

УДК 531.781.2

КАПЦОВА Н.И., ассистент (Харьковский национальный университет городского хозяйства имени А.Н. Бекетова)

## Технологический расчет подземного хранилища газа

*Месторождения природного газа, как правило, находятся далеко от населенных и промышленных центров, поэтому газ необходимо подавать потребителю на значительные расстояния, используя для этого мощные магистральные газопроводы. Также газотранспортные системы надо эксплуатировать с полной нагрузкой, иначе себестоимость перекачки газа существенно возрастает. Однако потребление газа отличается значительной неравномерностью, вот почему соответствующий объем должны иметь и «аккумуляторы газа». Эти противоречия решаются либо установлением принудительного графика потребления газа, либо созданием специальных хранилищ, вмещающих избытки газа и способных отдавать их при необходимости.*

**Ключевые слова:** хранилище, газ, нагнетание, эксплуатация, месторождение, компрессорная станция, газораспределительный пункт.

### Введение

Сезонные колебания спроса на газ покрываются применением специальных хранилищ, создаваемых вблизи от потребителей на базе истощенных газовых пластов. Как правило, подземные хранилища газа менее опасны, чем надземные, а стоимость их намного ниже. Поэтому, там, где нет пористых пластов, пригодных для газохранилищ, но есть достаточно мощные и однородные отложения, например соли, газ можно хранить в полостях, вымываемых в этой формации. Эти подземные хранилища газа в пористой среде представляют собой искусственную газовую залежь, эксплуатируемую циклически, причем газодинамические процессы в них протекают значительно быстрее и носят ярко выраженный нестационарный характер [1, 2].

### Основные положения и методы исследования

Технологический расчет хранилища газа сводится к нахождению оптимального, т. е. соответствующего минимуму приведенных затрат, соотношения между основными показателями, определяющими режим эксплуатации хранилища. Эти показатели следующие:

- давление в основных узлах системы «пласт — скважина — газораспределительный пункт, компрессорная станция — газопровод», и его изменение при эксплуатации хранилища;
- расход газа по скважинам и его изменение в ходе эксплуатации хранилища;
- активный и буферный объемы газа;
- мощность компрессорной станции;
- диаметры и протяженность газотранспортной системы;

- схема размещения и основные параметры наземного оборудования — компрессоров, сепараторов, установок осушки газа и т. д.;

- конструкция и оборудование забоя эксплуатационных, наблюдательных и контрольных скважин.

Схемы обустройства подземного хранилища газа самые разнообразные в зависимости от конкретных условий. В общем, наиболее часто встречающемся случае в нее входит подводящий газопровод, компрессорная станция (КС), газораспределительный пункт (ГРП), лучевая система шлейфов, эксплуатационные скважины и пласт [4].

Работа подземного хранилища влияет на режим всей газотранспортной системы, поэтому рассчитывать его изолированно нельзя. Однако точное решение, как правило, очень сложное, поэтому ограничимся пока упрощенной расчетной схемой. Будем считать, что давление в месте подключения системы к магистральному газопроводу  $p_{гп}$  известно [3].

Рассмотрим период отбора газа. Связь между давлением в основных узлах газотранспортной системы и расходом газа определяют совместным решением уравнения истощения подземного хранилища и уравнения движения газа по участкам газотранспортной системы (по пласту, стволу скважины и шлейфам).

Эту систему уравнений легко решать последовательно, задаваясь количеством газа  $q$ , т. е. величиной отобранного из подземного хранилища газа. Для решения системы более удобно применять графоаналитический метод. Он состоит в следующем. В координатах  $p_{гп} — q_i$  строится система графиков, характеризующих продуктивность отдельных скважин для разных значений  $p_k$  (средневзвешенное давление в пласте). При этом используются уравнения притока

газа к скважині, урівняння руху газу по стволу скважини і по шлейфам. Спільне рішення цих рівнянь приводить до залежності

$$p_k^2 - p_{ГРП}^2 \theta^{2S} = a q_i^2 + b q_i^2 + \theta q_i^2 + c q_i^2 \theta^{2S}, \quad (1)$$

т. е.

$$p_{ГРП} = \sqrt{\frac{p_k^2 - a q_i^2 - (b + \theta + c q_i^2 \theta^{2S})}{\theta^{2S}}}. \quad (2)$$

Суммуємо криві  $p_{ГРП} = f(q_i, p_k)$ , знаходять систему кривих  $p_{ГРП} = \phi(q, p_k)$ . С іншої сторони, при заданому тиску в магістральному газопроводі неважко знайти залежність  $q = q(p_{ГРП})$  для підводячого газопроводу. Точки перетину кривих  $p_{ГРП} = f(q_i, p_k)$  і  $p_{ГРП} = \phi(q)$  дають найбільший витрату газу при роботі скважин без штуцера (рис. 1).

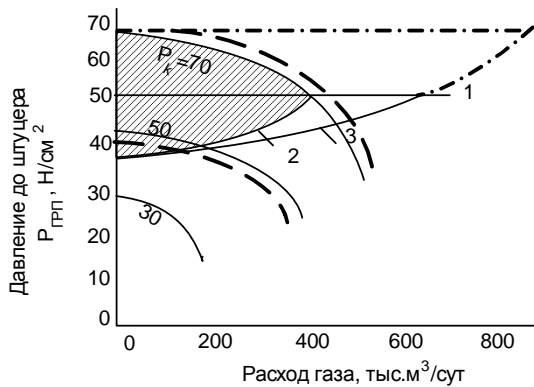


Рис. 1. Суммарная производительность подземного хранилища газа в зависимости от давления на ГРП (пунктиром показаны кривые максимального и минимального давления в хранилище, заштрихована область редуцированного давления): 1 — максимальное допустимое давление в подводящем газопроводе; 2, 3 — пропускная способность подводящего газопровода

Максимальный дебит скважин подземного хранилища обычно ограничен, как и при эксплуатации газовых месторождений, причем интенсивность отбора газа из хранилища при подводящем газопроводе (кривая 2) составляет в нашем примере 420 тыс. м<sup>3</sup>/сут. При давлении в хранилище 5 МПа в газопровод нельзя подать «самотеком» более 200 тыс. м<sup>3</sup>/сут [3, 4].

В момент полного истощения хранилища, т. е. тогда, когда активный объем отобран, и давление в пласте составляет 4,5 МПа в систему можно подать только 120 тыс. м<sup>3</sup>/сут газа. Увеличив диаметр

подводящего газопровода, можно увеличить расход подаваемого из подземного хранилища в газопровод газа (кривая 3 рис.1). При заданных параметрах подводящего газопровода расход газа можно увеличить за счет бурения дополнительных скважин, увеличения диаметра шлейфов и т. д. Площадь графика, ограниченная кривой максимальной продуктивности скважин и производительности подводящего газопровода, является областью редуцирования газа, с помощью которого можно получить любой дебит, не превосходящий той величины, которая характеризует работу скважин без штуцера.

При отборе газа из подземного хранилища в некоторых случаях, например при достаточно низком минимальном давлении в пласте и высоком давлении в газопроводе, целесообразно использовать компрессорную станцию, которая обычно используется в подземном хранилище [5].

Расчет отбора газа в данном случае выполнен совместным решением уравнений притока газа к компрессорной станции в составе газотранспортной системы (рис. 2).

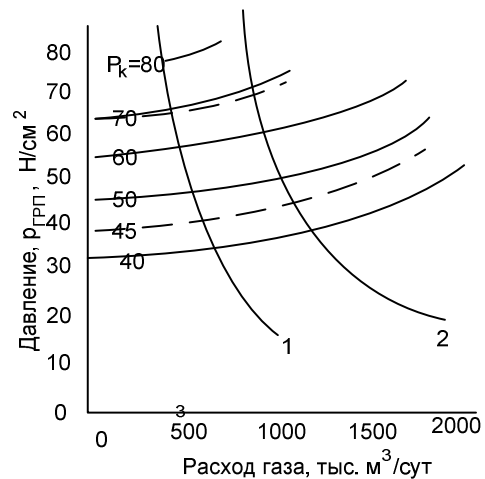


Рис. 2. Совместная работа скважин и компрессоров при закачке газа в подземное хранилище (пунктиром показаны максимальные и минимальные давления в подземном хранилище): 1 - работа одного компрессора; 2 - работа двух компрессоров

Схема обустройства подземного хранилища, равно как и характеристика устанавливаемого в нем технологического оборудования, при использовании истощенной залежи зависит от состояния оборудования и геолого-эксплуатационных условий объекта.

Необходимость форсированного отбора газа и его закачки приводит к коренной переделке всей системы сбора и подготовки газа.

По схеме обустройства хранилища (рис. 3) газ из магистрального газопровода 1 по подводящему коллектору поступает на компрессорную станцию 2, предварительно пройдя очистку в скрубберах 3. Если давление в газопроводе достаточно высокое, компрессорную станцию при нагнетании газа можно не использовать. Сжатый горячий газ очищается от масла в сепараторах 4, охлаждается в градирне 5 и проходит через маслоотделители 6.

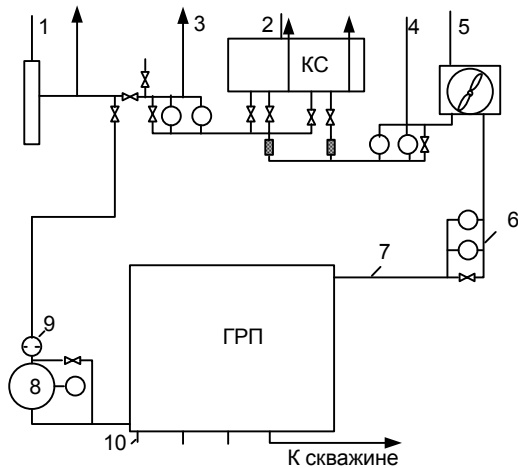


Рис. 3. Обустройство подземного хранилища газа

Большое значение для газа имеет его чистота. Присутствие в газе пыли, окалины, частиц масла приводит к засорению при забойной зоны и к уменьшению приемистости скважин. Учитывая это, в схему часто включают, кроме маслоотделителей, угольные адсорберы для полного удаления масла и керамические фильтры, которые задерживают угольную пыль.

По коллектору 7 очищенный газ поступает на газораспределительный пункт ГРП, где распределяется по скважинам и замеряется расходомерами. ГРП может находиться на территории КС и на значительном расстоянии от последней, если КС расположена в стороне от подземного хранилища.

Распределительную систему на подземном хранилище обычно выполняют лучевой. Во избежание обратного хода газа при остановках компрессоров ставят обратные клапаны. При отборе газа из подземного хранилища его направляют в сепаратор первой ступени, где отделяется капельная вода и твердые частицы, затем он поступает в сепаратор второй ступени газотранспортной системы. Затем газ проходит расходомер, обратный клапан и попадает в коллектор 10, ведущий на установку осушки 8. После осушки расход газа измеряют общим расходомером 9, затем газ поступает в подводящий газопровод. На коллекторе 10 устанавливают

предохранительный клапан на случай недопустимого повышения давления в низконапорной части газотранспортной системы.

В случае гидратообразования применяют те же меры, что и при эксплуатации газовых месторождений. Если газ отбирают из хранилища при помощи КС, то после очистки и компримирования он подается на установку осушки, а затем поступает в подводящий газопровод.

### Выводы

1) Сезонные колебания спроса на газ покрываются применением специальных хранилищ газа, создаваемых вблизи от потребителей на базе истощенных газовых пластов.

2) Технологический расчет хранилища газа сводится к нахождению оптимального соотношения между основными показателями, определяющими режим эксплуатации хранилища.

3) Схемы обустройства хранилища газа самые разнообразные в зависимости от конкретных условий.

4) Связь между давлением в основных узлах газотранспортной системы и расходом газа определяют совместным решением уравнения истощения хранилища и уравнения движения газа по участкам газотранспортной системы.

5) Схема обустройства подземного хранилища, равно как и характеристика устанавливаемого в нем оборудования, при использовании истощенной залежи зависит от состояния оборудования и геолого-эксплуатационных условий объекта.

### Литература

1. Аммян В.А., Васильева Н.П. Вскрытие и освоение нефтегазовых пластов. М., «Недра», 1972. – 336 с.
2. Васильевский В.Н., Петров А.И. Исследование нефтяных пластов и скважин. М., «Недра», 1973. – 344 с.
3. Зотов Г.А., Тверковкин С.М. Газодинамические методы исследования газовых скважин. М., «Недра», 1970. – 191 с.
4. Сидоренко М.В. Подземные хранилища газа. М., Недра, 1965. – 136 с.
5. Ширковский А.И., Задора Г.И. Добыча и подземное хранилище газа. М., «Недра», 1974. – 192 с.
6. Хейн А.Л. Гидрогазодинамический расчет подземных хранилищ газа. М., «Недра», 1968. – 314 с.

**КАПЦОВА Н.І. ТЕХНОЛОГІЧНИЙ РОЗРАХУНОК ПІДЗЕМНОГО СХОВИЩА ГАЗУ.** Розглянуті питання, пов'язані зі створенням підземних сховищ газу. Наведено технологічний розрахунок підземного сховища газу, визначальний режим його експлуатації. Показано, що зв'язок між тиском в основних вузлах газотранспортної системи і витратою газу можна визначити послідовним рішенням рівняння виснаження сховища і рівняння руху газу по ділянках системи. Дана принципова схема облаштування підземного сховища газу.

**Ключові слова:** сховище, газ, нагнітання, експлуатація, родовище, компресорна станція, газорозподільний пункт.

---

**KAPCOVA N.I. TECHNOLOGICAL CALCULATION OF UNDERGROUND GAS STORAGE FACILITY.** The deposits of natural gas are, as a rule, located far from centres of population and industry that is why gas must be transferred to consumer via long distances using powerful gas-main pipelines. Also gas-transport systems should be operated at full load otherwise the cost price of gas pumping substantially increases. However gas consumption is remarkable for its unevenness that is why "gas accumulators" must have corresponding volume. These contradictions can be solved either by establishing compulsory graphs of gas consumption or by the creation of special stores accommodating gas overstocks and capable to return them if necessary.

**Key words:** store facility, gas, jetting, operation, deposit, compressor station, gas distribution point.

Рецензент Мирошник М.А., д.т.н., професор кафедри СКС (УкрГАЗТ)

*Поступила 25.11.2014г.*