

UDC 622.276.344

DOI 10.52171/2076-0515_2024_16_04_46_51

Some Peculiarities of Non-Newtonian Fluid Flow in to the Well Considering Spherical-Radial Model

X.I. Dadashzadeh¹, Sh.F. Musayeva²

¹*Azerbaijan State Oil and Industry University (Azadlıq ave. 20, Baku, AZ1010, Azerbaijan)*

²*“Geotechnological problems of oil, gas and chemistry” Rİ (D.Aliyeva 227, Baku, AZ1010, Azerbaijan)*

For correspondence:

Musayeva Shafa / e-mail: musashafa0809@gmail.com

Abstract

In this work, based on the laws of filtration, a model of non-Newtonian oil movement into a well is proposed taking into account the spherical-radial model. The proposed model makes it possible to describe the filtration process in a porous medium taking into account the anomalous properties of filtration fluids. The analysis shows that anomalous properties affect the indicative properties of the well and formation. Anomalous properties affect the well flow rate, pressure distribution, filtration rate, and permeability, which ultimately reduces well productivity.

Keywords: spherical-radial model, contour pressure, bottomhole pressure, volumetric flow, cross-sectional area, non-newtonian oils

Received 19.02.2024

Revised 09.12.2024

Accepted 16.12.2024

For citation:

X.I. Dadashzadeh, Sh.F. Musayeva

[Some Peculiarities of Non-Newtonian Fluid Flow in to the Well Considering Spherical-Radial Model]

Herald of the Azerbaijan Engineering Academy, 2024, vol. 16, № 4, pp. 46-51 (in Russian)

Sferik-radial modelin nəzərə alınması ilə qeyri-nyuton neftin quyuda hərəkətinin bəzi xüsusiyyətləri

X.İ. Dadaş-Zadə¹, Ş.F. Musayeva²

¹*Azərbaycan Dövlət Neft və Sənaye Universiteti (Azadlıq pr. 20, Bakı, AZ1010, Azərbaycan)*

²*“Neftin, qazın geotexnoloji problemləri və kimya” ETİ (D. Əliyeva 227, Bakı, AZ1010, Azərbaycan)*

Xülasə

Məqalədə filtrasiya qanunlarına əsaslanaraq sferik-radial model nəzərə alınmaqla qeyri-nyuton neftinin quyuya hərəkətinin modeli təklif edilmişdir. Təklif olunan model qeyri-nyuton mayelərin süzülmə xüsusiyyətlərini nəzərə alaraq məsaməli mühitdə süzülmə prosesini təsvir etməyə imkan verir. Təhlil göstərir ki, anomal xüsusiyyətlər quyunun və layın göstərici xüsusiyyətlərinə təsir göstərir. Qeyri-nyuton xassələr quyu hasilatına, təzyiq paylanmasına, süzülmə sürətinə və keçiriciliyə təsir göstərir ki, bu da son nəticədə quyu məhsuldarlığını azaldır.

Açar sözlər: sferik-radial model, quyudibi təzyiqi, kontur təzyiqi, həcmi sərf, en kəsik sahəsi, qeyri-nyuton mayələr.

Некоторые особенности движения неньютоновских нефтей в скважину с учетом сферически-радиальной модели

Х.И. Дадаш-заде¹, Ш.Ф. Мусаева²

¹*Азербайджанский государственный университет нефти и промышленности (пр. Азадлыг, 20, Баку, AZ1010, Азербайджан)*

²*НИИ «Геотехнологические проблемы нефти, газа и химия», (пр. Д.Алиева, 227, Баку, AZ1010, Азербайджан)*

Аннотация

В работе на основе законов фильтрации предложена модель движения неньютоновской нефти в скважину с учетом сферически-радиальной модели. Предложенная модель дает возможность описать процесс фильтрации в пористой среде с учетом аномальных свойств фильтрационных жидкостей. Анализ показывает, что аномальные свойства влияют на показательные свойства скважины и пласта. Аномальные свойства влияют на дебит скважины, распределение давления, на скорость фильтрации, на проницаемость, что в конечном случае уменьшают производительность скважин.

Ключевые слова: сферически-радиальная модель, контурное давление, забойное давление, объемный расход, площадь сечения, неньютоновские жидкости.

Введение

Анализ показывает, что при разработке многих месторождений Азербайджана, России, Башкирии, Татарстана, Казахстана известны факты, которые можно объяснить проявлением неньютоновских аномальных свойств жидкостей в пористой среде. Особенности движения таких аномальных нефтей связаны в основном с содержанием в них высокомолекулярных компонентов: смол, асфальтенов, парафина, а также с увеличением доли глинистых частиц в пласте.

В мире цена углеводородов постоянно растет, в связи с этим интерес к таким месторождениям увеличивается.

Для увеличения нефтеотдачи в пластах в последние годы применяют различные методы воздействия. Методы воздействия на природные залежи с целью увеличения нефти и газоконденсатоотдачи привели к значительному расширению ассортимента веществ, закачиваемых в продуктивные горизонты, пласты. Отметим, что многие из этих веществ не обладают свойствами неньютоновских жидкостей, и поэтому изучение особенностей фильтрации неньютоновских жидкостей приобретает особое значение и является актуальным.

Цель работы - изучение вопроса фильтрации неньютоновской жидкости в сферически-радиальной модели.

Научная новизна заключается в изучении влияния на основные показатели фильтрации неньютоновской жидкости.

Постановка задачи

Следует рассмотреть нелинейные законы фильтрации, при условии, что филь-

трующаяся жидкость обладает неньютоновскими свойствами.

Известно, что для неньютоновской жидкости основным параметром, характеризующим ее движение, является динамический коэффициент вязкости. Этот коэффициент пропорционален в законе Ньютона. Зависимость между касательным напряжением и градиентом скорости является в этом случае прямой, проходящей через начало координат.

Решение задачи

Жидкости, не подчиняющиеся закону трения, называются аномальными, или неньютоновскими. В основном, согласно литературному анализу, неньютоновские жидкости можно разбить на три группы:

1. неньютоновские жидкости, для которых касательное напряжение зависит только от градиента скорости (стационарно реологические нефти)

$$\tau = f\left(\frac{dv}{dy}\right) \quad (1)$$

2. неньютоновские жидкости, для которых связь между касательным напряжением и ингредиентом скорости зависит от времени действия напряжений (нестационарно-реологические нефти)

$$\tau = f\left(\frac{dv}{dy}; t\right) \quad (2)$$

где t – время действия напряжений, с.

3. вязкоупругие нефти, т.е. среда, обладающая свойствами как твердого тела, так и жидкости, а также склонность ее физических свойств и формы к частичному восстановлению после снятия напряжений.

Среди неньютоновских жидкостей первого класса выделяют три подкласса:

а) вязкопластичные жидкости, для которых уравнение имеет вид:

$$\tau = \mu \frac{dv}{dy} + \tau_0 \quad (3)$$

б) псевдопластичные жидкости, для которых уравнение принимает вид:

$$\tau = k \left(\frac{dv}{dy} \right)^n \quad (4)$$

в) дилатантные жидкости описываются степенным уравнением при $n > 1$.

Модели дилатантных жидкостей хорошо описывают свойства суспензий с большим содержанием твердой фазы. Основные исследования опираются на законы гидромеханики и решаются математическими методами. Данную модель применяют, в частности, для описания движения растворов и полимерных композиций.

В пористых средах, состоящих из множества микрокапилляров различных диаметров, при снижении перепада давления начинается постепенное «закупоривание» капилляров, т.е. вначале движение прекращается в наиболее мелких порах, а по мере снижения давления данный процесс наблюдается в больших капиллярах.

Отметим, что в данном случае возникают аномальные свойства пластовых систем. Задача о притоке жидкости к несовершенной по степени вскрытия пласта скважине в пласте конечной толщины исследовалась М.Маскетом [1]. Им приводятся многочисленные свойства жидкости: вязкость, плотность, предельное напряжение сдвига, давление при малых скоростях потока и низкой проницаемости пористой среды. Это характерно и для неоднородных пластов. Отметим, что в области малой проницаемости наблюдается наиболее вероятно проявление аномальных свойств нефти.

Определение фильтрации жидкостей и газов не только представляет теоретический интерес, но и имеет широкое практическое значение, ибо без знаний закона фильтрации в породе, особенно вблизи за-

боя скважины, нельзя рассчитывать возможные дебиты нефти и газа, их изменение во времени при различных условиях эксплуатации скважин, а также невозможно определение параметров горизонта, пласта, таких как проницаемость, пористость и т.д. Эти параметры, в частности, определяются по данным исследований эксплуатационных скважин, добывающих углеводороды.

В основном рассматривается три вида моделей пласта. Одной из таких моделей является сферически-радиальная. Если все частицы жидкости движутся в пористой среде так, что их скорости фильтрации не параллельны одной и той же плоскости, то такое движение называется пространственным, или трехмерным, так как для определения положения частицы углеводорода в пространстве требуются три координаты. Отметим, что если при пространственном движении все траектории прямолинейны и радиально сходятся в одной точке, то это движение называется трехмерным радиальным, или сферически-радиальным.

В данном случае, благодаря пространственной симметрии относительно центра скважины, величина скорости фильтрации и давления в произвольной точке потока будут функцией расстояния между этой точкой и центром скважины.

Так как величина скорости фильтрации и давления являются функциями только одной переменной, то полное исследование сферического радиального потока можно выполнить математически. Примером сферического радиального потока является гидродинамически несовершенная скважина, едва вскрывшая непроницаемую горизонтальную кровлю. В данном случае приток углеводородов в ближайшей окрестности к забою скважины будет соот-

ветствовать законам трехмерного радиального движения.

И.А. Чарный предложил способ определения дебита скважины, несовершенной по степени вскрытия. В данном случае область скважины условно разбивается на две зоны. Первая зона между контуром питания и радиусом равна или больше толщины пласта. В этой зоне движение можно считать плоско-радиальным. Вторая зона расположена между стенкой скважины цилиндрической поверхности, где движение пространственное, то есть сферически-радиальное. Проведенное исследование показывает, что более реальным с учетом несовершенства скважины на практике является трехмерное сферически-радиальное движение потока. Более детально данный вопрос рассматривается в работах [2-9] для обычных нефтей.

В сферически-радиальном потоке для неньютоновских, вязко-пластичных жидкостей скорость можно записать

$$v = \frac{k}{\mu} \left(\frac{dP}{dr} - G \right) \quad (5)$$

где v – скорость фильтрации аномальной, вязко-пластичной жидкости, м/с; k – проницаемость пласта, м²; μ – динамическая вязкость, Па·с; $\frac{dP}{dr}$ – градиент давления, Па/м; G – предельное значение градиента давления, Па/м.

Примем площадь сечения $S = 2\pi r^2$. Умножая правую и левую части данного выражения на площадь сечения

$$Sv = \frac{k}{\mu} 2\pi r^2 \left(\frac{dP}{dr} - G \right), \quad (6)$$

имеем:

$$Q = \frac{k}{\mu} 2\pi r^2 \left(\frac{dP}{dr} - G \right) \quad (7)$$

Решим уравнение в данном диапазоне:

$$\frac{Q\mu}{2\pi k} \frac{1}{r^2} + G = \frac{dP}{dr} \quad (8)$$

Примем граничные условия:

$$r=R_c \quad P=P_c$$

$$r=R_k \quad P=P_k$$

Откуда имеем:

$$\frac{Q\mu}{2\pi k} \left(\frac{1}{R_c} - \frac{1}{R_k} \right) + G(R_k - R_c) = P_k - P_c \quad (9)$$

В первом приближении $P_k = P_c$. Тогда относительно объемного расхода имеем:

$$Q = \frac{2\pi k (P_k - P_c) - G(R_k - R_c)}{\mu \left(\frac{1}{R_c} - \frac{1}{R_k} \right)} \quad (10)$$

где P_k – давление на контуре скважины; P_c – давление на ее забое; R_k – радиус на контуре скважины; R_c – радиус скважины.

Если принять, что $G=0$, то имеем уравнение для притока в сферически-радиальном потоке. Если принять, что $P_k - P_c = G(R_k - R_c)$, то в этом случае объемный расход приравнивается к нулю. В работе [10] предлагается $R_s = 1.5h$, где h – мощность или высота пласта.

Данное уравнение дает возможность определить объемный расход жидкости с учетом сферически-радиальной модели для вязко-пластичных жидкостей.

Эксперименты были проведены в лабораторных условиях. Как видно из рисунка, применяемая модель в частном случае влияет на процесс фильтрации. На рисунке представлена зависимость расхода от значения предельного градиента давления. Очевидно, что с увеличением последнего объемный расход значительно уменьшается. Данный график является зависимостью при малых объемах, в условиях скважины.

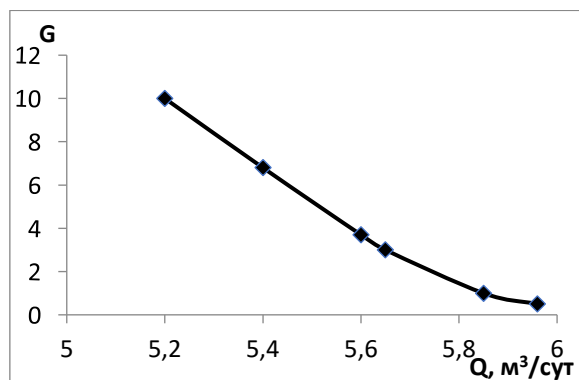


Рисунок – Зависимость расхода жидкости G от Q
Figure – Dependence of fluidflow G of Q

Заключение

В работе обсуждается вопрос фильтрации неньютоновской жидкости в сфе-

рически-радиальной модели, что более близко к месторождениям России (Татарстан, Башкирия), Румынии, Азербайджана и т.д. Предложена методика, которая учитывает изменения модели на забое скважины. Получена методика определения объемного расхода с учетом применения сферически-радиальной модели для вязкопластичной жидкости.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов, связанных с публикацией данной статьи.

REFERENCES

1. **Masket M.** Dvizhenie odnorodnyh flyuidov v poristoysrede. Moskva: *RQU Nefti i Qaza*, 2006. - 308 s. (in Russian)
2. **Punanova S.A., Shuster V.L.** Novyj vzgljad na perspektivy neftegazonosnosti glubokozalegajusshih dojurskih otlozhenij Zapadnoj Sibiri. *Georesursy* 20(2). 67-80, 2018. (in Russian) <https://doi.org/10.18599/grs.2018.2.67-80>
3. **Yashenko I.G., Polishhuk Yu.M.** Osobennosti fiziko-himicheskikh svojstv trudnoizvlekaemyh vidov nefti. *Tehnologii nefti i gaza*. 2014. 91(2) s. 3-10. (in Russian)
4. **Yashchenko I.G., Polishchuk Y.M.** Classification of Poorly Recoverable oils and Analysis of Quality Characteristics (Reviews) Chemistry and Technology of Fuels and Oils, 52 (4), pp. 434-444, 2016. (in Russian) <https://doi.org/10.1007/S10553-016-727-9>
5. **Entov V.M., Glivenko E.V.** Mehanika sploshnoj sredy i ee primeneniye v gazoneftedobyche. M.: «Nedra», 204 s., 2008 (in Russian)
6. **Prackin V.G., Mullakaev M.S., Asylbaev D.F.** Povysheniye produktivnosti skvazhin metodom akusticheskogo vozdejstviya na vysokovjazkie nefti v kanalah prizabojnoj zony skvazhin. *Himicheskoe i neftegazovoe mashinostroeniye*, 2014, № 9, s. 15-19. (in Russian)
7. **Shipulin A.V.** Ispolzovaniye inercii massy skvazhinnoj zhidkosti pri vozdejstvii na plast. *Neft. Gaz. Novacii*, 2009, № 2, s. 34-35. (in Russian)
8. **Kryakov D.Yu., Zhdanov S.A.** Primeneniye metodov uvelicheniya nefteotdachi plastov v Rossii i za rubezhom. M.: *Burenie i neft*, 2011, № 2, s.22-26. (in Russian)
9. **Yuskov I.R., Hizhnjak G.P., Ilyusin P.Yu.** Razrabotka i ekspluatatsiya neftjanyh gazovyh mestorozhdenij. Perm, 2013. - 177 s. (in Russian)
10. **Dadash-zade H.I., Gadashova E.V.** Primeneniye modelej trehmernoj, sfericheski-radialnoj filtratsii dlya opredeleniya osnovnyh pokazatelej skvazhiny s uchetom skin-zony. *Azərbaycan Mühəndislik Akademiyasının Xəbərləri*, Bakı. 2023, sild 15, № 3, s.66-70 (in Russian)