УДК 622.279.4

Процесс вытеснения газа аномальным, неньютоновским агентом в осложненных условиях

А.А. Мустафаев, Х.И. Дадаш-заде
Азербайджанский государственный университет нефти и промышленности

Электронный адрес: petrotech@asoiu.az

Известно большое количество методов по повышению газоотдачи пластов. Они различаются по способу воздействия на продуктивные пласты, характеру взаимодействия между нагнетаемыми в пласт рабочими агентами и насыщающей пласт жидкостью. Методы повышения газоотдачи можно разделить на гидродинамические и физико-химические.

Предложена методика влияния на газовый пласт с учетом нагнетания аномальной жидкости при учитывании скин-фактора. Предлагается определить время продвижения контура водоносности в зависимости от различных факторов в условиях радиальной фильтрации.

Ключевые слова: *проницаемость, пористость, скин-фактор, скин-зона, вязкость, предельное напряжение сдвига.*

Практика показывает, что разработка газовых месторождений в основном осуществляется с применением методов заводнения, позволяющих увеличить газоотдачу пласта в несколько раз, по сравнению с разработкой в естественном режиме. Однако, как показывают анализы разработки, баланс остаточных запасов на газовых месторождениях, находящихся в стадии завершения разработки, остается весьма высоким.

На сегодняшний день состояние с остаточными запасами, которые не могут быть извлечены традиционными методами заводнения, требует ускорения разработки и внедрения новых методов повышения газоотдачи пластов.

В настоящее время известно и внедрено большое число методов по повышению газоотдачи пластов. Они различаются по способу воздействия на продуктивные пласты, по характеру взаимодействия между нагнетаемыми в пласт рабочими агентами и насыщающей пласт жидкостью, а также видом, внедряемой в пласт энергии. Методы повышения газоотдачи можно разделить на гидродинамические и физико-химические.

Успешное применение методов по повышению газоотдачи пластов зависит от уровня геолого-промысловых исследований пласта, состояния его разработки и свойств насыщения данной среды газом и водой.

Данные исследования предполагают изучение особенностей геометрии пласта с учетом тектонических нарушений, линий выклинивания продуктивной части пласта. При этом значительное внимание следует уделять литологической характеристике пород, слагающих продуктивную зону пласта. Данные свойства пласта в свою очередь влияют на принятие решения об использовании того или иного метода повышения газоотдачи.

Для принятия конкретного решения очень важно полное изучение геологических характеристик, слагающих пласт пород и насыщающих пласт газов, которые при эксплуатации вступают во взаимодействие с нагнетаемой в пласт жидкостью, что может сопровождаться неблагоприятными условиями для применения какого-либо определенного метода.

Промысловые и лабораторные исследования показали, что при наличии в продуктивном пласте глины при закачке пресной воды, щелочи, растворов поверхностно-активных веществ может происходить набухание глин. В этом случае приемистость нагнетательных скважин уменьшается, что делает задачу повышения газоотдачи нереализуемой. Отметим, что если в продукции пласта содержатся сильно минерализованные соли, то при взаимодействии с закачиваемой жидкостью возможно выпадение твердых кристаллов в осадок, с последующей закупоркой пор пласта.

Анализ показывает, что применению методов повышения газоотдачи должен предшествовать тщательный анализ состояния разработки газовых месторождений. Особое значение для принятия решений о применении тех или иных методов повышения газоотдачи приобретает углубленное изучение свойств закачиваемой жидкости и их изменчивость в пластовых условиях [1–3].

Применению методов повышения газоотдачи пластов должны предшествовать комплексные исследования добывающих и нагнетательных скважин с определением коэффициента продуктивности, приемистости, давления нагнетания, свойств закачиваемой жидкости и пластового газа, состояния призабойной зоны, пластовых давлений и т.д.

В данной работе предлагается метод заводнения газового пласта жидкостью с вязко-пластичными свойствами с учетом скин-фактора.

Лабораторные анализы показали, что при применении метода заводнения жидкостью с вязко-пластичными свойствами выравнивается подвижность газа и вытесняющего агента, что приводит к увеличению охвата воздействия на пласт. Этого можно достичь повышением вязко-пластичных свойств вытесняющего агента. Анализ показывает, что на эффективность процесса закачки вязко-пластичной жидкости влияет время его применения в зависимости от периода разработки газового месторождения.

Отметим, что одномерная задача на вытеснение газа водой впервые рассмотрена академиком Л.С. Лейбензоном, принимавшим с целью упрощения решения тот факт, что давление на перемещающемся контуре водоносности в процессе разработки газовой залежи остается постоянным и равно первоначальному [1]. При этом принималось, что в области газоносности распределение давления происходит по законам прямолинейной фильтрации газа при постоянном давлении на выходе. Однако, для решения данной задачи автор рассматривает неустановившуюся фильтрацию газа как непрерывную последовательность стационарных состояний.

Допустим, что при решении данной задачи на перемещающемся контуре жидкости давление остается постоянным и при этом равным первоначальному. Принимая изменение давления в области газоносности постоянным, учет изменения давления означает учет потерь давления при фильтрации газа, обусловленной его вязкостью.

При условии, когда абсолютная вязкость аномальной жидкости больше вязкости газа, с практической точки зрения большой интерес представляет учет потерь давления, связанный с вязкостью аномальной жидкости.

Если приведенный к атмосферным условиям расход газа постоянен, тогда давление во всех точках области газоносности, в том числе и на контуре, будет одинаковым и равным средневзвешенному, по объему области газоносности пласта давлению. Тогда скорость движения контура аномальной жидкости равна:

$$\upsilon = \frac{k}{m\mu_ж}\frac{p_к - \overline{p} - \Delta p_0}{ln\frac{R_к}{r} + S}\frac{1}{r}, \qquad (1)$$

где $p_к$ – давление на круговом контуре области питания, радиус которого равен $R_к$; $\overline{p}$ – средневзвешенное по объему давление в газовой залежи; k – проницаемость пласта; Δp_0 – перепад давления, расходуемого на преодоление предельного напряжения сдвига; υ – скорость фильтрации; $\mu_ж$ – вязкость при фильтрации аномальной жидкости; m – пористость пласта; S –скин-фактор.

Определим давление на перемещающемся контуре аномальной жидкости по формуле

$$\overline{p} = \frac{p_н\Omega - Q_г p_0 t}{\Omega}, \qquad (2)$$

а скин-фактор

$$S = ln\frac{R_s}{R_c}\left(\frac{k}{k_s} - 1\right), \qquad (3)$$

где Ω – первоначальный объем порового пространства; $p_н = p_к$ – первоначальное давление в пласте; t – время истечения с начала разработки газовой залежи; p_0 – атмосферное давление; $Q_г$ – объемный расход газа; R_s, R_c – соответственно радиусы скин-зоны и скважины; k_s – проницаемость в скин-зоне.

Решая совместно (1) и (2), имеем:

$$\upsilon = \frac{(\Delta p_0 \Omega + Q_г p_0 t)k}{m\mu_ж \Omega \left(ln\frac{R_к}{r} + S \right) r}, \qquad (4)$$

где $\Omega = \pi R_в^2 hm$ – контур водоносности; h – толщина пласта.

Теперь определим перемещение водоносности за время dt

$$\frac{dr}{dt} = \frac{k(\Delta p_0 \Omega + Q_г p_0 t)}{m\mu_ж \Omega \left(ln\frac{R_к}{r} + S \right) r} \qquad (5)$$

Решение данного уравнения дает возможность определить время перемещения контура

$$t^2 p_0 Q_г + 2\Delta p_0 \Omega t = \frac{2}{k} m\mu_ж \Omega \left(ln\frac{R_к}{r} + S \right) \times$$
$$\times \left\{ \left[\frac{R_в^2}{2} \left(ln\frac{R_в}{R_к} + S \right) - \frac{R_в^2}{4} \right] - \right.$$
$$\left. - \left[\frac{R_0^2}{2} \left(ln\frac{R_0}{R_к} + S \right) - \frac{R_0^2}{4} \right] \right\}, \qquad (6)$$

где R_0 – расстояние от центра газовой залежи до кругового контура, показывающее первоначальное положение контура водоносности.

Как видно данное уравнение является квадратичным. Решая его, можно определить зависимость времени продвижения контура водоносности от различных факторов, т.е. физических параметров жидкости и пласта от скин-фактора.

В случае, когда отсутствует скин-фактор и жидкость ньютоновская, имеем формулу, предложенную профессором В.Н. Щелкачевым [1].

Выводы

1. Эффективность закачки вязко-пластичной жидкости резко снижает обводненность пласта, что характеризуется созданием оторочки между пластовой водой и газом.

2. При закачке вязко-пластичной жидкости выравнивается подвижность газа и вытесняющего агента, что дает возможность увеличить охват воздействия на пласт.

3. По необходимости газовое месторождение можно разбить на мелкие участки, что позволяет более эффективно применять данный метод в виде блоковой системы разработки.

Список литературы

1. *Щелкачев В.Н., Лапук Б.Б.* Подземная гидравлика. – М.-Ижевск: Институт компьютерных исследований, 2001, 763 с.

2. *Маскет М.* Течение однородных жидкостей в пористой среде. – М.-Ижевск: Институт компьютерных исследований, 2004, 563 с.

3. *Вулис Л.А., Кашкаров В.П.* Теория струй вязкой жидкости. – М.-Ижевск: Институт компьютерных исследований, 2007, 439 с.

Mürəkkəb şəraitdə qazın anomal, qeyri-Nyuton agentlə sıxışdırılması

Ə.Ə. Mustafayev, X.İ. Dadaş-zadə

Qaz yataqlarında qazveriminin artırılması üçün müxtəlif üsullar mövcuddur. Onlar əsasən təsir üsulları və laya vurulan mayenin fiziki xassələrindən çox asılıdır. Qazveriminin artırılması üsullarını iki qrupa ayırmaq olar: hidrodinamiki və fiziki-kimyəvi.

Baxılmış məsələdə qaz yatağına anomal maye ilə təsir üsulu verilmişdir. Bu zaman skin-zonanın olması da nəzərə alınır. Bunun əsasında su konturunun müxtəlif faktorlardan asılı olaraq dəyişmə vaxtı təyin edilir.

Açar sözlər: *keçiricilik, məsaməlik, skin-faktor, skin-zona, özlülük, başlanğıc toxunma gərginliyi.*

Gas displacement process with abnormal, non-Newtonian agent in complicated conditions

A.A. Mustafayev, Kh.I. Dadash-zadeh

A large number of methods for increase of reservoir gas recovery are known. They differ by the influence methods on productive formations, by the nature of interaction between the working agents injected into the layer and the fluid saturating it. These methods of gas recovery increase can be divided into hydrodynamic and physical-chemical.

The paper proposes a method of influencing gas reservoir considering the injection abnormal fluid into it considering the skin-factor. The specification of advancement time of external reservoir boundary depending on different aspects in radial filtration conditions is offered.

Keywords: *permeability, porosity, skin-factor, skin-zone, viscosity, ultimate shear stress.*