



УДК 622.692.24

НЕКОТОРЫЕ ОСОБЕННОСТИ ВЗАИМНОГО ВЫТЕСНЕНИЯ ФЛЮИДОВ В ПОДЗЕМНОМ ХРАНИЛИЩЕ ГАЗА

SOME FEATURES OF MUTUAL FLUID DISPLACEMENT IN UNDERGROUND GAS STORAGE

Ливинцев Петр Николаевич

кандидат технических наук, доцент,
доцент кафедры разработки и эксплуатации
нефтяных и газовых месторождений,
Северо-Кавказский федеральный университет
rangm26@yandex.ru

Верзбицкий Вячеслав Владимирович

старший преподаватель
кафедры разработки и эксплуатации
нефтяных и газовых месторождений,
Северо-Кавказский федеральный университет
slavax777@mail.ru

Гунькина Татьяна Александровна

кандидат технических наук, доцент,
заведующий кафедрой разработки и эксплуатации
нефтяных и газовых месторождений,
Северо-Кавказский федеральный университет
tatiana.stavr@yandex.ru

Верзбицкая Виктория Владимировна

аспирант
кафедры разработки и эксплуатации
нефтяных и газовых месторождений
Северо-Кавказский федеральный университет
v.verzhbitskaya@mail.ru

Хандзель Александр Владиславович

кандидат технических наук, доцент
кафедры разработки и эксплуатации
нефтяных и газовых месторождений,
Северо-Кавказский федеральный университет
hndalxvld@rambler.ru

Аннотация. В статье рассмотрены некоторые особенности поршневого вытеснения газа водой и воды нагнетаемым газом при небольших изменениях пластового давления с помощью метода последовательной смены стационарных состояний в подземном хранилище газа.

Ключевые слова: подземное хранение газа, активный и буферный газ, фильтрация газа, газовойодяной контакт, модель поршневого вытеснения.

Livintsev Petr Nikolaevich

Candidate of Technical Sciences,
Associate Professor,
Associate Professor of the Department of
Development and Operation of
Oil and Gas Fields,
North-Caucasus Federal University
rangm26@yandex.ru

Verzhbitsky Vyacheslav Vladimirovich

Senior Lecturer
Department of Development and Operation of
Oil and Gas Fields,
North-Caucasus Federal University
slavax777@mail.ru

Gunkina Tatiana Aleksandrovna

Candidate of Technical Sciences,
Associate Professor,
Head of the Department of Development and
Operation of Oil and Gas Fields,
North-Caucasus Federal University
tatiana.stavr@yandex.ru

Verzhbitskaya Viktoriya Vladimirovna

Postgraduate Student
Department of Development and Operation of
Oil and Gas Fields,
North-Caucasus Federal University
v.verzhbitskaya@mail.ru

Handzel Alexander Vladislavovich

Candidate of Technical Sciences,
Associate Professor,
Department of Development and Operation of
Oil and Gas Fields,
North-Caucasus Federal University
hndalxvld@rambler.ru

Annotation. The paper discusses some features of piston displacement of gas by water and water by the injected gas at small changes in reservoir pressure using successive steady states method in underground gas storage.

Keywords: underground gas storing, working gas and base gas, gas filtration, gas-water contact, model of piston displacement.

Буферный газ обеспечивает в хранилище давление достаточное для подачи активного газа к скважинам при отборе. Чем больше доля буферного газа в хранилище, тем меньше разнятся максимальное и минимальное давление, обеспечивающее заданный отбор газа.

Если газ фильтруется при небольших изменениях пластового давления, то изменение его плотности при этом невелико (изменения малы в сравнении с пластовым значением плотности) и допустимо при рассмотрении некоторых задач фильтрации рассматривать газ как жидкость с постоянной плотностью [1–5]. Решения задач при таком допущении сильно упрощаются, хотя оказываются приближенными.

В [3] указывается – если при закачках и отборах в подземных хранилищах газа (ПХГ) с достаточно высоким пластовым давлением 7–10 МПа и выше оно варьруется в пределах 0,5–1,0 МПа, то



изменения плотности газа при этом 5–7 кг / м³ невелики в сравнении среднепластовой плотностью газа в 50–70 кг / м³. При этом плотность и вязкость газа можно принять неизменными, равными их значениям при среднепластовом давлении.

В книге [4] М.В. Лурье исследует ряд задач совместной (двухфазной) фильтрации в подземных хранилищах, рассматривая воду и газ как несжимаемые жидкости.

В поршневой модели вытеснения принимается, что в пласте между фазами – водой и газом существует граница (фронт или газоводяной контакт ГВК), на которой одна фаза «полностью» вытесняет другую. В тонком горизонтальном пласте эта граница рассматривается как вертикальная. На рисунке 1 показана схема полосообразного хранилища газа.

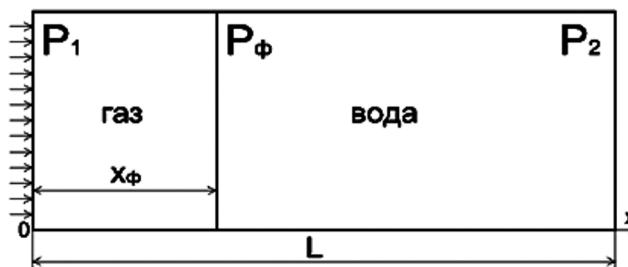


Рисунок 1 – Схема вытеснения газом воды в полосообразном газовом хранилище

Рассмотрим газовое хранилище в горизонтальном тонком пласте длиной L, толщиной h, шириной a. В сечении x = 0 через линейный ряд скважин (фильтрация к которым подобна таковой к галерее) ведется первая закачка газа. Давление на их забоях скважин (на контуре питания) P₁ = const, в сечении x = L на выходе газа из пласта также поддерживается постоянное давление P₂ = const. Расстояние x_ф до параллельного скважинам ГВК (до фронта вода–газ) при нагнетании газа возрастает. Вязкости воды μ_в и газа μ_г и их плотности ρ_в, ρ_г рассматриваются как неизменные.

Рассмотрим некоторые особенности поршневого вытеснения воды нагнетаемым газом с помощью метода последовательной смены стационарных состояний (ПССС). В соответствии с методом ПССС, рассматривая фильтрацию как стационарную, запишем формулу массовой скорости фильтрации воды на фронте вода-газ (ГВК).

$$\rho_B \cdot V_B = \frac{\rho_B \cdot k}{\mu_B} \cdot \frac{P_\Phi - P_2}{L - x_\Phi}, \tag{1}$$

здесь P_ф – давление на фронте вода-газ.

Массовая скорость закачиваемого «несжимаемого» газа, с плотностью и вязкостью при среднем пластовом давлении выразится:

$$\rho_G \cdot V_G = \frac{\rho_G \cdot k}{\mu_G} \cdot \frac{P_1 - P_\Phi}{x_\Phi}. \tag{2}$$

Перепишем формулы (1) и (2):

$$P_\Phi - P_2 = \frac{\mu_B}{\rho_B \cdot k} \cdot (L - x_\Phi) \cdot \rho_B \cdot V_B, \tag{3}$$

$$P_1 - P_\Phi = \frac{\mu_G \cdot x_\Phi}{\rho_G \cdot k} \cdot \rho_G \cdot V_G. \tag{4}$$

Сложив выражения (3) и (4), с учетом равенства массовых скоростей воды и газа ρ_в · V_в = ρ_г · V_г = ρ · V на фронте вода – газ, запишем выражение для массовой скорости

$$\rho \cdot V = \frac{k \cdot (P_1 - P_2)}{\frac{\mu_G \cdot x_\Phi}{\rho_G} + \frac{\mu_B (L - x_\Phi)}{\rho_B}} \tag{5}$$

или

$$\rho \cdot V = \frac{k \cdot (P_1 - P_2)}{\frac{\mu_B \cdot L}{\rho_B} + \left(\frac{\mu_G}{\rho_G} - \frac{\mu_B}{\rho_B}\right) \cdot x_\Phi} \tag{6}$$

Умножая (6) на ширину хранилища a и толщину h пласта получаем выражение массового дебита

$$Q_m = \frac{a \cdot h \cdot k \cdot (P_1 - P_2)}{\frac{\mu_B \cdot L}{\rho_B} + \left(\frac{\mu_G}{\rho_G} - \frac{\mu_B}{\rho_B}\right) \cdot x_\Phi} \tag{7}$$



С течением времени t величина x_f – расстояние ГВК от контура питания изменяется, являясь функцией t , а также массовые скорость фильтрации и дебит изменяются во времени. Следовательно, вытеснение воды газом или газа водой происходит при нестационарной фильтрации, несмотря на постоянство депрессии $\Delta P = P_1 - P_2 = \text{const}$.

Таким образом в процессе первой закачки «несжимаемого» газа в ПХГ массовая скорость ρV фаз и массовый дебит Q_m , с возрастанием расстояния x_f до фронта вода-газ (ГВК) увеличиваются (величина $\frac{\mu_g}{\rho_g} - \frac{\mu_w}{\rho_w}$ в знаменателе формул (5, 6, 7) обычно отрицательна, $\frac{\mu_g}{\rho_g} = \frac{0,015 \cdot 10^{-3}}{50} (\text{Па} \cdot \text{с}) / (\text{кг}/\text{м}^3)$ меньше $\frac{\mu_w}{\rho_w} = \frac{1 \cdot 10^{-3}}{1000} (\text{Па} \cdot \text{с}) / (\text{кг}/\text{м}^3)$).

Такие результаты обусловлены уменьшением общего фильтрационного сопротивления потоку при $\Delta P = P_1 - P_2 = \text{const}$ из-за возрастания x_f протяженности области фильтрации более подвижного газа.

Если начальное положение ГВК не параллельно контуру питания и линии скважин, то при нагнетании газа более продвинутой частью ГВК продолжит двигаться быстрее запаздывающей части ГВК и форма ГВК будет изменяться (на подобное поведение раздела фаз указал В.Н. Щелкачев [1] при рассмотрении вытеснения нефти менее вязкой водой). Даже при первоначальной параллельности ГВК линии нагнетания и отбора скорость движения, образовавшегося по различным причинам «газового языка», выше, чем остальной части ГВК. При последующих закачках, газ стремится двигаться по области «языка», либо по более продвинутой части газовой контактной поверхности, увеличивая их длину, и может уходить за пределы «ловушки» газового хранилища.

При отборе же газа (напротив) продвижение ГВК, увеличивая размеры области водоносности, и тем самым общее фильтрационное сопротивление потоку, ведет при постоянной депрессии ΔP к уменьшению с течением времени массовой скорости движения и массового дебита отбираемого газа.

Литература:

1. Щелкачев В.Н., Лапук Б.Б. Подземная гидравлика. – М. : Гостоптехиздат, 1949.
2. Баренблатт Г.И., Ентов В.М., Рыжик В.М., Движение жидкостей и газов в природных пластах. – М. : Недра, 1984. – 207 с.
3. Басниев К.С., Кочина И.Н., Максимов В.М. Подземная гидромеханика: Учебник для ВУЗов. – М. : Недра, 1993. – 416 с.
4. Лурье М.В. Механика подземного хранения газа в водоносных пластах // ГУП Издательство «Нефть и газ» РГУ нефти и газа им. И.М. Губкина. – М., 2001.
5. Бедриковецкий П.Г., Каневская Р.Д., Лурье М.В. Эффекты сжимаемости при вытеснении воды и нефти газом // Докл. АН СССР. – 1984. – Т. 276. – № 2.

References:

1. Shelkachev V.N., Lapuk B.B. Underground Hydraulics. – M. : Gostoptekhizdat, 1949.
2. Barenblatt G.I., Yentov V.M., Ryzhik V.M., Movement of Liquids and Gases in Natural Formations. – M. : Nedra, 1984. – 207 p.
3. Basniev K.S., Kochina I.N., Maximov V.M. Underground Hydromechanics: Textbook for Universities. – M. : Nedra, 1993. – 416 p.
4. Lurie M.V. Mechanics of underground gas storage in aquifers // Gubkin Russian State University of Oil and Gas Publisher. – M., 2001.
5. Bedrikovetsky P.G., Kanevskaya R.D., Lurie M.V. Effects of compressibility at displacement of water and oil by gas // Dokl. ANSSR. – 1984. – Vol. 276. – № 2.