© С.Т. Штилькинд, 2006

УДК 622.272:

С.Т. Штилькинд

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВМЕСТИМОСТИ ПОДЗЕМНОГО РЕЗЕРВУАРА СЖАТОГО ГАЗА В КАМЕННОЙ СОЛИ ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИМ СПОСОБОМ

Семинар № 14

Использование подземных хранилищ газа (ПХГ) обеспечивает надежную работу Единой системы газоснабжения. ПХГ позволяют регулировать сезонную и пиковую неравномерность газопотребления, обеспечивать поставки газа в аварийных ситуациях и в периоды плановых ремонтов, а также создавать стратегические запасы.

ПХГ в каменной соли имеют ряд преимуществ по сравнению с другими типами подземных хранилищ. Они обеспечивают высокую производительность закачки и отбора газа, способны работать в пиковом режиме эксплуатации, позволяют осуществить в течение одного года несколько циклов отбора-закачки активного объема газа, имеют высокую гибкость системы регулирования спроса на газ при его значительных колебаниях. Другими достоинствами ПХГ в каменной соли являются относительная компактность наземного комплекса, высокий уровень экологической, промышленной и гражданской безопасности, а также высокая пожаро- и взрывобезопасность.

Одним из важнейших технологических показателей ПХГ является активный объем хранимого газа. Объем содержащегося в ПХГ газа, в основном, определяется вместимостью подземных резервуаров, а также максимально и минимально допустимыми значениями давления в них.

Определение вместимости ПХГ в каменной соли производится многократно как при строительстве, так и в процессе эксплуатации. Достижение расчетного объема выработки при строительстве является основанием для перехода на новую ступень размыва. При эксплуатации ПХГ в каменной соли вместимость резервуаров может изменяться вследствие различного рода деформаций вмещающего массива, поэтому также нуждается в поэтапном контроле.

Поскольку ПХГ являются долговременными инженерными сооружениями, технологический регламент эксплуатации хранилища должен включать порядок проведения замеров вместимости резервуаров с целью определения их реального состояния.

Основными методами определения вместимости подземного резервуара в каменной соли являются объемный, гидролокационный и термодинамический. При объемном способе вместимость рассчитывается по замеру объема вытесняемого из подземного резервуара строительного рассола. Гидролокационный метод основан на установлении конфигурации подземного резервуара с последующим расчетом его вместимости, а термодинамический - на изменении плотности газа в под-

земном резервуаре после закачки или отбора определенного количества газа.

Объемный метод применяется при определении первоначальной вместимости резервуара перед сдачей его в эксплуатацию, а также при проведении ремонтных работ и доразмыве. Точность измерения этим методом составляет 2-5 %.

Гидролокационный метод, как правило, используется для установления формы подземного резервуара после окончания его строительства. Расчет вместимости подземного резервуара гидролокационным методом приводит к большой погрешности (~10 %), поэтому его целесообразно использовать для предварительной оценки геометрического объема резервуара, либо в сочетании с объемным или термодинамическим.

Термодинамический метод определения вместимости является наиболее предпочтительным в силу своей универсальности. Этот метод позволяет определять вместимость при различных режимах эксплуатации: отборе, закачке, а также перекачке газа из резервуара известной вместимости в исследуемый резервуар. Кроме того, измерения необходимых технологических показателей производятся с минимальным нарушением режима эксплуатации ПХГ: без подъема эксплуатационных колонн и заполнения резервуара рассолом или водой (как при гидролокационном и объемном методах). Точность этого метода составляет 1-3 %.

Рассмотрим основные положения термодинамического способа определения вместимости подземного резервуара в каменной соли.

1. Определение вместимости подземного резервуара при закачке в него газа

1.1. Порядок проведения измерений

Измерение параметров, необходимых для расчета вместимости подземного резервуара, состоит из следующей последовательности операций.

1. Исследуемый резервуар переводят в режим хранения.

2. После перевода резервуара в режим хранения и выдержки в течение некоторого времени проводят измерения давления на устье скважины.

3. Проводятся измерения давления и температуры газа в подземном резервуаре. При отсутствии глубинного манометра производится измерение температуры по всей длине скважины.

4. В исследуемый резервуар производится закачка фиксированного количества газа.

5. После окончания закачки, по прошествии необходимого для установления переходных процессов вре-мени, проводят измерения давления и температуры газа.

1.2. Определение вместимости подземного резервуара

Вместимость подземного резервуара рассчитывается по формуле [2]

$$V = \frac{Q \cdot \rho_{стд}}{\rho_2(T_2, P_2) - \rho_1(T_1, P_1)},$$

где Q - объем при стандартных условиях ($P_{стд}$ = 0.101325 Па, $T_{стд}$ = 293,15 К [3]) закачанного в резервуар газа; $\rho_{стд}$ - плотность газа при стандартных условиях; T_1, T_2 - средние температуры газа в резервуаре до и после закачки; P_1, P_2 - средние давления газа в резервуаре до и после закачки; ρ_1, ρ_2 - средние плотности газа в резервуаре до и после закачки.

Полагается, что газ представляет собой смесь N отдельных компонент.

Связь между температурой, давлением, плотностью и составом смеси определяется уравнением состояния смеси. Используются три модели газовой сме-

$$\delta V = \sqrt{\left(\frac{\partial V}{\partial Q}\delta Q\right)^2 + \sum_{i=1}^{N}\left\{\left(\frac{\partial V}{\partial P_i^b}\right)^2 \delta P_i^{b2} + \left(\frac{\partial V}{\partial P_i^e}\right)^2 \delta P_i^{e2} + \left(\frac{\partial V}{\partial T_i^b}\right)^2 \delta T_i^{b2} + \left(\frac{\partial V}{\partial T_i^e}\right)^2 \delta T_i^{e2}\right\}},$$

си: идеальный газ, реальный газ, описываемый уравнением состояния Редлиха-Квонга [2] и природный газ с уравнением состояния по ГОСТ 30319 [4-7].

1.3. Вычисление погрешности вместимости подземного резер-вуара

Абсолютная квадратичная погрешность вычисления вместимости резервуара рассчитывается по формуле

$$\delta V = \frac{\rho_{стд}}{|\rho_2 - \rho_1|} \times$$

$$\times \sqrt{(\delta Q)^2 + \left(\frac{Q}{\rho_2 - \rho_1}\right)^2 \left\{ \left[\left(\frac{\partial \rho_2}{\partial P}\right)^2 + \left(\frac{\partial \rho_1}{\partial P}\right)^2 \right] \delta P^2 + \left[\left(\frac{\partial \rho_2}{\partial T}\right)^2 + \left(\frac{\partial \rho_1}{\partial T}\right)^2 \right] \delta T^2 \right\}},$$

где δQ, δP и δT - абсолютные погрешности измерения расходометра, манометра и термометра.

2. Определение вместимости группы подземных резервуаров при закачке в них газа

Баланс массы при закачке газа в группу резервуаров имеет вид

$$\sum_{i=1}^{N} \rho_i^b \cdot V_i + Q \cdot \rho_{стд} = \sum_{i=1}^{N} \rho_i^e \cdot V_i ,$$

где N - число резервуаров в группе; V_i - вместимость i-го резервуара; ρ^e, ρ^b - средние плотности газа в группе резервуаров до и после закачки (отбора). Отсюда вместимость группы подземных резервуаров представляет собой

$$V_{сум} = \sum_{i=1}^{N} V_i = \frac{Q \cdot \rho_{стд}}{\rho^e - \rho^b} .$$

2.1. Вычисление погрешности вместимости группы подземных резер-вуаров

Абсолютная квадратичная погрешность вычисления вместимости группы подземных резервуаров вычисляется по формуле

$$\delta V = \frac{\rho_1^b - \rho_2^e}{\rho_2^e - \rho_2^b} \sqrt{(\delta V_1)^2 + (V_1)^2 (A \cdot \delta P^2 + B \cdot \delta T^2)} ,$$

где

где P_i^b и T_i^b - средние давление и температура в i-м резервуаре до закачки, P_i^e и T_i^e - средние давление и температура в i-м резервуаре после закачки.

3. Определение вместимости подземного резервуара при перепуске газа из резервуара известной вместимости

Баланс массы, описывающий переток из газа из одного резервуара в другой, имеет вид

$$\rho_1^b \cdot V_1 + \rho_2^b \cdot V_2 = \rho_1^e \cdot V_1 + \rho_2^e \cdot V_2 ,$$

где V_1, V_2 - величины объемов, участвующих в перепуске резервуаров; ρ_1^b, ρ_2^b - плотности газа в резервуарах до перепуска; ρ_1^e, ρ_2^e - плотности газа в резервуарах после перепуска.

$$V_2 = V_1 \frac{\rho_1^b - \rho_1^e}{\rho_2^e - \rho_2^b} .$$

3.1. Вычисление погрешности вместимости подземного резервуара

Абсолютная квадратичная погрешность вычисления вместимости подземного резервуара при перепуске газа из него описывается формулой

$$A = \frac{1}{\left(\rho_1^b - \rho_1^e\right)^2}\left[\left(\frac{\partial \rho_1^b}{\partial P}\right)^2 + \left(\frac{\partial \rho_1^e}{\partial P}\right)^2\right] + \frac{1}{\left(\rho_2^e - \rho_2^b\right)^2}\left[\left(\frac{\partial \rho_2^b}{\partial P}\right)^2 + \left(\frac{\partial \rho_2^e}{\partial P}\right)^2\right],$$

$$B = \frac{1}{\left(\rho_1^b - \rho_1^e\right)^2}\left[\left(\frac{\partial \rho_1^b}{\partial T}\right)^2 + \left(\frac{\partial \rho_1^e}{\partial T}\right)^2\right] + \frac{1}{\left(\rho_2^e - \rho_2^b\right)^2}\left[\left(\frac{\partial \rho_2^b}{\partial T}\right)^2 + \left(\frac{\partial \rho_2^e}{\partial T}\right)^2\right]$$

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Методика* определения вместимости подземного резервуара сжатого газа в каменной соли. – М.: Государственный газовый концерт «Газпром», 1990, 48 с.
2. *Рид Р., Праусниц Д., Шервуд Т.* Свойства газов и жидкостей. – Л.: Химия, 1982, 702 с.
3. *Варгафтик Н.Б.* Справочник по теплофизическим свойствам газов и жидкостей. – М.: Наука, 1972, 720 с.
4. ГОСТ 30319.0-96. Газ природный. Методы расчета физических свойств. Общие положения. М. ИПК Издательство стандартов, 2001.
5. ГОСТ 30319.1-96. Газ природный. Методы расчета физических свойств. Определение физических свойств природного газа, его компонентов и продуктов его переработки. М. ИПК Издательство стандартов, 2002.
6. ГОСТ 30319.2-96. Газ природный. Методы расчета физических свойств. Определение коэффициента сжимаемости. М. ИПК Издательство стандартов, 2002.
7. ГОСТ 30319.3-96. Газ природный. Методы расчета физических свойств. Определение физических свойств по уравнению состояния. М. ИПК Издательство стандартов, 2002.

Коротко об авторах

Штилькинд С.Т. – аспирант, кафедра «Строительство подземных сооружений и шахт», Московский государственный горный университет.