



УДК 622.276.654

СОВРЕМЕННЫЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЯ ОБ ОБЪЕКТЕ, ЗАДАЧАХ И МЕТОДАХ ДИАГНОСТИРОВАНИЯ ПЛАСТА ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ НА НЕГО С ЦЕЛЬЮ ПОВЫШЕНИЯ НЕФТЕОТДАЧИ



MODERN IDEAS ABOUT THE OBJECT, TASKS AND DIAGNOSTIC METHODS OF A RESERVOIR DURING SIMULATION IN ORDER TO INCREASE OIL RECOVERY

Гусейнова Наида Исмет

кандидат технических наук, доцент,
ведущий научный сотрудник отдела
проектирования воздействия на пласт и ПЗС,
SOCAR НИПИ «Нефтегаз»,
г. Баку, Азербайджанская Республика
nahide.huseynova@socar.az

Аннотация. Работа посвящена классификации и системному анализу современных методов и средств диагностирования состояния нефтяных пластов. Определены цели и задачи, стоящие перед диагностированием продуктивных пластов при выборе методов воздействия с целью повышения нефтеотдачи. Рассмотрено, как общие принципы выделения объектов диагностирования соотносятся с задачами диагностики. Проведена оценка современных представлений о методах диагностирования структурного и функционального состояния пластовой системы в свете выбора параметров управления нефтеотдачей продуктивного пласта при разработке и эксплуатации нефтегазовых месторождений.

Ключевые слова: методы повышения нефтеотдачи, методы воздействия на пласт, методы и средства диагностики, состояния продуктивного пласта.

Huseynova Nahide Ismet

Candidate of Technical Sciences,
Associate Professor,
Design of impacts on the reservoir
and wellbottom zone
Department Leading Researcher,
Oil Gas Scientific Research Project Institute,
SOCAR, Baku, Azerbaijan
nahide.huseynova@socar.az

Annotation. The article is devoted to the classification and system analysis of modern methods and facilities of diagnosing of oil reservoirs state. There are determined the goals and tasks of productive formations diagnosis for selection the methods of treatments in order to increase oil recovery. It is considered how the general principles of identifying diagnostic objects are related to diagnostic tasks. It is carried out the assessment of modern ideas about diagnosing methods of the reservoir system's structural and functional state for the selection of parameters for controlling oil recovery in the reservoir during the development and operation of oil and gas fields.

Keywords: enhanced oil recovery methods, impact on a reservoir, methods and facilities of diagnosing, oil reservoirs state.

Нефтегазовое месторождение – сложная самоорганизующаяся система, динамическое состояние которой служит объектом оперативного управления нефтедобычей. Разработка нефтегазового месторождения – это процесс извлечения полезных ископаемых, который закладывается, формируется и развивается с учетом динамики естественного природного состояния пород и флюидов многопластовой системы месторождения и возможностей техногенной деятельности человека. Получение информации для подсчета запасов нефти и газа, проектирования, анализа, управления разработкой месторождения и эксплуатацией скважин происходит путем диагностического исследования залежей и скважин. Диагностические исследования в той или иной форме начинаются сразу же после открытия залежи и продолжаются в течение всей «жизни» месторождения, т.е. осуществляются в процессе бурения и эксплуатации скважин, обеспечивающих непосредственный доступ в залежь.

Объектом диагностирования может быть как месторождение в целом – сложная, высокоорганизованная динамическая система, так и отдельные элементы системы – зоны продуктивного горизонта вокруг блока, группы скважин или отдельных скважин, а также, горные породы, флюиды, процессы взаимодействия между ними. В качестве объекта диагностирования могут быть выбраны производственные функции, ресурсы и организационная структура нефтегазодобывающих предприятий, себестоимость технологических операций и т.д.

Основным показателем, характеризующим эффективность разработки продуктивных горизонтов нефтегазовых месторождений, считается нефтеотдача пласта. Главной целью нефтедобычи является минимизация остаточных запасов и соответственно, поддержание нефтеотдачи пласта на высоком уровне, который меняется на протяжении всего периода разработки месторождения, так как во многом зависит от объективных и субъективных факторов и является многопараметрической функцией. С началом разработки, продуктивный пласт перестает быть закрытой системой и как открытая система, он стремится к сохранению своего внутреннего состояния путем скоординированных реакций на внешнее воздействие. Так поддерживается динамическое равновесие пластовой среды [1, 2]. Исходя из этого, определяется главная задача нефтепромышленной науки – разработать эффективные методы



воздействия на пласт, позволяющие предупредить, остановить или хотя бы частично снизить падение нефтеотдачи. Для этого необходимы знания причин изменения нефтеотдачи, как объекте диагностического исследования.

К изучению процессов, влияющих на изменение нефтеотдачи пластов, привлекаются методы из различных областей научно-практического познания. На основе всестороннего исследования процессов, оказывающих влияние на уровень добычи углеводородов из пласта, создаются методики и алгоритмы, позволяющие заблаговременно диагностировать признаки проявления этих процессов по имеющейся в наличии информации. Диагностические исследования позволяют оценить влияние различных процессов, сопровождающих нефтедобычу, на поведение флюидов в пористой среде продуктивных горизонтов и выработать целенаправленные меры для достижения поставленных задач.

Нефтеотдача пласта поддерживается на высоком уровне, если характеристики горных пород и насыщающих их флюидов, а также организация технико-технологических процессов разработки месторождения позволяет обеспечить охват нефтесодержащих зон продуктивного пласта вытеснением нефти к устью добывающих скважин с высокой скоростью, в широком объеме и низкими затратами. Для высоких значений нефтеотдачи пласта характерны пластовое давление выше давления насыщения, однородное распределение по простиранию продуктивного горизонта градиента температуры и фильтрационных характеристик пластовой среды, функциональность дренажной зоны и целостность добывающих скважин, резервы углеводородных запасов пластовой системы, точность регуляции функций управления процессом нефтедобычи со стороны нефтегазодобывающего предприятия.

Снижение нефтеотдачи пласта происходит в результате структурных и функциональных нарушений пластовой системы, обусловленных вытеснением нефти. Ответные изменения (реакция пластовой среды) проявляются в неоднородном перераспределении физико-механических и химических характеристик коллектора и насыщающих его флюидов. Среди них – пластовое давление и температура, напряжения и деформации горных пород, ведущих к изменению объема порового пространства и свойств пластовых флюидов, фазовая насыщенность, эффективная фазовая проницаемость, капиллярные силы, силы адгезии, и т.д., влияющие на подвижность и состав пластовых флюидов комплексно. Причем, на разных стадиях жизнедеятельности месторождения изменение этих параметров имеют свои характерные закономерности.

Для падения нефтеотдачи пласта характерна реакция пластовой среды на действия, предпринятые без учета реального состояния пластовой системы. Однако различить действие и реакцию на него в чистом виде очень сложно, так как при разработке месторождения имеет место множество действий и реакций, которые необходимо рассматривать не в сумме, а в единстве. В результате происходит перераспределение пластовых характеристик, которое вызывает или тормозит ту или иную функцию, регулируемую основными характеристиками и свойствами пластовой среды.

Таким образом, падение и рост нефтеотдачи продуктивных горизонтов можно определить как различные взаимосвязанные между собой формы развития месторождения. Первым существенным признаком наступающего изменения нефтеотдачи является неоднородность перераспределения характеристик среды, вызванная внешним воздействием. Вторым существенным признаком является реакция пластовой среды на это перераспределение. На каждое изменение возникает ответная реакция более высокого порядка и вовлечение в процесс все новых и новых подсистем пластовой системы. Следовательно, реакция среды может быть непосредственной на определенное действие, а может быть вторичной, обусловленной какими-то другими факторами. Реакция пластовой среды может иметь цепной характер. Например, снижение давления приводит к интенсивному выделению растворенного в нефти газа. Это способствует повышению вязкости нефти, снижению ее текучести и т.д.

Исходя из вышесказанного, можно установить начальную задачу диагностики – отличить и распознать в каждом конкретном случае, что является действием, а что реакцией на это действие. Следовательно, одной из основных задач диагностики процессов нефтедобычи является наблюдение за изменением текущего распределения характеристик пластовой среды и выявление признаков наступающих изменений.

Последствия осуществляемых действий и локализация реакции могут иметь как местный, так и общий характер. Так, например, воздействие на пласт путем нагнетания воды по контуру будет иметь общий характер, а площадное заводнение – чаще всего более локализовано и имеет местный характер. Поэтому в арсенале используемых методов диагностики должны быть возможности анализа и визуализации интересующих показателей, характеризующих нефтеотдачу как в целом по продуктивному горизонту, так и по отдельным участкам месторождения или зоне дренирования отдельно взятой скважины. Например, определение скин-фактора по кривой восстановления давления позволяет оценить функциональное состояние зоны фильтра вокруг добывающей скважины. Наличие или отсутствие тех, или иных компонент в составе растворенного в нефти газа на участке месторождения дает возможность судить о перераспределении давления и температуры в данной зоне пласта.

Структурные и функциональные изменения, происходящие в пластовой среде под влиянием внешних и внутренних факторов, неразрывно связаны с вызывающей их причиной. При этом сама причина может быть рассмотрена как результат совокупного действия ряда факторов, являющихся



функцией времени. Так, в одних случаях снижение нефтеотдачи пласта может начаться внезапно, но может проявляться периодически, либо характеризоваться длительным монотонным течением. Тщательное изучение причин снижения нефтеотдачи пласта показывает, что она в значительной степени зависит от продуманности стратегии разработки месторождения.

Различают следующие причины изменений, происходящих в пласте:

- механические (деформационные разрывы пласта, загрязнение дренируемой зоны механическими примесями, выносимыми потоком жидкости и т.д.);
- физические (высокая или низкая температура и давление, фазовые переходы, действие гравитационных сил);
- химические (химические реакции между элементами, входящими в состав пластовой среды и т.д.);
- биологические (действие микробов, проникающих в пластовую систему извне и т.д.);
- технологические (внешние воздействия, изменяющие равновесие основных пластовых процессов). В случае непродуманных воздействий на пласт, например, несоответствующий состоянию пластовой системы метод воздействия, неправильная локализация воздействия, несвоевременное воздействие, результатом становится снижение нефтеотдачи пласта.

Таким образом, для эффективной разработки месторождения необходимо своевременное выделение причин, действий и последующих реакций, ведущих к спаду и подъему нефтеотдачи. Избегая нежелательных тенденций и снижая негативные последствия от них можно управлять нефтеотдачей пласта.

Одна из основных целей управления нефтеотдачей состоит в минимизации ее снижения. Задача решается путем обоснованного выбора способов воздействия на пласт. Поэтому, диагностика причины снижения нефтеотдачи – первый шаг на пути решения или локализации этой проблемы. Цель диагностирования – дать заключение о состоянии объекта исследования на дату завершения этого исследования и на перспективу. Результат исследования, выраженный в терминах современной нефтепромышленной науки, определяет состояние исследуемого объекта на текущий момент времени и используется для выработки необходимых рекомендаций и профилактических мер, способствующих повышению нефтеотдачи, обоснования технологических решений, стратегии и тактики разработки нефтегазового месторождения.

В задачи диагностирования входит определение параметров и путей реализации управления нефтеотдачей, направленного на координацию совместной деятельности составляющих элементов исследуемой системы. Так как управление объектом на любом уровне производится на основе оценки его состояния, задачи диагностирования тесно переплетаются с двумя другими взаимосвязанными между собой задачами – прогнозированием дальнейшего поведения системы и причинно-следственным анализом изменения состояния системы. С одной стороны, исследование развития объекта помогает установить его текущее состояние. В то же время диагностика является исходным пунктом прогноза. Без однозначной достоверной фиксации сложившегося положения невозможно оценить перспективы развития объекта. Поэтому, проведение диагностических исследований необходимо для всех структур и уровней управления разработкой месторождения.

Процедура оценки и программа исследования объекта проводится на основе предварительно определенных базовых параметров – системы показателей, для оценки которых разрабатываются качественные и количественные характеристики, шкала для измерения значений этих характеристик и показателей. Особое внимание при этом имеет воспроизводимость результатов исследования, наличие системы критериев, способных адекватно отразить специфику объекта, с учетом факторов, влияющих на него в тот или иной период времени.

Итогом любого исследования является результат – вывод о соответствии диагностируемого объекта какому-то уровню, требованию, эталону, норме, характеристике и пр. или отклонению от базы сравнения.

Выделить, оценить и визуализировать совокупные признаки, наиболее характерные для состояния рассматриваемого объекта позволяет применение диагностических методов. Под методом диагностического исследования подразумевается способ проведения исследования, опирающийся на определенные средства исследовательской деятельности – интеллект, инструментальные, лабораторно – экспериментальные и программные средства, документы, обобщенное мнение, тест, статистику и т.д. [2, 4]. Современные методы диагностики, используемые при нефтедобыче, основаны на использовании различных видов анализа геолого-геофизических и промысловых данных, знании механизма действия и критериев применимости различных методов воздействия на пласт в соответствующий период времени.

Составной частью диагностики и управления процессами и объектами является контроль. Контроль проводится с целью проверки соответствия наблюдаемого объекта желаемому и действительному положению, предусмотренному законами, инструкциями и другими нормативными актами, принятыми на основе стратегического плана разработки месторождения. Контроль над нефтеотдачей пласта, включает в себя сбор, обработку и анализ потоков данных о выработке запасов и сопровождающих ее процессов. Контроль осуществляется с помощью следующих методов:

Контроллинг – система постоянной оценки параметров пластовой системы с точки зрения своевременного и качественного выполнения заданий стратегического плана, выявления отклонений и принятия безотлагательных, энергичных действий для устранения этих отклонений.



Мониторинг – это процесс наблюдения и регистрации данных об объекте на неразрывно прилегающих друг к другу интервалах времени, в течение которых значения данных существенно не изменяются. В рамках этого метода проводится оценка, прогноз состояния какого-либо явления или процесса, анализ его функций как составной части управления.

Различают мониторинг параметров и мониторинг состояния объекта. Мониторинг параметров – это наблюдение, за какими-либо параметрами. Мониторинг состояния – наблюдение за состоянием объекта для определения и предсказания момента перехода из одного состояния в другое. Принципиальным отличием мониторинга состояния от мониторинга параметров является наличие интерпретатора измеренных параметров в терминах состояния – экспертной системы для поддержки принятия решений о состоянии объекта и дальнейшем управлении.

Анализ – метод научного исследования явлений и процессов, в основе которого лежит изучение составных частей, элементов изучаемой системы. На основе анализа выявляются общие закономерности развития. Процедура анализа состоит из выведения закономерностей на основе исследования соответствующих фактов реальной действительности. Все виды анализа призваны обосновать с научных позиций решения и действия в исследуемой области, способствовать выбору лучших вариантов действий. Таким образом, ясно, что контроль – это функция управления, контроллинг – это система оценки, анализ – метод исследования, а диагностика – это комплекс исследований, включающий в свой состав как методы анализ и оценку.

В соответствии с процедурой выделения объекта, периодичностью и особенностями проведения, используемыми методами, по форме оценки результатов исследования существуют различные виды диагностики [4, 8, 9 10]:

Структурная диагностика. Объект диагностирования подвергается разложению на составные части (декомпозиции), в результате которой выделяются и изучаются элементы структурных характеристик и их взаимодействия между собой. При проведении структурной диагностики объект может рассматриваться как в статике, так и в динамике.

Функциональная диагностика. Объектом диагностирования являются законы, по которым происходит изменение состояния структурных элементов.

Организационная диагностика. Объектом диагностирования служат организационные особенности нефтегазового предприятия, например анализ состояния и возможностей по созданию условий проведения наиболее эффективных способов воздействия на пласт. Организационная диагностика позволяет выявить ключевые проблемные моменты в рабочем процессе, их причины и источники возникновения, разработать варианты решения этих проблем с прогнозом возможных результатов, подготовить рекомендации по оптимизации воздействия на пластовую систему.

Систематическая диагностика представляет собой постоянное исследование изменения состояния объекта исследования.

Эпизодическая диагностика (точечная) представляет собой нерегулярное исследование изменения состояния объекта исследования.

Количественная диагностика. Определяются количественные характеристики состояния исследуемого объекта.

Качественная диагностика. Проводятся качественные сравнительные оценки характеристик состояния объекта.

Статистическая диагностика. Проводится исследование и оценивание характерных особенностей и закономерностей и путей развития объекта путём применения математико-статистических и экономико-статистических методов с последующей интерпретацией результатов.

Факторная диагностика. Проводится определение и детальная оценка каждой причины, каждого фактора, которые могут привести к отклонению от фиксируемого состояния объекта.

Экспертная диагностика. Исследование характерных особенностей и закономерностей развития состояния объекта путём применения комплекса средств логики и математики, направленных на обобщение оценки информации, полученной посредством проведения специальных экспертных опросов. Этот тип диагностики использует приемы и методы экспертных оценок, специальные коэффициенты и показатели сравнительной эффективности и др.

Аналитическая диагностика. Проведение диагностических исследований предполагает использование бесконтактных методов обработки статистической информации, таких как методы комплексного анализа, системы оценок с присвоением баллов и т.п.

Диагностика кризисных состояний связана с необходимостью реагировать на обусловленную изменением состояния пластовой системы неспособность пласта к такой нефтеотдаче, которая соответствует установленным показателям эффективности нефтедобычи. Назовем это положение кризисным состоянием пластовой системы.



Диагностика на моделях. Состояние одного и того же объекта может быть описано разными диагностическими моделями. При этом за основу берется не совокупность используемых признаков, а логика их интерпретации и интеграции при выработке конечного диагностического заключения.

Обобщая вышесказанное, можно прийти к выводу, что диагностика нефтегазовых месторождений с целью повышения нефтеотдачи – это новый раздел нефтепромысловой науки, изучающий методы и ход процесса исследования продуктивных горизонтов месторождения, используемых для распознавания и оценки признаков и характеристик изменения текущей нефтеотдачи, как объекта исследования. Рассматривая нефтеотдачу продуктивных пластов месторождения как диагностический объект, можно выработать тактику и стратегию воздействия на пласт с целью ее поддержания, как на участках, так и в целом по продуктивному горизонту, выделить параметры управления процессом разработки месторождения, снизить уровень неопределенности при принятии технологических решений по выбору и оценке эффективности способов воздействия на продуктивный пласт с целью повышения нефтеотдачи. В ряде случаев, диагностирование состояния объекта становится процедурой в несколько шагов с принятием промежуточных решений. Принятые решения могут затронуть не только совокупность технологических, но и социально – экономических, правовых, экологических и иных процессов формирования и функционирования систем управления. Среди них – выявление принципов построения организационных структур предприятия, оценка эффективности применяемых методов информационного, материально – технического и кадрового обеспечения и т.д.

Литература

1. Устенко А.С. Основы математического моделирования и алгоритмизации процессов функционирования сложных систем. – М. : БИНОМ, 2000. – 250 с.
2. Трубецков Д.И., Мчедлова Е.С., Красичков Л.В. Введение в теорию самоорганизации открытых систем. – М. : Издательство Физико-математической литературы, 2002. – 200 с.
3. Романова Е.В., Сергеев В.Л. Метод адаптивной идентификации и диагностики нефтяных пластов в процессе нормальной эксплуатации скважин и кратковременных остановок // Известия Томского политехнического университета. – 2014. – Т. 324. – № 5. – С. 43–48.
4. Коротков Э.М. Исследование систем управления. – М. : Издательство Юрайт, 2015. – 226 с.
5. Бережная М.А. Диагностирование цифровых систем в свете современных электронных технологий / М.А. Бережная, Л.В. Дербунович, В.С. Суздаль // Вестник НТУ «ХПИ». Сборник научных трудов. Тематический выпуск: Информатика и моделирование. – Харьков : НТУ «ХПИ», 2005. – № 56. – С. 3–8.
6. Мирошник М.А., Салфетникова Ю.Н. Исследование методов диагностирования сложных систем // Системы обработки информации. – 2012. – Вып. 6 (104). – С. 70–75.
7. Оводенко А.В. Системный мониторинг методов диагностики сложных систем / А.В. Оводенко, А.П. Самойленко // ИКСЗТ. – 2010. – № 2. – С. 36–42.
8. Коротков Э.М. Антикризисное управление. – М. : ИНФРА-М, 2000. – 432 с.
9. Применение современных методов увеличения нефтеотдачи в России: важно не упустить время. – М. : «Эрнст энд Янг (СНГ) Б.В.», 2013. – 26 с.
10. Чернышев М.А., Коротков Э.М., Солдатова И.Ю., Основы менеджмента. – Изд.: ИТК «Дашков и К», Ростов н/Д. : Наука-Пресс, 2006. – 256 с.

References

1. Ustenko A.S. Fundamentals of mathematical modeling and algorithmic processes of complex systems functioning. – M. : BINOM, 2000. – 250 p.
2. Trubetskov D.I., Mchedlova E.S., Krasichkov L.V. Introduction to the self-organization of open systems theory. – M. : Publishing house of the Physical and mathematical literature, 2002. – 200 p.
3. Romanova E.V., Sergeev V.L. The adaptive identification method and oil reservoirs diagnosis during normal wells operation and short time stops // Bulletin of the Tomsk Polytechnic University. – 2014. – Vol. 324. – № 5. – P. 43–48.
4. Korotkov E.M. The study of control systems. – M. : Yurayt Publishing House, 2015. – 226 p.
5. Berezhnaya M.A. Digital systems diagnostics from the point of view of modern electronic technologies / M.A. Berezhnaya, L.V. Derbunovich, V. S. Suzdal // Bulletin of NTU «KhPI». Collection of scientific papers. Thematic issue: Computer Science and Modeling. – Kharkov : NTU «KhPI», 2005. – № 56. – P. 3–8.
6. Miroshnik M.A., Salfetnikova Yu.N. The study of diagnostic methods for complex systems // Information Processing Systems. – 2012. – Issue 6 (104). – P. 70–75.
7. Ovodenko A.V. System monitoring of diagnostic methods for complex systems / A.V. Ovodenko, A.P. Samoilenko // IKSZT. – 2010. – № 2. – P. 36–42.
8. Korotkov E.M. Crisis management. – M. : INFRA-M, 2000. – 432 p.
9. Application of modern increasing oil recovery methods in Russia: it is important not to miss the time. – M. : «Ernst and Young (CIS) B.V.». – 2013. – 26 p.
10. Chernyshev M.A., Korotkov E.M., Soldatova I.Yu. Fundamentals of management. – Publishing House: ITC «Dashkov and K», Rostov-on-Don : Nauka-Press, 2006. – 256 p.