

УДК 622.276

И.С. Морозов, первый зам. генерального директора – главный инженер ООО «Газпром добыча Надым»;**С.К. Ахмедсафин**, зам. генерального директора – главный геолог ООО «Газпром добыча Ямбург»;**О.В. Фоминых**, e-mail: fov@tsogu.ru, Тюменский государственный нефтегазовый университет

АНАЛИЗ СУЩЕСТВУЮЩИХ РЕШЕНИЙ ВЛИЯНИЯ ПЕСЧАНОЙ ПРОБКИ НА ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТЬ СКВАЖИН

Как известно, песчаные пробки, образующиеся при эксплуатации как газовых, так и нефтяных скважин, значительно снижают их продуктивность. Эта проблема особенно актуальна для газовых месторождений, находящихся на заключительных стадиях разработки, когда при снижении пластового давления, а следовательно, дебита скважин и, соответственно, скорости потока могут наблюдаться явления самозадавливания скважин.

Существующие работы по изучению влияния песчаной пробки на продуктивность скважин выполнены преимущественно для скважин, добывающих жидкость. В этой связи необходимо провести анализ существующих решений по расчету производительности скважин для различных видов песчаных пробок для определения областей их эффективного применения, особенно для газовых скважин.

Теоретические исследования влияния песчаной пробки на производительность скважин проводились как для уплотненной пробки, так и псевдооживленного слоя. Влияние уплотненной пробки, перекрывающей интервал вскрытия пласта, на производительность скважины рассмотрено в работе [2]. Снижение производительности скважин с песчаной пробкой является результатом уменьшения площади фильтрации и увеличения дополнительного сопротивления. Величина дополнительного сопротивления зависит от фильтрационных свойств пробки. В работе [1] рассмотрено влияние песчаной пробки, частично перекрывающей продуктив-

ный интервал, на производительность совершенной скважины и показано, что при отношении проницаемости пласта k к проницаемости пробки k_{np} , равной $k/k_{np} = 1,0-0,001$, дебит скважины с пробкой составляет 0,9–3,4% дебита без пробки. Согласно исследованиям [4], по расчетам, выполненным по формуле М. Маскета [2], при полном перекрытии пробкой вскрытого интервала и $k/k_{np} = 0,001$ дебит скважины составляет 10% дебита без пробки. Сравнение результатов расчетов в работах [1], [3] и [2] показывает, что по [1] они намного ниже, чем полученные при полном перекрытии по [2].

В работе [1] рассмотрено также влияние на дебит песчаной пробки с переменной по оси скважины проницаемостью в однородном пласте, полностью перекрывающей интервал вскрытия. Здесь рассмотрено влияние на дебит неполной пробки в неоднородном пласте, состоящем из двух пропластков. Расчеты показывают, что при равенстве проницаемостей пропластков и пробки дебит скважины совпадает с дебитом несовершенной по степени

вскрытия скважины с донным притоком. С уменьшением отношения проницаемости нижнего пропластка k_1 к проницаемости пробки k_{np} приток через открытую часть фильтра уменьшается, а через пробку – растет. Авторы работы подчеркивают, что при неполном перекрытии нижнего пропластка и $k_1/k_{np} \approx 0,001$ производительность скважин может быть рассчитана по формуле притока жидкости к несовершенной по степени вскрытия скважине без донного притока в неоднородном пласте. Однако основная масса исследований влияния песчаной пробки на производительность выполнена для скважин с жидкой продукцией.

Для линейного закона фильтрации газа влияние песчаной пробки на производительность рассмотрено в работе [5]. Полученные значения Q при одинаковом отношении толщин пробки и вскрытого интервала h_{np}/h и изменении k/k_{np} в пределах 1,0-0,001 превышают результаты, изложенные в [1], в 5 раз. Для полностью перекрытого пробкой фильтра производительность скважины по [5] при $k/k_{np} = 0,001$ составляет

26,8% дебита без пробки и значительно превышает результаты, полученные в [2]. Сопоставимые результаты получены всеми авторами только при полном перекрытии фильтра пробкой с проницаемостью, равной проницаемости пласта, т.е. для $k/k_{np} = 1$. При этом практически все методы дают дебиты, порядка 1% дебита скважины без пробки.

Практика эксплуатации газовых скважин показывает, что при неполном перекрытии фильтра песчаной пробкой часто не наблюдается заметного снижения их производительности. В работе [6] указывается, что повышенный дебит скважины при наличии песчаной пробки является следствием отсортированности частиц, слагающих пробку, образования каверны, а также взвешенного состояния песчинок при работе скважины, которые оседают после ее остановки, увеличивая при этом толщину пробки в стволе. В целом при постоянных h_{np}/h , k/k_{np} и R_k/R_0 с увеличением толщины пробки относительный дебит Q_{np}/Q уменьшается.

Влияние песчаной пробки на производительность скважины зависит и от неоднородности пласта. Производительность скважины при проницаемости k_1 призабойной зоны радиусом $R_c < R_0 < R_k$ в зоне $R_0 < r < R_k$ с проницаемостью k_2 и проницаемости пробки k_{np} , определенная по [4], показывает, что при полном перекрытии фильтра, независимо от проницаемости призабойной зоны, дебит скважины существенно снижается. Если фильтр перекрыт не полностью,

то характер влияния пробки зависит от проницаемости призабойной зоны и радиуса этой зоны. Причем влияние радиуса зоны более заметно, чем влияние проницаемости. Этот вывод имеет важное практическое значение с точки зрения сохранения характеристики призабойной зоны в процессе бурения продуктивного интервала, а также проведения работ по интенсификации притока газа к скважине.

Неоднородность пласта по толщине разреза (проницаемость пробки k_{np} перекрытой части пласта k_2 и открытой части фильтра k_1) рассмотрена в работе [1], где показано, что до величины $k_{np}/k_2 \approx 1000$ производительность скважины при наличии на забое неполной пробки может быть определена по формуле притока жидкости к несовершенной скважине без донного притока. Увеличение k_2 в 4 раза по сравнению с k_1 приводит к увеличению дебита примерно на 20%. Влияние анизотропии пласта и пробки на производительность скважины рассмотрено в работе [7]. Учет многообразия параметров и их изменения при определении производительности скважин с песчаной пробкой способствует более близкому отображению реальных условий эксплуатации скважин.

Одним из важных этапов приближения к естественным условиям, кроме учета неоднородности пласта и пробки, флюида и других параметров, является экспериментальное и теоретическое исследование наличия взвешенного (псевдосжиженного) слоя в стволе в

процессе эксплуатации скважины. Область движения жидкости и газа через слой твердых частиц одинаковой или различной геометрической формы достаточно хорошо изучена в физико-химических процессах. Применительно к нефтяным скважинам образование псевдосжиженного слоя и его влияние на производительность рассмотрены как теоретически, так и экспериментально. Исследования показывают, что размеры псевдосжиженного слоя зависят от размеров твердых частиц, свойств флюида и скорости потока. Установлено, что в зависимости от этих параметров существует определенная скорость, при которой неподвижный слой пробки начинает частично переходить в псевдосжиженное состояние. Концентрация частиц в псевдосжиженном слое зависит также от плотности, размера, формы частиц и скорости потока. Согласно [8], число Рейнольдса псевдосжиженного слоя зависит от его пористости и определяется по формуле

$$Re = vd/v = Ar m^{4,75} / (18 + 0,6 \sqrt{Ar m^{4,75}}), \quad (6)$$

где Ar – безразмерный параметр Архимеда, определяемый по формуле

$$Ar = (gd^3/v^3)(\rho_2 - \rho_1)/\rho_1; \quad (7)$$

t – пористость псевдосжиженного слоя; v – скорость восходящего потока жидкости; ν – кинематическая вязкость жидкости; d – диаметр частиц; ρ_1, ρ_2 – плотности жидкости и частиц.

ТРУБЫ НЕФТЕПРОВОДНЫЕ, НКТ ОБСАДНЫЕ И БУРИЛЬНЫЕ

426063, УР, г. Ижевск, ул. Мельничная, 46
тел.: (3412) 66-22-66, udmprk.ru, udmprk.rf

на правах рекламы



Удмуртская Промышленная Компания

В работе [4] указывается, что при небольшой вязкости жидкости и диаметре частиц $d = 0,1 \cdot 10^{-3}$ м влияние псевдосжиженного слоя на производительность несущественно. Увеличение вязкости приводит к более интенсивному снижению дебита скважины с псевдосжиженным слоем. Из изложенного следует, что наличие псевдосжиженного слоя несущественно повлияет на производительность газовых скважин, если закон движения линейный. Поэтому если в скважине нет стационарной пробки, то наличие псевдосжиженного слоя не должно снизить дебит скважины. При этом может иметь место существенная разница в величинах устьевого давления. В работе [8] отмечено, что критическое число Рейнольдса, при котором начинается вынос частиц, можно определить по формуле

$$Re = Ar_m / (18 + 0,6\sqrt{Ar}). \quad (8)$$

Определению высоты псевдосжиженного слоя посвящен ряд исследований. Опыты, проведенные на полупромышленной установке [9], показали, что степень расширения зернистого материала $\Delta h/h$ не зависит от первоначальной высоты h и диаметра колонны. Установлена эмпирическая зависимость для определения высоты взвешенного слоя в потоке жидкости в виде

$$\Delta h/h = (0,2821Re - 0,0117Re^2) / (1 - 0,2202Re) [(1,865/Ar^{0,322}) - 5], \quad (9)$$

где Re зависит от проницаемости и пористости зернистого материала в статическом состоянии. Авторы отмечают, что формула (9) дает хорошую сходимость до $\Delta h/h \leq 2$.

В данной работе большой интерес представляет определение высоты псевдосжиженного слоя в газовых скважинах. Согласно [10], в газовых скважинах число Рейнольдса $Re > 1000$, а число Архимеда $Ar > 10\,000$. Допуская, что в такой области лобовое сопротивление песчинок не зависит от Re , определить параметры псевдосжиженного слоя сравнительно нетрудно, в газовых скважинах его высота оценивается по формуле

$$h_0(1 - m_0) = h \{1 - 0,42\alpha^{0,42} [(P^{-1,42} - P_3^{-1,42}) / \Delta P]\}, \quad (10)$$

где h_0 – высота неподвижного слоя, т.е. высота пробки после остановки скважины; m_0 – пористость этого слоя; ΔP – общий перепад давления на слое; α – параметр, зависящий от диаметра частиц, площади поперечного сечения ствола скважины, расхода газа, вязкости, плотности и температуры газа.

Следует отметить, что за исключением работы [5], где рассмотрено движение газа при нарушении закона Дарси в пористой среде и песчаной пробке в виде степенной функции, нигде не рассмотрена задача, учитывающая нелинейность закона фильтрации в пласте и пробке, хотя бы без псевдосжиженного слоя. В работе дана оценка роли инерционного члена

и показано, что при прочих равных условиях с ростом этого члена производительность газовой скважины с пробкой уменьшается. Следовательно, при ощутимой роли квадратичного члена влияние пробки на дебит будет более существенным.

КРИТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ВЫПОЛНЕННЫХ РАБОТ ПОКАЗЫВАЕТ СЛЕДУЮЩЕЕ:

- 1) Большинство работ выполнено для добывающих жидкость скважин, в связи с чем некоторые решения могут быть перенесены на газовые скважины только с определенными допущениями.
- 2) Влияние песчаной пробки на производительность газовых скважин изучено недостаточно, а приемлемое решение этой задачи требует совместного рассмотрения как минимум двух нелинейных уравнений, отражающих фильтрацию газа в пласте и в стволе скважины с учетом изменения вязкости и сверхсжимаемости от давления и изменения проницаемости пласта в призабойной зоне и песчаной пробке.
- 3) В абсолютном большинстве случаев решения сводились к определению дебита скважины со стационарной или псевдосжиженной пробкой. Хотя определение дебита и является основным вопросом, но в целом проблема образования пробки и ее влияния на производительность газовых скважин, связанная с их конструкцией, способом вскрытия пласта, депрессией, изучена недостаточно.

Литература:

1. Абасов М.Т., Джалилон К.Н. *Вопросы подземной гидродинамики и разработки нефтяных и газовых месторождений*. Баку: Азернешр, 1960. 255 с.
 2. Маскет М. *Течение однородных жидкостей в пористых средах*. М.: Гостоптехиздат, 1949. 627 с.
 3. *Экспериментальные исследования процесса пробкообразования и его влияния на производительность газовых скважин* / Горбунов В.Е., Власенко А.П., Алиев З.С. // *Разработка и эксплуатация газовых и газоконденсатных месторождений: Реф. сб. М.: ВНИИЭгазпром, 1977. № 4. С. 21–27.*
 4. *Эксплуатация скважин в осложненных условиях* / С.С. Алескерев, Б.И. Алибеков, С. М. Алиев и др. М.: Недра, 1971. 199 с.
 5. Назаров С.Н., Качалов О.Б. *Приток газа к скважине с песчаной пробкой на забое* // *Изв. вузов. Нефть и газ*. 1966. № 2. С. 51–55.
 6. Мирзаджанзаде А.Х. *Вопросы гидродинамики вязкопластичных и вязких жидкостей*. Баку: Азернешр, 1959. 402 с.
 7. Мамедов Г.А. *Производительность скважин с песчаной пробкой* // *Азерб. нефть. хоз-во*. 1959. № 9. С. 29–31.
 8. *Технологический режим работы газовых скважин* / З.С. Алиев, С.А. Андреев, А.П. Власенко, Ю.П. Кортаев. М.: Недра, 1978. 279 с.
 9. *Гидравлика псевдосжиженного слоя в вопросах эксплуатации пробкообразующих скважин* / А.Х. Мирзаджанзаде, С.С. Алескерев, С.М. Алиев и др. // *Изв. вузов. Нефть и газ*. 1967. № 6. С. 43–48.
 10. Гаджиоглы Р.В. *О возможности псевдосжижения песчаной пробки в стволе газовой скважины* // *Изв. вузов. Нефть и газ*. 1967. № 9. С. 47–50.
- Ключевые слова:** песчаные пробки, производительность скважин, псевдосжиженный слой.



RUSSIAN
PETROLEUM
CONGRESS

MOSCOW-2011

I-й РОССИЙСКИЙ НЕФТЯНОЙ КОНГРЕСС

14-16 марта 2011 года
Москва, ЦМТ

Организатором Конгресса является Российский национальный комитет Мирового нефтяного совета (РНК МНС)

Во время конгресса пройдет церемония подписания Меморандума между Мировым нефтяным советом и Российским национальным комитетом МНС о проведении 21-го Мирового нефтяного конгресса в 2014 году в Москве

Главная тема

Нефть – глобальный источник энергии.
Модернизация нефтегазового комплекса России: современное состояние, проблемы, перспективы

Специальная тема

Нефтехимия и нефтепереработка: стратегия развития, достижения, совершенствование технологий

Пленарные заседания конгресса

- Поиск, разведка и разработка нефтяных месторождений. Диалог производитель-потребитель: ожидания и результаты. Модернизация как ключевая стратегия развития отрасли
- Нефтехимия и нефтепереработка: практика, проблемы, перспективы
- Инновации и инвестиции в нефтегазовом секторе

Форум

Международное сотрудничество для будущего развития нефтяной отрасли

Молодежная программа

- Энергетические решения через инновации
- Российская молодежная премия в области нефтяной индустрии «Выбор молодых»



Официальный сайт - www.rpc-moscow2011.ru

Организатор



Технический оператор



Генеральный отраслевой медиа партнер



Контакты:

тел/факс +7 (495) 9611199,
rpc@concordgroup.ru

Официальные информационные партнеры



на правах рекламы