

залежності від стану технологічних доріг, у тому числі визначає критичні швидкості, які відповідають появі резонансних режимів.

#### ЛІТЕРАТУРА

1. Веселов Г.П. Аналитическое исследование колебаний системы тягач-прицеп / Г.П.Веселов, А.Н.Густомясов, В.И.Колмаков // Известия вузов. Машиностроение. – 1988. – №5. – С.92-97.
2. Лобас Л.Г. Динамическое поведение двухзвенного автопоезда вблизи границы области устойчивости / Л.Г.Лобас, Ю.Л.Ващенко // Прикладная механика. – 1991. – Т.27. – №12. – С.85-91.
3. Бейгул В.О. Исследование динамики нагружения системы «буксировщик-автосамосвал» / В.О.Бейгул // Сб. науч. тр. НГА Украины. – Днепропетровск: НГАУ. – 2002. – №13. – Т.2. – С.8-12.

УДК 622.272:622.257.1

СТУПНИК М.І., к.т.н., професор

Криворізький технічний університет

### **ДОСЛІДЖЕННЯ МОЖЛИВОСТІ ГІДРАВЛІЧНОГО УДАРУ В ПІРНИЧИХ ВИРОБКАХ І ВИЗНАЧЕННЯ ВЕЛИЧИНИ ПОВНОГО ТИСКУ**

**Вступ.** *Проблема та її зв'язок з науковими та практичними завданнями.* Аналізом характеристик проривів глинистих порід, які відбулися на шахтах Криворізького басейну, зокрема обсягів винесеної глинистої породи, встановлено факт обмеженої довжини переміщення породи по виробках. На це впливає здатність обводненої глинистої породи швидко віддавати воду, що підтвердилося дослідженнями вологості зразків відібраної глинистої породи, яка протягом 7-10 днів з текучої фази переходила в напівтвердий стан.

Результати досліджень властивостей обводнених глинистих порід, які можуть прорватися у виробки, показують, що вони являють собою важкі суспензії з високою об'ємною густиною. При прориві у виробку під значним статичним тиском вони здатні розповсюджуватися по виробці на певну відстань.

*Аналіз досліджень і публікацій.* При застосуванні теорії виникнення гідравлічного удару необхідно відзначити, що при розгляді руху по виробках обводненої глинистої породи до неї можуть бути застосовані гідравлічні закони лише у початковій фазі, тобто коли вологість глинистої породи вища від межі текучості. Після зменшення вологості нижче межі текучості починають діяти закони реології [1, 2].

Встановлено, що гідравлічний удар – це виникнення додаткового тиску до того, що вже є в системі. Він виникає при русі рідини (суспензії, пульпи) в обмеженому просторі за наявності перешкоди на шляху руху. При цьому відбувається раптовий перехід кінетичної енергії потоку в потенційну енергію, що спричиняє значне підвищення «ударного» тиску внаслідок суттєвого зменшення швидкості, інколи до нуля.

Втрати тиску по довжині виробки обумовлені дією сил тертя. При русі водонасиченої глинистої породи по виробці працюють закони гідравліки [3].

Для визначення величини гідравлічного удару при переміщенні глинистої маси в *i*-тій точці по шляху руху застосовують закон збереження енергії і переходу потенційної в кінетичну [3].

У роботі [4] Жуковським Н.Е. запропоновано методику визначення підвищення тиску при гідравлічному ударі.

**Постановка задачі.** Метою роботи є дослідження можливості гідравлічного удару і визначення величини повного тиску в залежності від тиску глинистої породи на вході у виробку, приведеної величини сил тертя та тиску від удару при можливих проривах глинистих порід в очисний простір підземних рудників.

**Результати роботи.** Підвищення тиску при гідравлічному ударі визначається за формулою

$$P = \rho v \frac{1}{\sqrt{\rho E_p + \rho d/E_c}}, \quad (1)$$

де  $\rho$  – густина рідини (суспензії, пульпи);  
 $E_p$  і  $E_c$  – модулі пружності рідини і матеріалу стінок;  
 $v$  – швидкість поширення ударної хвилі,  
 або енергетичним рівнянням:

$$\frac{m^2 v^2}{2} = \rho \pi r^2 l v^2 / 2, \quad (2)$$

де  $r$  – радіус труби;  
 $m$  – маса речовини у відрізьку труби;  
 $l$  – довжина труби перед перешкодою (затвор, перемичка тощо).

Як видно з наведених вище формул, що описують явище гідравлічного удару, змінною величиною є швидкість просування рідини.

У нашому випадку згідно з розрахунками граничного шляху проходження швидкість обводненої глинистої породи, як показали дослідження, через 87-90 м знижується за рахунок втрати енергії на тертя до нуля.

З фізичної точки зору потенційна енергія або робота, виконана масою породи, яка переміщується по виробці, чисельно дорівнює

$$A = \frac{mV_{\text{п}}^2}{2} - \frac{mV_{\text{к}}^2}{2}, \quad (3)$$

де  $V_{\text{п}}$  – початкова швидкість руху глинистої породи;  
 $V_{\text{к}}$  – кінцева швидкість руху глинистої породи;  
 $m$  – маса обводненої глинистої породи, яка переміщується по виробці.

За умови  $V_{\text{к}} = 0$  робота, виконана масою глинистої породи,

$$A = Fl, \quad (4)$$

де  $F$  – сила тертя;  
 $l$  – довжина просування обводненої глинистої породи по виробці.

Прирівнявши вирази (3) і (4), одержимо формулу, яка описує початкову швидкість  $V_{\text{п}}$ :

$$V_{\text{п}} = \sqrt{\frac{2Fl}{m}}, \text{ м/с.} \quad (5)$$

Підставляючи (5) у (1), можна визначити максимальний тиск у виробці при миттєвому поширенні глинистої породи по всій довжині. Але, враховуючи фактор, що після шляху довжиною 80-90 м швидкість руху глинистої породи буде дорівнювати нулю, енергія удару також зменшиться до нульового значення.

Таким чином за відсутності непроникної перешкоди на відстані 80-90 м від місця прориву обводненої глинистої породи у виробку виникнення гідравлічного удару неможливе.

Як наслідок, формули роботи в  $i$ -й точці будуть записані так:

$$\dot{A}_i = \frac{mV_i^2}{2} - \frac{mV_n^2}{2}, \quad (6)$$

$$A_i = F^i l_i. \quad (7)$$

Прирівнявши вирази (6) і (7)  $\frac{mV_n^2}{2} - \frac{mV_i^2}{2} = F^i l_i$  або  $\frac{m_i V_i^2}{2} = \frac{mV_n^2}{2} - F^i l_i$ , одержимо формулу для визначення швидкості в  $i$ -й точці:

$$V_i = \sqrt{\frac{2\left(\frac{mV_n^2}{2}\right) - F^i l_i}{m_i}}. \quad (8)$$

Підставивши  $V_i$  у формулу визначення потенційної енергії [5], знаходимо формулу сили удару в  $i$ -тій точці:

$$F_{y\partial}^i = \frac{m_i V_i^2}{2} = \frac{m_i \cdot 2\left(\frac{mV_n^2}{2} - F^i l_i\right)}{2l_i m_i} = \frac{mV_n^2}{2} - F^i. \quad (9)$$

Увівши у цю формулу значення  $V_n$ , отримаємо формулу для визначення сили удару в  $i$ -й точці шляху:

$$F_{y\partial}^i = \frac{c\Pi(l^2 - l_i^2)}{l_i}, \quad (10)$$

де  $c$  – зчеплення глинистої породи, т/м<sup>2</sup>;

$\Pi$  – периметр виробки, м;

$l$  – повна довжина виробки, заповненої глинистою породою, м;

$l_i$  – відстань до  $i$ -тої точки, де визначається сила удару, м.

Приводимо величину сили до площі дії і отримуємо формулу для визначення тиску удару:

$$P_{y\partial}^i = \frac{c\Pi(l^2 - l_i^2)}{l_i \cdot S}, \text{ т/м}^2, \quad (11)$$

де  $S$  – площа дії (перемички, виробки), м<sup>2</sup>.

Визначення повного тиску на перемичку.

У силовому відображенні величина повного тиску визначається наступними формулами:

$$F_{\Pi} = F_{\Gamma} - F_{\tau} + F_{y\partial}, \quad (12)$$

$$F_{\tau} = \tau\Pi, \quad (13)$$

де  $\tau$  – сила тертя, т/м<sup>2</sup>;

$\Pi$  – периметр виробки, м;

$l$  – довжина шляху, пройденого глинистою породою, м.

Чисельна величина повного тиску

$$P_{\Pi} = F_{\Pi}/S = (F_{\Gamma} - F_{\tau} + F_{y\partial})/S = P_{\Gamma} - (F_{\tau}/S) + P_{y\partial}. \quad (14)$$

Повний тиск на перемичку в  $i$ -й точці

$$P_{\text{п}} = P_{\text{г}} - F_{\text{т}}^i + P_{\text{уд}}^i, \quad (15)$$

де  $P_{\text{г}}$  – тиск глинистої породи на вході у виробку,  $\text{т/м}^2$ ;  
 $F_{\text{т}}^i$  – приведена величина сил тертя в  $i$ -тій точці,  $\text{т/м}^2$ ;  
 $P_{\text{уд}}^i$  – тиск від удару в  $i$ -тій точці,  $\text{т/м}^2$ .

При цьому не враховується витрата енергії на нагрівання глинистої породи під час руху по виробці. Зроблене допущення збільшує запас міцності конструкції перемички.

Для наочності можна виразити  $P_{\text{п}}$  графічно як функцію від  $l_i$  (рис.1).

Знаючи повний тиск у виробці, можна визначити товщину перемички у виробці на заданій відстані від місця прориву глинистих порід.

На відстані 69 м від очисного простору повний тиск  $P_{\text{п}}$  майже дорівнює тиску глинистих порід у виробці  $P_{\text{г}}$ . Довжина  $l = 69$  м складає приблизно 80% загальної довжини шляху, пройденої глинистою породою ( $l_{\text{max}} = 90$  м).

Таким чином,  $l_i = 0,8 \cdot l_{\text{max}}$  є оптимальним місцем установки перемички. При неможливості виконання цієї умови, тобто  $l_i > 0,8 \cdot l_{\text{max}}$ , ширину перемички необхідно розраховувати на тиск  $P_{\text{п}} = P_{\text{г}}$ , оскільки при гідрогеологічній ситуації, що постійно змінюється у виробленому просторі й у виробці (підвищення вологості глинистої породи), тиск у виробці може досягти  $P_{\text{г}}$ .

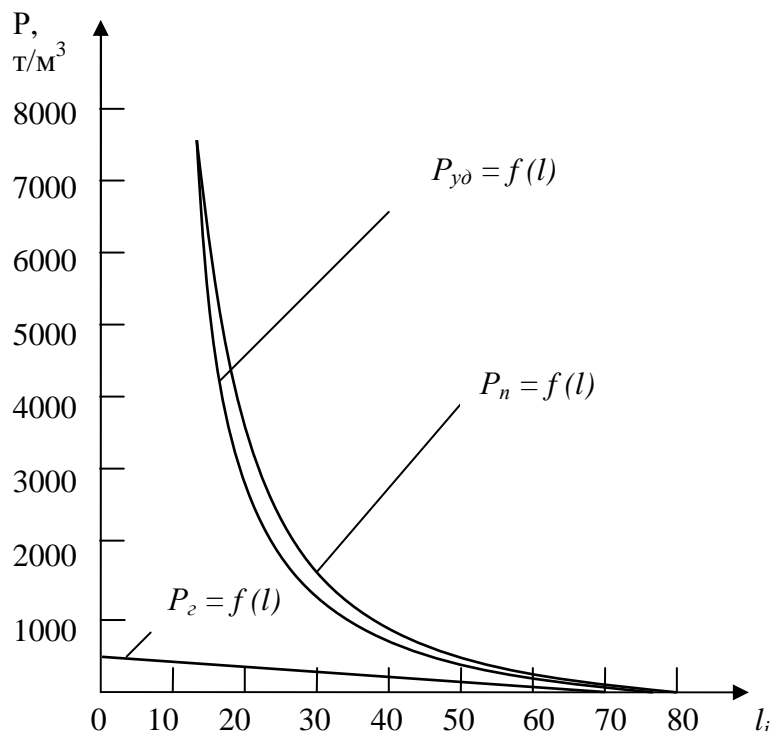


Рисунок 1 – Графіки залежності  $P_{\text{г}}$ ,  $P_{\text{уд}}$  і  $P_{\text{п}}$  від довжини шляху проходження глинистих порід по виробці  $l$

А формула (15) запишеться у вигляді

$$P_{\text{п}} = P_{\text{г}} - F'_{\text{т}} + P_{\text{уд}} \geq P_{\text{г}}, \quad (16)$$

тобто у розрахунках величина  $P_{\text{п}}$  повинна прийматися не меншою  $P_{\text{г}}$ .

При визначенні довжини шляху проходження глинистих порід по виробці сила тертя в  $i$ -й точці виробки визначається за формулою

$$F_i = \tau_i \Pi l_i ,$$

де  $\tau_i$  – сила тертя, що приходить на одиницю поверхні, т/м<sup>2</sup>;

$\Pi$  – периметр виробки, м;

$l_i$  – довжина шляху, пройденого глинистою породою до  $i$ -тої точки, м.

Після проходження певної відстані  $l$  глинисті породи зупиняються за рахунок тертя, а система переходить у стан рівноваги. Прирівнюємо силу тиску глинистої породи на вході у виробку до сили тертя

$$P_r \cdot S = c \Pi , \quad (17)$$

де  $P_r$  – тиск на вході у виробку, т/м<sup>2</sup>;

$S$  – площа перетину виробки, м<sup>2</sup>;

$c$  – внутрішнє зчеплення глинистих порід, т/м<sup>2</sup>.

Із формули визначаємо довжину шляху

$$l = \frac{P_r \cdot S}{c \Pi} , \text{ м} . \quad (18)$$

**Висновки.** Встановлено, що повний тиск на перемичку в  $i$ -й точці дорівнює сумі значень тиску глинистої породи на вході у виробку, тиску від удару в  $i$ -й точці, зменшій на приведену величину сил тертя в  $i$ -й точці. Доведено, що після проходження певної відстані  $l$  глинисті породи зупиняються за рахунок тертя, а система переходить у стан рівноваги. Запропонована формула для визначення довжини проникнення обводнених глинистих порід по гірничій виробці.

#### ЛІТЕРАТУРА

1. Осипенко Ю.С. Методические рекомендации по прогнозу прорывов песчано-глинистых пород в горные выработки / Ю.С.Осипенко, О.И.Писарев. – Белгород: ВИОГЕМ, 1984. – 27с.
2. Рейнер М. Реология / Рейнер М. – М.: Мир, 1964. – 223с.
3. Железняков Г.В. Гидравлика и гидрогеология: учебник / Железняков Г.В. – М.: Транспорт, 1989. – 88с.
4. Фисенко Г.А. Предельное состояние горных пород вокруг выработки / Фисенко Г.А. – М.: Недра, 1976. – 272с.
5. Галаев Н.З. Управление состоянием массива горных пород при подземной разработке рудных месторождений / Галаев Н.З. – Л.: РТПЛГИ, 1979. – 100с.