



ВЛИЯНИЕ ДИНАМИЧЕСКИХ ФАЗОВЫХ ПРОНИЦАЕМОСТЕЙ НА СНИЖЕНИЕ ДРЕНИРУЕМЫХ ЗАПАСОВ ГАЗА СЕНОМАНСКИХ ЗАЛЕЖЕЙ

А.В.Красовский^{1*}, С.Л.Голофаст², Е.В.Руданен³

¹ООО «Газпром проектирование», Санкт-Петербург, Россия;

²ООО «НИИ Транснефть», Москва, Россия; ³ООО «ТюменьНИИгазпрогаз», Тюмень, Россия;

The Effect of Dynamic Permeability the Decrease of the Drained Gas Reserves Cenomanian Deposits

A.V.Krasovskiy¹, S.L.Golofast², E.V.Raudanen³

¹LLC «Gazprom projektirovanie», Saint Petersburg, Russia;

²Transneft Research Institute for Oil and Oil Products Transportation (Transneft R&D, LLC), Moscow, Russia;

³LLC «TyumenNIIgiprogas», Tyumen, Russia

Abstract

The analysis of the background of massive gas storages development shows that one of the main problems of creating a geological and technological model is adaptation of formational pressure dynamics, while decreasing drainage volume of gas reserves. The articles demonstrates that low values of gas-recovery ratio for water-flooded tight gas sands can be explained by an increase of the residual gas saturation factor during the process of development and formation of immobile gas areas in a storage. The consideration of dynamic phase permeability effect enables to reproduce the slowdown of gas speed in porous medium during gas displacement with water in comparison with water displacement with gas and to receive accordingly an appropriate quantitative dynamics of formational pressure per well based on actual measurements. Finally, this would help to increase the reliability of the forecasted technological indicators of developing a particular storage.

Keywords:

Gas storage;
Geological and technological model;
Gas-recovery ratio;
Water-flooded tight gas sand;
Residual gas saturation factor;
Immobile gas areas in a storage;
Dynamic phase permeability effect;
Technological indicators of storage development

© 2016 «OilGasScientificResearchProject» Institute. All rights reserved.

Введение

На сегодняшний день геолого-технологические модели широко применяются для прогнозирования процессов добычи, сбора и подготовки углеводородной продукции. Точность расчета технологических показателей разработки помимо достоверности исходной геолого-промысловой информации определяется качеством настройки модели на показатели, полученные в период эксплуатации месторождения. Данный процесс является трудоемким и требует больших временных затрат.

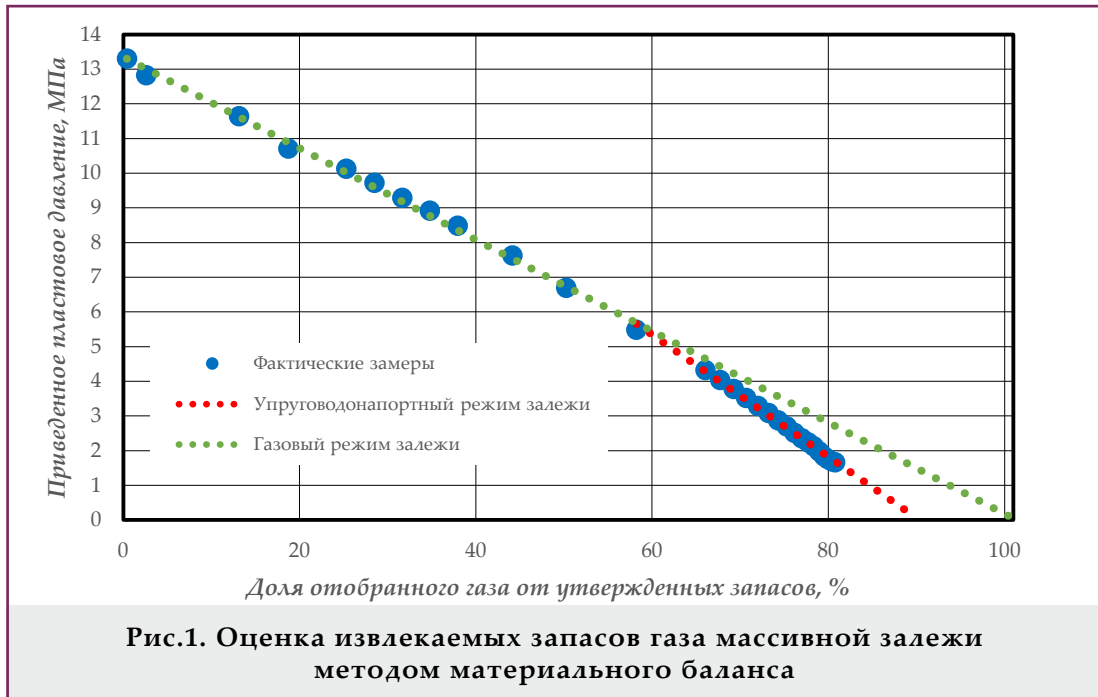
Базовым этапом настройки фильтрационной модели является адаптация пластового давления и темпов подъема газовой контакта (ГВК). На данные показатели оказывают значительное воздействие различные физические процессы и явления, происходящие в пласте. Исследования, посвященные данной тематике, приведены в работах таких ученых, как Л.В.Скакальска [1], Н.Н.Гамидов, В.М.Фаталиев [2] и др.

При моделировании явления снижения дренируемых запасов газа в залежи и оценке его влияния на динамику пластового давления возникает проблема, связанная с тем, что на завершающей стадии разработки газовых месторождений происходит активное продвижение контурных или подошвенных вод в газонасыщенную область пласта. Лабораторными и геофизическими исследованиями установлено, что газ не полностью вытесняется водой. Доля извлекаемых запасов газа в значительной мере определяется капиллярными процессами, происходящими при вытеснении газа водой.

Особенности процесса снижения дренируемых запасов газа в пласте

На основе анализа состояния разработки месторождений с массивными газовыми залежами, находящихся на поздней стадии разработки, выявлена тенденция снижения дренируемых запасов газа от начальных утвержденных Государственной комиссией по запасам (ГКЗ). Так, по результатам анализа текущего состояния разработки массивной залежи одного из

*E-mail: AKrasovskiy@gazpromprojekt.ru
<http://dx.doi.org/10.5510/OGP20160400297>



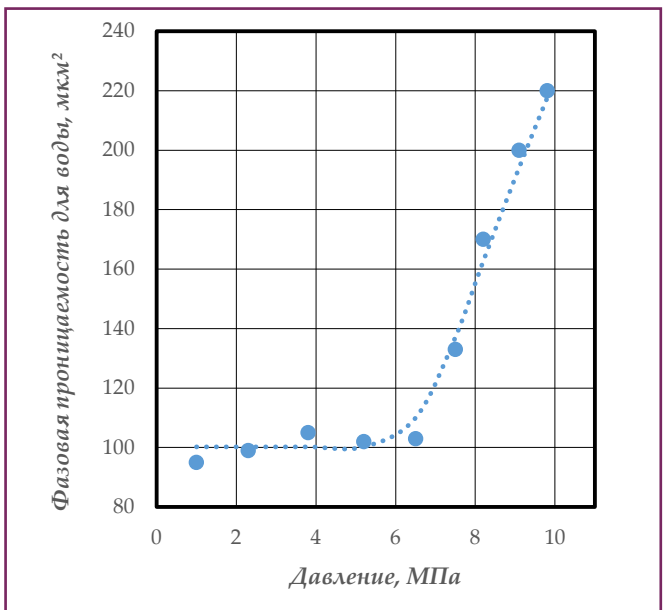
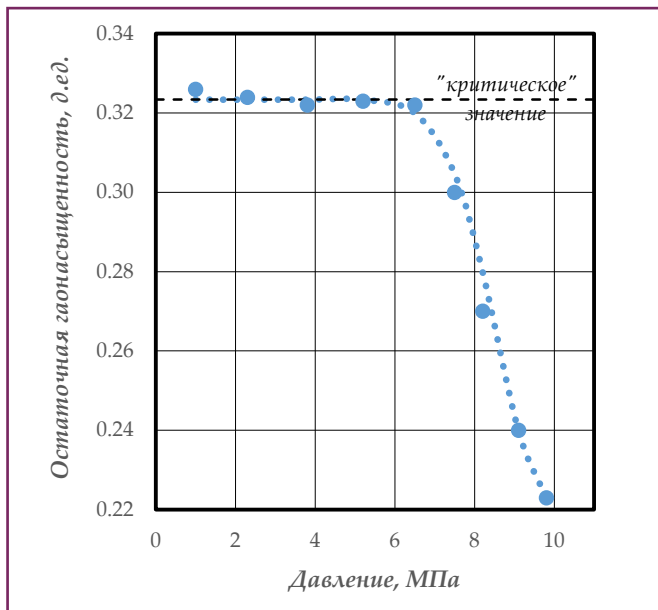
месторождений методом материального баланса, выполнена оценка извлекаемых запасов газа (рис.1). Начальные запасы газа оцениваются в размере порядка нескольких триллионов кубических метров.

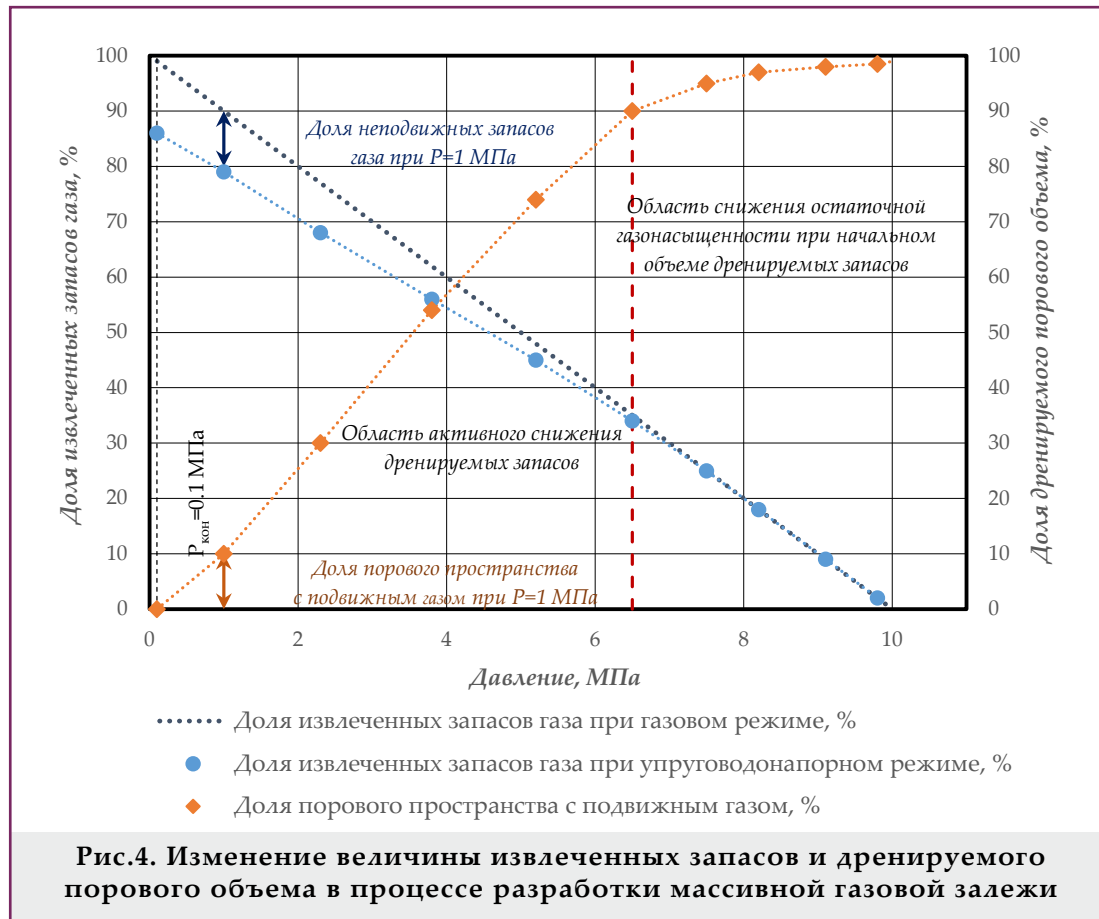
Анализ полученных значений извлекаемых запасов газа рассматриваемой залежи позволяет сделать вывод, что дренируемый объем газа, рассчитанный по зависимости при действии водонапорного режима на 11% меньше извлекаемых запасов газа, оцененных при газовом режиме. Таким образом, объем неподвижного газа в пласте составляет порядка 10% от начальных утвержденных запасов газа.

Процесс снижения дренируемых запасов газа в пласте имеет ряд особенностей, которые опре-

делены экспериментальным путем [3] и заключаются в следующем. Согласно зависимости, представленной на рисунке 2, при снижении пластового давления происходит уплотнение породы, что приводит к увеличению коэффициента остаточной газонасыщенности, уменьшению сечения поровых каналов (для воды) и, соответственно, к уменьшению фазовой проницаемости для воды (рис.3).

По мере уменьшения пластового давления происходит увеличение остаточной газонасыщенности. После достижения некоторого «критического» значения остаточная газонасыщенность при дальнейшем уменьшении давления остается практически постоянной и в проведенных исследованиях ее значение «стабилизировалось»





на уровне 32.0 – 32.6%. С ростом коэффициента остаточной газонасыщенности фазовая проницаемость для воды уменьшается. Темп изменения фазовой проницаемости для воды соответствует темпу изменения коэффициента остаточной газонасыщенности. После стабилизации коэффициента остаточной газонасыщенности проницаемость для воды практически не изменяется.

Экспериментально установлено, что после стабилизации коэффициента остаточной газонасыщенности на уровне критического значения при последующем снижении давления происходит увеличение доли порового пространства, в котором газ остается неподвижным. На рисунке 4 представлены совмещенные графики изменения доли извлеченных запасов газа и доли порового пространства с подвижным газом при снижении давления в процессе разработки залежи.

Анализ рисунка 4 показывает, что в области снижения давления до значения 6.5 МПа начальные дренируемые запасы газа остаются практически неизменными, а величина конечного коэффициента газоотдачи составляет 100% от дренируемых запасов. Уменьшение дренируемых запасов происходит за счет падения пластового давления и снижения газонасыщенности порового пространства. Из приведенных на рисунках 2 и 4 зависимостей следует, что отклонение кривой извлеченных запасов газа при снижении давления происходит после достижения «критической» газонасыщенности, т.е. после того как газ в

обводненной части пласта становится неподвижным. При давлении ниже 6.5 МПа наблюдается линейная зависимость между давлением и дренируемым поровым объемом.

Согласно рисунку 4, на завершающей стадии разработки при пластовом давлении 1 МПа накопленный отбор газа составляет около 80%, при этом остаточные дренируемые запасы сосредоточены в 10% начального порового объема, а доля неподвижного газа в обводненной части залежи оценивается в размере 10% от начальных запасов. Коэффициент конечной газоотдачи составляет 85 – 90%.

Таким образом, низкое значение газоотдачи для обводненных газонасыщенных коллекторов объясняется увеличением коэффициента остаточной газонасыщенности в процессе разработки, уменьшением пористости в результате сжатия скелета горной породы и, как следствие, образованием областей неподвижного газа в залежи.

Приведенные данные свидетельствуют о том, что для моделирования явления снижения дренируемых запасов газа необходимо учитывать особенности двухфазной фильтрации.

Моделирование динамических фазовых проницаемостей

Важным функциональным параметром, определяющим скорости фильтрации пластовых флюидов друг относительно друга в зависимости от их доли в поровом объеме, являются относительные фазовые проницаемости. Как правило,

при моделировании фильтрационных процессов в гидродинамических симуляторах применяется упрощенная модель извлечения газа с определением традиционных функций фазовых проницаемостей от насыщенности. В этом случаете изменение насыщенности порового объема происходит только в направлении вытеснения газа водой.

Однако экспериментально установлено существование динамических относительных фазовых проницаемостей (ОФП) [4,5]. Данное явление заключается в том, что при дренировании (вытеснении воды газом) наблюдается ускоренное продвижение газа в пористой среде, чем при пропитке (вытеснении газа водой). Динамические фазовые проницаемости флюидов оказывают существенное влияние как на характер их циклического вытеснения и распространения газа в пласте, так и на процесс двухфазной фильтрации.

При моделировании фильтрационных процессов в газовой залежи учет динамических ОФП приводит к образованию значительных областей неподвижного газа в пласте и снижению коэффициента конечной газоотдачи.

Авторами проведены численные эксперименты, позволяющие оценить влияние динамических фазовых проницаемостей на технологические показатели разработки, на примере массивной газовой залежи одного из месторождений. В качестве контрольного параметра выбран показатель пластового давления в эксплуатационных скважинах. На гидродинамической модели залежи произведены расчеты по двум вариантам.

Вариант 1 – базовый. В модели используется традиционный метод задания кривых ОФП газа

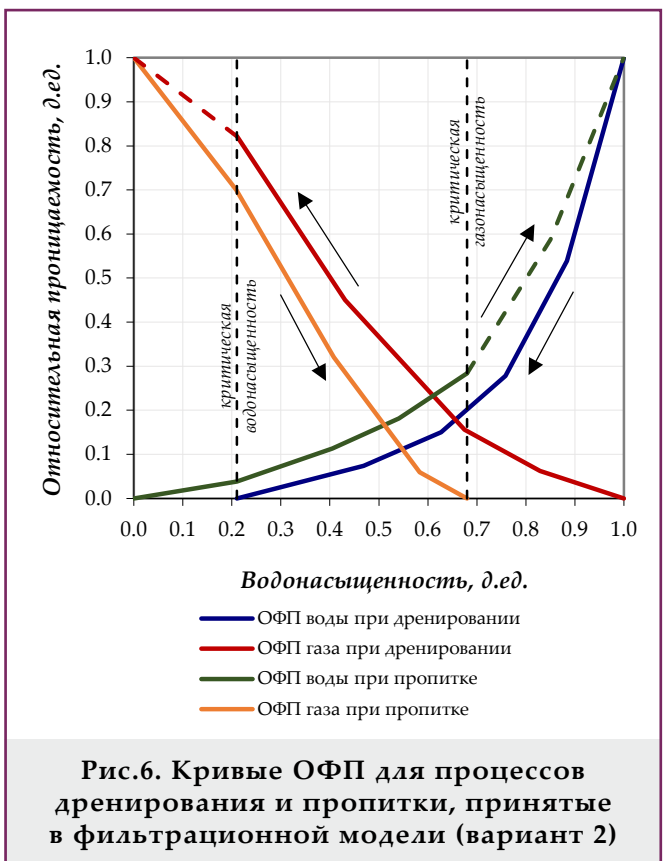
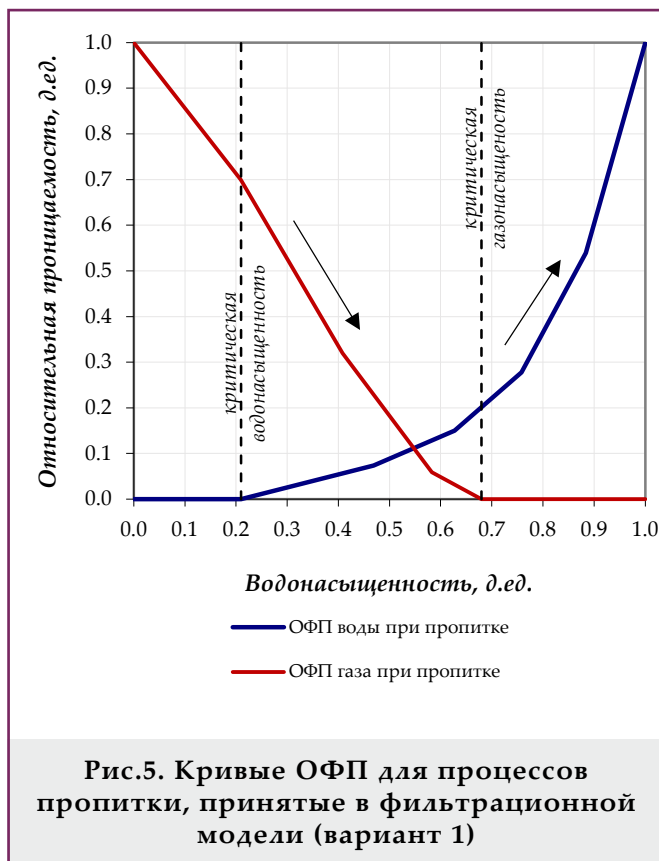
и воды, описывающих процесс вытеснения газа водой (рис.5).

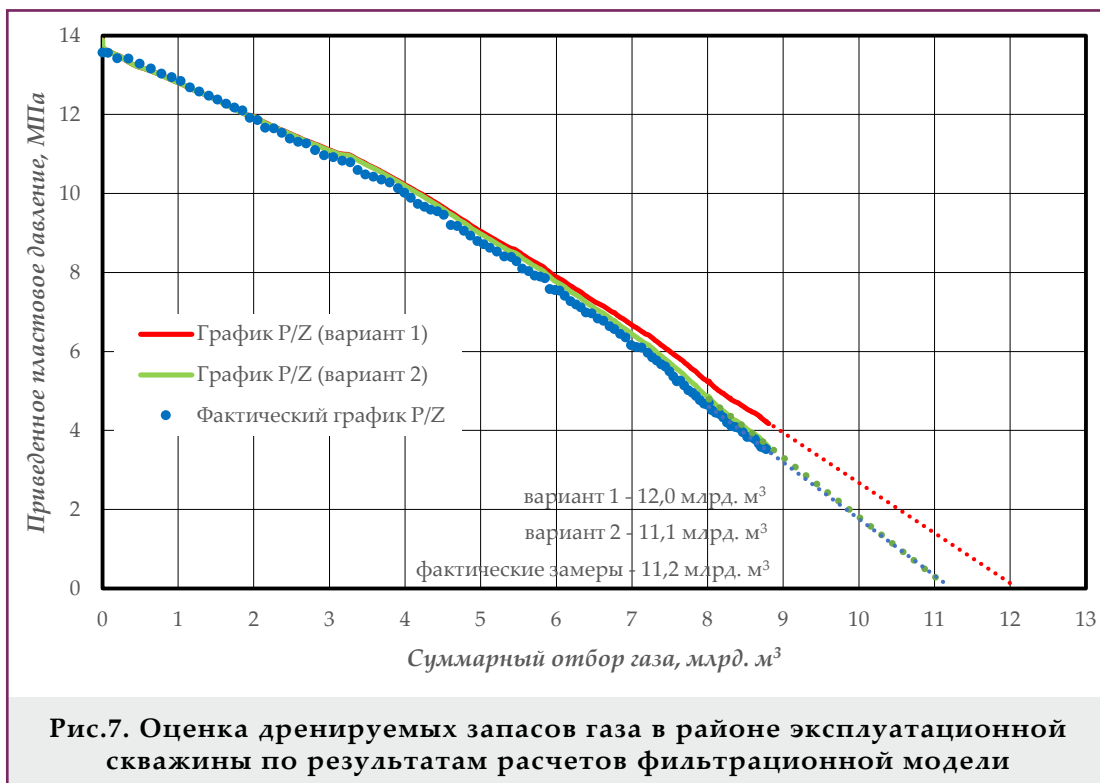
Вариант 2 – учитывает влияние динамических фазовых проницаемостей на процесс двухфазной фильтрации флюидов в пласте. Кривые ОФП газа и воды определены для процессов дренирования и пропитки (рис.6).

Расчеты проводились в гидродинамическом симуляторе Eclipse 100. Динамические фазовые проницаемости в системе Eclipse задаются при помощи специальных ключевых слов. При этом для каждой ячейки в модели определены две таблицы функций насыщенности, соответствующие процессам дренирования и пропитки. В момент инициализации модели распределение начальных водо- и газонасыщенностей осуществляется на основе кривых дренирования. Данное условие позволяет обеспечить минимальное отклонение начальных геологических запасов газа в модели от утвержденных ГКЗ.

Влияние динамических ОФП на технологические показатели разработки рассмотрено на примере эксплуатационной скважины, вскрывающей рассматриваемую залежь. По результатам расчетов, а также на основе фактических данных работы скважины методом материального баланса выполнена оценка запасов газа, дренируемых скважиной. На рисунке 7 представлена ее графическая иллюстрация.

Результаты оценки текущих дренируемых запасов газа в районе скважины показали, что стандартный способ задания функций ОФП в фильтрационной модели приводит к завышенной величине извлекаемых запасов газа. Согласно



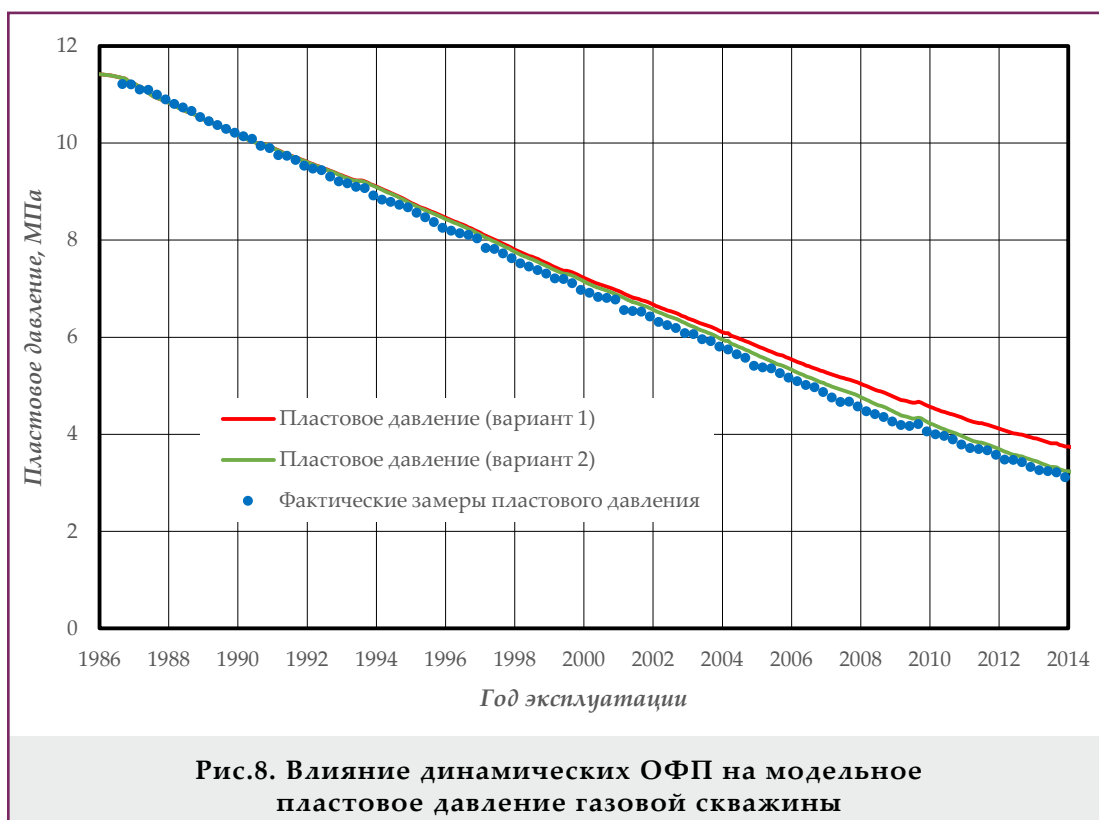


проведенным расчетам, извлекаемые запасы газа в районе скважины по варианту 1 оцениваются в размере 12,0 млрд.м³, что превышает величину, полученную на основе фактических замеров, на 7,8%. Анализируя полученные результаты, можно сделать вывод, что учет динамических фазовых проницаемостей при расчете фильтрационной модели массивной газовой залежи позволил смоделировать процесс образования областей неподвижного газа в районе скважины.

Графики динамики пластового давления в

скважине, полученные по результатам расчетов, представлены на рисунке 8.

Как видно из рисунка 8, применение динамических фазовых проницаемостей при расчете фильтрационной модели позволило уменьшить отклонение расчетных значений пластового давления от фактических. На последнюю дату замера отклонение модельного пластового давления от фактического уменьшилось с 0,6 МПа до 0,1 МПа.



Заключение

Результаты проведенных исследований позволяют сделать следующие выводы:

1. Низкие значения коэффициентов газоотдачи для обводненных газонасыщенных коллекторов объясняются увеличением коэффициента остаточной газонасыщенности в процессе разработки и образованием областей неподвижного газа в залежи.
2. Установлено, что при динамических фазовых проницаемостях наблюдается замедление продвижения газа в пористой среде при вытеснении газа водой по сравнению с вытеснением воды газом.
3. При моделировании фильтрационных процессов в газовой залежи учет динамических ОФП приводит к замедлению продвижения извлекаемого газа в обводненной части пласта, а также обуславливает увеличение остаточных объемов газа и уменьшение его максимально возможных отборов.
4. Учет явления динамических фазовых проницаемостей в гидродинамической модели массивной газовой залежи позволяет получить приемлемую расчетную динамику пластового давления по скважинам на фактические замеры и, в конечном итоге, повысить достоверность прогнозных технологических показателей разработки залежи.

Литература

1. Л.В.Скакальска. Прогнозирование физических и коллекторских свойств пород-коллекторов для поиска нетрадиционного газа //SOCAR Proceedings. -2014. -№1. -С.4-10.
2. Н.Н.Гамидов, В.М.Фаталиев. Влияние растворимости газов различного состава в углеводородном конденсате на параметры разработки газоконденсатных месторождений //SOCAR Proceedings. -2015. -№4. -С.36-40.
3. С.Н.Закиров, Б.Б.Лапук. Проектирование и разработка газовых месторождений. М.: Недра, 1974.
4. J.E.Killough. Reservoir simulation with history-dependent saturation functions //SPE Journal. - 1976. -Vol. 16. - No. 1.
5. С.Н.Бузинов, А.А.Михайловский. Эффект гистерезиса фазовых проницаемостей в процессах двухфазной фильтрации газа и воды //Газовая промышленность. -2009. -№5 (631). -С.48-51

References

1. L.V.Skakalska. Forecasting physical and reservoir characteristics of reservoir formations for exploration of unconventional gas //SOCAR Proceedings. -2014. -No. 1. -P.4-10.
2. N.N.Hamidov, V.M.Fataliyev. Influence of solubility of the different composition gases in the hydrocarbon condensate to the production parameters of gas condensate fields //SOCAR Proceedings. -2015. -No.4. -P.36-40.
3. S.N.Zakirov, B.B.Lapuk. Design and exploitation of gas reservoirs. M.: Nedra, 1974
4. J.E.Killough. Reservoir simulation with history-dependent saturation functions //SPE Journal. -1976. -Vol. 16. -No. 1.
5. S.N.Buzinov, A.A.Mihaylovskiy. Effekt gisterezisa fazovyih pronitsaemostey v protsessah dvuhfaznoy filtratsii gaza i vodyi //Gazovaya promyshlennost. -2009. -No.5 (631). -S.48-51

Влияние динамических фазовых проницаемостей на снижение дренируемых запасов газа сеноманских залежей

А.В.Красовский¹, С.Л.Голофаст², Е.В.Рауданен³

¹ООО «Газпром Проектирование», Санкт-Петербург, Россия;

²ООО «НИИ Транснефть», Москва, Россия;

³ООО «ТюменНИИгипрогаз», Тюмень, Россия

Реферат

Анализ опыта разработки массивных газовых залежей показывает, что одной из основных проблем при создании геолого-технологической модели является адаптация динамики пластового давления при снижении дренируемых запасов газа. В статье показано, что низкие значения коэффициентов газоотдачи для обводненных газонасыщенных коллекторов объясняются увеличением коэффициента остаточной газонасыщенности в процессе разработки и образованием областей неподвижного газа в залежи. Учет эффекта динамических фазовых проницаемостей позволяет воспроизвести замедление скорости движения газа в пористой среде при вытеснении газа водой по сравнению с вытеснением воды газом и, соответственно, получить приемлемую расчетную динамику пластового давления по скважинам на фактические замеры и, в конечном итоге, повысить достоверность прогнозных технологических показателей разработки залежи.

Ключевые слова: газовая залежь, геолого-технологическая модель, коэффициент газоотдачи, обводненный газонасыщенный коллектор, коэффициент остаточной газонасыщенности, область неподвижного газа в залежи, эффект динамических фазовых проницаемостей, технологические показатели разработки залежи.

Dinamik faza keçiriciliklərinin senoman yataqlarının drenaj edilən qaz ehtiyatlarının azalmasına təsiri

A.V.Krasovskiy¹, S.L.Qolofast², Y.V.Raudanen³

¹«Qazprom Layihələndirmə» MMC, Sankt-Peterburq, Rusiya;

²«NII Transneft» MMC, Moskva, Rusiya;

³«TumenNIIgiprogas» MMC, Tümen, Rusiya

Xülasə

İri qaz yataqlarının işlənmə təcrübəsinin təhlili göstərmişdir ki, geoloji-texnoloji modelin yaradılmasında əsas problemlərdən biri drenaj edilən qaz ehtiyatlarının azaldığı zaman lay təzyiqinin dinamikasının adaptasiyasıdır. Məqalədə göstərilmişdir ki, sulaşmış qazdoyumlu kollektorlar üçün qazverimi əmsallarının qiymətlərinin aşağı olması işləmə prosesində qalıq qazdoyumluluq əmsalının artması və yataqda hərəkətsiz qaz sahələrinin yaranması ilə izah edilir. Dinamik faza keçiriciliklərinin effektinin nəzərə alınması suyun qaz ilə sıxışdırılması ilə müqayisədə qazın su ilə sıxışdırılması zamanı məsələli mühitdə qazın hərəkət sürətini azaltmağa və müvafiq olaraq, quyular üzrə, faktiki ölçmələrin əsasında, lay təzyiqinin münasib hesablamasını əldə etməyə və nəticədə yataqların işlənməsinin texnoloji proqnoz göstəricilərinin dəqiqliyini yüksəltməyə imkan verir.

Açar sözlər: qaz yatağı, geoloji-texnoloji modeli, qazverim əmsalı, sulaşmış qazdoyumlu kollektor, qalıq qazdoyumluluq əmsalı, yataqda hərəkətsiz qaz sahəsi, dinamik faza keçiricilikləri effekti, yatağın işlənməsinin texnoloji göstəriciləri.