



(51) МПК
E21B 47/10 (2012.01)
G01M 3/00 (2006.01)
B65G 5/00 (2006.01)

ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
 ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(21)(22) Заявка: 2013118622/03, 23.04.2013

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:
 23.04.2013

Приоритет(ы):

(22) Дата подачи заявки: 23.04.2013

(45) Опубликовано: 20.08.2014 Бюл. № 23

(56) Список документов, цитированных в отчете о поиске: RU 2167288 C2, 20.05.2001 . SU 1440821 A1, 30.11.1988. RU 2306540 C2, 20.09.2007 . RU 2439517 C1, 10.01.2012 . RU 2209408 C2, 27.07.2003 . RU 2458838 C1, 20.08.2012 . EP 442595 A2, 21.08.1991

Адрес для переписки:

115583, Москва, а/я 130, ООО "Газпром ВНИИГАЗ", Отдел интеллектуальной собственности

(72) Автор(ы):

Солдаткин Сергей Григорьевич (RU),
 Рогов Евгений Анатольевич (RU),
 Бебешко Инна Григорьевна (RU)

(73) Патентообладатель(и):

Общество с ограниченной ответственностью
 "Научно-исследовательский институт
 природных газов и газовых технологий-
 Газпром ВНИИГАЗ" (RU)

(54) СПОСОБ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ГЕРМЕТИЧНОСТИ ПОДЗЕМНЫХ ХРАНИЛИЩ ГАЗА

(57) Реферат:

Изобретение относится к газодобывающей промышленности. Техническим результатом является упрощение контроля герметичности, что приводит к повышению надежности и безопасности эксплуатации подземных хранилищ газа (ПХГ). В предлагаемом способе осуществляют циклическое воздействие на пласт, при котором каждый цикл включает закачку газа в пласт с последующим отбором газа. Воздействие на пласт осуществляют, по меньшей мере, в течение 10 циклов. В каждом цикле периодически одновременно измеряют текущее пластовое давление (P_t^Φ) и объем отбора (или

закачки) газа. С учетом измеренных параметров определяют расчетное давление в ПХГ (P_t^P) для режима эксплуатации хранилища без утечек газа и для режима эксплуатации хранилища с утечками газа. Затем определяют функцию (F) как среднеарифметическое значение отклонений (P_t^P) от (P_t^Φ) , полученных при каждом i-м измерении, для режима эксплуатации хранилища без утечек газа и функцию (F_y) для режима эксплуатации хранилища с утечками газа и при выполнении неравенства $F_y < F$ делают вывод о наличии утечек газа в хранилище. 1 табл.

RU 2 526 434 C1

RU 2 526 434 C1



FEDERAL SERVICE
FOR INTELLECTUAL PROPERTY

(51) Int. Cl.
E21B 47/10 (2012.01)
G01M 3/00 (2006.01)
B65G 5/00 (2006.01)

(12) **ABSTRACT OF INVENTION**

(21)(22) Application: 2013118622/03, 23.04.2013

(24) Effective date for property rights:
23.04.2013

Priority:

(22) Date of filing: 23.04.2013

(45) Date of publication: 20.08.2014 Bull. № 23

Mail address:

115583, Moskva, a/ja 130, OOO "Gazprom
VNIIGAZ", Otdel intellektual'noj sobstvennosti

(72) Inventor(s):

Soldatkin Sergej Grigor'evich (RU),
Rogov Evgenij Anatol'evich (RU),
Bebeshko Inna Grigor'evna (RU)

(73) Proprietor(s):

Obshchestvo s ogranichennoj otvetstvennost'ju
"Nauchno-issledovatel'skij institut prirodnykh
gazov i gazovykh tekhnologij-Gazprom
VNIIGAZ" (RU)

(54) **DETERMINATION OF UNDERGROUND GAS STORE TIGHTNESS**

(57) Abstract:

FIELD: oil-and-gas industry.

SUBSTANCE: in compliance with this method, seam is subjected to cycling, every cycle including gas injection therein with subsequent gas withdrawal. Cycling includes at least 10 cycles. Current seam pressure (P_t^f) and gas withdrawal (or injection) volume are measured at regular intervals in every cycle. Measured parameters allowed for design pressure in underground storage facility (P_t^d) is determined for

facility operation without gas leaks and with leaks. Function (F) is defined as mean arithmetic value of (P_t^d) deviations from (P_t^f) obtained at every i^{th} measurement for operation without leaks and function (F_l) for operation with leaks. Given $F_l < F$, leaks are considered available.

EFFECT: simplified control, higher safety and reliability.

1 tbl

R U
2 5 2 6 4 3 4
C 1

R U
2 5 2 6 4 3 4
C 1

Изобретение относится к газодобывающей промышленности и может быть использовано для контроля безопасности эксплуатации подземных хранилищ газа (ПХГ) с газовым режимом.

Известен гидрогеохимический способ определения межпластовых перетоков газа на газовых месторождениях (Агишев А.П. Межпластовые перетоки газа при разработке газовых месторождений. - М.: Недра, 1966, с. 79-88), в котором в стадии разведки месторождения определяют постоянный гидрогеохимический фон по всему вертикальному разрезу. Затем накапливаемые данные о гидрогеохимической обстановке исследуемых интервалов разреза сопоставляют с естественным фоном месторождения и определяют тенденции намечающихся изменений на том или ином участке. Недостатком данного способа является сложность его выполнения, обусловленная необходимостью исследования начального гидрогеохимического фона до закачки газа в хранилище. Кроме того, применение указанного способа на ПХГ связано со значительными затратами на бурение контрольных скважин, т.к. гидрогеохимические исследования необходимо проводить в специально пробуренных контрольных скважинах, расположенных в контуре газовой залежи, а пробы воды необходимо отбирать в хорошо изолированных скважинах, сохраняя пластовые условия (температуру и давление), что приводит к ошибкам при определении герметичности ПХГ.

Наиболее близким к предложенному способу (прототипом) является способ исследования динамических процессов газовой среды ПХГ (патент РФ №2167288, E21B 47/00, опубл. 20.05.2001), включающий введение в пласт через разные нагнетательные скважины индикаторов в газовом носителе, отбор проб газа из добывающих скважин и определение концентраций индикаторов во времени в продукции добывающих скважин. В период максимального давления газа выбирают центральные нагнетательные скважины, расположенные в одном или нескольких эксплуатационных горизонтах, исходя из системы расположения добывающих скважин по площади, при этом используют индикаторы нескольких цветов, а закачивают индикатор одного цвета в виде газонаполненных микрогранул со степенью дисперсности 0,5-0,6 мкм, состоящих из смеси поликонденсационной смолы и органического люминесцирующего вещества в расчетном количестве. В период снижения давления до минимальной средневзвешенной по площади величине одновременно отбирают пробы газа из добывающих скважин, расположенных в одном или нескольких эксплуатационных горизонтах, и определяют изменения во времени концентрации индикаторов каждого цвета и объемной скорости газа всех добывающих скважин, находят суммарное количество индикатора каждого цвета, поступившего в каждую добывающую скважину, по заданной формуле. Строят карты и по величине долей мигрирующего газа выявляют направления внутрипластовых и межпластовых перетоков и оконтуривают газодинамически различные зоны. Недостатком известного способа является необходимость проведения идентификации индикаторов по пяти параметрам, что усложняет реализацию способа и снижает достоверность исследования динамических процессов газовой среды.

Задачей, на решение которой направлено предлагаемое изобретение, является разработка способа определения герметичности ПХГ с газовым режимом, позволяющего своевременно определять утечки газа из ПХГ на протяжении всего периода эксплуатации.

Техническим результатом, на достижение которого направлено предлагаемое изобретение, является упрощение контроля герметичности, что приводит к повышению надежности и безопасности эксплуатации ПХГ.

Указанный технический результат достигается за счет того, что в предлагаемом способе определения герметичности ПХГ осуществляют циклическое воздействие на пласт, при котором каждый цикл включает закачку газа через эксплуатационные скважины в пласт до достижения величины пластового давления, не превышающего
 5 максимально допустимого проектного значения, с последующим отбором газа до достижения величины пластового давления не ниже минимально допустимого проектного значения. Воздействие на пласт осуществляют, по меньшей мере, в течение 10 циклов. При этом в каждом цикле периодически одновременно измеряют текущее
 10 пластовое давление (P_t^Φ) и объем отбора (или закачки) газа, затем с учетом измеренных параметров определяют расчетное давление в подземном хранилище газа (P_t^P) для режима эксплуатации хранилища без утечек газа из соотношения

$$15 \quad \Omega_0 P_t^P / Z_t - \Omega_0 P_0 / Z_0 = \int_0^t q_t dt, \quad (1)$$

где Ω_0 - газонасыщенный поровый объем ПХГ,

P_0 - начальное пластовое давление,

P_t^P - расчетное пластовое давление на момент времени t ,

20 Z_0 - начальный коэффициент сверхсжимаемости газа,

Z_t - коэффициент сверхсжимаемости газа на момент времени t ,

q_t - объем закачки (или отбора) газа на момент времени t ;

и для режима эксплуатации хранилища с утечками газа из соотношения

$$25 \quad \Omega_0 P_t^P / Z_t - \Omega_0 P_0 / Z_0 = \int_0^t q_t dt - C_y \int_0^t \frac{P_t^P}{Z_t} dt, \quad (2)$$

где C_y - коэффициент пропорциональности утечки газа.

Затем определяют функцию (F) как среднеарифметическое значение отклонений
 30 (P_t^P) от (P_t^Φ), полученных при каждом i -м измерении, для режима эксплуатации хранилища без утечек газа

$$F = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |P_{ti}^P - P_{ti}^\Phi|, \quad (3)$$

35 где n - количество замеров пластового давления,

i - порядковый номер замера пластового давления;

и функцию (F_y) для режима эксплуатации хранилища с утечками газа

$$40 \quad F_y = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |P_{ti}^P - P_{ti}^\Phi|, \quad (4)$$

и при выполнении неравенства $F_y < F$ делают вывод о наличии утечек газа в хранилище.

При эксплуатации ПХГ утечки газа в основном фиксируют на позднем этапе их развития, то есть при проявлении газа на поверхности и загазованности контрольных горизонтов, что осложняет дальнейшие поиски конкретной причины утечки газа и
 45 может привести к серьезным осложнениям при эксплуатации ПХГ.

Для ПХГ изменение объема газа в пласте во времени определяют из уравнения $dV_t/dt=q_t$ (5)

где V_t - объем газа в пласте в момент времени t ;

t - время;

q_t - объем отбора (или закачки) газа в единицу времени t .

Переходя к интегральному виду, получаем

$$\int_0^t dV_t = \int_0^t q_t dt \quad (6)$$

$$V_t - V_0 = \int_0^t q_t dt, \quad (7)$$

где V_0 - объем газа в начальный момент времени.

Из уравнения материального баланса (Закиров С.Н. «Проектирование и разработка газовых месторождений». - М.: Недра, 1974 г., с. 28-35) известно

$$V_t = \Omega_t P_t / Z_t, \quad (8)$$

где Ω_t - газонасыщенный поровый объем пласта в момент времени t ;

P_t - пластовое давление газа в момент времени t ;

Z_t - коэффициент сверхсжимаемости газа в момент времени t .

Уравнение (3) для ПХГ с газовым режимом примет вид

$$\Omega_0 \frac{P_t}{Z_t} - \Omega_0 \frac{P_0}{Z_0} = \int_0^t q_t dt \quad (9)$$

Коэффициент сверхсжимаемости (Z) зависит от состава газа, температуры, давления и является справочным показателем (Требин Ф.А. «Добыча природного газа». - М.: Недра, 1976 г., с. 78-85). Значения Z можно с высокой точностью аппроксимировать полиномом вида

$$Z_t = aP_t^2 - bP_t + c, \quad (10)$$

где a, b, c - коэффициенты полинома.

Таким образом, режим эксплуатации ПХГ с газовым режимом описывают через измеряемые параметры отбора (закачки) газа и пластового давления следующей системой уравнений

$$\begin{cases} \Omega_0 \frac{P_t}{Z_t} - \Omega_0 \frac{P_0}{Z_0} = \int_0^t q_t dt \\ Z_t = aP_t^2 - bP_t + c \\ Z_0 = aP_0^2 - bP_0 + c \end{cases} \quad (11)$$

При нарушении герметичности (наличии перетока газа), т.е. для режима эксплуатации ПХГ с утечками газа уравнение (5) примет вид

$$dV_t/dt = q_t - q_t^y, \quad (12)$$

где q_t^y - дебит утечки газа из ПХГ в единицу времени t .

Дебит утечки газа из ПХГ можно описать уравнением вида (Закиров С.Н. «Проектирование и разработка газовых месторождений». - М.: Недра, 1974 г., с. 220-226)

$$Q_y = C_y \int_0^t \frac{P_t}{Z_t} dt, \quad (13)$$

где C_y - коэффициент утечки газа.

5 Тогда для эксплуатации ПХГ с утечками газа уравнение имеет вид

$$\Omega_0 P_t / Z_t - \Omega_0 P_0 / Z_0 = \int_0^t q_t dt - C_y \int_0^t \frac{P_t}{Z_t} dt \quad (14)$$

10 Для расчета пластового давления (P_t^P) эксплуатацию ПХГ с газовым режимом можно описать системой уравнений
- без утечек газа

$$15 \left\{ \begin{array}{l} \Omega_0 \frac{P_t^P}{Z_t} - \Omega_0 \frac{P_0}{Z_0} = \int_0^t q_t dt \\ Z_t = aP_t^2 - bP_t + c \\ Z_0 = aP_0^2 - bP_0 + c \end{array} \right. \quad (15)$$

20 - с утечками газа

$$25 \left\{ \begin{array}{l} \Omega_0 \frac{P_t^P}{Z_t} - \Omega_0 \frac{P_0}{Z_0} = \int_0^t q_t dt - C_y \int_0^t \frac{P_t^P}{Z_t} dt \\ Z_t = aP_t^2 - bP_t + c \\ Z_0 = aP_0^2 - bP_0 + c \end{array} \right. \quad (16)$$

30 Для оценки отклонения расчетного пластового давления (P_t^P) от фактического (P_t^Φ) используют функцию (F), полученную в результате решения систем уравнений (15) и (16), относительно пластового давления (P_t^P)

$$F = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |P_{ti}^P - P_{ti}^\Phi| \quad (17)$$

35 Способ осуществляют следующим образом.

В процессе эксплуатации ПХГ с газовым режимом осуществляют циклическое воздействие на продуктивный пласт. В каждом цикле через эксплуатационные скважины проводят закачку газа в продуктивный пласт с последующим отбором газа. Закачку газа проводят до достижения пластового давления в ПХГ, не превышающего
40 максимально допустимого проектного значения. Отбор газа проводят до достижения пластового давления не ниже минимально допустимого проектного значения.

Циклическое воздействие на продуктивный пласт осуществляют в течение не менее 10 циклов. В течение каждого цикла раз в сутки замеряют текущее пластовое давление и

45 объем закачки (отбора) газа. Затем рассчитывают давление в ПХГ (P_t^P) для режима эксплуатации хранилища без утечек газа и для режима эксплуатации хранилища с утечками газа по формулам (1) и (2). После чего вычисляют функцию (F), характеризующую режим эксплуатации ПХГ без утечек газа по формуле (3) и с утечками

газа (F_y) по формуле (4). Выполняют сравнение значений (F) и (F_y). Если $F_y < F$, делают вывод о наличии утечек газа в ПХГ, т.е. о нарушении герметичности хранилища.

Предлагаемым способом было исследовано Калужское ПХГ. Полученные в процессе исследования замеренные значения пластового давления и объема закачки (отбора) газа, а также расчетные значения пластовых давлений приведены в таблице.

По результатам сравнения измеренных и расчетных параметров был сделан вывод о наличии утечек газа в указанном ПХГ ($F_y=6,19$, $F=8,08$, т.е. $F_y < F$).

Таким образом, предлагаемый способ позволяет повысить надежность и безопасность эксплуатации ПХГ за счет упрощения контроля герметичности, а также за счет повышения достоверности определения герметичности.

Таблица
Способ определения герметичности подземных хранилищ газа

Замеряемые параметры (фактические данные)		Расчетные параметры (газовый режим)			Расчетные параметры (газовый режим с утечкой газа)	
№ замера	Закачка/Отбор(-), млн м ³	Давление замеренное, (P_t^Φ) , Па	Давление (P_t^P) , Па	(P_t^P) - (P_t^Φ) , Па	Давление (P_t^P) , Па	(P_t^P) - (P_t^Φ) , Па
1	2	3	4	5	6	7
1	0	55,4	55,4	0	55,4	0
2	52,8	72,6	60,8	11,8	63,3	9,3
3	115,9	96,3	72,5	23,8	80,7	15,6
4	72,7	106,4	79,8	26,6	91,7	14,7
5	55,7	114,1	85,4	28,7	100,2	13,9
6	22,3	114,8	87,7	27,1	103,4	11,4
7	15,3	113,1	89,2	23,9	105,6	7,5
8	11,6	113,1	90,4	22,7	107,2	5,9
9	-80,0	92,1	82,3	9,8	93,3	1,2
10	-116,4	78,0	70,6	7,4	75,2	2,8
11	-8,7	80,1	69,7	10,4	73,7	6,4
12	81,4	97,4	77,9	19,5	85,9	11,5
13	77,1	109,2	85,7	23,5	97,6	11,6
14	55,0	114,7	91,3	23,4	106,2	8,5
15	30,2	115,1	94,4	20,7	110,8	4,3
16	17,8	113,5	96,3	17,2	113,5	0
17	17,1	113,5	98,1	15,4	116,1	2,6
18	4,9	111,4	98,6	12,8	116,5	5,1
19	-74,0	95,1	90,9	4,2	102,5	7,4
20	-133,3	75,2	77,4	2,2	81,4	6,2

1	2	3	4	5	6	7
21	-104,0	62,9	66,9	4,0	65,4	2,5
22	65,6	85,2	73,5	11,7	75,0	10,2
23	75,6	98,5	81,1	17,4	86,3	12,2
24	55,5	103,9	86,7	17,2	94,6	9,3
25	47,9	111,4	91,6	19,8	102	9,4
26	3,6	109,8	92,0	17,8	102,2	7,6
27	-1,3	107,5	91,9	15,6	101,7	5,8
28	-12,4	105,2	90,6	14,6	99,4	5,8
29	-104,8	86,8	79,9	6,9	82,8	4,0
30	-90,1	73,5	70,9	2,6	68,9	4,6
31	-47,7	68,4	66,1	2,3	61,5	6,9
32	44,6	85,7	70,6	15,1	68,1	17,6

RU 2 526 434 C1

	33	84,6	98,6	79,1	19,5	80,7	17,9
	34	72,7	109,4	86,4	23,0	91,6	17,8
	35	44,6	111,7	91	20,7	98,4	13,3
	36	40,1	112,8	95,2	17,6	104,5	8,3
5	37	22,3	112,8	97,5	15,3	107,8	5,0
	38	-31,3	103,3	94,2	9,1	102,4	0,9
	39	-153,3	74,8	78,6	3,8	77,6	2,8
	40	-144,2	53,0	64,1	11,1	55,5	2,5
	41	78,0	80,3	71,9	8,4	67,1	13,2
	42	97,3	97,6	81,7	15,9	81,7	15,9
10	43	65,9	104,6	88,4	16,2	91,5	13,1
	44	60,8	110,0	94,7	15,3	100,9	9,1
	45	53,2	113,3	100,3	13,0	109,2	4,1
	46	20,9	113,8	102,5	11,3	112,4	1,4
	47	-5,5	104,1	101,9	2,2	110,7	6,6
	48	-13,5	96,9	100,5	3,6	108,1	11,2
15	1	2	3	4	5	6	7
	49	-32,1	96,9	97,1	0,2	102,5	5,6
	50	-117,9	82,4	84,9	2,5	83,7	1,3
	51	-126,1	63,1	72,2	9,1	64,3	1,2
	52	101,5	89,0	82,4	6,6	79,4	9,6
20	53	103,9	104,1	93,1	11,0	95,1	9,0
	54	72,6	110,0	100,7	9,3	106,5	3,5
	55	29,8	110,5	103,9	6,6	111,1	0,6
	56	9,4	109,4	104,9	4,5	112,3	2,9
	57	-214	73,4	82,6	9,2	76,8	3,4
	58	-99,4	59,4	72,6	13,2	61,5	2,1
25	59	76,2	77,8	80,3	2,5	72,9	4,9
	60	127,4	97,6	93,3	4,3	92,1	5,5
	61	88,2	108,2	102,6	5,6	105,9	2,3
	61	45,6	110,9	107,5	3,4	113,2	2,3
	63	-228,0	69,5	83,6	14,1	74,7	5,2
	64	-118,9	53,4	71,7	18,3	56,5	3,1
30	65	56,0	66,3	77,3	11,0	64,9	1,4
	66	106,2	91,0	88,0	3,0	80,8	10,2
	67	105,4	108,4	99,0	9,4	96,8	11,6
	68	64,7	113,5	105,9	7,6	107,0	6,5
	69	29,3	113,8	109,2	4,6	111,5	2,3
	70	-41,0	99,6	104,7	5,1	103,2	3,6
35	71	-47,0	92,7	99,6	6,9	95,4	2,7
	72	-61,0	84,6	93,2	8,6	85,4	0,8
	73	28,0	85,7	96,1	10,4	89,4	3,7
	74	20,0	94,2	98,2	4,0	92,3	1,9
	75	37,3	98,5	102,2	3,7	97,6	0,9
	76	47,1	104,6	107,3	2,7	104,8	0,2
40	1	2	3	4	5	6	7
	77	37,9	108,7	111,5	2,8	110,8	2,1
	78	1,6	107,1	111,7	4,6	110,7	3,6
	79	-71,5	95,2	103,8	8,6	98,6	3,4
	80	-19,6	96,4	101,7	5,3	95,2	1,2
	81	-41,7	89,0	97,3	8,3	88,5	0,5
45	82	-77,4	78,1	89,3	11,2	76,4	1,7
	83	-1,8	78,1	89,1	11,0	75,9	2,2
	84	22,0	88,9	91,4	2,5	78,8	10,1
	85	54,9	96,4	97,1	0,7	86,8	9,6
	86	50,7	101,7	102,4	0,7	94,4	7,3

87	61,9	109,2	109,2	0	103,9	5,3
88	36,1	112,5	113,3	0,8	109,6	2,9
89	-6,2	104,8	112,6	7,8	107,8	3,0
90	-69,5	94,2	104,9	10,7	96,2	2,0
91	-89,5	79,2	95,3	16,1	82,1	2,9
5 92	-73,8	67,4	87,7	20,3	70,7	3,3
93	-47,3	61,0	82,9	21,9	63,3	2,3
94	6,8	68,4	83,6	15,2	64,0	4,4
95	90,0	88,9	92,8	3,9	77,5	11,4
96	102,9	106,2	103,7	2,5	93,0	13,2
97	71,1	111,2	111,5	0,3	104,1	7,1
10 98	37,1	111,6	115,7	4,1	109,8	1,8
99	-62,9	96,4	108,6	12,2	98,9	2,5
Функция				F=8,08		F _y =6,19

Формула изобретения

15 Способ определения герметичности подземных хранилищ газа с газовым режимом, характеризующийся циклическим воздействием на пласт, при котором каждый цикл включает закачку газа через эксплуатационные скважины в пласт до достижения величины пластового давления, не превышающего максимально допустимого проектного значения, с последующим отбором газа до достижения величины пластового
20 давления не ниже минимально допустимого проектного значения, причем воздействие на пласт осуществляют, по меньшей мере, в течение 10 циклов, при этом в каждом цикле периодически одновременно измеряют текущее пластовое давление (P_t^Φ) и объем отбора (или закачки) газа, затем с учетом измеренных параметров определяют расчетное
25 давление в подземном хранилище газа (P_t^P) для режима эксплуатации хранилища без утечек газа из соотношения

$$\Omega_0 P_t^P / Z_t - \Omega_0 P_0 / Z_0 = \int_0^t q_t dt,$$

30 где Ω_0 - газонасыщенный поровый объем ПХГ,

P_0 - начальное пластовое давление,

(P_t^P) - расчетное пластовое давление на момент времени t,

Z_0 - начальный коэффициент сверхсжимаемости газа,

35 Z_t - коэффициент сверхсжимаемости газа на момент времени t,

q_t - объем закачки (или отбора) газа на момент времени t;

и для режима эксплуатации хранилища с утечками газа из соотношения

$$40 \Omega_0 P_t^P / Z_t - \Omega_0 P_0 / Z_0 = \int_0^t q_t dt - C_y \int_0^t \frac{P_t^P}{Z_t} dt,$$

где C_y - коэффициент пропорциональности утечки газа,

затем определяют функцию (F) как среднеарифметическое значение отклонений

(P_t^P) от (P_t^Φ), полученных при каждом i-м измерении, для режима эксплуатации

45 хранилища без утечек газа $F = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |P_{ti}^P - P_{ti}^\Phi|$,

где n - количество замеров пластового давления,

i - порядковый номер замера пластового давления; и функцию (F_y) для режима эксплуатации хранилища с утечками газа

$$F_y = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |P_{ti}^p - P_{ti}^{\Phi}|,$$

и при выполнении неравенства $F_y < F$ делают вывод о наличии утечек газа в хранилище.

10

15

20

25

30

35

40

45