УДК 622.276.6

ОПЫТ ПРИМЕНЕНИЯ ДИАГНОСТИЧЕСКИХ МЕТОДОВ ОЦЕНКИ ТЕКУЩЕГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ПОТОКА ВОДЫ, ЗАКАЧИВАЕМОЙ В ПРОДУКТИВНЫЕ ПЛАСТЫ МЕСТОРОЖДЕНИЯ «НЕФТ ДАШЛАРЫ»

EXPERIENCE OF THE DIAGNOSTIC METHODS APPLICATION FOR THE INJECTED IN THE PRODUCTIVE STRATA WATER FLOW CURRENT DISTRIBUTION ASSESSING ON THE «NEFT DASHLARY» OILFIELD

Ибрагимов Х.М.
кандидат технических наук, доцент,
SOCAR, НИПИ «НЕФТЕГАЗ»,
начальник отдела «Проектирование воздействия на пласт и ПЗС с целью повышения нефтеотдачи»
khidir.ibrahimov@socar.az

Гаджиев А.А.
кандидат технических наук, доцент,
SOCAR, НИПИ «НЕФТЕГАЗ»,
Заместитель начальника отдела «Проектирование воздействия на пласт и ПЗС с целью повышения нефтеотдачи»
aliabas.haciyev@socar.az

Гусейнова Н.И.
кандидат технических наук, доцент,
SOCAR, НИПИ «НЕФТЕГАЗ»,
ведущий научный сотрудник отдела «Проектирование воздействия на пласт и ПЗС с целью повышения нефтеотдачи»
nahide.huseynova@socar.az

Ibrahimov K.M.
Ph. D., Associate Professor,
SOCAR, «Oil And Gas Scientific Research Project Institute»,
«Formation Stimulation And Bottomhole Zone Treatment Department» Manager
khidir.ibrahimov@socar.az

Haciyev A.A.
Ph. D., Associate Professor,
SOCAR, «Oil And Gas Scientific Research Project Institute»,
«Formation Stimulation And Bottomhole Zone Treatment Department» Deputy Manager
aliabas.haciyev@socar.az

Huseynova N.I.
Ph. D., Associate Professor,
SOCAR, «Oil And Gas Scientific Research Project Institute»,
«Formation Stimulation And Bottomhole Zone Treatment Department», Leading Scientist
nahide.huseynova@socar.az

Аннотация. Данная статья посвящена результатам применения разработанных диагностических методов оценки направления распространения воды, закачиваемой в нагнетательные скважины, на месторождении «Нефт Дашлары» (X горизонт). На основе результатов проведенных расчетов выполнена визуализация текущего распределения закачиваемой воды в пласте на выделенном участке месторождения. Высокая точность расчета подтверждена путем сравнения полученных результатов с результатами одновременно проведенного в промысловых условиях трассерного исследования. При трассерных исследованиях был апробирован новый, более эффективный, чем его аналоги, трассерный индикаторный материал.

Ключевые слова: диагностика пласта, объем и направление потока, закачиваемая вода, нагнетательная скважина, трассерное исследование, индикаторный материал.

Annotation. This article is devoted to the results of theoretical, laboratory-experimental and field studies related to the use of the developed methodology for determining the direction of distribution of water injected into injection wells at the Neft Dashlary oilfield (X horizon). Based on the results of the calculations, the current distribution of injected water in the selected area is visualized. High accuracy of the calculation was confirmed by comparing the obtained results with the results of a tracer study carried out simultaneously in the field.

Keywords: reservoir diagnostics, flow volume and direction, injected water, injection well, tracer study, indicator material.

Объектом диагностических исследований является текущее распределение объема и направление потока воды, закачиваемой в пласт через нагнетательные скважины в межскважинном пространстве продуктивного пласта.

Диагностика текущего распределения потока воды, закачиваемой в продуктивные пласты, позволяет обосновать выбор тактики и стратегии рационального воздействия на пласт. Конкретные решения в условиях недостаточной информации о пластовой системе на нефтяных месторождениях суши и моря, принимаются на основе оценки текущего фильтрационного состояния как пластовой системы в целом, так и ее отдельных участков. Для этого определяются различные фильтрационные характеристики продвижения пластовых флюидов в пласте.

Цель проведенной работы заключается в проверке результатов, полученных от применения разработанных теоретических расчетных диагностических методов определения и визуализации направления и

скорости движения воды в пластовых условиях. Проверка проводилась путем проведения трассерных исследований с использованием нового, более эффективного, чем его аналоги, трассерного химического состава в промысловых условиях на месторождении «Нефт Дашлары» (X горизонт).

После разработки расчетного метода диагностики и мониторинга текущего распределения установившегося потока пластовой жидкости в продуктивном пласте нефтяной залежи по площади исследуемого участка и проведения лабораторно-экспериментальных исследований по подбору подходящего для использования в промысловых условиях состава индикатора и методики проведения промысловых исследований, были проведены промысловые исследования с целью проверки расчетного и трассерного подхода.

Дадим краткую информацию о результатах проведенных теоретических и лабораторно-экспериментальных исследований.

Для диагностики и мониторинга текущего распределения установившегося потока пластовой жидкости в продуктивном пласте нефтяной залежи по площади исследуемого участка на основе соотношений теории комплексных переменных и принципа суперпозиции были получены суммарные значения функций тока, потенциалов и модуля производной функции комплексного потенциала в каждой j-той ячейке воображаемой сетки, накладываемой на исследуемый участок месторождения. В качестве исходных данных использовались значения q_i – отношение расхода на 1 м фильтра скважины ($q_i < 0$ для нагнетательных скважин, $q_i > 0$ для добывающих скважин) и расчетные значения r(i,j) – расстояния между j-той ячейкой сетки до скважины с координатами (x_i,y_i). Распределение вышеперечисленных гидродинамических параметров на определенный момент времени определяются как тензоры размерности n x m, n – количество узлов разбиения в сетке по оси OX, m – количество узлов разбиения в сетке по оси OУ. i = 1, … к – количество действующих скважин на выделенном для исследования участке месторождения. Предложенный подход позволяет получить одномоментное распределение фильтрационных потоков пластовой жидкости (типа фотографии, фиксирующей один момент из жизни) на выделенном участке пласта с учетом интерференции всех скважин на выделенном участке. Каждая из скважин вносит свой вклад в отклонение пластового потока.

На этапе лабораторно-экспериментальных исследований создан подходящий химический состав для введения в закачиваемую в продуктивный пласт воду, с целью определения характера распределения и направления движения пластовой воды в межскважинном пространстве пласта. Для использования в качестве нового трассерного реагента было выбрано вещество, с физическими и химическими свойствами, представленными в таблице 1.

Таблица 1 – Физические и химические свойства трассерного реагента

Тип вещества	– органический
Форма	– порошкообразная кристаллическая
Цвет	– красно-оранжевый
Химическая формула	– $C_{31}H_{32}N_2O_{13}S$
Молекулярный вес, a.k.v.	– 672,656
Температура плавления, ^{0} C	– 286
Растворимость в воде, г/100мл	– 200
Индекс pH	– 5,4–7,4

В лабораторных условиях были подготовлены и изучены растворы полученного трассера в пресной, пластовой и морской воде, определена минимально необходимая концентрация индикатора в воде, закачиваемой в пласт и оптимальный расход трассерного вещества для нагнетания в пласт. Более подробно с результатами проведенных исследований можно ознакомиться в работах [1–4].

На выбранном участке месторождения «Нефт Дашлары» (X горизонт) (рис. 1) был поведен промысловый эксперимент, направленный на проверку достоверности определенных расчетных значений гидродинамических параметров и направления потока воды закачиваемого в нагнетательные скважины. Схема проведения исследования в промысловых условиях была разработана в соответствии с утвержденным планом работы и положениями стандарта предприятия МС 1669347-15-2010.

На выделенном для исследования участке располагается 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 показателей нефтедобычи. Для расчета гидродинамических параметров были использованы следующие данные:

1) промысловые данные измерения дебитов работающих с X горизонта добывающих скважин на выделенном участке на дату начала проведения исследования;

2) промысловые данные об объеме воды, закачиваемой в X горизонт через нагнетательную скважину на выделенном участке на дату начала проведения исследования;

3) условные координаты местоположения скважин, работающих с горизонта Х, мощность фильтра скважин, работающих на выделенном участке. Для определения условных координат карта исследуемого участка была оцифрована.

4) плотность нефти, пластовой и морской воды, трассерного раствора определялась в лаборатории по пробам, взятым на участке.

Рисунок 1 – Карта разработки месторождения «Нефт Дашлары» (Х горизонт)

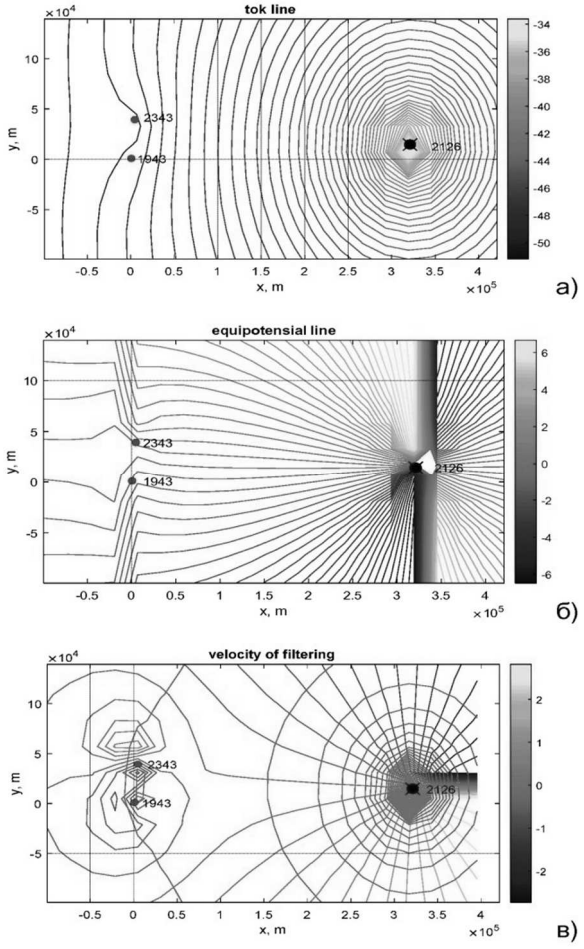

Рисунок 2 – Распределение значений фильтрационных характеристик закачиваемой воды на выделенном участке месторождения «Нефт Дашлары» (Х горизонт): а – линий тока; б – эквипотенциальных линий; в – модуля скорости фильтрации

Согласно разработанному алгоритму, были рассчитаны и визуализированы в виде карт следующие показатели, характеризующие фильтрацию закачиваемой и пластовой жидкости в пласте на выделенном участке месторождения (рис. 2–4):

1) текущее распределение функций тока;
2) текущее распределение функций потенциала;
3) распределение модуля функции скорости пластовой жидкости;
4) распределение градиентных функций вышеуказанных показателей, характеризующих направление фильтрации жидкости.

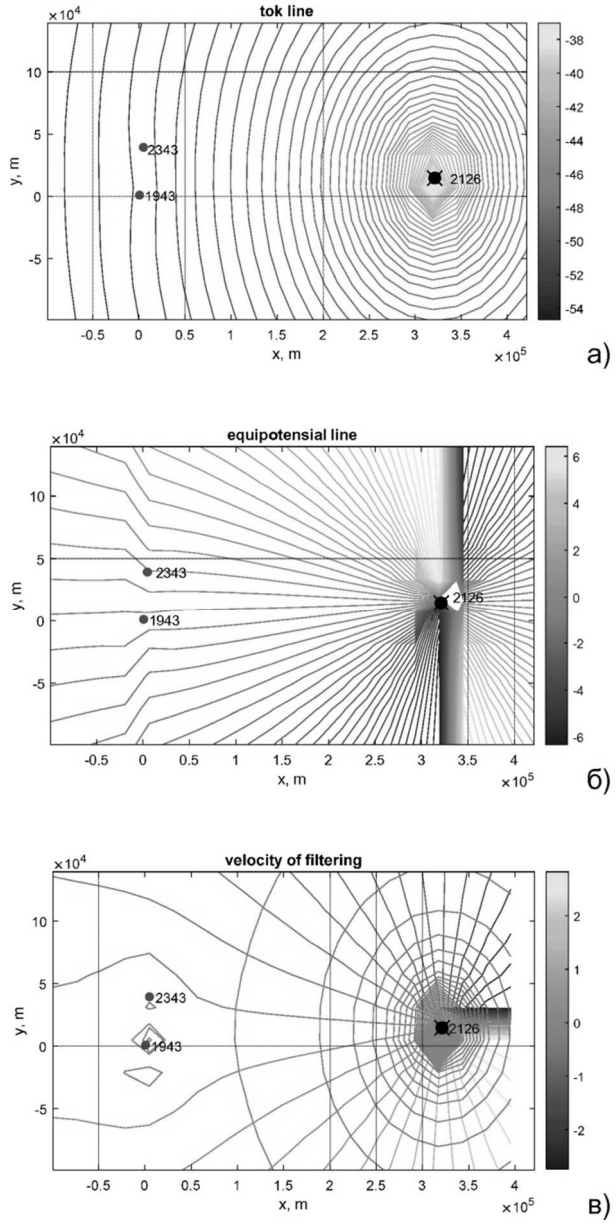

Рисунок 3 – Распределение значений фильтрационных характеристик пластовой жидкости на выделенном участке месторождения «Нефт Дашлары» (X горизонт): а – линий тока; б – эквипотенциальных линий; в – модуля скорости фильтрации

С учетом интерференции скважин и неоднородности пласта расчетным путем определяется траектория движения пластового флюида от нагнетательной скважины к эксплуатационным скважинам. Для этого проведена оценка длины 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.

Результаты расчетов приведены ниже:

1. Траектория движения жидкости в межскважинной зоне пласта между добывающей скважиной № 2343 и нагнетательной скважиной № 2126 по линиям тока и линиям и эквипотенциалей – около 400 м, а расстояние между скважинами по прямой линии – около 320,7 м (рис. 2–4, а и б).

2. Траектория движения жидкости в межскважинной зоне пласта между добывающей скважиной № 1943 и нагнетательной скважиной № 2126 по линиям тока и линиям и эквипотенциалей – около 317,3 м, а расстояние между скважинами по прямой линии – около 390 м (рис. 2–4, а и б).

3. Скорость фильтрации воды, закачиваемой в пласт через нагнетательную скважину в различных зонах выделенного участка, изменяется в пределах 0,5–2 м/сутки (рис. 2–4, с). Около добывающей скважины № 2343 скорость фильтрации жидкости немного выше, чем 1 м/сутки, около добывающей скважины № 1943, скорость фильтрации жидкости близка к 1 м/сутки.

4. Время продвижения жидкости от нагнетательной скважины № 2126 до скважины № 2343 составляет приблизительно 3–4 месяца. Таким образом, обнаружить индикатор в продукции скважины (нефть и вода) ожидается не ранее, чем через 3 месяца.

5. Аналогичная ситуация сложилась для скважины № 1943. Поскольку траектория и скорость продвижения жидкости в межскважинном пространстве между скважинами № 1943 и № 2126 несколько меньше, появление индикатора в продукции скважины может произойти быстрее. Поскольку скорость вытеснения нефти на данном участке пласта несколько ниже, чем вокруг соседней скважины, в нефти этой скважины появление трассера в продукции скважины может наблюдаться позже (рис. 2–4, а и б). Если индикатор движется вдоль тектонического разлома вблизи скважины 1943, вероятность более раннего появления трассера в продукции скважины № 1943 выше, чем в скважине № 2343 из-за высоких значений скорости жидкости в этом направлении (рис. 2–4). Когда раствор трассера проходит через область, где расположены скважины с высокой скоростью, время воздействия трассера также должно быть коротким.

6. В районах, где скорость фильтрации пластового флюида выше, а трассер, скорее всего, мог бы появиться раньше, эксплуатационные скважины отсутствуют. С другой стороны, на карте участка в этой области есть тектонический разлом (красная линия на рисунке 1), по которому закачиваемая жидкость может попасть в зону расположения скважин быстрее.

Промысловые исследования с целью сравнения результатов расчетного и трассерного подхода, проводились в соответствии с условиями соблюдения следующих основных требований:

- смешивание с любым типом воды не влияет на свойства индикатора;
- при смешивании с любым типом воды не образуются отложения;
- приготовление трассерного раствора не требует дополнительных затрат и оборудования;
- эффективность технологии визуально наблюдаема и высока.

Для проведения промысловых исследований с использованием разработанной трассерной композиции были проведены необходимые организационно-методические работы. Предполагалось, что индикаторный раствор с концентрацией 0,003 %. должен составить до 10 % от порового пространства продуктивного пласта на исследуемом участке месторождения. Это составляет 30 % суточной нормы по закачке воды в пласт. Трассерный индикатор добавлялся к рассчитанному количеству воды и с последующей закачкой раствора в пласт через нагнетательную скважину. Далее, с течением времени трассер должен был проявить себя в продукции добывающих скважин. С этой целью была разработана методика организованного целенаправленного сбора проб продукции скважин на исследуемом участке на промысле для проведения необходимых анализов. Нагнетание рабочего агента проводилось с помощью стандартного оборудования (в данном случае использовался агрегат ЦА-320М).

Для воздействия на пласт 5 кг индикатора было смешано с 5 м 3 морской воды и закачано в нагнетательную скважину № 2126. Через 58–59 дней после проведенной закачки 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. Этот факт доказывает, что закачиваемая вода, окрашенная индикатором, попала в скважину по пути движения по тектоническому разлому, проследить дальнейший путь воды по этой траектории не представилось возможным, так как на последующем пути воды не было добывающих скважин. Результаты промыслового эксперимента подтверждены протоколом и актом приемочных испытаний. Также была проведена оценка экономической эффективности предложенного расчетного подхода к диагностике текущего фильтрационного состояния на выделенном участке продуктивного пласта. Сравнение расчетных результатов гидродинамического анализа с результатами промыслового трассерного испытания подтвердило достоверность результатов полученных путем расчета. Сравнительный анализ результатов гидродинамических расчетов с результатами, полученными как в лабораторных, так и в промысловых условиях позволяют оценить экономическую 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.

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

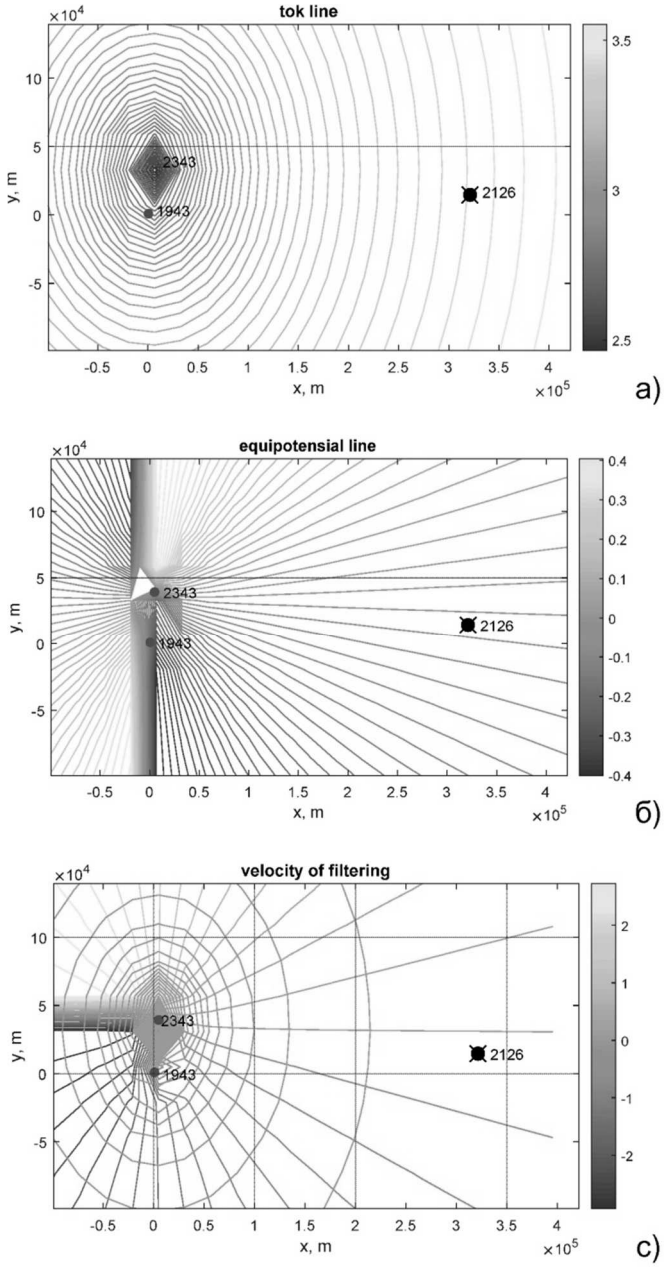

Рисунок 4 – Распределение значений фильтрационных характеристик пластовой нефти на выделенном участке месторождения «Нефт Дашлары» (X горизонт): а – линий тока; б – эквипотенциальных линий; в – модуля скорости фильтрации

Литература:

1. Подземная гидравлика / К.С. Басниев [и др.]. – М. : Недра, 1986. – 303 с.
2. Гусейнова Н.И. Гидродинамический экспресс-мониторинг зонального воздействия на продуктивные пласты нефтяных месторождений с учетом интерференции скважин // Нефтегазовое дело. – 2017. – Т. 15. – № 3. – С. 41–46.

References:

1. Podzemnaya gidravlika / K.C. Basniev [et al.]. – M. : Nedra Publ., 1986. – 303 p.
2. Huseynova N. I. Hydrodynamic express monitoring of zonal impact on productive reservoirs of oil fields taking into account well interference // «Oil and gas business». – 2017. – Vol. 15. – № 3. – P. 41–46.