

ВЛИЯНИЕ СКИН- И ПСЕВДО-СКИН-ФАКТОРА НА ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТЬ ГАЗОВОЙ СКВАЖИНЫ

Дадаш-заде М.А., Алиев И.Н.

Азербайджанский Государственный Университет нефти и промышленности
AZ 1010, г.Баку, Азербайджан, Проспект Азадлыг, 20

INFLUENCE OF SKIN- AND PSEUDO-SKIN-FACTOR ON THE PRODUCTIVITY OF A GAS WELL

Dadashzadeh M.A., Aliyev I.N.

Azerbaijan State Oil and Industry University
20, Azadlig ave., Baku, Azerbaijan, AZ1010

Keywords: productivity,
skin-factor, pseudo-skin-factor,
complete skin-factor

Summary. The performed analysis shows that permeability depends not only on the true value of this parameter, but also on the state of the bottomhole and bottomhole zone of the gas well, which in practice is called apparent permeability. The comparison of these two permeability values immediately reveals the change and degree of influence of the hydrodynamic perfection of the well. Changes in these parameters will naturally affect the productivity of this well. In this case, it is necessary to increase the permeability of the bottomhole zone of the formation and weaken the parameter of hydrodynamic imperfection of the gas well. The change in permeability in the bottomhole zone in the wells affects the shape of the initial section of the bottomhole pressure tracking graphs. Contamination of the bottomhole zone must sometimes be taken into account when solving numerous problems of development and exploitation of gas field. The more intense the formation of contamination in the bottomhole zone, the worse the porosity and permeability, which ultimately leads to a decline in well productivity. To take into account the above phenomena, the concept of "skin factor" is introduced, which takes into account the degree of influence of pollution formation on productivity. Practically, significantly reduces the gas well production rate. The paper provides a method for taking into account the influence of the skin factor on the gas well consumption, which allows you to regulate its emergence and proactively offer methods for combating these processes.

© 2022 Earth Science Division, Azerbaijan National Academy of Sciences. All rights reserved.

Введение. Анализ литературы показал, что в процессе фильтрации газа к эксплуатационным скважинам в призабойной зоне и на забое возникают дополнительные сопротивления. Данные сопротивления возникают в процессе бурения и эксплуатации скважины, что является естественным процессом в добыче газа (Салаватов, 2001).

Отметим, что параметры, создающие дополнительные сопротивления, в научной литературе для нефтяных скважин обозначаются как «скин-фактор» и «псевдо-скин-фактор». Данные параметры определяются на основе исследования скважин, что характерно, в процессе их эксплуатации.

Учет данных параметров в отдельности и в совокупности создает возможность рекомендовать различные современные методы воздействия на забой или призабойную зону пласта, или совместно на оба для увеличения производи-

тельности газовой скважины, что является актуальным в настоящее время в связи с широкими масштабами продаж природного газа европейским государствам.

Детальное исследование процесса движения природного газа к гидродинамически несовершенной скважине связано со значительными математическими трудностями. При этом полученные соответствующие расчетные формулы более громоздки, чем в случае притока газа к гидродинамически совершенным скважинам.

Цель работы. В данной работе будет описана весьма простая приближенная методика учета скин-фактора и псевдо-скин-фактора для газовых скважин. Отметим, что расчетная схема учета гидродинамического несовершенства скважины и изменения проницаемости в призабойной зоне пласта при разработке газового пласта в условиях радиальной фильтрации предложена впервые.

Данная методика расчета дает вполне достаточную для практики степень точности, что может быть принято при проектировании газовых месторождений.

Методы решения. Для решения данной задачи примем, что газовая скважина вскрывает продуктивный пласт не по всей мощности и сообщается с пластом через ограниченное количество отверстий в обсадной колонне и цементном кольце.

Маскет (Щелкачев, 1959) доказал, что во всех точках внешней области пласта движение углеводородов можно считать плоскорадиальным, если радиус контура скважины намного больше или равен мощности пласта. Нарушение плоскорадиального характера потока вследствие гидродинамического несовершенства скважины становится заметным лишь в ближайшей окрестности забоя газовой скважины, то есть в выделенной внутренней области пласта. Разделяющая пласт на две области зона называется межзональной или «скин-зоной».

С учетом вышесказанного, можно исследовать нарушение проницаемости пласта в призабойной зоне скважины. Для решения данной задачи рассмотрим простейший случай, когда по проницаемости пласт делится на две резко разграниченные зоны. Между стенкой скважины и данной «скин-зоной» коэффициент проницаемости пласта равен k_s , а во всем остальном пласте – k . Ради общности не будем оговаривать, будет ли $k > k_s$ или $k < k_s$.

Проведенный анализ показал, что в реальных условиях ухудшение проницаемости призабойной зоны может быть вызвано влиянием некачественного глинистого раствора в процессе разбухания продуктивного пласта и освоения скважины, промывками забоя водой, кислотой, засорением порового пространства, отложениями воды, конденсата в призабойной зоне.

Отметим, что улучшение проницаемости призабойной зоны происходит за счет специальных кислотных и термических обработок, проведения гидроразрыва пласта, выноса песка и конденсата из порового пространства и т.д.

Если скважина гидродинамически несовершенна и проницаемость пласта в призабойной зоне нарушена, то ее величина в данной зоне не может отражать истинное значение этого параметра. Данная величина, зависящая не только от истинной проницаемости, но и от состояния забоя и призабойной зоны скважины, называется кажущейся проницаемостью. Отметим, что сравнение двух значений проницаемости может быть весьма полезно, ибо оно сразу выявляет,

насколько сильно изменен параметр и степень влияния гидродинамического совершенства скважины. Если оказывается, что $k_s \ll k$, то будут, естественно, пытаться провести мероприятия, направленные на увеличение проницаемости призабойной зоны пласта и ослабление эффекта гидродинамического несовершенства газовой скважины. К числу таких мероприятий относятся гидроразрыв пласта, кислотная обработка, дополнительные кумулятивные перфорации или торпедирование забоя скважины (Муфазалов, 2005,2010,2013).

Отметим, что изменение проницаемости в призабойной зоне пласта в газовых скважинах влияет на форму начального участка графиков прослеживания забойного давления.

Для нефтяных скважин Херст и Ван-Эвердинген в совместно приведенной ими работе ввели понятие о скин-эффекте (Щелкачев, 1959). Применительно к рассматриваемым вопросам термин «скин-эффект» следует понимать как влияние призабойной зоны (т.е. влияние проницаемости пласта в ближайшей окрестности к стенке скважины) на величину дебита скважины.

Учитывая скин-эффект и гидродинамическое несовершенство как нефтяных, так и газовых скважин, получена методика расчета основных параметров скважин.

Известно, что для газовых скважин процесс фильтрации определяется по формуле Дарси:

$$v = -\frac{k}{\mu} \frac{dp}{dr}, \quad (1)$$

где

v – средняя скорость фильтрации газа;

k – проницаемость по газу;

μ – динамическая вязкость газа;

$\frac{dp}{dr}$ – градиент давления.

С учетом радиальной фильтрации площадь сечения пласта определяется как $F = 2\pi rh$.

При изучении фильтрации газа, замеренного при давлении в скважине к заранее заданному давлению и температуре, т.е. к стандартным условиям, ведется подсчет количества газа.

С учетом термодинамического состояния при изотермических условиях имеем:

$$\rho = \rho_0 \frac{p}{p_0}, \quad (2)$$

где

ρ – плотность газа в заданных условиях;

ρ_0 – плотность газа при атмосферных условиях;

p – заданное давление;

p_0 – атмосферное давление.

Умножая левую и правую части уравнения фильтрации на площадь сечения и плотность, находим:

$$\nu \rho F = Q = -\frac{k}{\mu} 2\pi r h \cdot \rho_0 \frac{p}{p_0} \frac{dp}{dr}, \quad (3)$$

где

Q – производительность

В данное уравнение введем понятие проницаемости в «скин-зоне» и проведем группировку:

$$\int_{R_c}^{R_s} \frac{1}{k_s} \frac{dr}{r} + \int_{R_s}^{R_k} \frac{1}{k} \frac{dr}{r} = \frac{2\pi h}{\mu Q \nu_0} \int_{p_c}^{p_k} p dp. \quad (4)$$

Откуда имеем:

$$\frac{1}{k_s} \ln \frac{R_s}{R_c} + \frac{1}{k} \ln \frac{R_k}{R_s} = \frac{\pi h}{\mu Q} (p_k^2 - p_c^2). \quad (5)$$

Первоначально в левую часть добавим и отнимем значение $\ln \frac{R_s}{R_c}$. Тогда получим:

$$\frac{1}{k_s} \ln \frac{R_s}{R_c} + \frac{1}{k} \ln \frac{R_k}{R_s} + \frac{1}{k} \ln \frac{R_s}{R_c} - \frac{1}{k} \ln \frac{R_s}{R_c} = \frac{\pi h}{\mu Q} (p_k^2 - p_c^2). \quad (6)$$

Проведем перегруппировку и введем понятие «скин-фактора»:

$$S = \ln \frac{R_k}{R_c} \left(\frac{k}{k_s} - 1 \right).$$

Тогда в конечном виде имеем:

$$\frac{1}{k} \left[S + \ln \frac{R_k}{R_c} \right] = \frac{\pi h}{\mu Q} (p_k^2 - p_c^2). \quad (7)$$

Таким образом, мы получили формулу фильтрации с учетом «скин-зоны». Разложим в левой части логарифмическое значение и внесем дополнение:

$$\frac{1}{k} \left[S + \ln R_k - \ln R_c + \ln R'_c - \ln R'_c \right] = \frac{\pi h}{\mu Q} (p_k^2 - p_c^2), \quad (8)$$

где

R'_c – приведенный радиус заданной зоны;

h – мощность пласта;

p_k и p_c – соответственно давление на контуре и забое скважины.

Тогда в конечном виде имеем

$$Q = \frac{\pi h k}{\mu} \frac{(p_k^2 - p_c^2)}{S + \ln \frac{R_k}{R'_c} + \ln \frac{R'_c}{R_c}}. \quad (9)$$

В промысловых условиях используются различные радиусы скважины, контуры питания или круговой непроницаемой границы, дренажа и др. Погрешность при этом связана с гидродинамическим несовершенством скважины, изменением геометрии забоя в процессе эксплуатации, неизвестной формой границы дренируемой зоны, неоднородностью пласта, продолжительностью работы скважин, различными значениями дебитов скважин и др.

Если скважина несовершенна по степени и характеру вскрытия, то ее радиус заменяется приведенным радиусом скважины:

$$R'_c = R_c e^{-(C_1 + C_2 + C_3 + C_4)}. \quad (10)$$

Согласно работе (Зотов, Алиев, 1980), (C_1, C_2, C_3, C_4) – коэффициенты несовершенства соответственно по степени и характеру вскрытия. Коэффициенты несовершенства по степени вскрытия C_1 и C_3 следует определить из формулы:

$$C_1 = \frac{1}{h} \ln \bar{h} + \frac{1 - \bar{h}}{h} \ln \frac{\delta}{R_c} \quad (11)$$

$$C_3 = \frac{1}{h}, \quad (12)$$

где

$\bar{h} = \frac{h_{вс}}{h}$ – относительное вскрытие пласта скважиной;

$\delta = 1,6(1 - \bar{h}^2)$;

$\bar{R}_c = \frac{R_c}{h}$ – относительный радиус скважины.

Коэффициент несовершенства по степени вскрытия для анизотропных пластов определяется по формуле:

$$C_1 = \frac{1}{v} \ln \frac{\bar{R}^v - x}{\bar{h}} - \ln \bar{R} \quad (13)$$

$$C_3 = \frac{(C_1 + \ln \bar{R})}{\bar{h} \ln \bar{R}}. \quad (14)$$

Отметим, что величины C_2 и C_4 зависят от числа отверстий, типа перфорации, глубины и диаметра каналов, прочностных и фильтрационных характеристик пористой среды. При этом

$v = \sqrt{\frac{k_v}{k_h}}$ – параметр анизотропии определяется

на основе геологических исследований, где k_v и k_h – соответственно вертикальная и горизонтальная проницаемости.

$$x = 1 - \bar{h}$$

$\bar{R} = \frac{R_k}{R_c}$ – безразмерный радиус.

В формуле (9) выражение $\left(\ln \frac{R_c'}{R_c} \right)$ характеризует псевдо-скин-фактор, а $\left[S + \ln \frac{R_c'}{R_c} \right]$ – полный скин-фактор.

Проведенный анализ показал, что производительность газовых скважин зависит от многочисленных факторов, в том числе от скин-фактора и псевдо-скин-фактора, или более обобщенно – от полного скин-фактора.

Согласно работе (Пирсон, 1961), если давление газа изменяется от контура до забоя, то необходимо учитывать коэффициент сжимаемо-

сти газа. Тогда формула определения дебита газовой скважины выглядит следующим образом:

$$Q = \frac{\pi k h}{\mu z} \cdot \frac{T_0}{T_{nl}} \cdot \frac{1}{p_0} \cdot \frac{(p_k^2 - p_c^2)}{\ln \frac{R_k}{R_c'} + \ln \frac{R_c'}{R_c} + S}$$

где T_0 – атмосферная температура;

T_{nl} – пластовая температура;

z – коэффициент сверхсжимаемости.

В случае, когда полный скин-фактор отсутствует, имеем формулу Пирсона (Пирсон, 1961).

Выводы

1. Проведенный анализ показывает, что при добыче природного газа на процесс эксплуатации влияют скин-фактор в призабойной зоне и «псевдо-скин-фактор на забое скважины».

2. Учет двух факторов дает возможность определить методы воздействия на забой скважины или призабойную зону пласта.

3. Исследуя скважины в отдельности, можно определить влияние как отдельных факторов, так и их совокупности на процесс фильтрации.

4. Учитывая капитальные вложения в скважину и методы воздействия на забой или призабойную зону, можно решить многочисленные промысловые вопросы, целью которых является улучшение производительности газовых скважин.

ЛИТЕРАТУРА

- Инструкция по комплексному исследованию газовых и газоконденсатных пластов и скважин (под ред. Г.А.Зотова, З.С.Алиева). Недра. Москва, 1980, 301 с.
- Муфазалов Р.Ш. Скин-фактор и его значение для оценки состояния около скважинного пространства продуктивного пласта. Изд. УГНТУ. Уфа, 2005, 44 с.
- Муфазалов Р.Ш. Скин-фактор. Исторические ошибки и заблуждения, допущенные в теории гидродинамики нефтяного пласта. Георесурсы, Казань, No. 5(55), 2013, с. 34-48.
- Муфазалов Р.Ш. Скин-фактор. Фундаментальные зависимости параметров пласта, скважины и оборудования. Материалы международной научно-практической конференции: Актуальные вопросы разработки нефтегазовых месторождений на поздних стадиях. Изд. УГНТУ. Уфа, 2010, с. 80-93.
- Пирсон С.А. Учение о нефтяном пласте. Гостоптехиздат. Москва, 1961, 569 с.
- Салаватов Т.Ш. Элементы эксплуатации горизонтальных скважин при разработке нефтяных месторождений. Maarif. Баку, 2001, 84 с.
- Щелкачев В.Н. Разработка нефтеводоносных пластов при упругом режиме. Гостоптехиздат. Москва, 1959, 467 с.

REFERENCES

- Mufazalov R.Sh. Skin-factor and its significance for assessing the state of near bore-hole area of the productive strata. UTNTU Publishing house. Ufa, 2005, 44 p. (in Russian).
- Mufazalov R.Sh. Skin-factor. Fundamental dependencies of reservoir, well and facilities parameters. Materials of international scientific-practical conference “Actual issues of oil fields development at the last stages. UTGNU Publishing house. Ufa, 2010, pp. 80-93 (in Russian).
- Mufazalov R.Sh. Skin-factor. Historical mistakes and errors, made in the theory of oil reservoir hydrodynamics. Journal Georesources, Kazan, No. 5(55), 2013, pp. 34-48 (in Russian).
- Pearson S.A. Doctrine of oil reservoir. Gostoptekhizdat. Moscow, 1961, 569 p. (in Russian).
- Regulations on integrated study of gas and gas-condensate reservoirs and wells (ed. by G.A.Zotov and Z.S.Aliyev). Nedra. Moscow, 1980, 301 p. (in Russian).
- Salavatov T.Sh. Elements of horizontal wells exploitation when developing oil fields. Maarif. Baku, 2001, 84 p. (in Russian).
- Shelkachev V.N. Development of oil-water bearing reservoirs under elastic drive. Gostoptekhizdat. Moscow, 1959, 467 p. (in Russian).

ВЛИЯНИЕ СКИН- И ПСЕВДО-СКИН-ФАКТОРА НА ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТЬ ГАЗОВОЙ СКВАЖИНЫ

Дадаш-заде М.А., Алиев И.Н.

Азербайджанский Государственный Университет нефти и промышленности
AZ 1010, г.Баку, Азербайджан, Проспект Азадлыг, 20

Резюме. Проведенный анализ показывает, что если газовая скважина гидродинамически несовершенна, то проницаемость пласта в призабойной зоне нарушается. Это указывает на то, что величина проницаемости призабойной зоны не может отражать истинное значение данного параметра. Следовательно, проницаемость зависит не только от истинного значения этого параметра, но и от состояния забоя и призабойной зоны газовой скважины, которая на практике называется кажущейся проницаемостью. Сравнение этих двух значений проницаемости может быть весьма полезно, ибо оно сразу выявляет изменение и степень влияния гидродинамического совершенства скважины. Изменение данных параметров будет естественно влиять на производительность данной скважины. При этом возникает необходимость проведения мероприятий, направленных на увеличение проницаемости призабойной зоны пласта и ослабление параметра гидродинамического несовершенства газовой скважины.

При этом необходимо иметь в виду тот факт, что изменение проницаемости в призабойной зоне пласта в скважинах влияет на форму начального участка графиков для прослеживания забойного давления.

При решении многочисленных задач разработки и эксплуатации газовых месторождений встречаются такие, в которых необходимо учитывать загрязнение призабойной зоны. Чем интенсивнее образование загрязнений в призабойной зоне, тем хуже показатели пористости и проницаемости, что, в конечном итоге, приводит к снижению производительности скважины. Для учета вышеуказанных явлений вводится понятие «скин-фактор», которое учитывает степень влияния образования загрязнений на производительность. Практически, данный параметр изменяется в пределах $(-4 \div +20)$ С и существенно снижает показатели дебита газовой скважины.

В статье приводится методика учета влияния скин-фактора на расход газовой скважины, позволяющая регулировать его возникновение и заранее предложить методы борьбы с данными процессами.

Ключевые слова: производительность, скин-фактор, псевдоскин-фактор, полный скин-фактор

SKİN FAKTOR VƏ PSEUDO-SKİN-FAKTORUN QAZ QUYUSUNUN MƏHSULDARLIĞINA TƏSİRİ

Dadaş-zadə M.Ə., Əliyev İ.N.

Azərbaycan Dövlət Neft və Sənaye Universiteti
AZ1010 Bakı, Azərbaycan, Azadlıq prospekti, 16/21

Xülasə. Aparılmış təhlil göstərir ki, qaz quyusunun hidrodinamik tamamlanmamış olduğu halda, layın quyudibi zonasında keçiricilik pozulur. Bu isə ona işarə edir ki, quyudibi zonanın keçiriciliyi verilmiş parametrin həqiqi kəmiyyətini əks etdirmir. Deməli, keçiricilik bu parametrin həqiqi kəmiyyətlə yanaşı qaz quyusunun quyudibinin və quyudibi zonasından asılıdır. Təcrübədə bu göstəricini oxşar keçiricilik adlandırır. Qeyd etmək lazımdır ki, bu iki keçiriciliklərin müqayisəsi quyuda dəyişikliklərin və tamamlanma dərəcəsini aşkar etməkdə böyük fayda kəsb edir. Bu parametrlərin dəyişməsi verilmiş quyunun məhsuldarlığına təsir edəcəkdir. Belə halda layın quyudibi zonasının keçiriciliyinin artırılmasına və qaz quyusunun hidrodinamik natamamlıq parametrinin azalmasına yönəlmiş tədbirlərin aparılmasının zəruriyyəti yaranır. Qeyd etmək lazımdır ki, bu parametrin nəzərə alınması qaz quyusunun məhsuldarlığını artırmaq üçün bu və ya digər üsulun tətbiqi edilməsinə imkan yaradır.

Belə halda, quyularda layın quyudibi zonasında keçiriciliyin dəyişməsi quyudibi təzyiqin müşahidəsi üçün qrafiklərinin başlanğıc intervalının formasına təsir edəcəkdir.

Qaz yataqlarının işlənmə və istismar məsələlərinin həllinə baxılması zamanı, quyudibi zonanın çirklənməsinin nəzərə alınmasının vacibliyi ilə seçilən məsələlərə rast gəlinir. Qeyd olunan quyudibi zonadakı mürəkkəbləşmələrin intensivliyindən asılı olaraq məsələlik və keçiricilik göstəriciləri aşağı düşür və yekunda quyunun məhsuldarlığının aşağı düşməsinə səbəb olur. Yazılanları nəzərə almaqla məhsuldarlığa təsir dərəcəsini təsvir edən “skin-faktor” anlayışını tətbiq olunur. Təcrübədə bu parametir $(-4 \div +20)$ С intervalında dəyişir və qaz quyusunun debitini əhəmiyyətli dərəcədə aşağı salır.

Məqalədə “skin-faktorun” qaz quyusunun sərfinə təsirini nəzərə alan, onun yaranmasının tənzimlənməsinə və əvvəlcədən göstərilən proseslərlə mübarizə metodlarını təklif etməsinə imkan yaradan metodika verilmişdir.

Açar sözlər: məhsuldarlıq, skin-faktor, pseudo skin-faktor, ümumi skin-faktor