

## ВИКОРИСТАННЯ ПЛАНОВОЇ ДЕФОРМАЦІЇ РУСЛА У ЯКОСТІ ГАСИТЕЛЯ ЕНЕРГІЇ

Запропоновано ідею універсальної водобійної споруди, яка основана на зміні планової конфігурації русла з метою скорочення ділянки водобою за спрягаючими спорудами. Вона частково замінює і доповнює традиційні для систем дорожнього водовідведення гасителі енергії у вигляді водобійного колодязя, водобійних стінок, комбінованого водобійного колодязя, розсіюючого трампліну, підвищеної шорсткості.

Математичну модель побудовано на основі рівнянь різко змінного руху, яка дозволяє одержати профіль універсальної водобійної споруди в плані. Проведено лінійний аналіз цієї моделі і запропоновані наближені формули для профілю споруди.

Універсальна водобійна споруда максимально позбавлена більшості недоліків, притаманних традиційним гасителям енергії.

Проведено порівняльний аналіз з універсальною спорудою, основаною на зміні повздовжнього профілю ділянки водобою. Очевидні переваги змінення профілю в плані при гасінні енергії за швидкотоками.

Для одержання згаданого хвилястого профілю необхідно сформулювати і розв'язати зворотну задачу визначення профілю водобійної ділянки у плані за умови, що похил її дна і глибина потоку буде дорівнювати відповідно похилу дна русла і нормальній глибині за межами водобою. Запишемо рівняння різкозмінного руху води з урахуванням відцентрових сил інерції [1] за умови, що живі перерізи потоку плоскі і прямокутні:

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

де  $i$  - похил вільної поверхні;  $E = \frac{\alpha v^2}{2g}$  - питома кінетична енергія;  $I$  - похил тертя;  $b$  - ширина русла;  $v$  - середня швидкість;  $l$  - повздовжня координата;  $\alpha$  - коефіцієнт кінетичної енергії;  $\beta$  - відцентровий коефіцієнт;  $g$  - прискорення вільного падіння.

Перейдемо в рівнянні до відносних змінних за формулами:

$$x = \frac{b - b_0}{b_0}, l = \frac{l}{b_0},$$

де  $b_0$  - ширина русла за межами водобою, якій відповідає нормальна глибина  $h_0$ , що визначається з формули Шезі:

$$Q = \omega W \sqrt{i},$$

де  $\omega$  - площа живого перерізу;  $W = W(n, R)$  - швидкісна характеристика;  $n$  - коефіцієнт шорсткості русла;  $R$  - гідравлічний радіус.

Для визначення похилу тертя скористаємося формулою

$$I = \left( \frac{K_0}{K} \right)^2,$$

де  $K = \omega W$  - витратна характеристика;  $K_0$  - витратна характеристика за межами водобоя.

Швидкісну характеристику будемо визначати за формулою Манінга

$$W = \frac{1}{n} R^{\frac{2}{3}}.$$

В результаті одержуємо рівняння

$$x'' + 2bx' + \frac{2bi}{Fr} \left( 1 - \frac{K_0^2}{K^2} \right) = 0,$$

де  $2b = \frac{1}{\beta}$ ;  $Fr$  - число Фруда, яке визначається за формулою:

$$Fr = \frac{\alpha v^2}{gb}.$$

До нього слід додати початкові умови у вигляді:

$$x(l=0) = x_c, x'(l=0) = 0,$$

де  $x_c$  - відносна глибина у стиснутому перерізі.

Щоб визначити у першому наближенні конфігурацію русла у плані проведемо лінеаризацію рівняння. Одержимо відоме рівняння малих коливань з урахуванням сил тертя:

$$x'' + 2bx' + k^2 x = 0,$$

де  $k^2$  - квадрат частоти коливань, який визначається за формулою:

$$k^2 = \frac{2bi}{Fr_0} \left( \frac{b_0 + \frac{10}{3}h_0}{b_0 + 2h_0} \right);$$

$Fr_0$  - число Фруда рівномірного руху за межами водобійної споруди, яке визначається за формулою:

$$Fr_0 = \frac{\alpha v_0^2}{gb_0}.$$

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

$$x = \frac{x_c}{b_1 - b_2} (b_1 e^{-b_2 l} - b_2 e^{-b_1 l}),$$

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

Тобто буде мати вигляд розширення у вигляді струменя, яке використовується у розсіюючому трампліні за швидкотоком для відкидання потоку на безпечну відстань. Необхідно зауважити, що для рівномірного розподілу потоку по ширині дно трампліну повинно бути у вигляді криволінійної поверхні: опуклої у поперечному напрямку і увігнутої у повздовжньому.

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

$$x = \frac{x_c}{k_1} e^{-bl} \sin(k_1 l + \varphi),$$

де  $k_1 = \sqrt{k^2 - b^2}$ ;  $\varphi$  - початкова фаза така, що визначається з рівняння

$$\cos \varphi = \frac{b}{k}.$$

Тобто буде мати вигляд системи розширень і звужень на кшталт водозливів без порогу, амплітуда яких затухає вздовж русла. Якщо  $k$  значно перевищує  $b$ , то водобійна споруда збільшує поперечну шорсткість, яка використовується у швидкотоках для зниження швидкості.

## Література

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