

Особенности стимуляции скважин с учетом скин-факторов как средство стабилизации продуктивности

T.Ş. Salavatov, D.T.N.,
M.A. Dadash-zade, K.T.N.,
T.S. Babayeva

Азербайджанский государственный
университет нефти и промышленности

e-mail: petrotech@asoiiu.az

Ключевые слова: радиус скважины, проницаемость, давление на забое и на устье, скин-фактор, скин-эффект.

DOI.10.37474/0365-8554/2020-5-35-39

Skin-faktor nəzərə alınmaqla quyuların stimullaşdırılması xüsusiyyətləri məhsuldarlığın sabitləşdirilməsi vasitəsi kimi

T.Ş. Salavatov, D.T.N., M.Ə. Dadaş-zadə, K.T.N., T.S. Babayeva
Azərbaycan Dövlət Neft və Sənaye Universiteti

Açar sözlər: quyunun radiusu, keçiricilik, quyudibi və quyuyağzı təzyiqlər, skin-faktor, skin-effekt.

Aparılan çoxsaylı tədqiqatlar göstərir ki, quyuların fəaliyyətinin sabitləşdirilməsinə məqsədli quyudibi və quyuyağzı zonada əmələ gələn zədələnmələrin aradan qaldırılması yolu ilə onun məhsuldarlığını artırmaqdır. Bu əsasən qazma və ya istismar zamanı müəyyən struktur dəyişməsi zamanı özünü göstərir. Belə ki, bunun qarşısını almaq məqsədilə müxtəlif sabitləşdirici üsullardan istifadə edilir. Məsələn olaraq, hidravlik yarılmamı, quyudibi zonanın turşu ilə yuyulmasını, o cümlədən çatlardan turşu ilə yuyulmasını göstərmək olar.

Mədən tədqiqatları göstərir ki, hərəkətin radial olduğunu nəzərə alaraq, təzyiq düşməsi əsasən quyuyağzı zonada və ya quyuların dibində baş verir. Təhlillər göstərir ki, bu növ proseslər təzyiqlə düşməsinə və bu çətinlikləri xarakterizə edən parametrlə "skin-faktorla" müəyyən olunur.

Tədqiqat işində daha ümumiləşdirilmiş "skin-effekt" anlayışından istifadə olunur. Bu ümumiləşdirilmiş parametrlər hamı quyudibi zonanın, həm də quyuyağzı zonanın zədələnməsi əsasən "skin-effektin" özünü ifadə edir. Bu proses, öz növbəsində, əlavə müqavimat yaradır və hasilatın azalmasına səbəb olur. Buna görə də elmi və praktik nəqəti nəzərdən prosesin stimullaşdırılması üçün "skin-effektin" hər iki halda azaldılması məqsədəuyğundur. Bu məsələni həll etmək üçün "ümumiləşdirilmiş skin-effekt" və ya "ümumiləşdirilmiş skin-faktor" anlayışından istifadə olunur. Bu faktorun məni dəyəri müsbət təsir göstərir və nəticədə hamı quyuların hasilatına, həm də məhsuldarlığa təsir göstərir.

Well stimulation features considering skin-factors as a means of productivity stabilization

T.Sh. Salavatov, Dr. in Tech. Sc.,
M.A. Dadash-zade, Cand. in Tech. Sc.,
T.S. Babayeva

Azerbaijan State University of Oil and Industry

Keywords: well radius, permeability, bottomhole and wellhead pressure, skin-factor, skin-effect.

Numerous research surveys justified that the major purpose of well stimulation is the productivity increase by means of elimination of bottomhole damages in formation and well. This process appears directly by creating a certain structure in formation. Thus, in field conditions as a stimulation method the fracturing, acid treatment of reservoirs, as well as acid treatment of cracks (acid fracturing) are generally applied.

Field studies showed that due to the radial nature of the flow the pressure decrease is basically occurs near the well and in the bottomhole. The analysis justifies that any damage in this area significantly increases the pressure reduction and the effect of such damages may be presented by means of "skin-factor".

The authors present more generalized concept of "skin factor" combining the most important aspects of bottomhole zone damages of production well. These processes create additional resistance decreasing production. From our perspective, the well stimulation is the productivity increase. In this case there is scientific-practical sense to consider the stimulation as a method for "skin-effect" value reduction. The paper offers a new parameter of "generalized skin-effect" or "generalized skin-factor" showing positive results with negative values, i.e. increases performance and productivity.

Проведенные многочисленные исследования показали, что основной целью стимуляции эксплуатационных скважин (интенсификации добычи) является увеличение их продуктивности посредством удаления поврежденных призабойной части пласта и забоя. Как правило, в качестве метода стимуляции применяют обычный гидроразрыв, кислотную обработку карбонатных или песчаных коллекторов, а также кислотную обработку трещин (кислотный гидроразрыв). При помощи данных методов можно добиться некоторого увеличения коэффициента продуктивности и дебита, или снижения депрессии на пласт. Отметим, что снижение депрессии на пласт не столь очевидно, но оно даст возможность минимизации выноса песка и образования конуса обводнения или сдвига фазового равновесия в призабойной зоне пласта (ПЗП), что уменьшает выпадение конденсата.

Следует отметить, что нагнетательные скважины получают такую стимуляцию аналогичным образом.

Многочисленные промысловые исследования показали, что из-за радиального характера течения, основная часть падения давления имеет место вблизи скважины и на забое, и любое повреждение в данной области значительно повышает падение давления. Влияние повреждений этих зон может быть представлено при помощи скин-фактора [1-5].

В реальных условиях ухудшения показателей призабойной зоны и забоя скважины может быть вызвано влиянием некачественного глинистого раствора в процессе бурения и освоения скважины, промывками забоя водой, засорением пор пласта и перфорационных от-

верстий и т.д.

С учетом вышесказанного, скважину можно считать несовершенной и проницаемость пласта в призабойной зоне не будет отражать действительную проницаемость в пласте. Впервые этот эффект наблюдали американские ученые Миллер, Дайес и Хетчинсон [6]. Как отмечают авторы, изменение ПЗП влияет на форму начальных участков графиков прослеживания забойного давления. С учетом вышесказанного Херст и Ван-Эвердинг ввели понятие "скин-эффект" [5]. Однако в этих работах не учитывается влияние самого забоя скважины на продуктивность.

В данной работе предлагается более обобщенное понятие "скин-эффекта". Принимаемое нами понятие "скин-эффекта" объединяет наиболее важные аспекты повреждения забоя и призабойной зоны скважины (ПЗС). Это создает дополнительное сопротивление, вызванное повреждениями как забоя скважины, так и призабойной зоны. Отметим, что при самой лучшей практике бурения и освоения скважин, в многочисленных случаях наблюдается повреждение пласта. Учитывая вышесказанное, "скин-эффект" можно рассматривать как показатель "качества бурения" скважин. К понятию "скин-эффекта" могут присоединиться и другие механические и гидродинамические факторы, такие как плохая перфорация, частичное вскрытие пласта, отложение асфальтена, парафина и смолы в ПЗС, недостаточно правильный подбор внутрискважинного оборудования и т.д. Отметим, что если скважина повреждена, т.е. если продуктивность по какой-то причине ниже продуктивности идеальной скважины, то "скин-эффект" положительный.

В нашем понятии стимуляция скважины – это увеличение продуктивности; тогда возникает научно-практический смысл рассматривать стимуляцию как метод для уменьшения значения "скин-эффекта". В работе предлагается новый параметр "обобщенный скин-эффект" или "обобщенный скин-фактор", который при отрицательном значении дает положительный эффект, т.е. увеличивает производительность и продуктивность. В данном случае возникают операции, которые не только устраняют отрицательные факторы, но и создают новые или частично улучшают показатели скважины и пласта. В зарубежной литературе этот фактор обозначают как "псевдоскин-эффект" [4]. Дан-

ный параметр показывает, что понятие стимуляции, наряду с устранением повреждения, создает некоторые структурные изменения в забое и ПЗС.

С учетом вышесказанного, на основе математического анализа выведем основную модель с учетом "обобщенного скин-эффекта".

Как известно, уравнение Дарси для радиального пласта можно записать в виде

$$Q = \frac{2\pi kh}{\mu} r \frac{dp}{dr}, \quad (1)$$

где Q – объемный расход несжимаемой однофазной жидкости; k – средняя проницаемость пласта; h – толщина пласта; μ – динамическая вязкость несжимаемой жидкости; dp/dr – градиент давления.

Запишем данное уравнение в виде

$$\frac{1}{k} \frac{dr}{r} = \frac{2\pi h}{\mu Q} dp. \quad (2)$$

Применяя граничные условия, интегрируем данное уравнение:

$$\int_k^R \frac{1}{k_s} \frac{dr}{r} + \int_k^R \frac{1}{k} \frac{dr}{r} = \frac{2\pi h}{\mu Q} \int_{p_c}^{p_k} dp, \quad (3)$$

где R – радиус скважины; R_s – радиус скин-зоны; R_k – радиус контура питания скважины; p_c – давление на забое скважины; p_k – контурное давление; k_s – проницаемость в скин-зоне.

Раскрывая интеграл, прибавляя и вычитая $\ln \frac{R_s}{R_c}$, имеем

$$\frac{1}{k} \left[\frac{k}{k_s} \ln \frac{R_s}{R_c} + \ln \frac{R_s}{R_c} + \ln \frac{R_s}{R_c} - \ln \frac{R_s}{R_c} \right] = \frac{2\pi h}{\mu Q} (p_k - p_c). \quad (4)$$

Проведем группировку:

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

Вновь в систему прибавляем и вычитаем значение $\ln R_c'$.

После группировки, определяем значение объемного расхода

$$\frac{1}{k} \left[\ln \frac{R_s}{R_c} \left(\frac{k}{k_s} - 1 \right) + \ln \frac{R_s}{R_c} + \ln \frac{R_c'}{R_c} \right] = \frac{2\pi h}{\mu Q} (p_k - p_c). \quad (6)$$

или относительно расхода несжимаемой жидкости имеем:

$$Q = \frac{2\pi hk}{\mu} \frac{p_k - p_c}{S + \ln \frac{R_s}{R_c} + \ln \frac{R_c'}{R_c}}, \quad (7)$$

где $S = \ln \frac{R_s}{R_c} \left(\frac{k}{k_s} - 1 \right)$ – скин-фактор; R_c' – приведенный радиус совершенной скважины.

Как известно, все формулы, связанные с объемным расходом несжимаемой жидкости, содержат коэффициент гидродинамического несовершенства, являющийся едва ли не одним из самых важных параметров притока к скважине. Данное понятие о несовершенстве эксплуатационной скважины вряд ли станет однозначным, так как строго связано с понятием "скин-эффекта". Отметим, что гидродинамически совершенной можно считать скважину, которая полностью вскрыла пласт от кровли до подошвы, и в данном случае забой полностью открыт по боковой поверхности, на забое нет перфорационной колонны или фильтрационной сетки. При этом приток несжимаемой жидкости происходит через боковую поверхность забоя, не испытывая дополнительного сопротивления. Практика показывает, что совершенной скважины с точки зрения гидродинамики не бывает.

В подземной гидродинамике различают скважины, гидродинамически несовершенные по степени вскрытия пласта, и по качеству (характеру) вскрытия. Однако в некоторых случаях скважина может быть совершенной по степени вскрытия пласта и несовершенной по качеству вскрытия или наоборот. С учетом вышесказанного, вводим новое обозначение "скин-совершенства":

$$S' = \ln \frac{R_c'}{R_c}. \quad (8)$$

Данный параметр безразмерный и показы-

вает влияние несовершенства скважины. Тогда имеем

$$Q = \frac{2\pi hk}{\mu} \frac{p_k - p_c}{\left(\ln \frac{R_s}{R_c} + S + S' \right)}. \quad (9)$$

Сумма $(S + S')$ = ΣS дает нам обобщенный "скин-фактор".

Отметим, что гидродинамически несовершенная скважина может быть заменена равнозначной ей по дебиту совершенной скважиной, радиус которой будет во много раз меньше. При этом радиус такой скважины будет фиктивным, как и данная скважина. Для определения несовершенства скважины В.И. Щуров разработал специальную расчетную формулу [4]

$$R_c' = R_c e^C, \quad (10)$$

где C – безразмерный коэффициент, который определяется по формуле:

$$C = C_1 + C_2, \quad (11)$$

где C_1 – поправочный коэффициент, учитывающий дополнительное сопротивление притока к несовершенной скважине по качеству вскрытия пласта; C_2 – поправочный коэффициент, учитывающий степень вскрытия пласта.

Отметим также, что в случае когда эксплуатационная скважина совершенна по степени вскрытия и несовершенна по качеству вскрытия, то вместо C в формулу подставляется C_1 и наоборот.

В технической литературе при обсуждении продуктивности скважины, подразумевается линейная связь между дебитом и движущей силой (депрессией на пласт), где "константа" пропорциональности называется продуктивностью

$$Q = K \Delta p. \quad (12)$$

В период эксплуатации скважин она неоднократно претерпевает изменение в режиме потока. Для скважин со "скин-эффектом" наблюдается зависимость этого параметра от данного эффекта

$$K = \frac{Q}{\Delta p} = \frac{2\pi hk}{\mu \left(\ln \frac{R_s}{R_c} + S + S' \right)}. \quad (13)$$

Как видно, с увеличением "скин-эффекта" наблюдается понижение продуктивности сква-

жины.

Отметим, что снижение "скин-эффекта" делает возможным восстановление продуктивности скважины. Данная формула дает возможность оценки нарушения работы скважин, что позволяет рекомендовать мероприятия по применению различных методов воздействия на забой скважины (промывка, кислотная обработка, термический метод) или на ПЗП (перфорационные работы, торпедирование и т.д.).

Данная методика помогает определить и потери давления в отдельных участках. Решая данное уравнение относительно перепада давления, имеем:

$$\Delta p = \frac{\mu}{2\pi hk} \left(\ln \frac{R_k}{R'_c} + S + S' \right) Q. \quad (14)$$

Раскрыв данное уравнение, имеем:

$$\Delta p = \frac{\mu}{2\pi hk} \ln \frac{R_k}{R'_c} + \frac{\mu}{2\pi hk} S + \frac{\mu}{2\pi hk} S'. \quad (15)$$

Проведя замену, находим:

$$\Delta p = \Delta p_1 + \Delta p_2 + \Delta p_3, \quad (16)$$

где $\Delta p_1 = \frac{\mu}{2\pi hk} \ln \frac{R_k}{R'_c}$ – потери давления для совершенной скважины без значения

"скин-эффекта"; $\Delta p_2 = -\frac{\mu}{2\pi hk} S$ – потери давления с учетом "скин-эффекта", возникающего в призабойной зоне; $\Delta p_3 = \frac{\mu}{2\pi hk} S'$ – потери давления, возникающие в ПЗС.

На основе исследования, определяя каждое значение, можно судить о работе скважины с учетом повреждений в той или иной области, т.е. на забое или в призабойной зоне.

Выводы

1. Анализ показывает, что неучет "скин-эффекта" приводит к нарушению фильтрационных показателей, что в свою очередь влияет на проницаемость эксплуатационных скважин.

2. "Скин-эффект" проявляет себя не только в ПЗП, но и на забое самой скважины. Во время определения данного параметра становится возможным проведение дополнительных работ по улучшению работы данной скважины.

3. Проведенные исследования показывают, что прогрессирующее снижение проницаемости призабойной зоны приводит, в свою очередь, к снижению дебита скважины.

4. Для увеличения дебита часто увеличивают депрессию на пласт для противодействия падению добычи, что может привести к ускоренному разжижению (деконсолидации) на уровне порового пространства и к дополнительному выносу песка.

Список литературы

1. *Salavatov T.S.* Neft yataqlarının işlənməsində üfəti quyuların istismarının elementləri: dərs vəsaiti. – Bakı: Maarif, 2002, 92 s.
2. *Salavatov T.S., İsmayılov F.S., Osmanov B.A.* Neftin quyuy ilə çıxarılması texnologiyası: dərslik. – Bakı: Maarif, 2012, 536 s.
3. *Мищенко И.Т.* Скважинная добыча нефти: учеб. пособие. – М.: РГУ нефти и газа им. И.Губкина, 2003, 816 с.
4. *Economides M., Oligney R., Valko P.* "Unified Fracture Design" Orsa Press, Alvin, Texas, 2004, 193 p.
5. *Van Everdingen A.F.* "The Skin Effect and Its Influence on the Productive Capacity of a Well", "Petroleum Transactions" AIME, v. 198, 1983, pp. 171-176.
6. *Herst W.* "Establishment of the Skin Effect and Its Impediment to Fluid Flow into a Well Bore", "The petroleum Engineer" v. XXV, № 11, 1983, pp. 6-16.

References

1. *Salavatov T.S.* Neft yataqlarının işlənməsində üfəti quyuların istismarının elementləri: dərs vəsaiti. – Bakı: Maarif, 2002, 92 s.
2. *Salavatov T.S., İsmayılov F.S., Osmanov B.A.* Neftin quyuy ilə chyxarylmasy texnologiyasy: dərslik. – Bakı: Maarif, 2012, 536 s.
3. *Mishchenko I.T.* Skvazhinnaya dobycha nefti: ucheb. posobie. – M.: RGU nefi i gaza im. I.Gubkina, 2003, 816 s.
4. *Economides M., Oligney R., Valko P.* "Unified Fracture Design" Orsa Press, Alvin, Texas, 2004, 193 p.
5. *Van Everdingen A.F.* "The Skin Effect and Its Influence on the Productive Capacity of a Well", "Petroleum Transactions" AIME, v. 198, 1983, pp. 171-176.
6. *Herst W.* "Establishment of the Skin Effect and Its Impediment to Fluid Flow into a Well Bore", "The petroleum Engineer" v. XXV, No 11, 1983, pp. 6-16.