



УКРАЇНА

(19) UA (11) 87751 (13) C2  
(51) МПК (2009)  
E21F 17/16 (2009.01)  
B65G 5/00

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ  
І НАУКИ УКРАЇНИДЕРЖАВНИЙ ДЕПАРТАМЕНТ  
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ  
ВЛАСНОСТІОПИС  
ДО ПАТЕНТУ НА ВІНАХІД

(54) СПОСІБ ОПТИМАЛЬНОЇ ЕКСПЛУАТАЦІЇ ПІДЗЕМНИХ СХОВИЩ ПРИРОДНОГО ГАЗУ У ПОКЛАДАХ З ПРУЖНО-ВОДОНАПІРНИМ РЕЖИМОМ ЇХ ВИСНАЖЕННЯ

1

(21) а200713624  
(22) 06.12.2007  
(24) 10.08.2009  
(46) 10.08.2009, Бюл.№ 15, 2009 р.  
(72) ГІМЕР РОМАН ФЕДОРОВИЧ, ГІМЕР ПЕТРО РОМАНОВИЧ, ГІМЕР РОМАН РОМАНОВИЧ, ДЕРКАЧ МИХАЙЛО ПЕТРОВИЧ  
(73) ІВАНО-ФРАНКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ НАФТИ І ГАЗУ  
(56) UA 8317 U, B65G5/00, 15.07.2005  
GB 961415 A, B65G5/00, 24.06.1964  
RU 2301895 C1, E21F16/16, 27.06.2007  
US 2009013697 A1, F17C5/00, 15.01.2009  
WO 2004063621 A2, E21B43/12, 29.07.2004  
(57) Спосіб оптимальної експлуатації підземних сховищ природного газу у покладах з пружно-

2

водонапірним режимом їх виснаження, згідно з яким циклічно здійснюють закачування і відбір газу для споживачів, який відрізняється тим, що циклічну експлуатацію пластового покладу газосховища здійснюють при середньому значенні тиску в сховищі, що дорівнює початковому тиску в покладі  $P_{\text{сер}}=P_o$  або тиску насичення підпірних пластових вод метаном в покладі  $P_{\text{сер}}=P_n$ , де:

$$P_{\text{сер}} = \frac{P_{\text{max}} + P_{\text{min}}}{2} - \text{середнє значення пластово-}$$

го тиску в підземному сховищі газу,  
 $P_o$  - початкове значення зведеного тиску в покладі,  
 $P_n$  - тиск насичення підпірних пластових вод метаном.

Вінахід відноситься до газової промисловості, експлуатації підземних сховищ природного газу (ПСГ), створених у виснажених покладах з пружно-водонапірним режимом їх розробки.

Циклічна експлуатація підземного сховища природного газу, створеного у покладі з пружно-водонапірним режимом його виснаження на ustalених режимах, характеризується гармонійною кривою зміни в часі основних показників газосховища, максимального і мінімального зведеного тисків у ПСГ, при нагнітанні і відборі газу, навколо його середнього значення [1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11].

Але до сих пір враховуються такі відмінності в експлуатації ПСГ від розробки газових родовищ, як:

- високі темпи відбору (нагнітання) природного газу (протягом року) на рівні 0,4-0,6 об'єму запасів;
- велика кількість експлуатаційно-нагнітальних свердловин;
- знакоперемінні навантаження на свердловини (експлуатаційні колони, їх кріплення, стан привісної зони, тощо).

У зв'язку із падінням пластового тиску на кінцевій стадії розробки родовища, у поклад починає активно притікати підшовна пластова вода з во-

доносного басейну, що підстиляє газовий поклад. Підшовна вода всіх родовищ є газонасиченою, причому тиск насичення води газом, практично, дорівнює пластовому гідростатичному тиску, для даної глибини залягання водоносного шару. За складом, розчинений газ збігається з газом самого родовища, тобто із вмістом метану більше 95%. Об'єм розчиненого метану збільшується пропорційно гідростатичного тиску, і знижується при зростанні температури рідини. При зниженні тиску у водоносному басейні з води буде виділятися метан, який має повне насичення. Для визначення впливу виділення газу на об'єми заводнення покладу, а також для визначення режиму оптимальної експлуатації ПСГ необхідно, по-перше, знати величину тиску насичення природним газом (метаном) нижче від газо-водяного контакту (ГВК) у будь-якій точці водоносного басейну, а, по-друге, закономірність його виділення при зниженні тиску. В практиці розробки газових покладів з пружно-водонапірним режимом їх виснаження, для прогнозування процесу заводнення досі не враховувався фактор виділення розчиненого у воді метану. На підставі проведених авторами досліджень на завершальній стадії розробки родовища цей

(19) UA (11) 87751 (13) C2

фактор має суттєве значення для визначення оптимального режиму експлуатації ПСГ.

На сьогодні не відомі джерела інформації, які б використовували даний фактор для обчислення тиску, при якому здійснюють оптимальний режим експлуатації ПСГ у покладах з пружно-водонапірним режимом їх виснаження.

Задача, що ставилась при створенні винаходу розробка способу оптимальної експлуатації ПСГ у покладах з пружно-водонапірним режимом їх виснаження, який би шляхом визначення режимних параметрів покладу, за зміною цих параметрів визначав режим експлуатації ПСГ, забезпечував підвищення коефіцієнту газовилучення і тим забезпечував оптимальний режим експлуатації ПСГ.

Поставлена задача вирішується завдяки тому, що у способі оптимальної експлуатації ПСГ у покладах з пружно-водонапірним режимом їх виснаження циклічну експлуатацію пластового покладу газосховища здійснюють при середньому значенні тиску в сховищі на рівні початкового тиску в покладі:

$$P_{\text{сер}} = P_o,$$

або тиску насичення підпірних пластових вод метаном у масивних покладах:

$$P_{\text{сер}} = P_n,$$

де  $P_{\text{сер}}$  - середнє значення пластового тиску в ПСГ ( $P_{\text{сер}} = \frac{P_{\text{max}} + P_{\text{min}}}{2}$ ),

$P_o$  - початкове значення зведеного тиску в покладі;

$P_n$  - тиск насичення підпірних пластових вод метаном.

Одна з головних умов оптимальної експлуатації ПСГ - це те, що об'єм активного газу в ПСГ має бути заключний в інтервал тисків  $P_{\text{max}}$  і  $P_{\text{min}}$ , що забезпечує безперебійну подачу газу в магістральний газопровід, який обслуговується. Цей об'єм може бути забезпечений за умови досягнення середнього тиску в ПСГ на рівні початкового тиску в покладі, який відповідає тиску насичення підпірних пластових вод метаном.

Проявлення пружно-водонапірного режиму, при експлуатації родовищ природного газу на виснаження, визначається із графічної залежності зведеного пластового тиску від сумарного відбору газу ( $P_t = f(\sum Q_i)$ ) або із рівняння матеріального балансу газового покладу [3] поточний об'єм заводнення покладу дорівнює:

$$Q_B = \frac{\sum Q_t - \Omega_o \cdot (P_o - P_t)}{P_t},$$

де  $\Omega_o$  - початкове значення газонасиченого об'єму покладу;

$P_o$  - початкове значення зведеного тиску в покладі;

$\sum Q_i$  - сумарний відбір газу;

$P_t$  - поточне значення зведеного тиску в покладі (на кінець року).

У баланс включають відомі (вимірні) об'ємні втрати пластової води, що виносяться и свердловин на поверхню.

До прикладу, в покладі IV горизонту Опарського ПСГ  $P_{\text{min}} = 27 \cdot 10^5 \text{ Па}$ ,  $P_{\text{max}} = 70 \cdot 10^5 \text{ Па}$ , тоді  $P_{\text{сер}} = 48,35 \cdot 10^5 \text{ Па}$  при значенні початкового тиску  $P_o = 27 \cdot 10^5 \text{ Па}$ . Тобто майже на  $13 \cdot 10^5 \text{ Па}$  менший і в поклад притекло  $2,4 \text{ млн. м}^3$  води, або 20,5% від початкового газонасиченого об'єму покладу  $\Omega_o = 12,5 \text{ млн. м}^3$ . Така картина спостерігається у всіх газосховищах з пружно-водонапірним режимом виснаження їх покладів (в V і VI горизонтах Опарського ПСГ в масивних покладах XVI горизонту Більче-Волицько-Угерського ПСГ).

Добутки об'єму відбору газу  $Q_r$  і заводнення покладу  $Q_B$  на час  $\Delta t$ , величини  $Q_r \cdot \Delta t$  і  $Q_B \cdot \Delta t$  відповідно, характеризують темпи відбору газу і темпи заводнення покладу за період часу  $\Delta t$  (місяць, квартал, рік).

Згідно теорії пружно-водонапірного режиму в замкнених водоносних басейнах та особливостей його проявлення в склепінних газових покладах, у процесі їх експлуатації виділяють дві часові фази його проявлення:

- 1-а фаза -  $t_1$ , час розповсюдження хвилі зміни тиску в газовому, а, пізніше, і у водоносному пласті, поки хвиля дійде до межі пласта з радіусом контуру  $R_k$ , і постійним значенням тиску на контурі ( $P_k = P_o = \text{const}$ );

- 2-а фаза -  $t_2$ , коли починається зниження тиску на контурі пласта (границі басейну) і задіяний весь газонасний басейн ( $Q_{\text{зап}} = \Delta W$ ).

Згідно закону Гука коефіцієнт об'ємного стиснення рідини дорівнює:

$$\beta_p = \frac{1}{K} = \frac{1}{W_o} \cdot \frac{\Delta W}{P_o},$$

де:  $K = 2,1582 \cdot 10^9 \text{ Па}$  - коефіцієнт об'ємної пружності води,

$\Delta W = Q_B$  - об'єм води, що може притекти в газовий поклад.

Знак мінус (-) у формулі вказує, що при стисненні води її об'єм зменшується.

Так, в покладі IV горизонту Опарського ПСГ початкове значення газонасиченого об'єму складає  $\Omega_o = 12,5 \text{ млн. м}^3$  і питоме заводнення покладу дорівнює  $1,1982 \text{ млн. м}^3 / \text{ат}$  пластового тиску.

Гармонійна і знакоперемінна зміна тисків характеризує тільки комерційну сторону підземного зберігання газу, а величина середнього тиску в покладі ( $P_{\text{сер}}$ ), який формується протягом певного часу  $t$  (3-5 років і більше) визначає величину поточного (стабілізованого) газового порового об'єму покладу  $\Omega_1$  та об'єму активного газу ПСГ. Тому в газосховищах, що створюються, формуються та експлуатуються у виснажених покладах з пружно-водонапірним режимом експлуатації, середній тиск у ПСГ повинен бути не нижчим від початкового тиску газу або дорівнювати його величині:

$$P_{\text{сер}} = \frac{P_{\text{max}} + P_{\text{min}}}{2} \geq P_o = \text{const},$$

де  $P_{\min}$ ,  $P_{\max}$  - мінімальний і максимальний тиск в ПСГ за сезон.

Якщо сезон відбору природного газу із газосховища не закінчений, а мінімальний тиск у газосховищі вже досягнутий, то свердловини газосховища закривають - починається так званий нейтральний період (весною) і ведуться підготовчі роботи перед нагнітанням газу.

Якщо  $P_{\text{сер}}=P_o$ , то існує установлена рівновага пружного запасу покладу газу ( $P_o \cdot \Omega_o = O_{\text{зан}}$ ) і пружного запасу водоносної частини пласта ( $\Delta W$ ), в якому створено ПСГ (що характерно для газових родовищ нижньосарматського віку Прикарпаття).

У газових родовищах мезозою (крейдянні пісковики; до прикладу, XVI горизонт Угерського ПСГ, Більче-Волицького ПСГ та ін) та в юрських вапняках (Рудківське газоконденсатне родовище) величина тиску насичення пластових вод метаном  $P_n=6\text{МПа}$ , що в 1,75 рази менше за величину гідростатичного початкового тиску. Тому при створенні ПСГ у виснажених масивних покладах (до прикладу, у XVI горизонті Угерського та Більче-Волицького газових родовищ) середній тиск у них повинен бути не нижчий за тиск насичення (метаном) підпірних пластових вод ( $P_{\text{сер}} \geq P_n$ ).

Оптимальним буде режим експлуатації ПСГ, що створені у пластових покладах з пружно-водонапірним режимом їх експлуатації на виснаження, при рівності величин середнього тиску у газосховищі і початкового пластового тиску в покладі ( $P_{\text{сер}}=P_o$ ) або тиску насичення підпірних пластових вод метаном у масивних покладах ( $P_{\text{сер}}=P_n$ ).

Для отримання позитивного ефекту тиск у заводній зоні необхідно підвищити до величини тиску насичення на рівні початкового положення ГВК.

Зниження величини середнього тиску в газосховищі нижче від його початкового значення ( $P_{\text{сер}} < P_o$ ) означатиме не тільки порушення темпу відбору (нагнітання) газу ( $Q_r \cdot \Delta t$ ), а й зміну - ріст темпу заводнення покладу ( $Q_b \cdot \Delta t$ ).

Якщо взяти до уваги, що коефіцієнт об'ємної пружності води  $K=2,1582 \cdot 10^9 \text{Па}$ , а коефіцієнт надстисливості газу  $\alpha \leq 1$  (тобто вода, практично, нестиплива рідина), то очевидні причини різкого росту (збільшення темпу) заводнення свердловин і покладу (до прикладу, XVI горизонт Угерського ПСГ), погіршення продуктивної характеристики свердловин [11] (до прикладу, VI горизонт Опарського ПСГ, початок інтенсивного заводнення), збільшення виносу пластової води із свердловин при відборі газу.

Спосіб оптимальної експлуатації ПСГ у покладах з пружно-водонапірним режимом їх виснаження здійснюють наступним чином.

За встановленими, на гирлі експлуатаційних свердловин, вимірювальними приладами періодично визначають, для контролю, режимні параметри свердловин, такі як максимальний ( $P_{\max}$ ) та мінімальний ( $P_{\min}$ ) - сезонні тиски в ПСГ, початкову газонасиченість об'єму покладу ( $\Omega_o$ ), тиск насичення підпірних пластових вод метаном ( $P_n$ ), поточний об'єм заводнення покладу ( $Q_b$ ). За мінімальним та максимальним вимірними тисками

визначають середнє значення пластового тиску в ПСГ, як

$$P_{\text{сер}} = \frac{P_{\max} + P_{\min}}{2},$$

який повинен дорівнювати початковому зведеному тиску в покладі ( $P_o$ ) і відповідати тиску насичення підпірних пластових вод метаном ( $P_n$ ). Оскільки середній тиск у покладі ( $P_{\text{сер}}$ ) формується протягом певного часу (3-5 років), то для доведення значення  $P_{\text{сер}}$  до початкового значення зведеного тиску в покладі ( $P_o$ ), що відповідає тиску насичення підпірних пластових вод метаном ( $P_n$ ), необхідно підвищувати значення  $P_{\text{сер}}$  шляхом зменшення (або припинення) відбору газу з покладу та підтримання  $P_{\max}$  на рівні запроєктованої величини. Експлуатацію ПСГ здійснюють за умови досягнення рівності  $P_{\text{сер}}=P_n$ .

Перелік використаних джерел:

1. Баранов А.В., Шмигля П.Т., Федутенко А.М. та ін. Технологічна схема створення підземного сховища газу в Угерсько. Звіт з НДР УкрНДІгаз. - Харків, 1969. - 184с. (російською мовою).
2. Баранов А.В., Шмигля П.Т., Федутенко А.М. та ін. (УкрНДІгаз), Гімер Р.Ф., Ткачук А.1. (ЦНДВР). Технологічна схема створення підземного сховища газу в Опарах. Звіт з НДР УкрНДІгаз. - Харків, 1969. - 192с. (російською мовою).
3. Гімер Р.Ф. Прогноз заводнення і зниження тиску в газовому покладі з пружно-водонапірним режимом. ВНДІгаз, Москва. - ГПУ, дисертаційна робота к.т.н., Стрий, 1968. - 217с. (російською мовою).
4. Гімер Р.Ф., Павлюх Й С, Городецька М.А. та ін. Технологічна схема створення підземного сховища газу в Дашаві Звіт з НДР ЦНДВР, ГПУ - Стрий, 1972 - 144с. (російською мовою).
5. Гімер Р.Ф., Грудз В.Я., Кучеровська Л.М. Технологічний проект дослідно-промислових робіт по створенню укрупненого ПСГ в Дашаві. Звіт з НДР №315 (етапи I-II), ІФІНГ - Івано-Франківськ, 1974. - № державної реєстрації 74073344 (російською мовою).
6. Гімер Р.Ф., Дмитрієвський І.М., Грудз В.Я. та ін. Технологічний проект з дослідно-промислових робіт з переведу XVI горизонту Угерського родовища в режим ПСГ Звіт з НДР №315 (етапи I-II), ІФІНГ. - Івано-Франківськ, 1975. - № державної реєстрації 7429923 (російською мовою).
7. Гімер Р.Ф., Андрішин М.П., Грудз В.Я. Електромодельовання газодинамічних процесів в Угерському ПСГ (в XIV-XV горизонтах) при нагнітанні і відборі газу Звіт з НДР №145/79, ІФІНГ - Івано-Франківськ, 1979. - № державної реєстрації 7905113. - 92с. (російською мовою).
8. Гімер Р.Ф., Андришин М.П., Грудз В.Я. Електромодельовання газодинамічних процесів в Угерському ПСГ (в XIV-XV горизонтах) при нагнітанні і відборі газу Звіт з НДР №205/80-5 (етапи V-VIII), ІФІНГ - Івано-Франківськ, 1980 - № державної реєстрації 80017761 -93с. (російською мовою).
9. Гімер Р.Ф., Андришин М.П., Грудз В.Я. Електромодельовання газодинамічних процесів в Опарському ПСГ Звіт з НДР №5/81-3, ІФІНГ - Івано-Франківськ, 1981 - 79с. (російською мовою).

7

10. Гімер Р.Ф., Романюк В.І, Григораш Г.В., Городівський Л.В. Корективи технологічної схеми створення ПСГ Опари Звіт з НДР №39/84-1, ІФІНГ - Івано-Франківськ, 1984 - № державної реєстрації 01830037261 - 133с. (російською мовою).

87751

8

11. Степанов М.Г., Дубіна Н.І., Васільєв Ю.М. Вплив розчиненого в пластових водах газу на заводнення газових свердловин. - Москва, ООО «Надра», «Бізнесцентр», 1994 - 124с. (російською мовою).