

П. М. Должиков, д.т.н., проф.
СШБУ ДВАТ “Спецтампонажгеологія”
В. Д. Рябичев, голова правління
ДВАТ “Трест “Антрацитшахтобуд”

ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ ТЕЧІЇ В'ЯЗКОПЛАСТИЧНИХ РОЗЧИНІВ У ПОХИЛИХ ГІРНИЧИХ ВИРОБКАХ

Теоретично розглянутий процес течії в'язкопластичних розчинів у похилих гірських виробках, одержані нові рівняння взаємозв'язку технологічних параметрів для безнапірного та напірного режиму течії. Результати досліджень покладені в основу нової методики проектування ліквідації похилих виробок та мають впровадження на об'єктах.

В умовах реструктуризації вугільної промисловості України найважливіше значення має фізична ліквідація всіх гірничих виробок, що виходять на поверхню. При цьому повинно бути виконане гарантоване заповнення всього простору виробки, а також зон підвищеної тріщинуватості та склепінь завалювання. Тому в складних гірничо-технічних умовах ліквідації похилої виробки лише метод тампонажу через свердловини пробурені з поверхні може бути технічно ефективним та екологічно безпечним. Для заповнення виробки використовується в'язкопластичний глиноцементний розчин, який відповідає всім вимогам геомеханіки, безпеки, екології.

За розробленою технологією в'язкопластичний розчин, який приготували на поверхні, через свердловину подається в гірничу виробку, де він заповнює підземний простір. Течія в'язкопластичного розчину у виробці в залежності від кута її нахилу та реологічних властивостей рідини може здійснюватись за двома різними режимами – безнапірним та напірним. Режим течії рідини визначається розміром розкриття пустоти за виразом $1/l$:

$$\delta_{кр} = \frac{2\tau_o}{\rho g \sin \varphi}, \quad (1)$$

де $\delta_{кр}$ – розкриття каналу фільтрації;

τ_o – динамічне напруження зсуву розчину;

$\delta_{кр}$ – густина розчину;

φ – кут падіння виробки.

Для всіх фільтраційних каналів режим течії розчину буде безнапірним за умови $\delta_{кр} < h$, та навпаки, за умови $\delta_{кр} > h$ – режим напірний.

Розглянемо процес течії в'язкопластичного розчину у похилій виробці: на першій стадії – безнапірний режим, на другій – напірний. Для цього припустимо, що вісь абсцис має напрямок по падінню виробки, режим течії – стаціонарний. Оскільки під час безнапірної течії на розчин діють лише масові сили, то згідно загального рівняння Нав'є-Стокса $/2/$ рівняння руху в'язкопластичної рідини у декартових координатах має вигляд:

$$K_x + \frac{\eta}{\rho} \frac{\partial^2 V_x}{\partial y^2} = 0. \quad (2)$$

Запишемо граничні умови:

$$\frac{\partial V_x}{\partial x} = 0; \quad V_y = 0; \quad \frac{\partial P}{\partial x} = 0; \quad \frac{\partial P}{\partial y} = 0; \quad V_x|_{y=0} = 0; \quad \frac{\partial V_x}{\partial y} \Big|_{y=y_1} = 0. \quad (3)$$

Після подвійного інтегрування одержуємо:

$$V_x = \frac{K_x \rho y}{\eta} (y_1 - \frac{y}{2}) + \frac{K_x \rho y_1}{\eta} y, \quad (4)$$

де V_x – швидкість течії розчину;

K_x – складова вектора масових сил;

η – структурна в'язкість рідини;

ρ – тиск у каналі фільтрації;

y_1 – точка максимальної швидкості течії.

Виходячи з того, що товщина шару тампонажного розчину складається з шару “налипання” та шару ядра потоку, справедливо:

$$V_0 = \frac{K_x \rho y_1^2}{\eta}, \quad (5)$$

$$\rho K_x y_2 - \rho K_x y_1 = \tau_0. \quad (6)$$

На підставі наведених викладень одержане рівняння для визначення кінцевої товщини шару тампонажного розчину:

$$l = \frac{2\tau_0}{\rho g \sin \varphi}. \quad (7)$$

Тепер розглянемо течію в'язкопластичного розчину у напірному режимі, при цьому вважаємо, що течія є структурною. Тому маємо загальне рівняння:

$$K_x - \frac{1}{\rho} \frac{dP}{dx} + \frac{\eta}{\rho} \frac{\partial^2 V_x}{\partial y^2} = 0. \quad (8)$$

Виконаємо перетворення виразу (8).

$$g \sin \varphi - \frac{1}{\rho} \frac{dP}{dx} = -\frac{1}{\rho} \frac{d(P - \rho g \sin \varphi)}{dx} = -\frac{1}{\rho} \frac{df}{dx}, \quad (9)$$

$$\frac{1}{\eta} \frac{df}{dx} = \frac{\partial^2 V_x}{\partial y^2} = C. \quad (10)$$

Інтегруємо рівняння (10) за граничних умов:

$$V_x \Big|_{y = \frac{\bar{\delta}}{2}} = 0; \quad \frac{\partial V_x}{\partial y} \Big|_{y = \frac{\bar{\delta}_0}{2}} = 0, \quad (11)$$

де $\bar{\delta}, \bar{\delta}_0$ – середні розміри фільтраційного каналу та ядра.

Маємо для швидкості в'язкої течії

$$V_x = \frac{c}{2} \left(\left(\frac{\bar{\delta}^2}{4} - y^2 \right) - \bar{\delta}_0 \left(\frac{\bar{\delta}}{2} - y \right) \right), \quad (12)$$

для ядра потоку:

$$V_0 = \frac{c}{2} \left(\left(\frac{\bar{\delta}^2}{4} - \frac{\bar{\delta}_0^2}{4} \right) - \bar{\delta}_0 \left(\frac{\bar{\delta}}{2} - \frac{\bar{\delta}_0}{2} \right) \right). \quad (13)$$

Врахуємо, що для в'язкопластичного тіла Бінгама-Шведова справедливо [2]:

$$\tau = \tau_0 + \eta \frac{dV_x}{dy}, \quad (14)$$

$$\tau = \int_0^{\delta/2} \frac{\partial f}{\partial x} dy = \frac{\bar{\delta}}{2} \frac{\partial f}{\partial x}, \quad (15)$$

$$\tau_0 = \frac{\bar{\delta}_0}{2} \frac{\partial f}{\partial x}. \quad (16)$$

Одержуємо рівняння для витрати рідини:

$$Q = \frac{a\bar{\delta}^4}{24\eta\tau_0} \frac{\partial f}{\partial x} \left(1 - \frac{3}{2} \frac{\partial f}{\partial x} + \frac{1}{2} \left(\frac{\partial f}{\partial x} \right)^3 \right), \quad (17)$$

де a – ширина виробки.

Тепер запишемо із (9) для перепаду тиску:

$$\frac{dP}{dx} = \frac{2\tau_0}{\bar{\delta}(x)} + \rho g \sin \varphi. \quad (18)$$

Виконуємо інтегрування:

$$P = \int_0^R \frac{2\tau_0}{\bar{\delta}(x)} dx - \rho g R \sin \varphi + C, \quad (19)$$

де R – радіус розтікання розчину.

Для постійної інтегрування маємо:

$$C = P_r - \int_0^R \frac{2\tau_0}{\bar{\delta}(x)} dx - \rho g R \sin \varphi, \quad (20)$$

тобто на контурі течії є гірський тиск P_r . Перепад тиску в фільтраційному каналі дорівнює:

$\Delta P = P_H - P_r$, де P_H тиск при $x = 0$.

Таким чином одержуємо рівняння для визначення перепаду тиску у фільтраційних каналах

$$\Delta P = \int_0^R \frac{2\tau_0}{\bar{\delta}(x)} dx - \rho g R \sin \varphi, \quad (21)$$

Середнє розкриття фільтраційних каналів $\bar{\delta}(x)$ може бути встановлене лише за значеннями залишкової пустотності $\bar{n}(x)$ у виробці. Тому на підставі взаємозв'язку цих параметрів маємо кінцеве рівняння для визначення перепаду тиску у фільтраційних каналах:

$$\Delta P = \frac{2\tau_0 N_K a}{(1 + \alpha) S} \int_0^R \frac{dx}{\bar{n}(x)} - \rho g R \sin \varphi, \quad (22)$$

де S – площа поперечного перерізу виробки;

N_K – число фільтраційних каналів;

α – коефіцієнт усадки породи.

Таким чином, на підставі виконаних досліджень процесу течії в'язкопластичної рідини у похилих гірничих виробках одержані нові рівняння: для знаходження значень шарів тампонажного розчину під час безнапірного режиму течії, та за умов напірної течії – для визначення перепаду тиску із врахуванням статистичного розподілу пустотності по довжині виробки. Розподілення пустотності може бути описане законом нормального розподілення за результатами декількох гідродинамічних досліджень у свердловинах.

Отже, дослідження показали, що під час ліквідації виробки її заповнення глиноцементним розчином здійснюється шарувато у безнапірному режиму, на заключній стадії – у напірному;

Тампонаж порід засипки здійснюється тільки у напірному режимі: перепад тиску у фільтраційному каналі має оберненопропорційну залежність від функції розподілення пустотності, висоти виробки та коефіцієнта усадки породи.

Одержані рівняння (7), (22) були покладені в основу нової методики проектування технологічних параметрів процесу ліквідації похилих виробок способом тампонажу в'язкопластичними розчинами, що включають відходи гірничого виробництва. Методика була впроваджена у ДВАТ “Спецтампонажгеологія” під час підготовки проектно-кошторисної документації на ліквідацію 14 похилих стволів шахт ДК “Укрвуглереструктуризація”. Одержані позитивні результати гарантованої ліквідації виробок за різноманітних гірничо-технічних умов підтвердили правильність вирішення теоретичної задачі та можливість подальшого впровадження її результатів.

ЛІТЕРАТУРА:

1. Комплексний метод тампонажа при строительстве шахт /Кипко Э.Я., Полозов Ю.А., Лушникова О. Ю., Лагунов В.А., Свирский Ю.И. – М.: Недра, 1984. – 280 с.
2. Мирзаджанзаде А.Х., Караев А.К., Ширнизаде С.А. Гидравлика в бурении и цементировании нефтяных и газовых скважин. – М.: Недра, 1977. – 230 с.

ДОЛЖИКОВ Петро Миколайович – доктор технічних наук, професор Донбаського гірничо-металургійного інституту, начальник СШБУ ДВАТ “Спецтампонажгеологія”, тел. (06431) 2-20-14; факс (06431) 3-15-36; E-mail: chief@goaostg.lg.ua.

Наукові інтереси:

- тампонаж і закріплення гірських порід;
- ліквідація гірничих виробок;
- екологія довкілля.

РЯБИЧЕВ Віктор Дронович – голова правління ДВАТ “Трест “Антрацитшахтобуд”, тел. (06431) 3-41-45; 3-41-47.

Наукові інтереси:

- тампонажні розчини;
- ліквідація гірничих виробок;
- екологія довкілля.

**Исследования процесса течения вязкопластичных растворов в наклонных горных выработках./
П.Н. Должиков, В.Д. Рябичев/**

Теоретически рассмотрен процесс течения вязкопластичных растворов в наклонных горных выработках, получены новые уравнения взаимосвязи технологических параметров для безнапорного и напорного режима течения. Результаты исследований положены в основу новой методики проектирования ликвидации наклонных выработок и имеют внедрение на объектах.

Researches of process of current pasty-plastic solutions in inclined mine workings. / P.N. Dolzhikov. V.D. Rjabichev/

Process of current pasty-plastic solutions in inclined mine workings is theoretically considered, the new equations of interrelation of technological parameters for un-pressed and pressed mode of current are received. Results of researches are fixed in a basis of a new technique of designing of liquidation of inclined mine workings and have introduction on objects.