Література

1. Маєвський С.М., Бабак В.П., Щербак Л.М. Основи побудови систем аналізу сигналів у неруйнівному контролі. – К.: Либідь, 1993. – 200 с.
2. Маслов І.В. Дослідження випадкових процесів в технічних засобах контролю та діагностики // Розвідка і розробка нафтових і газових родовищ. Серія: Методи і засоби технічної діагностики. – №37 (том 8). – Івано-Франківськ: ІФДТУНГ, 2000. – С. 59-67
3. Бронштейн И.Н., Семендяев К.А. Справочник по математике. – М.: Наука, 1986. – 544 с.

УДК 622.691.24.519

МОДЕЛЮВАННЯ НЕСТАЦІОНАРНОГО ГАЗОДИНАМІЧНОГО ПРОЦЕСУ В ПСГ ЗА УМОВ ПРУЖНОГО РЕЖИМУ ЗАКАЧКИ ГАЗУ

Р. Я. Шимко, В. Я. Грудз, Д. Ф. Тимків, Я. В. Грудз

ДК "Укртрансгаз", 76019, м. Івано-Франківськ, вул. Карпатська, 15, тел. (03422) 48000
e-mail: doherman@omen.ru

ІФНТУНГ, 76019, м. Івано-Франківськ, вул. Карпатська, 15, тел. (03422) 42157
e-mail: public@ifdtung.if.ua

Создана математическая модель газодинамических процесов, происходящих в продуктивном горизонте при создании подземного хранилища газа в водоносном пласте. Приводятся основные уравнения, краевая задача и алгоримт реализации модели.

The mathematical model of gas-dynamic process, occurring in producing horizon at created at creation of underground gas storage in water producing formation. The basic equations, boundary value and algoritm of realization of model are represented

При закачці газу в продуктивний горизонт в умовах пружного режиму важливе значення має процес формування газового простору і пов'язаний з ним процес переміщення газоводяного контакту (ГВК). Визначальними факторами впливу на вказані процеси є пластовий тиск та темп закачки газу, від яких залежить швидкість фільтрації газу і води в пористому середовищі.

Газогідродинамічна одномірна математична модель продуктивного горизонту будувалась при таких припущеннях:

- продуктивний горизонт являє собою циліндр з потужністю h, набагато меншою за радіус контура R, однорідний відносно параметрів пористого середовища;
- в геометричному центрі пласта розміщено укрупнену свердловину, через яку ведеться закачка газу з постійною масовою продуктивністю Q_m, а контур, підошва і дах ізольовані;
- контур ГВК в початковий момент часу має радіус y;
- фільтрація газу і води в пористому середовищі лінійна.

При вказаних припущеннях реалізація моделі має за мету встановити швидкість переміщення ГВК в процесі формування газоносного простору.

Математична модель представлена системою двох рівнянь в часткових похідних, записаних для порового простору, зайнятого газом і водою [1]

$$\frac{\partial P_в}{\partial t}=\kappa_в\frac{\partial^2 P_в}{\partial x^2}; \qquad \frac{\partial P_г}{\partial t}=\kappa_г\frac{\partial^2 P_г}{\partial y^2}, \quad (1)$$

де: $P_в, P_г$ – тиски в водяній і газовій областях продуктивного горизонту;

$\kappa_в, \kappa_г$ – коефіцієнти п'єзопровідності у водному і газовому середовищах пласта відповідно;

x, y – просторові координати, причому $x+y=R$.

Вважається, що в початковий момент часу тиск по пласту розподілений рівномірно, тобто

$$t=0,\ P_в(x,0)=P_г(y,0)=P_0 . \quad (2)$$

Починаючи з певного моменту часу $t>0$, в центрі пласта проводиться закачка газу, а на контурі фільтрація води не спостерігається. Використавши рівняння Дарсі, одержимо граничні умови у вигляді

$$\begin{aligned}&\frac{\partial P_г}{\partial y}\Big|_{y=0}=-\frac{\nu_г}{k_г}\left(\frac{Q_m}{F}\right);\\ &\frac{\partial P_г}{\partial y}\Big|_{x=0}=0 .\end{aligned} \quad (3)$$

На рухомій межі ГВК спостерігається рівність лінійних швидкостей газової та рідкої фаз

$$\frac{k_г}{\nu_г}\frac{\partial P_г}{\partial y}\Big|_{y=l}=\frac{k_в}{\nu_в}\frac{\partial P_в}{\partial y}\Big|_{x=R-l}, \quad (4)$$

де: $l(t)$ – координата рухомої границі ГВК;

$k_г, k_в$ – фазові проникливості пористого середовища по газу і воді;

$\nu_г, \nu_в$ – кінематичні в'язкості газу і води;

F – площа поверхні поступлення газу в пласт.

Розв'язок рівнянь системи знаходився методом Фур'є окремо для газової і водної областей. Для газової області продуктивного горизонту одержано:

- для тиску як функції часу і просторової координати

$$P_г(y,t) = P_0 - \frac{\eta}{k_г}\frac{Q_m}{\rho F}y + 2\sum_{n=1}^{\infty}\left[\frac{P_0}{\lambda_n l}(1-\cos\lambda_n l) + \frac{\eta}{k_г}\frac{Q_m}{\rho F}\times\left(\frac{1}{\lambda_n^2 l}\sin\lambda_n l - \frac{1}{\lambda_n}\cos\lambda_n l\right)\right]\times \exp\left\{-\lambda_n^2 \kappa_г t\right\}\cdot\sin\lambda_n y\ ; \quad (5)$$

- для швидкості фільтрації газу

$$W_г(y,t) = \frac{Q_m}{\rho F} - 2\frac{k_г}{\eta}\times \sum_{n=1}^{\infty}\left[\frac{P_0}{\lambda_n l}(1-\cos\lambda_n l) + \frac{\eta}{k_г}\frac{Q_m}{\rho F}\times\left(\frac{1}{\lambda_n^2 l}\sin\lambda_n l - \frac{1}{\lambda_n}\cos\lambda_n l\right)\right]\times \exp\left\{-\lambda_n^2 \kappa_г t\right\}\cdot\cos\lambda_n y\ , \quad (6)$$

де η – динамічна в'язкість газу.

Для розподілу тиску і швидкості фільтрації води в водоносній частині пласта отримано

$$P_в(x,t) = P_0 - 2P_0\sum_{n=1}^{\infty}\frac{1-\cos\lambda_n(R-l)}{\lambda_n(R-l)}\times \exp\left\{-\lambda_n^2\kappa_в t\right\}\cdot\cos\lambda_n(R-x)\ ;$$
$$W(x,t) = 2\frac{k_в}{\nu_в\rho}P_0\sum_{n=1}^{\infty}\frac{1-\cos\lambda_n(R-l)}{\lambda_n(R-l)}\times \exp\left\{-\lambda_n^2\kappa_в t\right\}\cdot\cos\lambda_n(R-x_в)\ . \quad (7)$$

Одержані розв'язки містять параметр λ_n, який залежить від положення ГВК і, отже, є функцією часу. Можна показати, що він є коренем алгебраїчного трансцендентного рівняння

$$\cos\lambda_n R\cdot(1+tg\lambda_n R\cdot tg\lambda_n l) = \exp\{\kappa_в - \kappa_г\}. \quad (8)$$

Як видно з рівняння, його корені λ_n залежать від положення ГВК на кожен момент часу, отже, вони є функціями часу. Тому для реалізації поставленої задачі необхідно побудувати закон руху ГВК.

Розрахунок переміщення ГВК і розподіл тисків в газовій та рідинній областях продуктивного горизонту пропонується вести, використавши такий алгоритм:

1. При заданому початковому положенні ГВК, яке характеризується радіусом $l(t) = l_0$, знаходять корені рівняння (8).

2. Задаються проміжком часу Δt, на кінець якого з рівняння (6) визначають розподіл тисків і лінійних швидкостей газу вздовж радіуса.

3. Якщо при цьому швидкість фільтрації газу на відстані l_0 $W(l_0,\Delta t) = 0$ (газодинамічне збурення не дійшло до ГВК), то задаються новим проміжком часу Δt і розрахунок повторюють, починаючи з п.2.

4. Якщо на кінець j-того проміжку часу $W(l_0, j\Delta t) \neq 0$, то визначають відстань, на яку перемістився ГВК за час Δt $\Delta l = W(l_0, j\Delta t)\Delta t$ і нове значення радіуса ГВК $l = l_0 + \Delta l$.

5. Використовуючи рівняння (8), знаходять нове значення параметра λ_n і будують розподіл тисків та лінійних швидкостей в газовій і рідинній зонах пласта, за яким знаходять нове значення лінійної швидкості газу на границі ГВК. Використавши це значення, повертаються до п.4 і роблять новий часовий крок.

6. Закон переміщення ГВК будують на основі даних про величини Δl на кінець кожного проміжку часу Δt.

Таким чином, одержані математичні моделі гідрогазодинамічних процесів в продуктивному горизонті ПСГ для умов пружного режиму закачки газу і запропонований алгоритм їх реалізації дають змогу відтворити реальну картину технологічного процесу створення сховища в водоносних пластах.

Література

1. Чарный И.А. Хранение газа в горизонтальных и пологопадающих пластах. – М.: Недра, 1968. – 265 с.