

УДК 622.24

## Моделювання відриву елемента у водному середовищі

Пащенко О. А., Судакова Д. А.

*ДВНЗ «Національний гірничий університет», Дніпропетровськ, Україна*

Надійшла до редакції 01.03.11, прийнята до друку 18.03.11

### **Анотація**

Встановлено що при бурінні свердловин значний вплив на енергоємність руйнування робить тип промивального агенту. Поставлена ціль змоделювати процес руйнування гірської породи у водному середовищі та знайти чинники що впливають на енергоємність руйнування. Згідно представленої моделі руйнування показано що основними чинниками що впливають на енергоємність руйнування є: тип рідини, різниця тисків на поверхні елемента та в'язкість рідини.

Ключові слова: енергоємність, руйнування, гідростатичний тиск, в'язкопластична рідина, магістральна тріщина.

### **Актуальність та стан проблеми**

Як встановлено виробничими дослідженнями [1], при бурінні свердловин із продувкою аерованими розчинами потрібні значно менші витрати енергії, чим при бурінні з застосуванням глинистих розчинів. У свою чергу і при бурінні з промиванням глинистими розчинами спостерігається значний вплив параметрів розчину на енергоємність руйнування гірських порід. У зв'язку с цим постає питання характеру і величини впливу зовнішнього середовища на процес руйнування гірської породи на забої свердловини.

**Метою статті** є показати основні положення роботи по моделюванню відриву елемента від масиву породи у водному середовищі.

### **Викладання основного матеріалу**

Розглянемо фактори які визначають додаткові витрати енергії при руйнуванні у водному середовищі. Ці витрати визначаються роботою сили  $F_0$  по подоланню дії зовнішнього середовища і розмірами поверхні відокремлюваного елемента. Аналіз наявних даних показав, що сила  $F_0$  функціонально залежить від наступних факторів:

$$F_d = f(P, \gamma, V),$$

де  $P$  – гідростатичний тиск в області руйнування;  $\gamma$  – в'язкість рідини;  $V$  – швидкість відділення елемента від масиву.

У процесі відділення, при розвитку магістральної тріщини, виникає різниця між тиском на передню поверхню елемента (тиск у свердловині) і на знов утворену (тиск у тріщині). Навколишня рідина, обтікаючи відокремлюваний елемент, заповнює тріщину, що утворюється. Для здійснення руйнування до елемента що відокремлюється необхідно прикласти додаткову силу, тому що рідина чинить опір її рухові.

Сила опору  $W$  при обтіканні визначається формулою:

$$W = C_x S_{np} \rho V_{ж}^2 / 2,$$

де  $C_x$  – безрозмірний коефіцієнт лобового опору, залежить від структури потоку, що обтікає тіло, тобто числа Рейнольдса, форми тіла і його положення в потоці;  $S_{np}$  – площа проекції

тіла на площину нормальну до напрямку руху;  $\rho$  – щільність рідини;  $V_{жс}$  – швидкість рідини щодо тіла (або, що те ж саме, тіла щодо рідини, у даному випадку вона еквівалентна швидкості відділення від масиву).

При русі елемента що відокремлюється в рідині виникає зрушення її шарів, опірність яких характеризується величиною в'язкості, обумовленої по формулі:

$$\gamma = dv / dy = f(\tau), \quad (1)$$

де  $dv / dy$  – зміна швидкості в напрямку, нормальному до напрямку самої швидкості, градієнт швидкості або швидкість зрушення;  $\tau$  – сила опору віднесена до одиниці площі, або напруга тертя, знаходиться по формулі:

$$\tau = \mu (dv / dy), \quad (2)$$

де  $\mu$  – коефіцієнт пропорційності, що залежить від роду рідини, або динамічної в'язкості рідини.

Величина швидкості, що входить в рівняння гідравліки (1 і 2), безпосередньо впливає на енергоємність руйнування, тому що при її збільшенні відбувається прямопропорційне збільшення значень сил опору і в'язкості.

Основними фізичними параметрами середовища, що впливають на процес руйнування є: тиск у зоні руйнування, у свою чергу залежний від щільності середовища і точки занурення розглянутої області, а також в'язкість, параметри якої залежать від характеру руху рідини.

Спрощено процес відділення елемента гірської породи від масиву можна представити у виді балки з рухливо закріпленням кінцем, на яку діє рівномірно розподілене навантаження (гідростатичний тиск). Для спрощення розрахунків приймемо тріщину прямокутного перетину, заповнювану рідиною, а також не будемо враховувати кут підйому балки (рис.1).

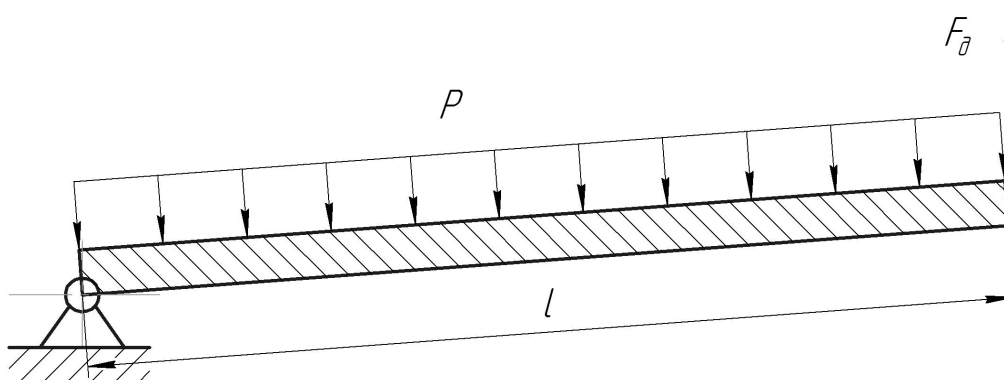


Рис. 1. Схема розподілу зусиль на елемент який відривається у водному середовищі  $P$  – тиск на зовнішню поверхню елемента;  $F_d$  – додаткове зусилля відриву;  $l$  – довжина елемента

Умова рівноваги сил, що діють на елемент:

$$\Sigma F + \Sigma F_i = 0,$$

де  $\Sigma F$  – сума зусиль;  $\Sigma F_i$  – сума сил інерції.

Додатковому зусиллю при відриві  $F_d$  перешкоджає розподілене навантаження  $P$  на балку від дії середовища і сили інерції, відповідно повне рівняння рівноваги:

$$F_d l_0 - P b l \frac{l_0}{2} - m a \frac{l_0}{2} = 0,$$

де  $l_0$  – плече сили  $F_d$ ;  $l$  – довжина елемента, на котру діє гідростатичний тиск;  $b$  – ширина елемента;  $m$  – маса елемента;  $a_e$  – прискорення тіла.

Звідси додаткове зусилля відриву буде:

$$F_{\partial} = \frac{Pbl}{2} + \frac{ma_e}{2},$$

Прискорення  $a_e$  є похідною від швидкості:  $a_e = \frac{\Delta V}{\Delta t} = \frac{V_{omp} - 0}{t_{omp}}$ ,

де  $V_{omp}$  – швидкість відриву;  $t_{omp}$  – час відриву.

Середню швидкість руху рідини в щілині знаходимо по формулі Пуазеля [2]:

$$U = \frac{\Delta P h b}{8 \eta l},$$

де  $U$  – швидкість плинучої рідини;  $\Delta P$  – різниця тисків;  $h$  – ширина розкриття тріщини;  $\eta$  – динамічна в'язкість рідини.

Відповідно час затікання  $t_3 = \frac{l}{U} = \frac{l^2 8 \eta}{\Delta P h b}$ , звідси швидкість відриву буде  $V_{omp} = \frac{h}{t} = \frac{\Delta P h^2 b}{8 \eta l^2}$ ,

а прискорення  $a_e = \frac{V_{omp}}{t} = \frac{\Delta P^2 h^3 b^2}{64 \eta^2 l^4}$ .

Остаточно додаткове зусилля на відрив можна розрахувати по формулі:

$$F_{\partial} = P \frac{bl}{2} + m \frac{\Delta P^2 h^2 b^2}{128 \eta^2 l^3}.$$

Однак у реальних умовах при русі у вибої в'язкопластичної рідини, розрахунок швидкості руху в щілині значно ускладнюється.

Швидкість затікання неньютоновської рідини в щілину буде:

$$U_{np} = \frac{3h^2}{8\eta l} \left( \Delta p - \frac{\tau_0 l}{h} \right).$$

Звідси, сила відриву елемента від масиву у в'язкопластичної рідини визначається по формулі:

$$F_{\partial} = P \frac{bl}{2} + m \frac{9h^5 \left( \Delta p - \frac{\tau_0 l}{h} \right)^2}{128 \eta^2 l^4}.$$

На рис. 2 приведена залежність додаткового зусилля при відділенні елемента у в'язкопластичної і ідеальної рідинах. Видно що, величини зусилля відриву в ідеальній і в'язкопластичній рідинах значно розрізняються. При відриві елемента у в'язкопластичній рідині, при рівних значеннях розкриття тріщини і її заповненні, спостерігається максимум навантаження викликаного зовнішнім середовищем у районі 5–10% розкриття тріщини, при зменшенні швидкості руху елемента – зменшується додаткове зусилля, необхідне для подолання впливу зовнішнього середовища. Різке збільшення навантаження в початковий момент відриву елемента порозумівається тим, що рідина не встигає заповнити порожнину, що утворилася, і на елемент, що відривається, починає діяти перепад тисків. Надалі при заповненні порожнини рідиною тиски зрівнюються, і навантаження зменшується. З огляду на вищесказане для розрахунків необхідно застосовувати формули з урахуванням в'язкопластичної рідини що рухається, у щілині прямокутного перетину.

Порівняння значень одержаних у математичній моделі з експериментальними значеннями [3] показало правомірність використання даної моделі при розрахунках додаткового зусилля на відрив.

Величина додаткового зусилля при відриві може також залежати і від характеру руху рідини. Рідина в щілині починає рухатися при дотриманні наступної умови [2]:

$$\Delta p = P_{cst} - P_0 \geq \frac{2\tau_0 l(2h + b)}{\rho g h b}$$

Як впливає з рівняння (12), початок руху відбудеться при визначених параметрах щілини і напруги зрушення, співвіднесених до величини перепаду тиску, причому в залежності від прикладеної різниці напорів  $\Delta p$ , напрямку руху потоку та ін. можливі три режими течії: структурний, ламінарний і турбулентний. Спочатку при дотриманні рівностей:

$$\text{Для різниці тисків} - \Delta p = p_1 - p_2 = 4\tau_0 l / d ; \quad (3)$$

$$\text{Для різниці напорів} - \Delta H = H_1 - H_2 = 4\tau_0 l / \rho g d = 4\tau_0 l / \gamma d . \quad (4)$$

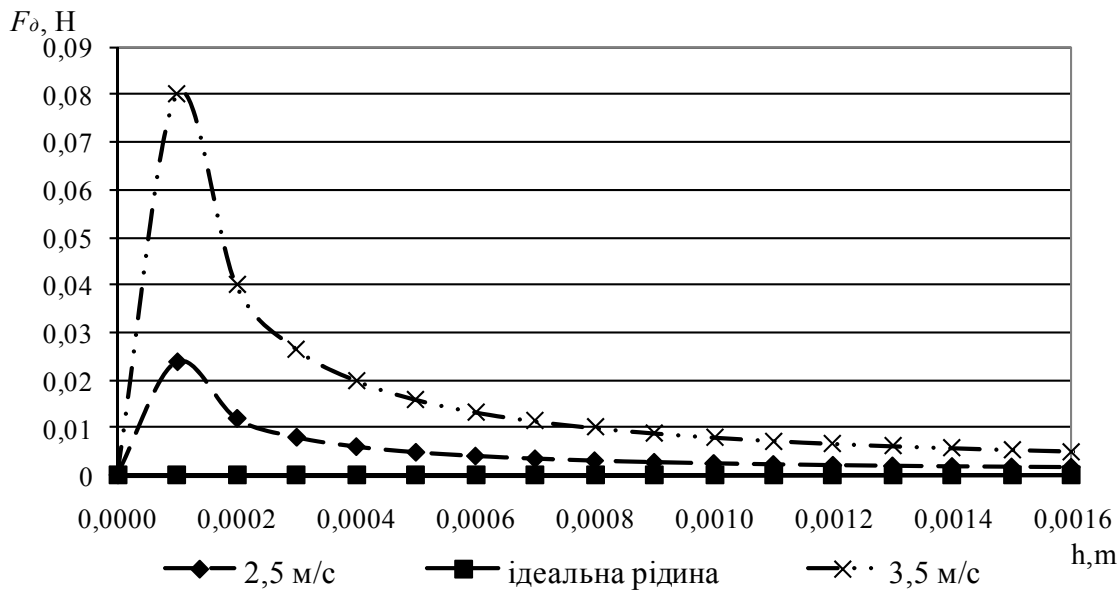


Рис.2. Залежність додаткового зусилля при відділенні елемента у в'язкопластичній і ідеальній рідинах, при різних швидкостях відділення та видах середовища  
 $F_d$  – додаткове зусилля відриву;  $h$  – висота розкриття щілини

Весь потік рухається цілком як тверде тіло з однаковою швидкістю по всьому поперечному перерізі. В міру збільшення різниці напорів і швидкостей руху в найближчих до стінок частинах потоку розвивається ламінарний режим, а в центральній частині рідина як і раніше рухається як тверде тіло. При підвищенні  $\Delta H$ , можна досягти того, що структурний режим цілком перейде в ламінарний.

Слід зазначити, що в дійсності турбулентність починає зароджуватися в потоці ще при наявності центрального ядра, тому цілком ламінарного режиму звичайно не існує і структурний режим переходить безпосередньо в турбулентний. Турбулентність може зароджуватися в результаті безлічі факторів, включаючи шорсткість стінок і т.д., а також може бути обумовлена різким зниженням тиску в потоці, що приводить до закипання рідини і турбулентності. Турбулентний режим характеризується значним збільшенням опору і зниженням швидкості руху рідини. Тому для швидкого заповнення обсягу ламінарний режим більш кращий.

Для наближення до ламінарного режиму необхідно виконувати ряд вимог: при заповненні порожнини наблизитися до умов рівностей (3, 4), дотримувати співвісність напрямку потоку й осі щілини, оптимальний перепад тиску (який характеризується швидкістю розкриття тріщини).

## Висновки

У процесі відділення елемента найбільше зусилля відділення виникає на початку руйнування, у момент зародження тріщини. У цей час елемент знаходиться в переході зі статичного в динамічний стан. На нього діє два основних фактори, обумовлених зовнішнім середовищем: різниця тисків між "зовнішньою" поверхнею і знов утвореною, і саме середовище, характеристикою якого є статичний опір зрушенню та характер течії, або якщо середовище знаходиться в русі, декілька параметрів, що узагальнюються таким параметром як в'язкість рідини.

## Библиографический список

1. Булатов, А. И. Технологические резервы повышения скоростей бурения скважин. – М.: Недра, 1985. – 126 с.
2. Киселев, П. Г. Справочник по гидравлическим расчетам. – М. – Л. Гóэнергоиздат, 1957. – 352 с.
3. Разрушение горных пород в водной среде / Н. А. Дудля, А. В. Пащенко, А. А. Пащенко // труды научно-технической конференции "Эпштейновские чтения", 1998, С.19–22.

© Пащенко О. А., Судакова Д. А., 2011.

## Аннотация

Установлено что при бурении скважин значительное влияние на энергоёмкость разрушения оказывает тип промывочного агента. Поставлена цель смоделировать процесс разрушения горной породы в водной среде и найти факторы которые влияют на энергоёмкость разрушения. Согласно представленной модели разрушения показано, что основными факторами влияющими на энергоёмкость разрушения являются: тип жидкости, разница давлений на поверхности элемента и вязкость жидкости.

Ключевые слова: энергоёмкость, разрушение, гидростатическое давление, вязкопластическая жидкость, магистральная трещина.

## Abstract

It was established that during drilling a significant effect on fracture energy has a type of drilling agent. The aim is to simulate the fracture process of rock in the aquatic environment and to find factors that affect the energy of fracture. According to the fracture model shows that the main factors affecting the fracture energy are: the type of fluid pressure difference on the element surface and the liquid viscosity.

Keywords: power consumption, destruction, hydrostatic pressure, viscously plastic liquid, the main crack.