

## МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ СВЕРДЛОВИННИХ ФІЛЬТРІВ КАРКАСНО-СТЕРЖНЕВОЇ КОНСТРУКЦІЇ

Б.В.Копей, О.О.Кузьмін

ІФНТУНГ, 76019, м. Івано-Франківськ, вул. Карпатська, 15, тел. (03422) 42166,  
e-mail: kopeyb@nung.edu.ua

Для обеспечения полного выноса песка из фильтровой зоны скважины нужно обеспечить определенную скорость движения жидкости на поверхности, что не всегда удается, ведь скорость выноса частиц определяет дебит скважины. За предлагаемыми формулами можно рассчитать высоту песчаной пробки, при которой эффективность работы скважины не изменится, что даст возможность своевременно принимать правильные и обоснованные решения при проведении инженерных расчетов режима эксплуатации скважины.

Use of mathematical design of downhole filters of framework-bar construction enables considerably to simplify the process of filters installation in oilwells, and also creates a certain mathematical base for perfection of existing, design and constructing of new more perfect standards of oilwell filters.

Подальше збільшення об'ємів видобутку вуглеводневої сировини в Україні буде найбільшим часом обумовлено в основному не введенням в експлуатацію нових родовищ, а підвищенням нафтовіддачі пластів на родовищах, що знаходяться на пізній стадії розробки. В цьому напрямі особливо перспективним є розвиток нових методів і технологій щодо більш ефективного видобутку нафти із виснажених пластів.

Процес видобутку нафти з свердловини ускладнюється через винесення піску та механічних домішок із пласта у експлуатаційну колону. Винесення частинок піску особливо є небажаним при експлуатації свердловин з допомогою насосно-штангової установки. Мікрочастинки піску призводять до частих відмов штангового насоса, серед них найбільш частими є [1]:

- забивання піском клапанних вузлів;
- заклинювання або заїдання плунжера в циліндрі насоса.

Для сепарації піску у свердловині використовують різноманітні захисні пристрої – фільт-

ри. Одним з найпоширеніших захисних пристроїв вважається свердловинний фільтр, що встановлюється на вході в насос.

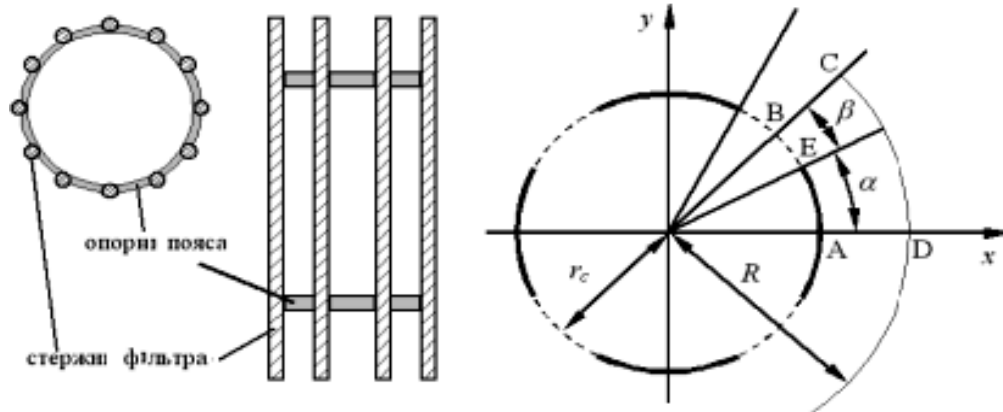
Отже, для об'єднання використання та вдосконалення існуючих, розробки нових свердловинних фільтрів, необхідним є математичне описання процесів, що відбуваються в свердловинному фільтрі.

На практиці при експлуатації свердловин використовують фільтри різних конструкцій. Найбільше поширення отримали каркасно-стержнева конструкція. Для аналітичного розрахунку вказаного фільтра використовуємо метод середньозваженого потенціалу (СЗП) [2].

Каркасно-стержневий фільтр складається із вертикальних щілин і горизонтальних непрониких дротинок (рис. 1).

В силу симетрії поверхні AD і BC будуть поверхнями струменю. Колова циліндрична поверхня CD є екіпотенціальною поверхнею, на якій потенціал швидкості фільтрації

$$\phi = -\frac{\kappa P}{\mu}, \text{ (де } \kappa \text{ – коефіцієнт проникності пласта)}$$



$r_c$  – радіус свердловини;  $\beta$  – половина кута розкриття щілини;  
 $\alpha$  – половина кута непроникої стінки;  $R$  – радіус контуру живлення

Рисунок 1 — Схема каркасно-стержневого фільтра

у вибійній зоні свердловини,  $P$  – приведений тиск,  $\mu$  – коефіцієнт гідродинамічної в'язкості рідини,  $\epsilon$  заданою сталою.

Як відомо, потенціал  $\phi$  плоскопаралельної лінійної фільтрації в однорідному середовищі з проникністю  $k$  задовольняє рівняння Лапласа [3], котре в полярних координатах  $r$ ,  $\theta$  виглядає наступним чином:

$$\frac{d}{dr} \left( r \frac{d\phi}{d\theta} \right) + \frac{d}{d\theta} \left( \frac{1}{r} \frac{d\phi}{d\theta} \right) = 0. \quad (1)$$

Граничні умови для рівняння Лапласа, які можна застосувати для схеми фільтра, зображеного на рисунку 1, мають вигляд:

$$\phi|_{r=R} = \phi_n,$$

де

$$\phi_n = -\frac{\kappa P_n}{\mu} = const; \quad (2)$$

$$\frac{d\phi}{d\theta}|_{\theta=0} = 0, \quad \frac{d\phi}{d\theta}|_{\theta=\theta_0} = 0, \quad \theta_0 = a + \beta; \quad (3)$$

$$\frac{d\phi}{dr}|_{r=r_c} = 0, \quad 0 \leq \theta \leq a; \quad (4)$$

$$\phi|_{r=r_c} = \phi_c, \quad \phi_c = -\frac{\kappa P_c}{\mu} = const. \quad (5)$$

Використовуючи метод середньозваженого потенціалу, будемо замість точної граничної умови (5) задовольняти наближеній граничній умові (6).

$$\frac{d\phi}{dr}|_{r=r_c} = -V_0 = const, \quad (6)$$

де  $V_0$  – деяка, поки що невідома стала, знак мінус поставлений через те, що потік рідини направлений до центра свердловини. Цю сталу будемо вибирати так, щоб середнє значення потенціалу ВЕ задовольняло умові:

$$\phi|_{r=r_c} = \frac{1}{\beta} \int_a^{\theta_0} \phi(r_c, \theta) d\theta = \phi_c. \quad (7)$$

Таким чином, умова (5) буде виконана наближено для середньоарифметичного значення потенціалу  $\phi$ .

Розв'язок рівняння Лапласа (1), котре б задовольняло умовам (2), (3), (4), (6), знаходиться методом розділення змінних і має вигляд:

$$\phi(r, \theta) = \frac{V_0 r_c}{\theta_0} \left( \beta \ln \tau + \right. \quad (8)$$

$$\left. + 2 \sum_{n=1}^{\infty} \frac{[\tau^{-\lambda_n} - \tau^{\lambda_n}] \sin(\lambda_n a)}{\lambda_n^2 [\tau_0^{-\lambda_n} + \tau_0^{\lambda_n}]} \cos(\lambda_n \theta) \right) + \phi_n,$$

де  $\lambda_n = \frac{n\pi}{\theta_0}$ ,  $\tau = \frac{R}{r}$ ,  $\tau_n = \frac{R}{r_c}$  – безрозмірні величини.

Невідому  $V_0$  знайдемо, обчислюючи середнє по дузі ВЕ значення потенціалу. Для цього підставимо отримане значення потенціалу (8) у формулу (7), з котрої знайдемо:

$$V_0 = \frac{\beta \theta_0}{r_c} \frac{\phi_c - \phi}{\beta^2 \ln \tau_0 - 2 \sum_{n=1}^{\infty} \frac{\tau_0^{-\lambda_n} - \tau_0^{\lambda_n}}{\tau_0^{-\lambda_n} + \tau_0^{\lambda_n}} \frac{\sin^2(\lambda_n a)}{\lambda_n^3}}.$$

Дебіт свердловини знайдемо за формулою:

$$Q = N 2 V_0 S H = 2\pi \frac{kH}{\mu} \frac{P_n - P_c}{\ln \frac{R}{r_c} + \frac{1}{2} \lambda}, \quad (9)$$

де:  $N$  – кількість щілин;  $S$  – площа щілини;  $H$  – висота фільтра.

Тут

$$\lambda = -\frac{4}{\beta^2} \sum_{m=1}^{\infty} \frac{\left( \frac{r_c}{R} \right)^{\lambda_n} - \left( \frac{R}{r_c} \right)^{\lambda_n} \sin^2 \left( \lambda_n \left[ \frac{\pi}{N} - \beta \right] \right)}{\left( \frac{r_c}{R} \right)^{\lambda_n} + \left( \frac{R}{r_c} \right)^{\lambda_n} \lambda_n^3}. \quad (10)$$

Використання вищеведеного методу дає можливість значно спростити процес обґрунтування встановлення фільтрів на свердловинах, а також створює певну математичну базу для вдосконалення існуючих, моделювання та конструювання нових більш досконалих зразків свердловинних фільтрів.

## Література

- 1 СОУ 11.1-00135390-:2007. Видобування нафти. Глибинонасосний спосіб експлуатації свердловин. Штангові свердловинні насоси.
- 2 Фихманас Р.Ф., Ридберг П.Ш. Метод ХОУ расчёта ёмкости тел и его связь с вариационными принципами // ЖТФ. – 1970. – Т. 40. – Вып. 6. – С. 1327-1328.
- 3 Бойко В.С. Підземна гідромеханіка. – Київ: ІСДО, 1995. – 288 с.
- 4 Толпаев В.А., Петухов А.А., Захаров В.В. Математические модели работы скважинных фильтров // Сборник научных трудов. Серия «Естественнонаучная». – Ставрополь: СевКав-ГТУ. – 2004. – №1 (7) – 14 с.