УДК 622.276.43

ИННОВАЦИОННЫЙ ПОТЕНЦИАЛ НЕСТАЦИОНАРНОГО ЗАВОДНЕНИЯ В ЦЕЛЯХ ПОВЫШЕНИЯ НЕФТЕОТДАЧИ ПЛАСТОВ

А.Х. ШАХВЕРДИЕВ*

Предлагаемое решение обратной задачи фильтрации многофазных флюидов через неоднородную пористую среду позволяет учесть в неявной форме неустойчивость фронта вытеснения при заводнении нефтяной залежи и прогнозировать последствия естественного скачкообразного изменения водонасыщенности и зависимых параметров с помощью дискриминантного анализа модели роста.

Ключевые слова: *фильтрация многофазных флюидов, заводнение, регулирование режимов работы скважин, модели роста, теория катастроф, нефтеотдача.*

Введение. Актуальность повышения коэффициента извлечения нефти (КИН), газа (КИГ), конденсата (КИК) месторождений жидких и газообразных углеводородов, разрабатываемых посредством искусственных методов поддержания пластового давления, предусматривающих закачку воды или других вытесняющих агентов, не сходит с научно-технической повестки дня для нефтегазодобывающей отрасли. Речь идет о более качественном процессе заводнения за счет мобилизации больших объемов закачиваемой воды, достижения технологической и экономической эффективности и более высоких значений конечных коэффициентов извлечения УВС.

Цель статьи - на основе предложенных решений сформулировать критерии, позволяющие своевременно обнаруживать последствия потери устойчивости фронта вытеснения и адресно регулировать систему заводнения с помощью форсирования или ограничения режимов работы добывающих и нагнетательных скважин в соответствии с установленными критериями дискриминантного анализа.

Постановка задачи. Суть проблемы, требующей своего решения – это потеря устойчивости фронта вытеснения нефти водой в неоднородной пористой среде, в сложных условиях взаимодействия гидродинамических, капиллярных, инерционных и гравитационных сил, представленных системой нелинейных уравнений, которая не имеет обобщенного

* Институт системных исследований, РАЕН

гладкого аналитического решения, а практические последствия – преждевременное обводнение продукции скважин и низкие уровни добычи УВС. Частные и автомодельные решения этой задачи носят не только исключительно теоретический характер, эти результаты пытаются использовать для практических целей, в том числе при гидродинамическом моделировании залежей УВС.

Ввиду этих сложностей важнейшая практическая задача оптимизации нестационарного гидродинамического воздействия на залежи посредством регулирования режимов работы фонда добывающих и нагнетательных скважин остается задачей, требующей перманентного внимания, хотя скоро будет 100 лет как при добыче нефти в качестве вторичного метода ПНП или системы ППД используется искусственное заводнение. Более того, и то и другое применяется почти на всех уникальных крупных и средних месторождениях в РФ, США, КНР и других нефтедобывающих странах.

Решение задачи. Как известно, теоретические основы фильтрации многофазных флюидов и, в частности, теория фронтального вытеснения нефти водой созданы в 1936-1942 годах [1-4], дальнейшее развитие и совершенствование которой нашло отражение в работах других специалистов, что вызывает огромный интерес и серьезную дискуссию по сей день [5-14].

Баклей-Леверетт, используя линейный закон Дарси и уравнение материального баланса, получили хорошо известные зависимости для доли воды в потоке для скорости этого потока от поверхности, равной водонасыщенности, а также для координаты в направлении движения потока от водонасыщенности.

В данном случае в полученных результатах фронтального вытеснения нефти водой не учитываются капиллярные, гравитационные и инерционные силы. Так или иначе, полученное решение, представленное на рис.1, свидетельствует о наличии труднообъяснимой особенности в поведении системы, что ставит под сомнение использование теории Баклея-Леверетта.

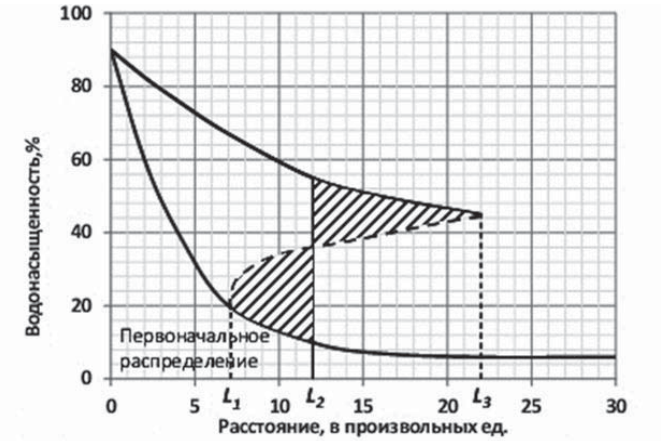


Рис.1 Многозначность распределения водонасыщенности

Профессор И.А. Чарный отмечает, что, *«начиная с некоторого момента времени, распределение насыщенности может оказаться многозначным аналогично, например, волнам Римана конечной амплитуды, которые изучаются в теории ударных волн. Очевидно, многозначность $S_в$ (водонасыщенности) физически невозможна. Это говорит о том, что в зоне движения двухфазной жидкости образуются скачки. Многозначность в волновых задачах механики сплошных сред обычно означает возможность существования разрывов или скачков искомых функций. В данном случае многозначность также устраняется введением скачка насыщенности» [6].*

Не менее интересно мнение Ф.Ф. Крейга по этому вопросу: *«Из уравнений Баклея-Леверетта следует вывод о том, что при двух различных насыщенностях должна была бы быть одинаковой скорость, т.е. такая насыщенность должна быть в данной точке пласта*

в одно и то же время. Чтобы показать еще большую абсурдность данного положения, отметим, что, если до нагнетания воды начальный градиент насыщенности возникал перед фронтом вытеснения, то по расчетным данным получим три различных значения насыщенности на участке пласта. Баклей и Леверетт осознали физическую невозможность такого положения. Они отметили, что правильная интерпретация показывает, что часть расчетного распределения насыщенности фиктивная, а реальная кривая насыщенности претерпевает разрыв непрерывности. В связи с трехзначным распределением насыщенности некоторые исследователи не решались применять уравнение фронтального вытеснения (уравнение Баклея-Леверетта)»[5].

К этому следует добавить, что, во-первых, было чрезвычайно много работ, пытающихся объяснить механизм появления скачка водонасыщенности [1-12]. Решен ряд частных задач, учитывающих по отдельности влияние капиллярных сил или массовых сил или сил гравитации [1-6]. Многие авторы пошли путем замены скачка водонасыщенности гладкой дифференцируемой аппроксимацией, что позволило решить ряд теоритических и практических задач. Но правомерность такой замены с точки зрения строгости математического аппарата и физического содержания поставленной задачи не отвечает требованиям науки на современном этапе.

Во-вторых, в переходной зоне водо-нефтяного контакта в уравнении доли воды в потоке имеется в виду насыщенность в одной пространственной точке для отношений относительных фазовых проницаемостей нефти и воды, а не в двух или трех различных пространственно разделенных точках пласта – в заводненной и в нефтяной зонах. Формальная замена или удачная аппроксимация скачка водонасыщенности на неустойчивом фронте вытеснения на гладкую, многократно дифференцируемую функцию – это искажение физической сути реального механизма вытеснения нефти водой. Подобные упрощения, как физического содержания, так и математической формализации проблемы, приводят к традиционным, хорошо известным из практики заводнения негативным последствиям, именуемым как «вязкостная неустойчивость фронта вытеснения», «пальцеобразный фронт вытеснения», «кинжальное обводнение скважин», «преждевременный прорыв воды в добывающих скважинах», «фрактальная геометрия движения фронта вытеснения». Это свидетельствует о невысоком качестве заводнения из-за недопонимания последствий упрощения механизма вытеснения.

Предотвратить эти катастрофические явления очень трудно, поэтому архиважно обоснование реального физического механизма формирования и продвижения фронта вытеснения и по мере возможности ранний прогноз роста или опережающего темпа движения водной фазы в потоке, точнее, скорости движения поверхности водонасыщенности на определенных участках и этапах процесса заводнения.

В-третьих, в 1941-1946 г. еще не был разработан известный сегодня математический аппарат, именуемый как «теория катастроф», хотя теория особенностей Уитни, теория бифуркаций Пуанкаре и основы топологии математикам были хорошо известны. Но в инженерной среде новая математика не была популярна и в прикладных задачах техники этот матаппарат не находил широкого применения. Развитие в 1960-1970 г. теории катастроф, вначале на западе, а затем уже и в СССР, а далее в России, дает возможность воспользоваться плодами нового математического аппарата в реальных прикладных задачах, имеющих определенные особенности [15-17].

Возможности теории катастроф.

Известно, что неустойчивости сопровождаются бифуркациями, разделяющими решения на несколько ветвей при изменении параметра порядка, непрерывно трансформирующими систему из одного стационарного состояния в другое, новое, вплоть до хаотического состояния. Этот переход от устойчивого равновесного ламинарного течения жидкости через удвоение цикла и его потери к турбулентному течению или странному аттрактору может совершаться при катастрофической потере устойчивости – скачком [15, 16].

Принято считать, что нарушение линейности закона фильтрации и ламинарности течения определяется числом Рейнольдса, и при превышении граничного критического значения этого показателя можно говорить об аналогичном или несколько отличающемся сценарии хаотизации. Неустойчивый фронт вытеснения в переходной зоне водо-нефтяного контакта подобен диссипативным структурам неравновесных открытых систем [17], которые характеризуются спонтанным появлением сложностей, вплоть до хаотической структуры.

Предполагаемый механизм вытеснения нефти водой, точнее неустойчивость фронта вытеснения, появляющийся за счет особых точек бифуркации и, как следствие, скачкообразное изменение водонасыщенности вполне объяснимы одной из элементарных катастроф типа «складка», визуализация которой представлена на рис.2.

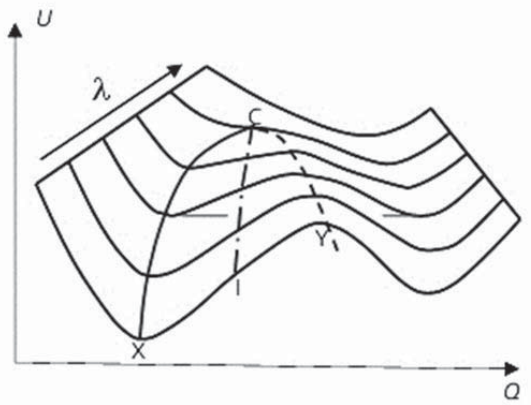


Рис.2. Зависимость потенциальной функции U от управляющего параметра

Катастрофа типа «складка» имеет в точке бифуркации две особые точки: устойчивую и неустойчивую, которые сливаются в одну и исчезают при дальнейшем изменении управляющего параметра.

Из рис. 2 очевидно, что простая трансформация энергии заключается в исчезновении минимума и максимума под действием единственного управляющего параметра λ и называется катастрофой складки, XCY – ее траектория, которая загибается в точке C, меняя при этом характер устойчивости [15, 16].

На графиках рис.3 показана визуализация механизма потери устойчивости, в том числе для наглядности представлен качественный скачок водонасыщенности, где минимумы и максимумы сливаются в точке бифуркации. Это указывает на переход системы в новое состояние, которое может быть стационарным, устойчивым колебательным или другим более сложным турбулентным движением.

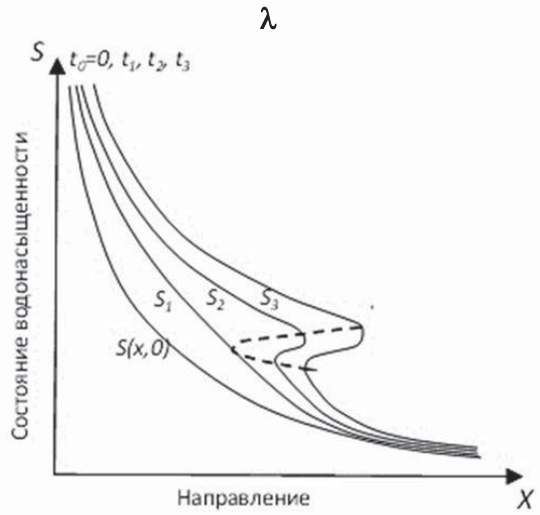


Рис.3. Катастрофа складки применительно к скачку водонасыщенности

На рис.3 изображено начальное поле (скоростей) насыщенности при *t=0* $s_0(x,0)$ и получившиеся из него при t_1, t_2, t_3 последующие поля насыщенностей s_1, s_2, s_3. Очевидно, что, начиная с некоторого момента, быстрые частицы начинают обгонять медленные и в результате поле водонасыщенностей становится как бы «многофазным», в соответствии со скоростями потоков с разными плотностями. Таким образом, в данном случае одновременно через одну и ту же точку пространства проходят с разными скоростями уплотненные потоки частиц.

Для ясности рассмотрим начальные условия, когда скорости фаз равны нулю, пласт находится в состоянии статистического равновесия, а давление является функцией только вертикально направленной координаты *h* [4, 7].

Во всех областях, где фаза неподвижна, не значит, что силы обязательно находятся в равновесии, именно эти силы являются предвестниками колебаний при вытеснении нефти водой. Учитывая зависимость капиллярного давления от связанной водонасыщенности, распределение воды выше этой зоны ВНК определяется градиентом, соответствующим плотности нефти.

Когда водонасыщенность достигает максимального значения, а фазовая проницаемость для нефти становится равной нулю, градиент давления в нефти соответствует градиенту, определяемому плотностью воды. Очевидно, что в переходных зонах даже статическое равновесие, обеспечиваемое при нулевой скорости фаз, нарушается градиентом сил, создаваемых разностью плотностей флюидов. С началом движения переходная зона теряет устойчивость в связи с резким изменением поведения фаз в новых термобарических условиях. Благодаря этим нелинейностям некоторые параметры изменяются в режиме неограниченного роста за короткое время, подобно режиму с обострением.

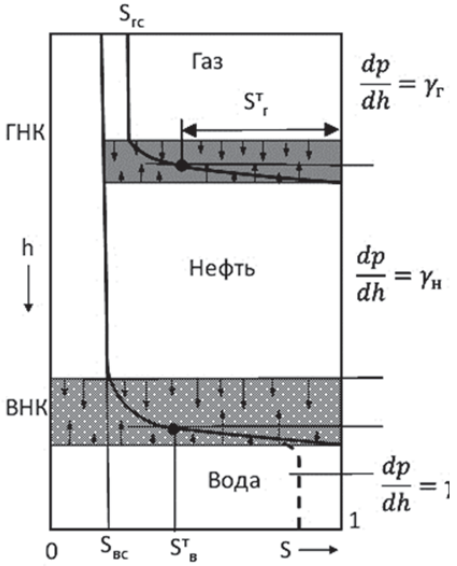


Рис. 4 Зависимость капиллярного давления от связанной водонасыщенности

В качестве прототипа механизма скачкообразного изменения водонасыщенности можно привести изменение плотности флюидов в сверхкритическом состоянии.

Таблица 1

Изменение плотности флюидов в условия образования сверхкритического состояния

Флюид	Молярная масса, г/моль	Плотность в норм.условиях, кг/м3	Сверхкритическое состояние		
			Температура, К	Давление, МПа	Плотность, кг/м3
CO2	44,01	1,977	303,9	7,38	468
H2O	18,02	1000	647,1	22,06	322
CH4	16,04	0,716	190,4	4,6	162
C2H6	30,07	1,342	305,3	4,87	203

Таким образом, скачкообразное изменение плотности сверхкритических флюидов открывает в них новые свойства и способности – значительно лучше растворяться, экстрагировать, проскальзывать. Схожий механизм сопровождает скачок плотности потока флюидов и, в свою очередь, приводит к различной водонасыщенности в данных термодинамических условиях.

Небольшие отличия начального поля насыщенностей (или скоростей) от постоянного поля приводят к образованию скоплений частиц в местах бесконечно большой плотности. Другими словами, предлагаемый механизм поведения скачка и хаотизации так или иначе непосредственно связан с изменением плотности потоков частиц.

Это наиболее простая трансформация энергии, заключающаяся в слиянии и исчезновении минимума и максимума под действием единственного управляющего параметра, как в случае с катастрофой складки.

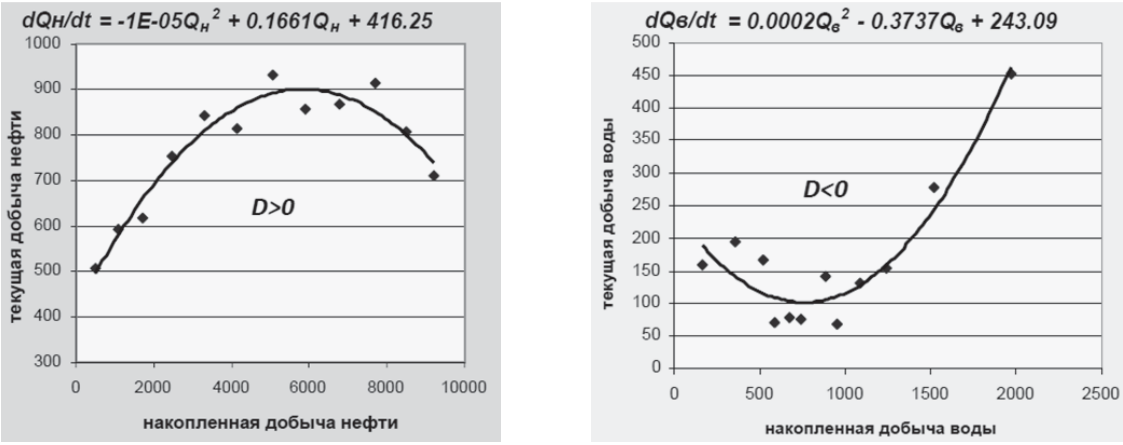
Имеются ли шансы своевременно предсказать если не сами скачки, то их последствия? Какая из комбинаций входных параметров возьмет на себя роль управляющего параметра?

Модель роста динамики отборов нефти и воды.

Согласно теории катастроф, необходимо перестроить показатели нефти и воды в фазовой плоскости и аппроксимировать их за определенный период. Зависимость текущей добычи нефти и воды от накопленной добычи нефти и воды представлена на рис.5. Как правило, это или квадратный трехчлен, или линейная зависимость. Подобный характер эволюционного процесса удобно представить моделью роста [8-15].

$$\frac{dQ}{dt} = a \cdot Q^2 + b \cdot Q + c \qquad (1)$$

В этом случае параметром порядка или управляющим параметром становится дискриминант, состоящий из комбинации входных коэффициентов. При этом не требуется решение самих дифференциальных уравнений, достаточно рассчитать дискриминанты.



а) б)

Рис.5. Зависимость на фазовой плоскости текущего и накопленного отбора нефти (а) и воды (б)

Следовательно, для исследования закономерностей качественных изменений, происходящих в динамике накопленной добычи нефти и воды, используются дискриминанты известных дифференциальных уравнений моделей роста. В практике разработки нефтегазовых

месторождений временные ряды замеров на скважине имеют колебательный характер, зависящий как от внешних воздействий на объект, так и от неравновесных процессов в пористой среде. Зная особенности колебательных процессов посредством технологических показателей и их распределения, можно оценить степень предполагаемых потерь устойчивости фронта вытеснения и потенциал самоорганизации на текущий момент времени.

Установлено, что временные ряды динамики текущих и накопленных отборов нефти и воды по скважине за исследуемый период времени могут быть описаны дифференциальным уравнением модели роста:

$$\begin{aligned} \frac{dQ_н}{dt} &= a_1 Q_н^2 + b_1 Q_н + c_1 \\ \frac{dQ_B}{dt} &= a_2 Q_B^2 + b_2 Q_B + c_2 \end{aligned}, \qquad (2)$$

где a_1, b_1, c_1, a_2, b_2, c_2 – постоянные коэффициенты; $Q_н$ и Q_B – соответственно накопленный дебит нефти и воды на текущий месяц.

На практике накопленные и текущие дебиты скважин известны, поэтому важно с использованием математического аппарата динамических систем качественно исследовать поведение пластовой системы при непрерывном изменении параметров, а также около точек равновесия и бифуркации. Можно сделать заключение о том, что множество катастроф уравнения роста определяется множеством решений, полученных при равенстве нулю дискриминанта по нефти и воде. Полученный вывод для задачи гидродинамического воздействия примет вид:

$$D_н = b_1^2 - 4\, a_1\, c_1 = 0; \quad D_B = b_2^2 - 4\, a_2\, c_2 = 0\,, \qquad (3)$$

где коэффициенты a_1, b_1, c_1, a_2, b_2, c_2 для каждой фазы нефть или вода определяются из уравнения (2) методом наименьших квадратов (МНК), а полученная система алгебраических уравнений решается методом Гаусса.

Исследования потенциальной функции позволяют определить область значений параметров, при которых происходят качественные изменения в динамике накопленной добычи, знак параметров D позволяет определить характер этих изменений, а по комбинации изменений формулируется критерий и на этой основе выбор рекомендуемого технологического режима.

Модель роста позволяет оценивать и прогнозировать изменение условий или качественный характер процесса и прогнозирует три типа его развития: 1) - рост с насыщением $D>0$; 2) - линейный рост $D=0$, 3 - рост без насыщения $D<0$.

Далее по каждой скважине для нефти и воды определяются $D_Н$ и $D_В$, при этом положительное значение дискриминанты свидетельствует о том, что кривая накопленной добычи имеет характер роста с насыщением, а отрицательное значение дискриминанты – соответственно, роста без насыщения.

При $D<0$ квадратное уравнение имеет комплексные корни, что естественно увеличивает количество особых точек, так как к экспоненциальной части добавляется «мнимая» тригонометрическая составляющая, добавляющая еще две точки равновесия, в которых происходит бифуркация и выбор дальнейшего хода эволюции.

Сочетание неограниченного роста кривой накопленной добычи нефти и ограниченного роста кривой накопленной добычи воды дает возможность при увеличении отбора

жидкости получить относительно больший прирост добычи нефти при относительно меньшем уровне закачки воды и отборе воды на текущий момент.

Сформулируем ***дискриминантный критерий*** и соответствующую стратегию выбора режима работы скважины в зависимости от вычисленных $D_Н$ и $D_В$:

- ограничение отбора флюидов производится при $D_Н > 0$ и $D_В < 0$;
- увеличение отбора флюидов производится при $D_Н < 0$ и $D_В > 0$.

Сочетание неограниченного роста кривой накопленной добычи по нефти и ограниченного роста кривой накопленной добычи по воде дает возможность рекомендовать форсировать отбор жидкости и получить относительный прирост добычи нефти при соответственно относительно меньшем приросте добычи воды. Обратный результат будет получен при сочетании ограниченного роста накопленной добычи нефти и неограниченного - воды. Если подобное поведение проявляет группа взаимодействующих скважин, то принимается решение по ограничению закачки по окружающим нагнетательным скважинам

В качестве исходной информации выбираются показатели работы скважин на дату запроса: дебит скважины по нефти, по воде. Основные параметры по критерию методики вычисляются по данным не менее чем за 12 месяцев от текущего настоящего момента, в случае получения значений $D_Н$ и $D_В$ одинакового знака режим работы скважин сохраняется и требует исследования в последующие месяцы. Каждый новый месяц данные добавляются к имеющимся, показатели рассчитываются заново и процедура повторяется.

Расчет по фактическим показателям эксплуатации скважин.

Рассмотрим фрагмент результатов расчета дискриминант по скважинам опытного участка, представленный в табл. 2.

Практические рекомендации по форсированию и ограничению отборов по добывающим и нагнетательным скважинам формулируются после изучения традиционной геологической и промысловой информации по скважинам и залежи, определения взаимодействия с помощью корреляционных связей между скважинами, нахождения застойных и слабодренируемых зон, распределения остаточной нефтенасыщенности и остаточных запасов, а также распределения добывающих скважин по принципу Парето, определения периода начала воздействия и его продолжительности на основе модели Лотки-Вальтерра.

Таблица 2

Фрагмент результатов расчета дискриминант по скважинам

№ скв.	D по нефти	D по воде	Результаты	Группа по распределению Парето	Взаимодействующие нагнетательные скважины	Практические рекомендации
101	0,3031	−0,1941E-01	Огр.рост по нефти, неогр. рост по воде	1	55(0,6)	Ограничение отбора жидкости
103	0,3755E-01	0,1465E-01	Огр.рост по нефти, огр. рост по воде	2	Связь слабая	ГТМ по интенсификации добычи нефти
105	0,2425	−0,6383E-01	Огр.рост по нефти, неогр. рост по воде	3	125(0,72), 67(-0,6)	Остановить нагнетательную скважину 125 на 2 месяца
105	−0,1486	−0,4301-01	Неогр.рост по нефти, неогр. рост по воде	3	Связь слабая	Режим работы не изменяем, проводим изоляционные работы

108Б	5,053	0,12851	Огр.рост по нефти, огр. рост по воде	4	Связь слабая	ГТМ по интенсификации добычи нефти
118	0,6000E-01	0,1589E-01	Огр.рост по нефти, огр. рост по воде	2	Связь слабая	ГТМ по интенсификации добычи нефти
119	0,2497E-01	−0,1126E-01	Огр.рост по нефти, неогр. рост по воде	3	125(0,52), 75(-0,6)	Остановить нагнетательную скважину 125 на 2 месяца
120	−0,1262E-01	0,4504E-02	Неогр.рост по нефти, огр. рост по воде	1	Связь слабая	Форсирование отбора жидкости без замены оборудования
138	−0,2459E-01	0,811911-01	Неогр.рост по нефти, огр. рост по воде	2	55(0,8)	Форсирование отбора жидкости без замены оборудования
140	0,1661	−0,7077E-02	Огр.рост по нефти, неогр. рост по воде	2	125(0,62), 100(-0,6)	Остановить нагнетательную скважину 125 на 2 месяца

Заключение. При решении прямых задач фильтрации многофазных флюидов через неоднородную пористую среду аналитическими или численными методами сталкиваются с проблемой учета неустойчивости фронта вытеснения и, как следствие, из-за скачка при определении водонасыщенности и разрыва зависимых от водонасыщенности параметров.

Предлагаемое решение обратной задачи позволяет учесть в неявной форме неустойчивость фронта вытеснения и прогнозировать последствия естественного скачкообразного изменения водонасыщенности и зависимых параметров с помощью дискриминантного анализа модели роста.

На основе предложенных решений сформулированы критерии, позволяющие своевременно обнаружить последствия потери устойчивости фронта вытеснения и адресно регулировать систему заводнения с помощью форсирования или ограничения режимов работы добывающих и нагнетательных скважин в соответствии с установленными критериями дискриминантного анализа. Мобилизация закачиваемой воды и регулирование отбора жидкости, точнее воды и нефти, на основе дискриминантного критерия позволяет решить важную практическую задачу в обход трудно решаемых прямых детерминистических задач и методов их решения.

Таким образом, открывается возможность системной оптимизации нестационарного заводнения и перспектива повышения нефтеотдачи залежей и интенсификации добычи УВС.

REFERENCES

1. **Wyckoff R.D. and Botset H.F.** The Flow of Gas Liquid Mixtures through Unconsolidated Sands. Physics, vol. 7, 1936.
2. **M.C. Leverett W.B. Lewis.** Steady Flow of Gas-oil-water Mixtures through Unconsolidated Sands. Trans.SPE of AIME, 142, 1941, pp.107-16.
3. **Buckley I. and Leverett M.C.** Mechanism of Fluid Displacement in Sands. Trans. AIME, vol. 146, 194.
4. **Muskat M.** Calculation of initial fluid distribution in oil reservoirs. Trans. SPE of AIME, 179, 1949, pp.119-27.
5. **Kreig F.F.** Razrabotka neftyanyh mestorozhdeniy pri zavodnenii. – M.: Nedra. - 1974. – 191 s.
   Крейг Ф.Ф. Разработка нефтяных месторождений при заводнении. – М.: Недра. - 1974. – 191 с.
6. **Charnyj I.A.** Podzemnaya gidrogazodinamika. M.: Gosudarstvennoe nauchno-tehnicheskoe izdatelstvo neftyanoy i gorno-toplivnoy literatury, 1963. - 397 s.
   Чарный И.А. Подземная гидрогазодинамика. М.: Государственное научно-техническое издательство нефтяной и горно-топливной литературы, 1963. - 397 с.
7. **Aziz X., Settari E.** Matematicheskoe modelirovanie plastovyh sistem. - M.:Nedra, 1982. - 408 s.
   Азиз Х., Сеттари Э. Математическое моделирование пластовых систем. - М.:Недра, 1982. - 408 с.
8. **Shahverdiev A.H.** Cistemnaya optimizaciya processa razrabotki neftyanyh mestorozhdeniy. – M.: Nedra. - 2004. – 452 s.

Шахвердиев А.Х. Системная оптимизация процесса разработки нефтяных месторождений. – М.: Недра. - 2004. – 452 с.

9. **Mirzajanzade A.H., Shahverdiev A.H.** Dinamicheskie processy v neftegazodobyche: sistemnyy analiz, diagnoz, prognoz. – M.: «Nauka». -1997. – 254 c.
   Мирзаджанзаде А.Х., Шахвердиев А.Х. Динамические процессы в нефтегазодобыче: системный анализ, диагноз, прогноз. – М.: «Наука». -1997. – 254 с.
10. **Mandrik I.E., Panahov G.M., Shahverdiev A.H.** Nauchno-metodicheskie i tehnologicheskie osnovy optimizacii processa povysheniya nefteotdachi plastov. – M., «Neftyanoe hozyajstvo». -2010. - 288 s.
    Мандрик И.Э., Панахов Г.М., Шахвердиев А.Х. Научно-методические и технологические основы оптимизации процесса повышения нефтеотдачи пластов. – М., «Нефтяное хозяйство». -2010. - 288 с.
11. **Shahverdiev A.H., Mandrik I.E., Panahov G.M. i dr.** Patent RF№2382877 ot 27.02.2010.
    Шахвердиев А.Х., Мандрик И.Э., Панахов Г.М. и др. Патент РФ№2382877 от 27.02.2010.
12. **Shahverdiev A.H., Bunkin A.V., Gumerskij H.H. i dr.** Patent RF №2024738 ot 15.12.1994.
    Шахвердиев А.Х., Бунькин А.В., Гумерский Х.Х. и др. Патент РФ №2024738 от 15.12.1994.
13. **Shahverdiev A.H., Maksimov M.M., Rybickaya L.P., Galushko V.V.** Patent RF №2105136 ot 20.02.1998 g.
    Шахвердиев А.Х., Максимов М.М., Рыбицкая Л.П., Галушко В.В. Патент РФ №2105136 от 20.02.1998 г.
14. **Shahverdiev A.H.** Eshhe raz o nefteotdache // Neftyanoe hozyajstvo (RF), № 1, 2014. – S.44-48.
    Шахвердиев А.Х. Еще раз о нефтеотдаче // Нефтяное хозяйство (РФ), № 1, 2014. – С.44-48.
15. **Arnold V.I.** Teoriya katastrof. – M.: Nauka, 1990. – 128 s.
    Арнольд В.И. Теория катастроф. – М.: Наука, 1990. – 128 с.
16. **Tompson J.M.** Neustoychivosti i katastrofy v nauke i tehnike. – M.:«Mir». 1985. - 254 s.
    Томпсон Дж.М. Неустойчивости и катастрофы в науке и технике. – М.:«Мир». 1985. - 254 с.
17. **Nikolis G., Prigozhin I.** Samoorganizaciya v neravnovesnyh sistemah: ot dissipativnyh struktur k uporyadochennosti cherez fluktuacii. - M.: Mir, 1979. – 512 s.
    Николис Г., Пригожин И. Самоорганизация в неравновесных системах: от диссипативных структур к упорядоченности через флуктуации. - М.: Мир, 1979. – 512 с.

LAYLARIN NEFT VERİMİNİN ARTIRILMASI MƏQSƏDİLƏ QEYRİ-STASİONAR İŞƏSALMANIN İNNOVASİYA POTENSİALI

Ə.X. ŞAHVERDİYEV

Məqalədə çoxfazalı flüidlərin filtrasiyasının tərs məsələsinin həllinə baxılıb. Qeyri-bircins məsafəli mühitdə neft layının işə salınmasında qeyri-dayanıqlı sıxılma frontonu qeyri-aşkar formada nəzərə alır və suyun doyma təsiri, qeyri-sabit dəyişməsi asılı parametrlərin inkişaf modeli diskriminant analizinin köməyilə proqnozlaşdırmağa imkan verir.

Açar sözlər: *çoxfazalı mayelərin filtrasiyası, işəsalma, quyuların iş rejiminin tənzimlənməsi,inkişaf modeli, fəlakət nəzəriyyəsi, neft hasilatı*

INNOVATIVE POTENTIAL OF NON-STATIONARY FLOODING FOR INCREASE IN OIL RECOVERY OF LAYERS

A.Kh. SHAKHVERDIYEV

In article the solution of the return problem of filtration of multiphase fluids through the non-uniform porous environment is proposed that allows to consider in an implicit form instability of the front of replacement when flooding the oil pool and to predict consequences of natural spasmodic change of water saturation and dependent parameters by means of the discriminant analysis of model of growth.

Keywords: *filtration of multiphase fluids, flooding, regulation of operating modes of wells, growth models, theory of accidents, oil recovery.*