

Оценка влияния состояния призабойной зоны на эксплуатационные показатели глубинного насоса

М.А. Дадаш-заде, к.т.н.,

Т.С. Бабаева

Азербайджанский государственный университет нефти и промышленности

e-mail: petrotech@asoil.az

Ключевые слова: скин-фактор, скин-эффект, скин-зона, производительность, радиус скважины.

Dərinlik nasosunun istismar göstəricilərinə quyudibi zonanın vəziyyətinin təsirinin qiymətləndirilməsi

M.Ə. Dadaş-zadə, t.e.n., T.S. Babayeva
Azərbaycan Dövlət Neft və Sənaye Universiteti

Açar sözlər: skin-faktor, skin-effekt, skin-zona, məhsuldarlıq, quyunun radiusu.

Mədən təcrübəsi göstərir ki, nasos dayandırıldıqdan sonra laydan quyuya sıxılmayan mayenin axını davam edir və boru-axası fəzada mayenin səviyyəsi artır. Skin-zonanın yaranması zamanı nasos quyusunda mayenin səviyyəsi yavaş-yavaş qalxır və bu proses uzun müddət davam edir.

Məqalədə, sıxılmayan mayelər üçün dərinlik nasosunun işinə skin-faktorun təsirinin nəzərə alınması metodikası və işləyən nasos quyularında skin-effekt nəzərə alınmaqla basqının bərpaulunma zamanının müəyyənləşdirilməsi üsulu təklif edilir.

The estimation of the impact of bottomhole zone state on operation parameters of deep-well pump

M.A. Dadash-zade, Cand. in Tech. Sc., T.S. Babayeva
Azerbaijan State Oil and Industry University

Keywords: skin-factor, skin-effect, skin-zone, productivity, well radius.

Field experience justifies that after the pump stops, the inflow of incompressible liquid from formation into the well lasts and the fluid level in the annular space increases. When skin-zone occurs, the liquid level in the pumping well increases slowly and durably.

The paper offers a methodology of reviewing the impact of skin-factor on the operation of deep-well pump for incompressible fluids and the way of specifying the recovery time in operating pumping wells considering the skin-factor.

Исследования показывают, что в процессе бурения и эксплуатации многих скважин их производительность уменьшается. Объясняется это образованием скин-зоны в призабойной зоне скважины (ПЗС). Методы исследования глубиннонасосных скважин и пластов, разработанные в течение последних лет и основанные на наблюдениях за неустановившимися процессами перераспределения давления, позволяют определять многие коллекторские свойства пласта – его кажущуюся и эффективную проницаемость, пьезопроводность, состояние ПЗС, скин-эффект, статическое пластовое давление, строение пласта на заданном участке, а также пластовой водонапорной системы и т.д. [1, 2].

В промысловой практике после остановки насоса приток несжимаемой жидкости из пласта в скважину продолжается и её уровень в затрубном пространстве повышается. Со временем приток жидкости из пласта ослабевает и закономерность изменения забойного давления в насосной скважине приближается к идеализированному случаю, когда при остановке скважины приток жидкости к забою мгновенно прекращается.

При ухудшении ПЗС, т.е. при возникновении скин-зоны, уровень жидкости в насосной скважине повышается медленно и длительно. В таких случаях приходится останавливать скважину на большой срок и очень долго наблюдать за изменением её забойного давления.

Надо отметить, что контроль за повышени-

ем забойного давления в насосных скважинах производится глубинными лифтовыми манометрами. В отдельных случаях об этом с достаточной точностью можно судить по повышению уровня в затрубном пространстве.

Проведенные многочисленные промысловые исследования как у нас, так и за рубежом, показали, что нет смысла с большой точностью определять производительность гидродинамически несовершенных скважин.

Необходимо учитывать, что практически трудно определить гидродинамическое несовершенство скважин, так как оказываются неизвестными величина и глубина проникновения в пласт отверстий, получаемых при перфорации, неизвестны размеры и число трещин, образующихся вокруг этих отверстий и в цементном кольце. Практически часто бывает неизвестным фактическое число простреленных отверстий в обсадной колонне.

Чтобы изучить нарушения проницаемости пласта в ПЗС первоначально рассмотрим наиболее простой случай, когда по проницаемости весь пласт делится на две резко разграниченные зоны. При этом, отметим, что границей раздела зон пласта с различными проницаемостями служит коаксиальная скважина и цилиндрическая поверхность с радиусом R_s . Между стенкой скважины и поверхностью данного цилиндра в ПЗС, коэффициент проницаемости пласта равен k_s , а во всем остальном пласте равен k .

В практических условиях основными причинами снижения проницаемости ПЗС является промывка забоя пресной водой, а также засорение пор пласта (при выпадении парафина, смолы и асфальтена). Улучшение проницаемости ПЗС происходит за счет специальных кислотных и термических обработок, гидро-разрыва пласта, выноса мелких частиц из пор пласта [3, 4].

Расход жидкости через данную зону можно определить по формуле:

$$Q = 2\pi r v = 2\pi r z \frac{k\rho}{\mu} g \frac{dz}{dr}, \quad (1)$$

где v – скорость фильтрации в любой точке сечения, м/с; z – искомая высота в насосно-компрессорных трубах, м; μ – динамическая вязкость несжимаемой жидкости, мПа·с; k – проницаемость пласта, м²; ρ – плотность жидкости, кг/м³; g – ускорение свободного падения, м/с²; r – приведенный радиус, м.

Решая данное уравнение относительно dz и dr , получим:

$$z dz = \frac{Q\mu}{2\pi k\rho g} \frac{dr}{r}. \quad (2)$$

Проинтегрируем последнее уравнение:

$$\int_z^{h_k} z dz = \frac{Q\mu}{2\pi k\rho g} \int_r^{R_k} \frac{dr}{r}. \quad (3)$$

Разбивая на участки пласта и скин-зоны, находим:

$$\int_z^{h_k} z dz = \frac{Q\mu}{2\pi k\rho g} \left[\int_r^{R_s} \frac{1}{k_1} \frac{dr}{r} + \int_{R_s}^{R_k} \frac{1}{k} \frac{dr}{r} \right], \quad (4)$$

откуда

$$z^2 = h_k^2 - \frac{Q\mu}{\pi\rho g k} \left[\frac{k}{k_1} \ln \frac{R_s}{r} + \ln \frac{R_k}{R_s} \right], \quad (5)$$

где R_s – радиус скин-зоны, м; k_1 – проницаемость скин-зоны, м².

Добавляя и отнимая значение $\ln R_s/r$ и группируя, находим:

$$z^2 = h_k^2 - \frac{Q\mu}{\pi\rho g k} \left[S + \ln \frac{R_k}{r} \right] \quad (6)$$

$$S = \ln \frac{R_s}{r} \left(\frac{k}{k_1} - 1 \right),$$

где S – скин-фактор.

Изменяя граничные условия $r = R_c, h = h_c, r = R_k, h = h_k$ определяем:

$$Q = \frac{\pi k\rho g (h_k^2 - h_c^2)}{\mu \left[S + \ln \frac{R_k}{R_c} \right]}, \quad (7)$$

где h_k, h_c – соответственно статический и динамический уровни в насосно-компрессорных трубах, м; R_k, R_c – соответственно радиусы контура и забоя скважины, м.

Отметим, что

$$h_k^2 - h_c^2 = (h_k - h_c)(h_k + h_c) = (h_k h_c)(2h_k - h_k + h_c) = \delta(2h_k - \delta),$$

где δ – понижение статического уровня до динамического, м.

Учитывая вышесказанное, имеем:

$$Q = \frac{\pi k\rho g \delta (2h_k - \delta)}{\mu \left[S + \ln \frac{R_k}{R_c} \right]}. \quad (8)$$

Как видно, производительность глубинно-насосных скважин, зависит и от скин-фактора. Решим конечные уравнения совместно и получим:

$$z = \sqrt{h_k^2 - \frac{\delta(2h_k - \delta)}{S + \ln \frac{R_k}{R_c}} \left(S + \ln \frac{R_k}{r} \right)}. \quad (9)$$

Для определения закона движения частицы несжимаемой жидкости вдоль насосно-компрессорных труб, находим:

$$v = \frac{Q}{2\pi r z} = \frac{Q}{2\pi r \sqrt{h_k^2 - \frac{\delta(2h_k - \delta)}{S + \ln \frac{R_k}{R_c}} \left(S + \ln \frac{R_k}{r} \right)}}. \quad (10)$$

Выразим скорость фильтрации в виде

$$v = \frac{dz}{dt}.$$

Разделив переменные r и t , получим:

$$t = \frac{2\pi}{Q} \int_{h_c}^{h_k} z \sqrt{h_k^2 - \frac{\delta(2h_k - \delta)}{S + \ln \frac{R_k}{R_c}} \left(S + \ln \frac{R_k}{r} \right)} dz \quad (11)$$

Интеграл, стоящий в правой части данной формулы, в конечном виде не вычисляется. Данное уравнение можно вычислить с помощью рядов или численными методами. Отметим значение подынтегрального радикала, равного напору z в точке пласта с координатой r . Однако разбивая интервал интеграции на та-

кие участки, внутри каждого из которых величина z меняется слабо, данный параметр можно вынести за знак интеграла. Так, например, принимая небольшой интервал интеграции в пределах от h_c по h_k и обозначив через z среднее значение напора в этом интервале измененной величины z , получим:

$$\Delta t = \frac{2\pi}{Q} \bar{h} \int_{h_c}^{h_k} z dz = \frac{\pi \bar{h}}{Q} (h_k^2 - h_c^2), \quad (12)$$

где Δt – промежуток времени, в течение которого уровень жидкости переместится от динамического уровня до статического.

Как показывают расчеты, предложенный приближенный метод будет иметь меньшую погрешность, чем меньше меняется величина \bar{h} внутри интервала интеграла, т.е. чем дальше этот интервал от динамического уровня и чем меньше величина самого интервала.

Выводы

Предложена методика, связывающая работу глубинного насоса с работой пласта с учетом влияния скин-фактора на его работу для несжимаемых жидкостей.

Анализ показывает, что для повышения производительности насоса желательно спускать данное устройство на глубину между статическим и динамическим уровнями. При этом более активно можно использовать работу статического напора перед приемом насоса. Рекомендуется методика определения времени восстановления напора в работающих насосных скважинах с учетом скин-эффекта.

Список литературы

1. Salavatov T.Sh., Ismayilov F.S., Osmanov B.A. Neftin quyu ilə çıxarılması texnologiyası. – Bakı, Çaşıqoğlu, 2012, 538 s.
2. Мищенко И.Т. Скважинная добыча нефти: учебное пособие. – М.: РГУ нефти и газа им. И.М. Губкина, 2003, 816 с.
3. Силаш А.П. Добыча и транспорт нефти и газа, ч. 1. – М.: Недра, 1980, 375 с.
4. Сулейманов А.В. Эксплуатация морских нефтегазовых месторождений. – М.: Недра, 1986, 258 с.

References

1. Salavatov T.Sh., Ismayilov F.S., Osmanov B.A. Neftin guyu ile chikharylmasy tekhnologiasy. – Baki, Chashyoghlu, 2012, 538 s.
2. Mishchenko I.T. Skvazhinnaya dobycha nefi: uchebnoe posobie. – M.: 2003, RGU nefi i gaza im. I.M. Gubkina, 816 s.
3. Silash A.P. Dobycha i transport nefi i gaza, ch. 1. – M.: Nedra, 1980, 375 s.
4. Suleimanov A.V. Eksploatatsia morskikh neftegovykh mestorozhdeniy. – M.: Nedra, 1986, 258 s.