

Область техники, к которой относится изобретение

Изобретение относится, в основном, к способам и процессам анализа данных о добыче скважины и максимизирования эффективности эксплуатации коллектора через нее и, в частности, относится к оценке многопластовых коллекторов с совместно-раздельной эксплуатацией, используя данные о совместно-раздельной эксплуатации и информацию о геофизических исследованиях в эксплуатационных и нагнетательных скважинах.

Описание известного уровня техники

Данные о динамике изменения добычи месторождения и многочисленные испытания на неустановившихся режимах по давлению в течение некоторого периода времени для нефтяных и газовых скважин в коллекторах с аномально высоким пластовым давлением, как было обнаружено, часто проявляют заметные изменения эффективной проницаемости коллектора в течение продуктивного периода скважин. Аналогично, использование количественной диагностики скважин с разрывом пласта для оценки динамики изменения добычи скважин с гидравлическим разрывом пласта ясно показали, что эффективная полудлина и проводимость разрыва могут значительно уменьшаться в течение продуктивного периода скважин. Основательное исследование по этой теме можно найти в статье, представленной Bobby D. Pore, изобретателем рассматриваемой заявки, озаглавленной: "Evaluation Of Reservoir and Hydraulic Fracture Properties in Geopressure Reservoir", Общества инженеров-нефтяников Американского института горных инженеров, SPE 64732.

Некоторые из самых ранних ссылок на тот факт, что подземные коллекторы не всегда ведут себя как жесткие и недеформируемые тела из пористой среды, можно найти в литературе по подземным водам, см., например, "Compressibility and Elasticity of Artesian Aquifers", by O.E. Meinzer, Econ. Geol. (1928) 23, 263-271, и "Engineering Hydraulics", by C.E. Jacob, John Wiley and Sons, Inc. New York (1950) 321-386.

Обследование ранних экспериментальных и численных исследований влияния зависимых от напряжения свойств коллектора продемонстрировало, что породы с низкой проницаемостью проявляют пропорционально большее снижение проницаемости, чем породы с высокой проницаемостью. Зависимость от напряжения проницаемости коллектора и проводимости разрыва в течение практического продуктивного периода скважины коллекторов с аномально высоким пластовым давлением и низкой проницаемостью привела к следующим наблюдениям.

1. В коллекторах с аномально высоким пластовым давлением часто могут наблюдаться промысловые данные об ухудшении эффективной проницаемости коллектора даже при малой продолжительности эксплуатации.

2. Количественная оценка динамики изменения добычи месторождения с гидравлическими разрывами пласта как в обычных коллекторах, так и в коллекторах с аномально высоким пластовым давлением привела к наблюдению, что проводимость разрыва у скважин с гидравлическим разрывом пласта обычно уменьшается с продолжительностью эксплуатации.

3. Многофазный поток разрыва, как было продемонстрировано, значительно снижает эффективную проводимость разрывов.

4. Оценки до разрыва пласта эффективной проницаемости породы, полученные из испытаний на неустановившихся режимах по давлению или анализов добычи, часто не представляют эффективную проницаемость коллектора, проявляемую при динамике изменения добычи после разрыва пласта.

Анализ данных о добыче скважин для определения продуктивности использовался в течение почти пятидесяти лет в попытке определения заранее ответной реакции скважины на обработку по интенсификации добычи. Рассуждения по ранним техническим приемам можно найти в статье, представленной R. E. Gladfelter, озаглавленной "Selecting Wells Which Will Respond to Production-Simulation Treatment", Drilling and Production Procedures, API (Американский нефтяной институт), г. Даллас, шт. Техас, 117-129 (1955). Обычно используется решение на неустановившихся режимах по давлению уравнения диффузности, описывающее течение нефти и газа в коллекторе, в котором нормализованные падения давления расхода потока определяются следующим образом:

$$(P_i - P_{wf}) / q_o, \text{ и}$$

$$\{P_p(P_i) - P_p(P_{wf})\} / q_g,$$

для анализа нефтяного и газового коллектора соответственно, в которых

P_i - начальное давление коллектора (абсолютное давление в английских фунтах на квадратный дюйм),

P_{wf} - гидродинамическое давление на вскрытую поверхность забоя и стенки скважины в песчаном пласте (абсолютное давление в английских фунтах на квадратный дюйм),

q_o - расход потока нефти (нормальных баррелей в сутки),

P_p - функция псевдавления, (абсолютное давление в английских фунтах на квадратный дюйм)²/(постоянное давление) и

q_g - расход потока газа (тысяч стандартных кубических футов в сутки).

Хотя анализ данных о добыче с использованием нормализованных давлений расхода потока и решений на неустановившихся режимах по давлению работает достаточно хорошо во время режима бесконечно действующего радиального течения скважин без разрывов пласта, результаты граничного течения показали, что

нормирование производительности следует по экспоненциальному тренду, а не по наклону в логарифмических единицах, проявляемому во время режима течения в псевдоустановившемся состоянии решения на неустановившихся режимах по давлению.

На протяжении большей части истории добычи скважины конечное давление сообщается действующей системе, является ли оно рабочим давлением сепаратора, давлением в трубопроводе товарной продукции или даже атмосферным давлением в резервуаре для товарной нефти. В любом из этих случаев внутренним краевым условием является условие Дирихле (указанное конечное давление). Если внутреннее краевое условие конечного давления указано в некоторой точке наземного оборудования или на вскрытой поверхности забоя и стенках скважины в песчаном пласте, внутренним краевым условием является условие Дирихле и обычно используются решения на неустановившихся режимах по расходу. Также общеизвестно, что при последующей эксплуатации внутреннее краевое условие в забое ствола скважины обычно более точно аппроксимируется постоянным забойным гидродинамическим давлением, а не внутренним краевым условием постоянного расхода.

Дополнительной проблемой, которая возникает при использовании решений на неустановившихся режимах по давлению в качестве основы для анализа данных о добыче, является количество шума, присутствующего в данных. Использование функций производных по давлению для устранения проблем единственности, связанных с анализом данных о добыче скважин с разрывами пласта во время раннего поведения на неустановившихся режимах при разрыве пласта, еще более усиливает влияние шума в данных, в большинстве случаев требуя сглаживания производных, неизбежное, по меньшей мере или в худшем случае, делая данные неинтерпретируемыми.

Были сделаны многочисленные попытки разработать анализ с более содержательными данными о добыче с целью максимизировать уровень добычи скважин с разрывами пласта. Один такой пример показан и описан в патенте США № 5 960 369, выданном В. Н. Samaroo, описывающем способ предсказателя профиля производительности для скважины, имеющей более одного вскрытия пласта, в котором процесс применяется для каждого вскрытия при условии, что скважина может добывать с любой из множества зон или в случае эксплуатации многочисленных зон, причем эксплуатация является совместно-раздельной.

Из вышесказанного можно определить, что можно повысить добычу скважин с разрывом пласта, если динамика изменения добычи может быть надлежащим образом использована для определения эффективности разрыва. Однако к

настоящему времени не был изобретен надежный способ создания содержательных данных. Примеры известного уровня техники в лучшем случае являются теоретическими и создавали непредсказуемые и неточные результаты.

Краткое изложение существа изобретения

Рассматриваемое изобретение представляет собой способ и процесс для оценки внутренних свойств коллектора, таких как эффективная проницаемость коллектора, скин-эффект установившегося состояния радиального течения, дренируемая коллектором площадь и омега (безразмерная накапливаемость трещины относительно всей системы) и лямбда (параметр перетока из материнской породы в трещину) параметров двойной пористости коллектора индивидуальных пластов коллектора без разрывов в системе многопластового коллектора с совместно-раздельной эксплуатацией, используя данные о добыче из коллектора с совместно-раздельной эксплуатацией, такие как гидродинамические давления, температуры и расходы потока в устье скважины и/или суммарные объемы добычи нефтяных, газовых и водяных фаз, и информацию о геофизических исследованиях в эксплуатационных и нагнетательных скважинах (или измерения манометров и скважинной расходомерии). Способ и процесс изобретения также позволяют производить оценку свойств гидравлического разрыва пластов коллектора с разрывами в многопластовой системе с совместно-раздельной эксплуатацией, т.е. эффективную полудлину разрыва, эффективную проводимость разрыва, анизотропию проницаемости, дренируемую коллектором площадь и омегу и лямбду параметров двойной пористости коллектора. Влияния многофазного потока разрыва и потока разрыва с нарушением закона Дарси также рассматриваются в анализе пластов коллектора с разрывами.

Рассматриваемое изобретение относится к способу и процессу для диагностики скважин с разрывом пластов для анализа данных о добыче для достижения оптимизации эксплуатации вскрытий коллектора посредством доступного анализа производительности и данных о геофизических исследованиях в эксплуатационных и нагнетательных скважинах. Способ изобретения представляет собой процедуру количественного анализа свойств коллектора и разрыва, используя данные о добыче из коллектора с совместно-раздельной эксплуатацией, геофизические исследования в эксплуатационных и нагнетательных скважинах и анализы радиальных течений и интервалов с разрывами. Это позволяет производить определение пластовых свойств коллектора и разрыва для определения места надлежащей и оптимальной обработки и "дизайна" коллектора. Изобретение создает процедуру строгого анализа для динамики изменения добычи из многопластового коллектора с совместно-раздельной эксплуатацией. Данные геофизи-

ческих исследований в эксплуатационных и нагнетательных скважинах используются для правильного назначения производительности каждому законченному интервалу и заданной зоне коллектора. Это улучшает проект по интенсификации притока и вскрытию пластов и определяет зоны для усиления интенсификации притока.

Рассматриваемое изобретение представляет собой вычислительный способ и процедуру для вычисления истории добычи из индивидуальных зон многопластового коллектора с совместно-раздельной эксплуатацией. Данными, используемыми при анализе, являются данные о добыче скважины с совместно-раздельной эксплуатацией, температуры и давления потока в устье скважины, полное описание скважинных и трубных изделий и информация о геофизических исследованиях в эксплуатационных и нагнетательных скважинах. Эти данные используются для построения эквивалентных историй добычи из индивидуальных пластов. Вычисленными историями добычи из индивидуальных законченных интервалов, которые создаются, являются расходы потока и суммарные объемы добычи жидких углеводородов, газа и воды из индивидуального пласта и гидродинамические давления в стволе скважины законченного в середине интервала как функции времени. Затем может быть произведена оценка этих историй добычи из индивидуальных законченных интервалов просто как неустановившиеся режимы падения давления для получения надежных оценок эффективной проницаемости пластов коллектора, дренируемой площади, вероятного скин-эффекта установившегося состояния радиального течения и эффективных свойств гидравлического разрыва, а именно полудлины и проводимости.

Обычно первоначальные геофизические исследования в эксплуатационных и нагнетательных скважинах проводятся вскоре после ввода скважины в эксплуатацию и получения обратно из породы раствора для вскрытия пластов в скважине. В зависимости от породы, операций по интенсификации притока/вскрытию пластов, выполняемых в скважине, и размеров и производительности коллектора, второе геофизическое исследование в эксплуатационных и нагнетательных скважинах проводится после того, как будет достигнута измеримая величина стабилизированной добычи скважины. Обычно дополнительные геофизические исследования в эксплуатационных и нагнетательных скважинах проводятся через периодические интервалы для контроля того, как продолжают изменяться относительно продолжительности эксплуатации доли потоков пластов и давления в стволе скважины. Использование таким образом геофизических исследований в эксплуатационных и нагнетательных скважинах обеспечивает единственно приемлемое средство интерпретации ди-

намики изменения добычи коллектора с совместно-раздельной эксплуатацией без использования стационарных забойных датчиков.

Рассматриваемое изобретение относится к разработке вычислительной модели, которая выполняет назначение производительности индивидуальным законченным интервалам в системе коллектора с совместно-раздельной эксплуатацией, используя частичные расходы потока индивидуальных законченных интервалов, определяемых из геофизических исследований в эксплуатационных и нагнетательных скважинах и суммарных расходов потока жидкой фазы скважины в системе с совместно-раздельной эксплуатацией. Создаваемые истории расхода потока индивидуальных законченных интервалов включают в себя расходы потока жидкой фазы индивидуальных законченных интервалов и суммарные объемы добычи как функции продолжительности эксплуатации, а также гидродинамических давлений ствола скважины в середине зоны. Вычисленные гидродинамические давления в стволе скважины в середине зоны при значениях продолжительности эксплуатации серии геофизических исследований в эксплуатационных и нагнетательных скважинах затем сравниваются с фактически измеренными давлениями в стволе скважины на этих глубинах и при этом значении продолжительности для выяснения того, какая модель линий профиля давления скважины наиболее точно соответствует измеренным давлениям.

Идентифицированная модель линий профиля давления ствола скважины затем используется для моделирования забойных гидродинамических давлений в стволе скважины для всех остальных уровней продолжительности эксплуатации, для которых нет измерений геофизических исследований в эксплуатационных и нагнетательных скважинах. Это использование идентифицированной модели линий профиля давления для получения неизмеренных гидродинамических давлений в стволе скважины является единственным предположением, необходимым во всем анализе. Это по существу дела обосновано, если нет резких изменений характера получаемых скважинных флюидов или интенсификации притока/повреждения законченных интервалов, которые не отражены в комплексной истории геофизических исследований в эксплуатационных и нагнетательных скважинах, главным образом вследствие неадекватного отбора проб изменений в законченных интервалах, создающих частичные расходы потока. При адекватном отборе проб изменяющихся долей частичного расхода потока индивидуальных законченных интервалов в коллекторе с совместно-раздельной эксплуатацией этот метод анализа лучше по сравнению с другими процедурами испытания и анализа многочисленных пластов.

Способ и процесс рассматриваемого изобретения обеспечивает модель анализа полностью связанной системы коллектора с совместно-раздельной эксплуатацией для назначения данных производительности системы с совместно-раздельной эксплуатацией индивидуальным законченным интервалам в скважине и построения историй гидродинамических давлений в стволе скважины для индивидуальных законченных интервалов в скважине. Не требуется делать никаких предположений в отношении скин-эффекта установившегося состояния интенсификации притока/повреждения, эффективной проницаемости (или проводимости породы), начального уровня порового давления, протяженности дренируемой площади или внутренних свойств породы законченных интервалов в системе коллектора с совместно-раздельной эксплуатацией. Способ изобретения рассматривает только фактическую измеряемую реакцию системы с совместно-раздельной эксплуатацией, используя геофизические исследования в эксплуатационных и нагнетательных скважинах и принятые в промышленности вычислительные модели линий профиля давления в стволе скважины.

Фундаментальной основой изобретения является строгий по вычислениям метод вычисления линий профиля давления в стволе скважины для средних точек (или других требуемых точек) каждого законченного интервала, используя один или несколько из ряда принятых в нефтяной промышленности методов вычисления линий профиля давления в стволе скважины в комбинации с трубной конфигурацией и геометрией ствола скважины, информацией об исследовании отклонения ствола скважины от вертикали, информацией о глубинах и перфорировании законченных интервалов, измеренными в устье скважины нормами отбора (или суммарными объемами добычи) и давлениями и температурами в устье скважины при работе системы многопластового коллектора с совместно-раздельной эксплуатацией. Вычисленные давления в стволе скважины линий профиля давления сравниваются с измеренными давлениями в стволе скважины либо геофизических исследований в эксплуатационных и нагнетательных скважинах, либо исследований давлений в стволе скважины. Это позволяет произвести идентификацию вычислительного метода линий профиля давления, который приводит к наилучшему соответствию с выполненными физическими измерениями.

Изобретение позволяет использовать информацию многочисленных геофизических исследований эксплуатационных и нагнетательных скважин, проводимых в различные периоды времени в течение продуктивного периода скважины. Изобретение также обеспечивает технические условия перетока между пластами коллектора системы с совместно-раздельной

эксплуатацией в стволе скважины. Изобретение оценивает линии профиля давления в каждом сегменте ствола скважины, используя расходы потока флюида в этой секции ствола скважины, давление в стволе скважины в верхней части этой секции ствола скважины и распределение температуры и плотности флюида в этой секции линии профиля ствола скважины.

Способ и процесс изобретения фактически используют физические измерения в забое скважины гидродинамических давлений, температуры, плотностей флюида ствола скважины и доли потока индивидуальных пластов коллектора для точного определения историй добычи каждого индивидуального пласта в системе многопластового коллектора с совместно-раздельной эксплуатацией. Результаты анализа индивидуальных пластов коллектора могут быть использованы с алгоритмом коллектора с совместно-раздельной эксплуатацией для воссоздания синтетических геофизических исследований эксплуатационных и нагнетательных скважин для соответствия фактическим зарегистрированным геофизическим исследованиям эксплуатационных и нагнетательных скважин, которые измеряются в скважине. Изобретение содержит автоматическую нелинейную процедуру минимизации Левенберга-Маркуардта, которая может быть использована для инвертирования этих записей истории добычи с целью определения свойств коллектора и разрыва индивидуальных законченных интервалов. Изобретение также имеет дополнительную возможность автоматической повторной оценки первоначально определенных законченных интервалов без разрывов, которые показывают скин-эффекты установившегося состояния отрицательного радиального течения в виде законченных интервалов с вертикальными разрывами конечной проводимости.

Способ и процесс рассматриваемого изобретения впервые обеспечивает надежный, точный, проверяемый вычислением, строгий анализ динамики изменения добычи скважины, законченной в системе многопластового коллектора с совместно-раздельной эксплуатацией, используя физически измеряемые расходы потока, давления, температуры и плотности флюида в стволе скважины из геофизических исследований в эксплуатационных и нагнетательных скважинах или на основе скважинной расходомерии и манометров для выполнения назначения расхода потока каждому законченному интервалу коллектора. Комбинация информации геофизических исследований в эксплуатационных и нагнетательных скважинах и процедур вычисления линий профиля в стволе скважины приводит к надежному, точному, непрерывному представлению историй давления в стволе скважины каждого законченного интервала в системе многопластового коллектора с совместно-раздельной эксплуатацией. Результаты затем

могут быть использованы в количественных анализах для идентификации законченных интервалов в стволе скважины без интенсификации притока, с недостаточной интенсификацией притока или просто с низкими эксплуатационными качествами, которые могут быть

интенсифицированы или другим образом отремонтированы для повышения продуктивности. Изобретение может включать в себя полный модуль анализа соотношений давление-объем-температура - Д.О.Т.(PVT) флюидов коллектора и скважинных флюидов.

Краткое описание чертежей

На фиг. 1 представлена блок-схема процесса рассматриваемого изобретения.

На фиг. 2 представлена иллюстрация систематической и последовательной вычислительной процедуры в соответствии с рассматриваемым изобретением.

Подробное описание предпочтительных вариантов выполнения

Рассматриваемое изобретение относится к вычислительной модели для вычисления линий профиля давления ствола скважины и долей добычи индивидуальных пластов индивидуальных законченных интервалов в коллекторе с совместно-раздельной эксплуатацией. Регистрируются и включаются в анализ непосредственные физические измерения долей потока индивидуальных пластов в общей добыче скважины и фактические гидродинамические давления в стволе скважины. Существуют многочисленные модели линий профиля давления в стволе скважины для вычисления забойных гидродинамических и статических давлений в стволе скважины из давлений, температур и расходов потока на поверхности, что хорошо известно специалистам в этой области техники. Выбор соответствующей модели линий профиля давления определяется в результате сравнения с фактическими измерениями давления в стволе скважины. В коллекторе с совместно-раздельной эксплуатацией доля частичного потока пласта в общей норме отбора скважины также обычно изменяется относительно времени.

Существуют многочисленные факторы, которые управляют долями индивидуальных пластов в общей норме отбора скважины относительно времени. Ими являются различия начальных пластовых давлений, эффективной проницаемости, скин-эффекта установившегося состояния интенсификации притока или повреждения, дренируемой площади, толщины продуктивного пласта и диффузности и накапливаемости различных пластов. Другими факторами, которые не управляются непосредственно коллектором, воздействующим на долю каждого пласта в объеме добычи скважины коллектора с совместно-раздельной эксплуатацией, являются изменяющиеся давления в стволе скважины, потери от вскрытия пластов и изменяющиеся

соотношения флюидов, создаваемых газом и жидкостью, относительно времени.

Геофизические исследования в эксплуатационных и нагнетательных скважинах обеспечивают непосредственное средство измерения гидродинамических давлений, температур в стволе скважины и фактических долей потока пласта коллектора в конкретных точках во времени, которыми необходимо калибровать вычисляемые модели линий профиля давления. Предпочтительно проводить многочисленные геофизические исследования в эксплуатационных и нагнетательных скважинах, эксплуатирующих коллекторы с совместно-раздельной эксплуатацией, для отслеживания изменения долей индивидуальных законченных интервалов относительно продолжительности эксплуатации.

Известно, что общая норма отбора в системе с совместно-раздельной эксплуатацией обычно не равна или даже не приближается к сумме отдельных расходов потока индивидуальных законченных интервалов, когда каждый интервал проверяется изолированно от других законченных интервалов в скважине. Существует несколько факторов, вызывающих это, включающих в себя, но не ограничиваясь ими, (1) неизменно более высокие гидродинамические давления в скважине, присутствующие в системе с совместно-раздельной эксплуатацией на каждом законченном интервале, чем те, которые были измерены индивидуально, и (2) возможный переток между законченными интервалами.

Как более конкретно показано на блок-схеме на фиг.1, рассматриваемое изобретение относится к вычислительной модели, которая выполняет назначение производительности индивидуальных законченным интервалам в системе коллектора с совместно-раздельной эксплуатацией, используя частичные расходы потока индивидуальных законченных интервалов, определяемые из геофизических исследований в эксплуатационных и нагнетательных скважинах, и общих расходов потока жидкой фазы скважины в системе с совместно-раздельной эксплуатацией. На ней изображен процесс анализа для коллектора с тремя законченными пластами коллектора, в котором в верхнем и нижнем пластах коллектора были выполнены гидравлические разрывы. У среднего законченного интервала коллектора не был интенсифицирован приток разрывом. Линия профиля давления ствола скважины вычисляется с использованием общих расходов потока совместно-раздельной эксплуатации скважины для средней точки верхнего законченного интервала. Затем оцениваются расходы потока флюида в стволе скважины между средней точкой верхнего и среднего законченных интервалов, используя общие расходы потока жидкой фазы системы с совместно-раздельной эксплуатацией минус расходы потока от верхнего законченного интервала.

Линия профиля давления в стволе скважины между средними точками среднего и нижнего законченных интервалов оценивается с использованием расходов потока жидкой фазы, которые представляют собой разность между общими расходами потока жидкой фазы системы с совместно-раздельной эксплуатацией и суммой расходов потоков фазы от верхнего и среднего законченных интервалов. Истории расходов потоков индивидуальных законченных интервалов, созданные при этом анализе, включают в себя расходы потоков флюида индивидуальных законченных интервалов и суммарные объемы добычи как функции продолжительности эксплуатации, а также гидродинамические давления в стволе скважины в средней зоне. Вычисленные гидродинамические давления в стволе скважины в средней зоне при уровнях продолжительности эксплуатации проведения геофизических исследований в эксплуатационных и нагнетательных скважинах затем сравниваются с фактическими измеренными давлениями в стволе скважины на этих глубинах и уровнях продолжительности, чтобы определить, какая модель линий профиля давления ствола скважины наиболее точно соответствует измеренным давлениям.

Идентифицированная модель линий профиля давления ствола скважины затем используется для моделирования забойного гидродинамического давления в стволе скважины для всех остальных уровней продолжительности эксплуатации, для которых нет измерений геофизических исследований в эксплуатационных и нагнетательных скважинах. Это использование идентифицированной модели линий профиля давления для создания неизмеренных гидродинамических давлений в стволе скважины является единственным существенным предположением, выполненным в процессе. Это по существу дела обоснованно, если нет резких изменений характера получаемых скважинных флюидов или интенсификации притока/повреждения законченных интервалов, которые не отражены в комплексной истории геофизических исследований в эксплуатационных и нагнетательных скважинах, главным образом вследствие неадекватного отбора проб изменений в законченных интервалах, создающих частичные расходы потока. При адекватном отборе проб изменяющихся долей частичного расхода потока индивидуальных законченных интервалов в коллекторе с совместно-раздельной эксплуатацией этот метод анализа дает точные результаты.

На фиг.2 представлена иллюстрация систематической и последовательной вычислительной процедуры в соответствии с рассматриваемым изобретением. Начиная от устья 10 скважины, линии профиля давления для средней точки каждого законченного интервала вычисляются последовательным образом. Расходы потока флюида в каждом последовательно более

глубоком сегменте ствола скважины уменьшаются по сравнению с предыдущим сегментом ствола скважины на выработку из законченных интервалов над этим сегментом ствола скважины. Математические зависимости, которые описывают расходы потока жидкой фазы (в или из) каждого законченного интервала в стволе скважины, определяются соответственно следующим образом для выработки нефти, газа и воды из j-го законченного интервала:

$$q_{oj}(t) = q_{ot}(t) f_{oj}(t),$$

$$q_{gj}(t) = q_{gt}(t) f_{gj}(t),$$

$$q_{wj}(t) = q_{wt}(t) f_{wj}(t),$$

где

q_{oj} - расход потока жидких углеводородов j-го законченного интервала, нормальных баррелей в сутки,

q_{ot} - расход потока жидких углеводородов комплексной системы, нормальных баррелей в сутки,

f_{oj} - доля жидкости с расходом потока жидких углеводородов j-го законченного интервала в общем расходе потока жидких углеводородов скважины, часть,

q_{gj} - расход потока j-го интервала, тысяч стандартных кубических футов в сутки,

j - индекс законченных интервалов,

q_{gt} - общий расход потока газа скважины, тысяч стандартных кубических футов в сутки,

f_{gj} - часть расхода потока газа j-го законченного интервала от общего расхода потока газа скважины, часть,

q_{wj} - расход потока воды j-го интервала, нормальных баррелей в сутки,

q_{wt} - общий расход потока воды скважины в комплексной системе, нормальных баррелей в сутки,

f_{wj} - часть расхода потока воды j-го законченного интервала от общего расхода потока воды скважины, часть.

Соответствующие расходы потока жидкой фазы в каждом сегменте ствола скважины также определяются математически соответственно следующими зависимостями для нефти, газа и воды для n-го сегмента линий профиля давления ствола скважины.

$$q_{on}(t) = q_{ot}(t) - \sum_{\substack{j=1 \\ n>1}}^{n-1} q_{oj}(t)$$

$$q_{gn}(t) = q_{gt}(t) - \sum_{\substack{j=1 \\ n>1}}^{n-1} q_{gj}(t)$$

$$q_{wn}(t) = q_{wt}(t) - \sum_{\substack{j=1 \\ n>1}}^{n-1} q_{wj}(t)$$

Вычисления расхода потока и линий профиля давления выполняются последовательно для каждого сегмента ствола скважины, начиная с поверхности или устья 10 скважины и заканчивая самым глубоким законченным интервалом в стволе скважины для последовательности действий как при эксплуатации, так и при на-

гнетании. Используемые процедуры вычисления линий профиля давления и расхода потока в стволе скважины позволяют производить оценку эксплуатации, нагнетания или остановки скважин.

Фундаментальные зависимости притока, которые управляют поведением на неустановившихся режимах многопластового коллектора с совместно-раздельной эксплуатацией, полностью выполняются в анализе, обеспечиваемом способом рассматриваемого изобретения. Предполагая, что выполняются точные геофизические исследования в эксплуатационных и нагнетательных скважинах, когда вертушечный расходомер проходит законченный интервал без уменьшения расхода потока в стволе скважины (сравнивая расходы потока в стволе скважины на верхней части и подошве законченного интервала, при этом более высокий или равный расход потока на верхней части, чем на подошве), флюид не поступает в интервал из ствола скважины (без потерь от законченного интервала, т.е. без перетока). Во-вторых, если достигается минимальный пороговый расход потока флюида в стволе скважины для получения стабильной и точной работы вертушечного расходомера, то также являются точными все измерения с более высокими расходами потока. Наконец, сумма всех долей законченных интервалов равна расходам потока добычи системы с совместно-раздельной эксплуатацией как для эксплуатационных, так и для нагнетательных скважин.

В предпочтительном варианте выполнения изобретения для анализа используются два используемых для управления анализом файла входных данных. Один файл представляет собой файл управления анализом, который содержит переменные величины для определения того, как должен выполняться анализ (какое используется свойство флюида и корреляции линий профиля давления, а также информация о геофизических исследованиях в эксплуатационных и нагнетательных скважинах и геометрии ствола скважины). Другой файл содержит температуры и гидродинамические давления в устье скважины системы с совместно-раздельной эксплуатацией и либо расходы потока индивидуальной жидкой фазы, либо суммарные объемы добычи как функции продолжительности эксплуатации.

При выполнении анализа создаются два выходных файла. Основной выходной файл содержит все входные данные, определенные для анализа, результаты промежуточных вычислений и истории добычи определенных участков коллектора и индивидуальных законченных интервалов. Файл дампа содержит только табличные выходные результаты для определенных участков коллектора, которые готовы для импорта и использования в моделях количественного анализа.

Файл управления анализом содержит большое количество параметров управления анализом, использование которых может быть применено для адаптации анализа назначения производительности для соответствия наиболее часто встречаемым состояниям ствола скважины и коллектора.

ФОРМУЛА ИЗОБРЕТЕНИЯ

1. Способ оптимизации эффективности эксплуатации коллекторов скважин, имеющих множество законченных интервалов, посредством процедуры количественного анализа свойств коллектора и разрыва пластов, используя данные о добыче из коллектора с совместно-раздельной эксплуатацией, информацию геофизических исследований в эксплуатационных и нагнетательных скважинах, содержащий этапы, при которых осуществляют измерение давления в заданных зонах коллектора; выбор модели линий профиля давления для вычисления забойных и статических давлений в стволе скважины из давления, температур и расходов потока на поверхности, отличающийся тем, что заданной зоной для измерения давления в коллекторе является середина зоны; причем при вычислении давлений в средней зоне используют модель линий профиля, при этом сравнивают вычисленные давления в средней зоне с измеренными давлениями и моделируют забойное давление коллектора на основании модели линий профиля давления.

2. Способ по п.1, отличающийся тем, что при этапе сравнения осуществляют или принятие значений давлений, вычисленных в средней зоне, если они находятся внутри заранее определенного допуска измеренных давлений, или отклонение значений давлений, вычисленных в средней зоне, если они находятся вне заранее определенного допуска.

3. Способ по п.2, отличающийся тем, что при отклонении значений давлений, вычисленных в средней зоне, этап вычисления давлений в средней зоне и этап сравнения значений давлений повторяют до достижения давлением, вычисленным в средней зоне, значения, находящегося внутри определенного допуска.

4. Способ по любому предыдущему пункту, отличающийся тем, что коллектор разделяют на определенные интервалы от верхней части до подошвы, причем каждый имеет верхнюю точку, среднюю точку и нижнюю точку, и в котором линию профиля давления ствола скважины вычисляют с использованием общих расходов потока коллектора с совместно-раздельной эксплуатацией для средней точки верхнего законченного интервала.

5. Способ по п.4, отличающийся тем, что расходы потока флюида ствола скважины между средней точкой верхнего и вторым законченным интервалами вычисляют с использованием

общих расходов потока жидкой фазы коллектора с совместно-раздельной эксплуатацией минус расходы потока верхнего законченного интервала.

6. Способ по п.5, отличающийся тем, что линию профиля давления в стволе скважины между средними точками второго и более нижнего законченных интервалов вычисляют с использованием расходов потока жидкой фазы, которые представляют собой разность между общими расходами потока жидкой фазы системы коллектора с совместно-раздельной эксплуатацией и суммой расходов потока фазы верхнего, второго и более нижнего законченных интервалов.

7. Способ по п.6, отличающийся тем, что математические зависимости, которые описывают расходы потока жидкой фазы потока каждого законченного интервала для выработки нефти, газа и воды из j -го законченного интервала, представляют собой соответственно:

$$\begin{aligned} q_{oj}(t) &= q_{ot}(t)f_{oj}(t), \\ q_{gfj}(t) &= q_{gt}(t)f_{gj}(t), \\ q_{wfj}(t) &= q_{wt}(t)f_{wj}(t), \end{aligned}$$

где

q_{oj} - расход потока жидких углеводородов j -го сегмента ствола скважины, нормальных баррелей в сутки;

q_{ot} - расход потока жидких углеводородов в комплексной системе, нормальных баррелей в сутки;

f_{oj} - доля расхода потока жидких углеводородов законченного интервала в общем расходе потока жидких углеводородов скважины, часть;

q_{gj} - расход потока газа интервала, тысяч стандартных кубических футов в сутки;

j - индекс законченных интервалов;

q_{gt} - общий расход потока газа скважины в комплексной системе, тысяч стандартных кубических футов в сутки;

f_{gi} - часть расхода потока газа j -го законченного интервала от общего расхода потока газа скважины, часть;

q_{wj} - расход потока воды j -го законченного интервала, нормальных баррелей в сутки;

q_{wt} - общий расход потока воды скважины в комплексной системе, нормальных баррелей в сутки;

f_{wj} - доля расхода потока воды j -го законченного интервала в общем расходе потока воды скважины, часть.

8. Способ по п.7, отличающийся тем, что соответствующие расходы потока жидкой фазы в каждом интервале ствола скважины определяют математически для нефти, газа и воды для n -го сегмента линий профиля давления ствола скважины следующим образом:

$$\begin{aligned} q_{on}(t) &= q_{ot}(t) - \sum_{j=1}^{n-1} q_{oj}(t) \\ q_{gn}(t) &= q_{gt}(t) - \sum_{j=1}^{n-1} q_{gj}(t) \\ q_{wn}(t) &= q_{wt}(t) - \sum_{j=1}^{n-1} q_{wj}(t) \end{aligned}$$

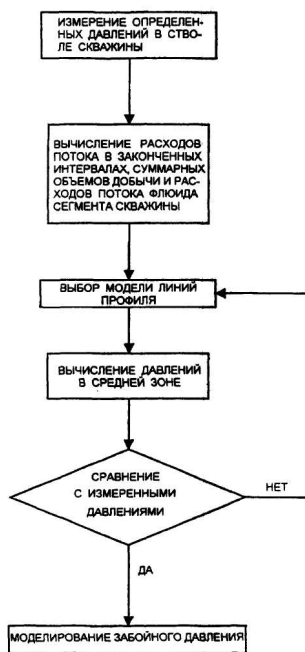
9. Способ по любому предыдущему пункту, отличающийся тем, что вычисление расхода потока и линий профиля давления на этапе вычисления выполняют последовательно для каждого интервала, начиная с устья скважины и продолжая до самого глубокого законченного интервала.

10. Способ по любому предыдущему пункту, отличающийся тем, что измеренные давления этапа получают из геофизических исследований в эксплуатационных и нагнетательных скважинах или из регистрации манометра.

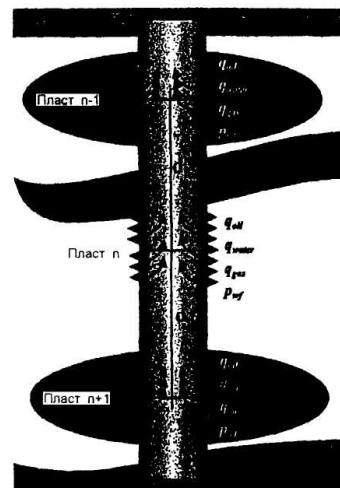
11. Способ по любому предыдущему пункту, отличающийся тем, что измеренные расходы потока жидкой фазы этапа получают из измерений вертушечного расходомера или из геофизических исследований в эксплуатационных и нагнетательных скважинах.

12. Способ по любому предыдущему пункту, отличающийся тем, что измеренные давления этапа представляют собой измерения стационарного скважинного измерительного прибора.

13. Способ по любому предыдущему пункту, отличающийся тем, что измеренные расходы потока жидкой фазы этапа получают из измерений стационарного скважинного расходомера или измерений скважинной расходомерии.



Фиг. 1



Фиг. 2

