

## УНІВЕРСАЛЬНА ВОДОБІЙНА СПОРУДА

Висока кінетична енергія потоку за багатьма водопропускними і спрягаючими спорудами зазвичай призводить до утворення за ними відігнутого гідравлічного стрибка. Як наслідок, виникає необхідність укріплення русла на значній відстані від споруди. Для скорочення довжини укріплення будуються гасителі енергії. Найбільш поширені водобійні колодязі – місцеві заглиблення у руслі і водобійні стінки – переливні перешкоди, які забезпечують затоплення гідравлічного стрибка у стиснутому перерізі. Відстань кріплення завдяки цьому скорочується на довжину відгону стрибка і додатково – за рахунок скорочення довжини самого стрибка, він стає підпертим.

Водобійний колодязь має перевагу при слабкій основі, коли він простіший у виготовленні. Але він замулюється при низьких періодичних витратах, характерних для більшості малих дорожніх споруд. Заповнення колодязя наносами може привести до утворення відігнутого стрибка, руйнування русла, підмиву самого колодязя та інших споруд. Аналогічна картина може виникнути під час весняного паводку при заповненні колодязя кригою або в разі замерзання води.

Водобійні стінки з отворами в основі, позбавлені цих недоліків. Але вони можуть затримувати плаваючі у воді предмети. Крім того, за стінкою теж може утворитися відігнаний гідравлічний стрибок, що вимагає встановлення другої, а інколи і третьої стінки.

Залишаються ще два питання. Перше полягає в недосконалої (з теоретичної і практичної точок зору) визначення довжини водобійного колодязя і відстані до водобійної стінки від перепаду або швидкотоку, яке базується на емпіричних формулах. Друге полягає оптимізації вибору водобійної споруди, яка враховує перераховані вище недоліки кожної з них.

Для розв'язання цих питань можна узагальнити всі перераховані вище методи гасіння кінетичної енергії потоку і скористатися універсальною водобійною спорудою хвилястого профілю, яка за різних умов може нагадувати всі перелічені водобійні споруди і максимально позбавлена недоліків, які вони мають.

Для одержання згаданого хвилястого профілю необхідно сформулювати і розв'язати зворотну задачу визначення профілю дна водобійної ділянки за умови, що похил вільної поверхні буде дорівнювати похилу дна русла за межами водобою. Скористаємося для цього рівнянням різкозмінного руху у прямокутному руслі відносно розподілу глибини вздовж потоку  $h = h(l)$ , яке враховує відцентрові сили інерції

$$\beta \frac{\alpha v^2}{g} \frac{d^2 h}{dl^2} - \frac{dE}{dh} \frac{dh}{dl} + i - I = 0,$$

де  $\alpha$  і  $\beta$  - коефіцієнти, що враховують нерівномірність розподілу швидкостей і сил інерції у перерізі. У даному випадку питома енергія перерізу складається тільки з питомої кінетичної енергії

$$E = \frac{\alpha v^2}{2g}.$$

Замінюючи коефіцієнти перед похідними їх середніми значеннями, які відповідають критичній глибині потоку за водобійною спорудою,

$$\frac{dE}{dh} = \frac{E(h'') - E(h')}{h'' - h'}, \beta \frac{\alpha v^2}{g} = \beta \frac{\alpha v_{\kappa}^2}{g} = \beta h_{\kappa},$$

і користуючись показниковим законом

$$i - I = i \left( 1 - \frac{K_0^2}{K^2} \right) = i \left( 1 - \left( \frac{h_0}{h} \right)^x \right),$$

проведемо лінеаризацію рівняння різкозмінного руху. Для цього перейдемо до безрозмірних відхилень від нормальної глибини за формулами

$$h = \frac{h - h_0}{h_0}, l = \frac{l}{h_0},$$

і залишимо тільки члени першого порядку малості

$$i - I = i \left( 1 - \left( \frac{1}{1+h} \right)^x \right) \approx ixh.$$

Тепер лінеаризоване рівняння різкозмінного руху можна записати у вигляді

$$\frac{d^2 h}{dl^2} + 2b \frac{dh}{dl} + k^2 h = 0,$$

де сталі коефіцієнти дорівнюють:

$$2b = \frac{h_0}{\beta h_{\kappa}}, k^2 = \frac{ix}{\beta} \frac{h_0}{h_{\kappa}}.$$

До нього слід додати початкові умови у вигляді:

$$h(l=0) = h_c'', h'(l=0) = 0,$$

де  $h_c''$  - глибина, спряжена до глибини у стиснутому перерізі  $h_c$ , яка визначається з рівняння гідравлічного стрибка

Залежно від співвідношення коефіцієнтів рівняння мають місце різні форми водобійної споруди. Якщо  $b$  більше ніж  $k$ , то конфігурація споруди буде приблизно відповідати рішенням:

$$h = \frac{h_c''}{b_1 - b_2} (b_1 e^{-b_2 l} - b_2 e^{-b_1 l}),$$

де  $b_1 = b + \sqrt{b^2 - k^2}$ ;  $b_2 = b - \sqrt{b^2 - k^2}$ .

Тобто буде мати вигляд водобійного колодязя з криволінійною передньою стінкою або комбінованого водобійного колодязя залежно від співвідношення  $b_1$  і  $b_2$ .

Якщо  $b$  менше ніж  $k$ , то конфігурація споруди буде відповідати рішенням:

$$h = \frac{h_c''}{k_1} e^{-b l} \sin(k_1 l + \varphi),$$

де  $k_1 = \sqrt{k^2 - b^2}$ ;  $\varphi$  - початкова фаза така, що  $\operatorname{tg} \varphi = \frac{b}{k}$ .

Тобто буде мати вигляд водобійних стінок. Якщо  $k$  значно перевищує  $b$ , то водобійна споруда переходить у багатоступінчастий перепад.

У доповіді запропоновано універсальну водобійну споруду, яка замінює і доповнює традиційні для систем дорожнього водовідведення гасителі енергії у вигляді водобійного колодязя, водобійних стінок, комбінованого водобійного колодязя і багатоступінчастого перепаду.

## Література

1. Біловол О.В. Рівняння різкозмінного руху для гідравлічного стрибка // Автомобільний транспорт: сб. науч. Тр. - 2013. - № 32. - С. 111-114.