

## ВИТІКАННЯ РІДИН ЧЕРЕЗ ОТВОРИ В БОКОВІЙ СТІНЦІ ВЕРТИКАЛЬНОЇ ЦИЛІНДРИЧНОЇ ПОСУДИНИ ПРИ ЇЇ ОБЕРТАННІ НАВКОЛО ОСІ

М.І.Мердух, Л.В.Возняк

ІФНТУНГ, 76019, м. Івано-Франківськ, вул.Карпатська,15, тел.(0342) 40098

e-mail: public@nung.edu.ua,

Приведены уточненные уравнения для расчета времени опорожнения вертикального цилиндрического сосуда через отверстия в боковой стенке при ее вращении вокруг оси

Specified equations are given to calculate the time of flow out of vertical cylindrical vessel through the orifices on the side wall at rotational movement around its axis

Рівномірне обертання вертикальної циліндричної посудини з рідиною забезпечує відносний спокій рідини (її рівновагу відносно стінок посудини). У такій ситуації, як відомо, вільна поверхня рідини в результаті дії відцентрових сил має форму поверхні параболоїда і описується в циліндричній системі координат рівнянням [1]

$$z = \frac{\omega^2 r^2}{2g}, \quad (1)$$

де:  $\omega$  – кутова швидкість;  $g$  – прискорення вільного падіння;  $r$  – радіус точки на вільній поверхні;  $z$  – ордината точки.

Питання рівномірного обертання вертикальної циліндричної посудини з рідиною навколо її осі висвітлюються у спеціальній літературі, проте результати досліджень наводяться в незавершеному вигляді [2].

Процес витікання рідини через отвір при змінному напорі має нестационарний характер, і найбільш важливою в практичному відношенні тут є задача визначення тривалості процесу витікання всього об'єму рідини, тобто часу випорожнення посудини.

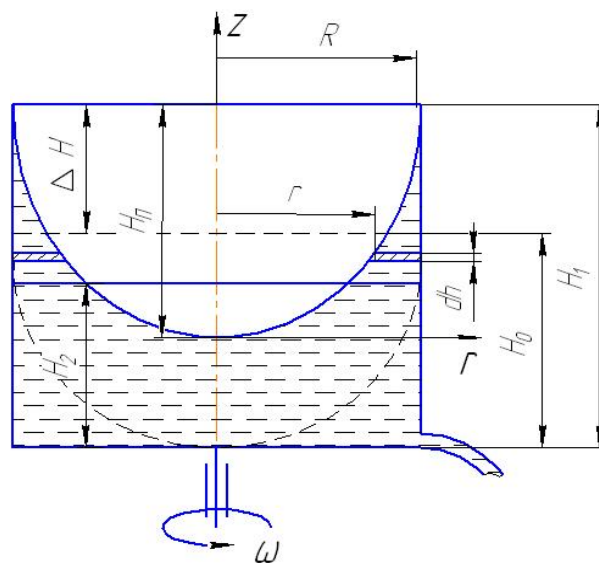
В гідравлічній літературі наводяться рішення цих задач для посудин з вертикальними стінками, коли площа перерізу посудини по її висоті стала чи правильної геометричної форми (типу горизонтальної циліндричної цистерни чи кульового резервуара).

У нашому випадку площа перерізу об'єму рідини, розташованого нижче вершини вільної поверхні, стала, а решта об'єму – змінна (рис. 1).

Час витікання першої частини об'єму циліндричної форми може бути визначений за відповідною формулою [1]

$$\tau = \frac{2F(\sqrt{H_1} - \sqrt{H_2})}{\mu S \sqrt{2g}}, \quad (2)$$

де:  $F$  – площа перерізу посудини,  $F = \pi R^2$ ;  $H_2$  – кінцевий напір;  $H_1$  – початковий напір;  $\mu$  – коефіцієнт витрати;  $S$  – площа отвору;  $R$  – радіус посудини.



**Рисунок 1 — Обертання посудини навколо вертикальної осі із сталою швидкістю**

$$H_1 = H_0 + \Delta H = H_0 + \frac{\omega^2 R^2}{4g}, \quad (3)$$

де  $H_0$  – початкова висота наливу в посудині.

$$\Delta H = \frac{H_n}{2},$$

де  $H_n$  – глибина параболічної поверхні.

$$H_2 = H_n = \frac{\omega^2 R^2}{2g}. \quad (4)$$

Час витікання позапараболідного об'єму (другої частини наявного об'єму) визначається інтегральним методом, оскільки площа перерізу цього об'єму змінна по висоті.

Елементарний об'єм рідини  $dV$ , що витікає з посудини за нескінченно малим проміжком часу  $d\tau$ , рівний

$$dV = Q \cdot d\tau = \mu S \sqrt{2gh} \cdot d\tau, \quad (5)$$

де  $h$  – дійсний напір (висота рівня над отвором).

За цей же проміжок часу  $dt$  рівень рідини в посудині знизиться на  $\Delta h$ , а об'єм рідини зменшиться на

$$dV = -Sdh = -\pi(R^2 - r^2)dh. \quad (6)$$

Знак "-", тут взятий тому, що в процесі витікання напір зменшується і величина  $\Delta h$  буде від'ємною.

Із рівняння (1) маємо:

$$r^2 = \frac{2gh}{\omega^2}. \quad (7)$$

Тоді рівняння (4) з урахуванням співвідношення (5) набуває вигляду

$$dV = -\pi(R^2 - \frac{2gh}{\omega^2})dh. \quad (8)$$

Прирівнюємо праві частини рівнянь (3) і (6)

$$\mu S \sqrt{2gh} \cdot d\tau = -\pi(R^2 - \frac{2gh}{\omega^2})dh.$$

Звідки

$$d\tau = -\frac{\pi(R^2 - \frac{2gh}{\omega^2})dh}{\mu S \sqrt{2gh}}. \quad (9)$$

Час, за який рівень рідини на стінці посудини опускається з висоти  $H_n$  до нуля (повне випорожнення) знайдемо інтегруванням рівняння (7):

$$\tau_2 = -\int_{H_n}^0 \frac{\pi(R^2 - \frac{2gh}{\omega^2})}{\mu S \sqrt{2gh}} = \frac{2\pi\sqrt{H_n}}{\mu S \sqrt{2g}} (R^2 - \frac{2gH_n}{3\omega^2}). \quad (10)$$

Загальний час випорожнення посудини

$$\tau = \tau_1 + \tau_2 = \frac{2F(\sqrt{H_1} - \sqrt{H_2})}{\mu S \sqrt{2g}} + \frac{2\pi\sqrt{H_n}}{\mu S \sqrt{2g}} (R^2 - \frac{2gH_n}{3\omega^2}). \quad (11)$$

З урахуванням залежностей (3) та (4) рівняння (11) матиме вигляд

$$\tau = \frac{2\pi R^2}{\mu S \sqrt{2g}} \left[ \left( \sqrt{H_0 + \frac{\omega^2 R^2}{4g}} - \frac{\omega R}{\sqrt{2g}} \right) + \frac{5}{6} \cdot \frac{\omega R}{\sqrt{2g}} \right] = \frac{2\pi R^2}{\mu S \sqrt{2g}} \left( \sqrt{H_0 + \frac{\omega^2 R^2}{4g}} - \frac{\omega R}{6\sqrt{g}} \right). \quad (12)$$

За невеликої кількості рідини в посудині або при значній кутовій швидкості обертання вільна поверхня рідини з самого початку буде перетинати дно посудини (рис. 2).

В такій ситуації рівняння (9) треба проінтегрувати в межах від  $h=h_0$  до 0:

$$\tau = -\int_{h_0}^0 \frac{\pi(R^2 - \frac{2gh}{\omega^2})}{\mu S \sqrt{2gh}} = \frac{2\pi\sqrt{h_0}}{\mu S \sqrt{2g}} (R^2 - \frac{2gh_0}{3\omega^2}). \quad (13)$$

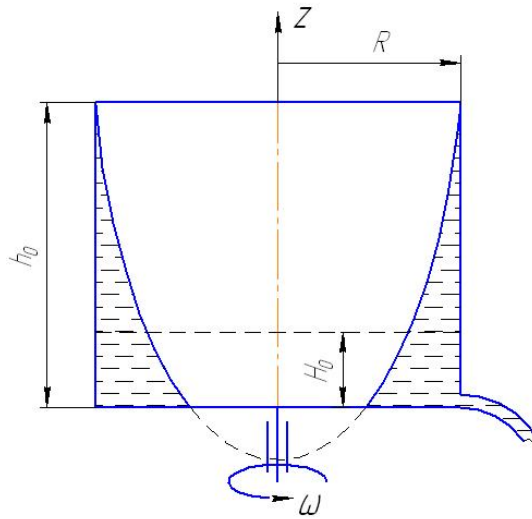


Рисунок 2 — Обертання посудини навколо вертикальної осі при значній кутовій швидкості

Тут:  $h_0$  – початкова висота рівня рідини на стінці посудини, яка може бути визначена з умови рівності об'ємів рідини в посудині до її обертання і при вобертвовому русі [1]:

$$\pi R^2 H_0 = \frac{\pi g}{\omega^2} h_0^2, \quad (14)$$

звідки

$$h_0 = R\omega \sqrt{\frac{H_0}{g}}. \quad (15)$$

**Приклад:** визначити час випорожнення вертикальної циліндричної посудини висотою 40 см і діаметром 20 см, заповненої наполовину рідиною, через отвір в боковій стінці на рівні дна, з діаметром 2 мм, при її рівномірному обертанні навколо власної осі з числом обертів 150 об/хв.

**Розв'язок.**

Знайдемо кутову швидкість

$$\omega = \frac{\pi n}{30} = \frac{3.14 \cdot 150}{30} = 15,7c^{-1}.$$

Площа отвору

$$S = \frac{\pi d^2}{4} = \frac{3.14 \cdot 0.002^2}{4} = 3.14 \cdot 10^{-6} m^2.$$

Висота рівня в посудині до її обертання

$$H = \frac{40}{2} = 20cm = 0,02m.$$

Радіус посудини

$$R = \frac{20}{2} = 0.10cm = 0,01m.$$

Коефіцієнт витрати через отвір приймаємо рівним  $\mu = 0.6$ .

За рівнянням (12) визначаємо

$$\tau = \frac{2 \cdot 3,14 \cdot 0,01^2}{0,6 \cdot 3,14 \cdot 10^{-6} \sqrt{2,981}} \times$$

$$\times \left( \sqrt{0,02 + \frac{15,7^2 \cdot 0,01^2}{4 \cdot 9,81}} - \frac{15,7 \cdot 0,01}{6 \sqrt{9,81}} \right) = 10,24 \text{ с.}$$

Отже рівняння (10) дає можливість визначити час випорожнення рідини через отвори в боковій стінці вертикальної циліндричної посудини при її обертанні навколо вертикальної осі.

УДК 622.24.051

## ПІДВИЩЕННЯ НАДІЙНОСТІ З'ЄДНАННЯ „ШАРОШКА-ЗУБОК” В ТРИШАРОШКОВИХ БУРОВИХ ДОЛОТАХ

Ю.Д.Петрина, Р.С.Яким, Т.Б.Пасинович

ІФНТУНГ, 76019, м. Івано-Франківськ, вул. Карпатська, 15, тел. (03422) 43024,  
e-mail: public@nung.edu.ua

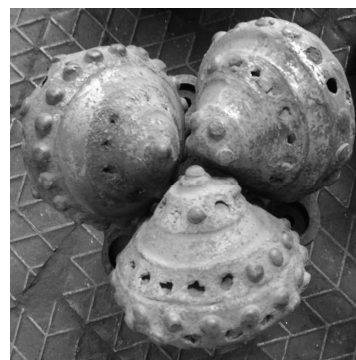
*Установлено, что при условии сохранения эксплуатационных параметров упрочненной шарошки наилучшую прочность соединения „зубок-шарошка” обеспечивает их запрессовка при нагреве шарошки и охлаждении зубка (разница температур  $\Delta T \approx 600\text{K}$ ). При этом обеспечение шероховатости отверстий в шарошке  $R_a \approx 0,63$  мкм и селективном соединении повышается стойкость соединения приблизительно на 50% по сравнению со стойкостью в серийных долотах.*

*It has been determined that condition of strengthened cone exploitative parameters keeping the highest strength of the joint „tooth-cone” is ensured by their pressing with the cone heating and tooth cooling (temperature difference  $\Delta T \approx 600\text{K}$ ). An the case of keeping the holes roughness in the cone  $R_a \approx 0,63$  мкм and selective composition the steadfastness of joint is increasing at least 50 per cent in comparison with the steadfastness in the serial bits.*

Довговічність і ефективність тришарошкового бурового долота з твердосплавними вставними зубками залежить від інтенсивності зношування і руйнування озброєння. Характер зношування і руйнування елементів озброєння залежить не тільки від умов роботи долота на вибої, але і від низки технологічних чинників його виготовлення. Тому вивчення впливу технологічних факторів на надійність з'єднання „зубок-шарошка” є актуальним з огляду на пошук резервів підвищення довговічності і ефективності шарошкових доліт. В цьому напрямку отримано значні досягнення такими вченими, як Жидовцев Н.А., Кершенбаум В.Я., Крилов К.А., Петрина Ю.Д. та ін.

Оскільки автори по-різному оцінюють переважаючий вплив того чи іншого чинника умов експлуатації чи умов виготовлення шарошкового долота, існують суперечливі рекомендації щодо напрямку підвищення довговічності з'єднання „зубок-шарошка”.

Випадання твердосплавних зубків призводить до втрати долотом озброєння та катастрофічного зниження працездатності (рис. 1). В [1, 2] вказано, що перед випаданням зубків іноді спостерігається їх розвертання в отворах шарошки. Основними причинами такого явища вважають: ерозійне зношування тіла шарошки;



а)



б)

Рисунок 1 — Випадання твердосплавних зубків з тіла шарошок долота 269,9 ОК-ПВ-3