. Datta-Gupta, A., Vasco, D. W. (2001, September). Field-scale characterization of permeability and saturation distribution using partitioning tracer tests: The Ranger Field, Texas. SPE-71320-MS. Presented at the SPE Annual Technical Conference and Exhibition, New Orleans, Louisiana.
- 4. King, J. M., Gupta, A.-D. (1998). Streamline simulation. A current perspective. *Texas: A&M University*.
- 5. Шарипов, Р. А. (2010). Курс аналитической геометрии. Уфа: РИЦ БашГУ.
- 6. Гусейнова, Н. И. (2017). Гидродинамический экспресс-мониторинг зонального воздействия на продуктивные пласты нефтяных месторождений с учетом интерференции скважин. Нефтегазовое дело, 15(3), 41-46.
- 7. Brianetal, R. (2008). MATLAB: официальный учебный курс Кембриджского Университета. *Москва: Триумф*.

References

- 1. Leonov, A. S. (2016). Reshenie nekorrektno postavlennyh obratnyh zadach: Ocherk teorii, prakticheskie algoritmy i demonstracii v MATLAB. *Moskva: Librokom*.
- 2. Basniev, K. S., Vlasov, A. M., Kochina, I. N., Maksimov, V., M. (1986). Podzemnaya gidravlika. *Moskva: Nedra*, 1986.
- 3. Datta-Gupta, A., Vasco, D. W. (2001, September). Field-scale characterization of permeability and saturation distribution using partitioning tracer tests: The Ranger Field, Texas. SPE-71320-MS. Presented at the SPE Annual Technical Conference and Exhibition, New Orleans, Louisiana.
- 4. King, J. M., Gupta, A.-D. (1998). Streamline simulation. A current perspective. *Texas: A&M University*.
- 5. Sharipov, R. A. (2010). Kurs analiticheskoj geometrii. *Ufa: RIC BashGU.*
- 6. Huseynova, N. I. (2017). Hydrodynamic express monitoring of zonal impact on productive reservoirs of oil fields taking into account well interference. *Oil and Gas Business*, 15(3), 41-46
- 7. Brianetal, R. (2008). MATLAB: oficial'nyj uchebnyj kurs Kembridzhskogo Universiteta. *Moskva: Triumf.*

Разработка новых методов контроля над воздействием на продуктивные пласты на примере месторождения "Нефт Дашлары"

Х.М. Ибрагимов, Н.И. Гусейнова, А.А. Гаджиев *НИПИ «Нефтегаз», SOCAR, Баку, Азербайджан*

Реферат

В статье приведены результаты теоретических, лабораторно-экспериментальных и промысловых исследований, связанных с разработкой и использованием новых подходов к определению направления распространения воды, закачиваемой в нагнетательные скважины. Результаты исследований апробированы на месторождении "Нефт Дашлары" (Х горизонт). На выделенном участке месторождения "Нефт Дашлары" экономия от использования предлагаемого метода расчета и визуализации распределения текущих значений гидродинамических параметров пластовой жидкости составила 62.9 тыс. манатов.

Ключевые слова: диагностика; фильтрация; мониторинг; линии тока; нефтеотдача; трассер; воздействие; продуктивный пласт.

Məhsuldar laylara təsir zamani maye hərəkətinə nəzarət etmək üçün yeni metodlarin işlənməsi ("Neft Daşları" yatağının timsalinda)

X.M. İbrahimov, N.İ. Hüseynov, Ə.A. Hacıyev "Neftqazelmitədqiqatlayihə" İnstitutu, SOCAR, Bakı, Azərbaycan

Xülasə

Məqalədə laya vurulan suyun paylanmasının və hərəkət istiqamətlərinin müəyyən edilmə üsulların işlənməsi və tətbiqi ilə bağlı nəzəri, laboratoriya-təcrübə və mədən tədqiqatlarının nəticələri təqdim olunur. Tədqiqat nəticələri "Neft Daşları" yatağında (X horizont) sınaqdan keçirilib. "Neft Daşları" yatağının seçilmiş sahəsində, hidrodinamik parametrlərin cari paylanmasını xarakterizə edən parametrlərin hesablama və vizuallaşdırması üçün təklif olunan üsulun tətbiqi nəticəsində alınan qənaət 62.9 min manat təşkil etmişdir.

Açar sözlər: diaqnostika; süzülmə; monitorinq; axın xətləri; neftverimi; laya təsir üsulu; məhsuldar lay.