

К ВОПРОСУ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ ПОДЗЕМНЫХ ХРАНИЛИЩ ГАЗА, СОЗДАННЫХ В ВОДОНОСНЫХ ПЛАСТАХ

В связи с высокими требованиями, предъявляемыми к качеству и надежности транспортных трубопроводных систем, меняется подход к таким системам, связанный прежде всего с повышением эффективности их эксплуатации. Такие транспортные трубопроводные системы необходимо эксплуатировать с полной нагрузкой, т.к. в противном случае себестоимость перекачки газа заметно возрастает. В настоящее время потребление газа отличается значительной неравномерностью и для крупных городов и населенных пунктов она исчисляется сотнями миллионов кубометров. Это противоречие, как правило, разрешается установлением принудительного графика потребления газа либо созданием подземных хранилищ, вмещающих избытки газа и способных отдавать их при необходимости.

Ключевые слова: хранилище, газ, водоносный пласт, нагнетание, эксплуатация

Введение

Подземные хранилища газа менее опасны, чем наземные, а стоимость их намного ниже. Подземные хранилища газа в природной среде представляют собой искусственную газовую залежь, эксплуатируемую циклически. Одно из существенных отличий хранилища от залежи состоит в том, что в хранилище газодинамические процессы протекают значительно быстрее и носят ярко выраженный нестационарный характер [1, 2].

Изложение основного материала

В настоящее время для хранения газа широко используются истощенные газовые и нефтяные месторождения. Однако если поблизости от крупного потребителя газа нет истощенных нефтяных или газовых месторождений, которые несложно переоборудовать в хранилища, то для хранения газа используют водоносные пласты, которые должны иметь в пласте «ловушку» (такие геологические условия, при которых газовый пузырь, подпираемый водой, может находиться в пласте в устойчивом состоянии неограниченно длительное время). Гидропроводность пласта-коллектора не должна быть менее 200—300 Д см/сП, а пористость — ниже 10—15%. Покрышка, которая обычно представлена глинами, не должна иметь проницаемость более долей миллиарда.

Расчеты и практика показывают, что наиболее выгодная глубина пласта — 500—600 м. В слишком глубоких подземных хранилищах приходится поддерживать высокое давление, что

увеличивает расходы на сооружение и эксплуатацию компрессорной станции. При малой глубине «ловушки» ее емкость по газу небольшая, так как хранилище при этом характеризуется низким давлением. Кроме того, низкое давление не позволяет применять при заполнении пласта газом больших репрессий. При этом срок создания хранилища значительно удлиняется [2].

Подземное хранение газа в водоносном пласте состоит в том, что в пласт, обладающий описанными свойствами, через скважины, расположенные на своде поднятия, нагнетается газ. Давление при этом должно быть выше пластового. Газ проникает в поры коллектора и оттесняет из них воду; подпираемый водой газ занимает верхнюю часть «ловушки». При снижении давления в скважине газ поступает на поверхность.

Хранилище заполняют газом несколько лет, поэтому целесообразно начинать его эксплуатацию до вывода на циклический режим работы, закачивая каждый сезон несколько больший объем газа, чем тот, который отбирается.

Расчет нагнетания газа в водоносный пласт

Рассмотрим наиболее простой случай нагнетания газа в водоносный пласт, не содержащий начального объема газа. Предположим, что газ закачивается через одну скважину в бесконечный горизонтальный однородный пласт постоянной мощности (рис. 1). При этом граница кругового газового объема будет расширяться, причем количество воды, вытесненной газом из занимаемого им объема, будет равно тому количеству воды, которое принимает водонасыщенная зона пласта.

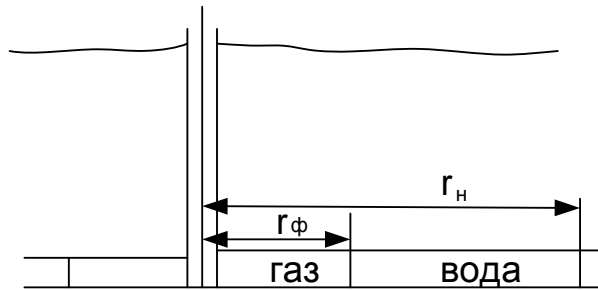


Рис.1 Расчетная схема закачки газа в водоносный пласт

Объем воды, вытесненной газом, составит

$$Q_B = \pi(r_\phi^2 - r_c^2)m\sigma h, \quad (1)$$

где σ — средняя величина газонасыщенности газоносной области; r_ϕ — ее радиус.

Дифференцируя (1) по времени и пренебрегая объемом скважины, получаем:

$$\frac{dQ_B}{dt} = q_B = 2\pi m\sigma h \frac{r_\phi dr_\phi}{dt}. \quad (2)$$

С другой стороны, это же количество воды принимает пласт:

$$q_B = \frac{\pi k h}{\mu} \left| r \frac{dp}{dr} \right|_{r=r_\phi}. \quad (3)$$

Совместное решение уравнений (2) и (3) приводит к выражению:

$$q_B = \frac{4\pi k h x (p_\phi - p_{нач})}{-\mu \ln 1,78 \frac{q_B}{4\pi x \sigma m h}}, \quad (4)$$

где m — пористость; h — мощность пласта; κ — пьезопроводность; p_ϕ — давление на фронте вытеснения, приведенное к плоскости, проходящей через середину вскрытой части пласта; $p_{нач}$ — начальное давление в пласте, приведенное к средней плоскости границы раздела «газ — вода»; σ — среднее значение газонасыщенности газоносной части пласта; k — проницаемость пласта; r_ϕ — радиус фронта вытеснения воды газом.

Если учесть, что

$$q_B = q_\Gamma \frac{T}{T_{CT}} \frac{p_{CTZ}}{p_\phi}$$

и уравнение (4) решить относительно репрессии, то получаем окончательно:

$$p_a - p_{нач} = \frac{q_\Gamma p_{CT} T z \mu \ln 1,78 \frac{q_\Gamma p_{CT} T z}{p_\phi T_{CT} 4\pi x \sigma m h}}{4\pi m h x p_\phi T_{CT}}, \quad (5)$$

или учитывая, что

$$K = x \frac{m\mu}{k}$$

получим:

$$\Delta_p = 0,18 q_\Gamma \frac{p_{CT} T z \mu}{p_\phi T_{CT} k h} \lg \frac{0,707 x \sigma m h T_{CT} p_\phi}{q_\Gamma p_{CT} T z}. \quad (6)$$

Из уравнения (6) видно, что при закачке газа в бесконечный однородный водоносный пласт постоянной мощности при постоянной репрессии расход газа будет практически тоже постоянным [4].

Уравнение (6) можно решать также графически, задаваясь различными значениями q_Γ и вычисляя p_ϕ .

Расчет циклической эксплуатации хранилищ газа, созданных в водоносных пластах

Все подземные хранилища, созданные в водоносных пластах, а также хранилища, сделанные на базе истощенных месторождений нефти и газа, характеризующихся водонапорными и упруговодонапорными режимами, должны рассчитываться с учетом продвижения пластовых вод, даже если подвижность воды невелика [3].

Основное условие устойчивой работы хранилища газа при активных пластовых водах выражается зависимостью:

$$p_{CT} - \frac{1}{T} \int_0^T p(t) dt = 0 \quad (7)$$

где T равно одному году или времени, кратному году; p_{cp} — давление в пласте, приведенное к среднему уровню раздела газа и воды.

Смысл выражения (7) состоит в том, что средневзвешенное по времени давление в подземном хранилище на протяжении времени, кратного числу циклов, должно быть равным начальному давлению в пласте, приведенному к уровню раздела «газ — вода».

Если среднее давление в подземном хранилище будет больше, то с течением времени газ оттеснит пластовую воду и может уйти за пределы «ловушки». Если среднее давление будет меньше, то вода постепенно заполнит все хранилище. Расчет циклической эксплуатации хранилища заключается в определении основных технологических показателей — минимального p_{min} и максимального p_{max} давлений в хранилище, активного Q_a и буферного Q_b объемов, максимального Ω_{max} и

минимального Ω_{\min} объемов норového пространства, занятого газом, числа эксплуатационных скважин n . Необходимо также определить значения предельных давлений в системе наземных строительных сооружений.

Выводы

1) В настоящее время в транспортных трубопроводных системах широко применяются подземные хранилища газа, создаваемые в природных средах, в т.ч. водоносных пластах.

2) Применение подземных хранилищ газа обусловлено неравномерностью потребления газа, особенно в крупных городах и населенных пунктах и формируются в основном отопительной нагрузкой.

3) Подземные хранилища газа менее опасны, чем наземные, а стоимость их намного ниже.

4) Подземные хранилища газа в водоносных пластах представляет собой искусственную газовую залежь, эксплуатируемую циклически.

5) При расчетах газоснабжения различают сезонные и часовые колебания спроса на газ, которые численно выражаются коэффициентами неравномерности.

6) При закачке газа в бесконечно однородный водоносный пласт постоянной мощности при постоянной репрессии расход газа будет практически постоянным.

7) Средневзвешенное по времени давление в подземном хранилище на протяжении времени, кратного числу технологических циклов, должно быть равным начальному давлению в водоносном пласте, приведенному к уровню раздела «газ – вода».

Список литературы

1. Закиров С.Г. Проектирование и разработка газовых месторождений. М., Недра, 1974. – 376 с.
2. Левыкин Е.В. Технологическое проектирование хранения газа в водоносных пластах. М., Недра, 1973. – 207 с.
3. Сидоренко М.В. Подземное хранилище газа в водоносных пластах. М., Недра, 1965. – 136 с.
4. Хейн А.Л. Гидрогазодинамический расчет подземных хранилищ газа. М., Недра, 1968. – 314 с.

Рецензент: д-р техн. наук, доцент, М.А. Мирошник. Украинская государственная академия железнодорожного транспорта, г. Харьков.

Автор: Капцова Наталья Ивановна
Харьковский национальный университет городского хозяйства им. А.Н. Бекетова, Харьков, асистент.

ДО ПИТАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНОЇ ЕКСПЛУАТАЦІЇ ПІДЗЕМНИХ СХОВИЩ ГАЗУ, СТВОРЕНИХ У ВОДОНОСНИХ ПЛАСТАХ

Н.І. Капцова

Розглянуто технічні можливості зберігання газу в водоносних пластах. Наведено розрахунки нагнітання газу в водоносний пласт. Показано, що умова стійкої роботи сховища газу пропорційно тиску води в пласті, наведеному до середнього рівня розділу газу та води. Дано рекомендації по збільшенню терміну служби підземних сховищ газу в водоносних пластах.

Ключові слова: сховище, газ, водоносний пласт, нагнітання, експлуатація

TO THE PROBLEM TECHNOLOGICAL EXPLOITATION UNDERGROUND GAS STORAGE, WHICH IS STORED IN AQUIFERS

N.I. Kaptsova

Considered the technical possibilities of gas storage in aquifers. Shown Calculations of gas injection into an aquifer. It is shown that the stability condition of the gas storage proportional to the pressure of water in the reservoir, which corresponds to the average level of the section of gas and water. Show recommendations to increase the service life of underground gas storage in aquifers.

Keywords: storage, gas, aquifer, filling, exploitation