

УДК 621.8.031

Рогалевич Ю.П., професор, Гнатюк В.М., ст. 4 курсу ФВГ, Силасв П.В., пошуковець (Національний університет водного господарства та природокористування, м. Рівне)

ПРИСТРІЙ ДЛЯ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО ВИЗНАЧЕННЯ СИЛИ ЛОБОВОГО ОПОРУ ТІЛ ОБТІКАННЯ

В роботі наводиться теоретично обґрунтована конструкція дослідної установки для експериментального визначення коефіцієнта лобового опору тіл обтікання шляхом вимірювання сили лобового опору цих тіл.

The construction of pilot plant for experimental determination of coefficient of frontal-resistance of bodies of flowing around by measuring of force of frontal-resistance of these bodies is theoretically pointed.

Штучна шорсткість, як відомо, застосовується для збільшення глибини у нижньому б'єфі водоскидних споруд у вигляді ребер, шашок, пірсів та для зменшення середньої швидкості руху води в лотках бистротоків та рибоходів лотокового типу.

Дослідженнями впливу штучної шорсткості на величину коефіцієнта гідравлічного тертя λ займались багато вчених: Базен, Деніль, Герке Г.А., Каплинський С.В., Лагишенков А.А., Айвазян О.М., Пікалов Ф.І., Петров Г.А. та інші. Слід відзначити, що найбільших результатів досяг О.М. Айвазян, який одержав експериментальним шляхом функціональну залежність:

$$\lambda = f(M, N, i, b, h, \Delta, P_k) \quad (1)$$

де M, N – параметри, які залежать від виду штучної шорсткості висотою Δ ;
 i – похил лотка бистроточу;

b, h – відповідно ширина потоку і його глибина над верхньою гранню елементів штучної шорсткості;

P_k – параметр кінетичності потоку.

На наш погляд, такий підхід до врахування впливу штучної шорсткості на гідравлічний опір потоку дещо обмежений. Згідно досліджень Айвазяна О.М., Пікалова Ф.І., Петрова Г.А. експериментально за залежністю (1) коефіцієнт гідравлічного тертя λ буде відповідати дійсності лише для досліджених видів штучної шорсткості і являтиме собою інтегральне осереднення коефіцієнтів штучної шорсткості, які для бокових стінок прямокутного лотка мають значно меншу шорсткість, ніж дно. На нашу думку, слід окремо врахувати гідравлічні опори гладких бокових стінок і дна лотка, а окремо виступів шорсткості на дні. Для цього слід знати величину коефіцієнта лобового опору C_x того чи іншого виду елементів штучної шорсткості. Відомо, що [1] сила лобового опору при обтіканні будь-якого тіла, визначається за формулою:

$$P_n = \gamma \cdot C_x \cdot \omega_x \frac{V^2}{2g}, \quad (2)$$

де γ – питома вага рідини, Н/м³;

ω_x – площа міделевого перерізу тіла, яке обтікається, м²;

V – середня швидкість набігаючого потоку, м/с.

Для експериментального визначення коефіцієнта лобового опору елементів штучної шорсткості різного типу, була створена дослідна установка (рис.1).

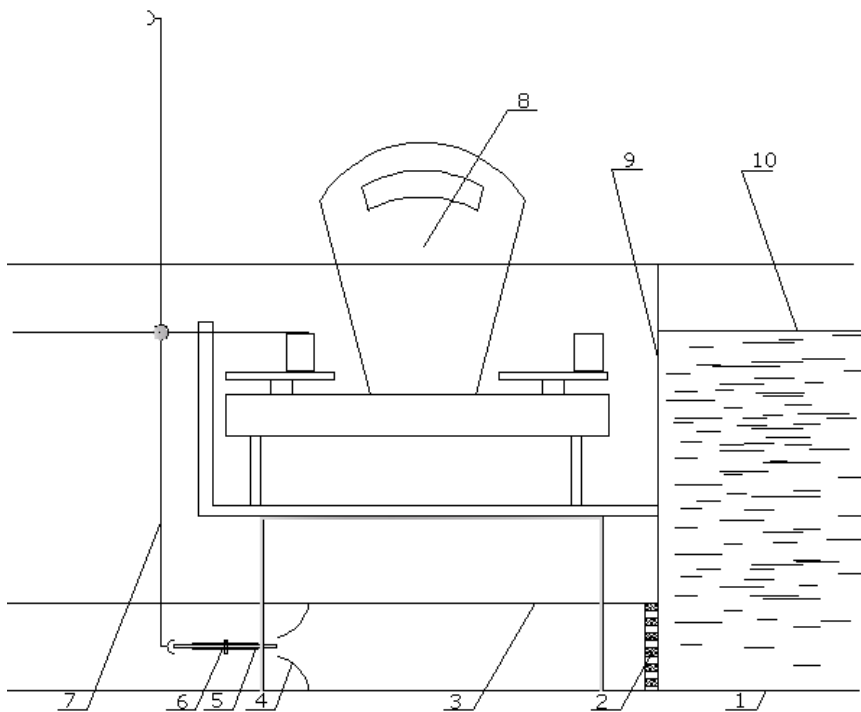


Рис. 1. Експериментальна установка для визначення коефіцієнта лобового опору елементів штучної шорсткості тіл обтікання

Експериментальна установка складається з лотка 1, в який вмонтовано трубу прямокутного перерізу 3. В трубі розташовано конікоподібний насадок 4 прямокутного перерізу. По центру отвору конікоподібного насадка в пазах розміщено пластину 5, до якої кріпляться тіла обтікання 6. Пластина 5 закріплена в тримачі пластини, який кріпиться до важільної системи 7. Важільна система з'єднана з вагою 8. На вході в трубу встановлено сітку для вирівнювання епюри швидкостей.

Установка працює наступним чином. Встановлюємо необхідний рівень води в верхньому б'єфі 10, а в нижньому б'єфі рівень води підтримувався на рівні верха прямокутної труби прикріпленої до порталної стінки 9. Потік води, що витікає з коноідального насадка має прямокутну епюру швидкостей і симетрично обтікає як пластинку, так і елементи штучної шорсткості, закріплені на ній. Завдяки силі лобового опору, пластинка разом із закріпленням на ній елементом штучної шорсткості переміщується і діє на важільну систему. В результаті на циферблаті ваги фіксується сила лобового опору усіх елементів, які обтікаються потоком. Важільна система зроблена таким чином, що коефіцієнт перерахунку рівний одиниці.

Методика проведення експериментальних досліджень полягала в наступному:

1. Спочатку експериментально визначали залежність сил опору горизонтальної пластини $P_{пл}=f(V)$, яка показана на рис. 2.

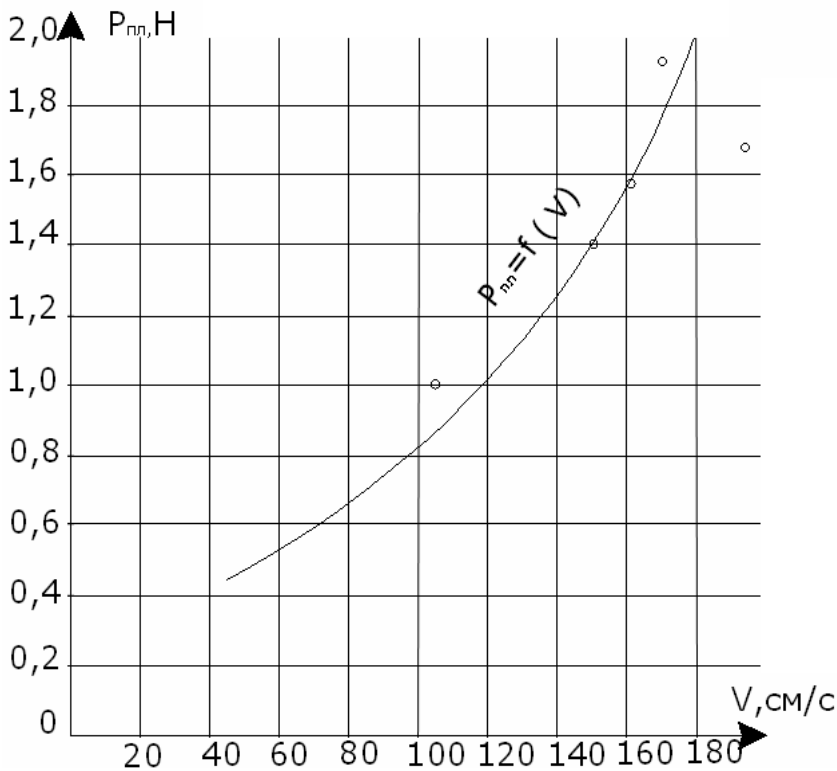


Рис. 2. Графік залежності $P_{пл}=f(V)$

2. Потім експериментально визначались загальні сили опору пластини і симетричного елемента штучної шорсткості висотою 4 мм і довжиною відповідно

40, 60, 80 мм, які встановлювались у горизонтальному положенні.

Витрата вимірювалась після моделі об'ємним способом.

Коефіцієнт лобового опору елементів штучної шорсткості визначався із залежності:

$$2P_l = 2\gamma \cdot C_x \cdot \omega_x \frac{V^2}{2g} + P_{nl}, \quad (3)$$

звідки:

$$C_x = \frac{(2P_l - P_{nl})g}{\gamma\omega_x V^2}. \quad (4)$$

Результати обробки експериментальних даних в безрозмірному вигляді наведені на рис. 3.

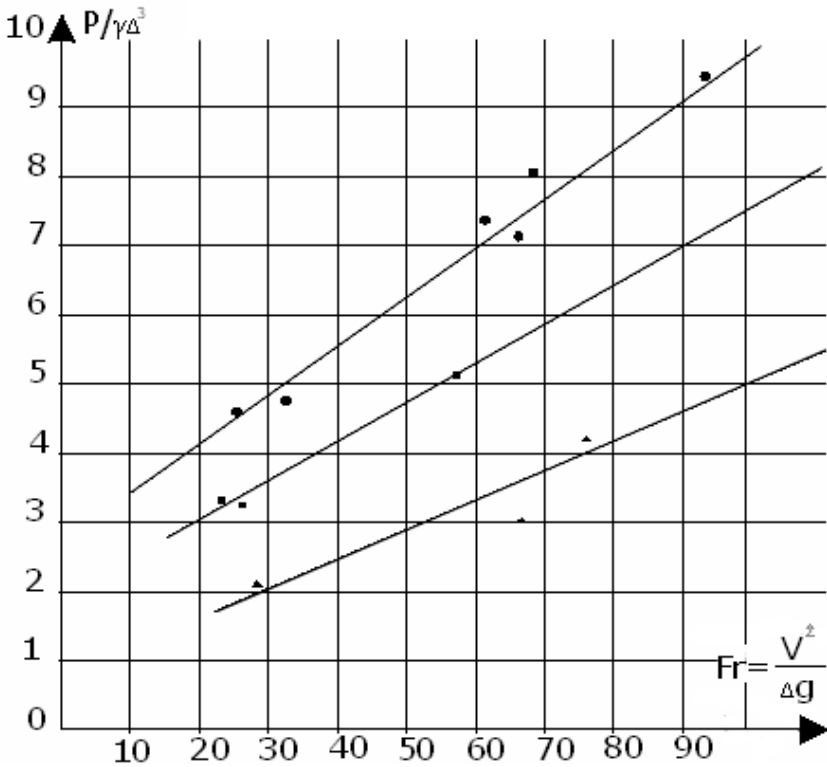


Рис.3. Графік залежності $\frac{P}{\gamma \Delta^3} = f(Fr = \frac{V^2}{g \Delta})$

$$\frac{P_{\Delta}}{\gamma \Delta^3} = f\left(F_r = \frac{V^2}{g \Delta}\right), \quad (5)$$

де Δ – висота виступів шорсткості.

Коефіцієнт лобового опору на моделі і в натурі однаковий.

Спробуємо визначити залежність сили лобового опору в натурі від експериментально визначеної сили лобового опору на моделі від лінійного масштабу моделі. Для цього візьмемо відношення цих сил.

$$\delta_p = \frac{P_{\text{лн}}}{P_{\text{лм}}} = \frac{\rho_n \cdot C_x \cdot \omega_{\text{хн}} \cdot V_n^2}{\rho_m \cdot C_x \cdot \omega_{\text{хм}} \cdot V_m^2} = \frac{\rho_n \cdot C_x \cdot l_n^2 \cdot V_n^2}{\rho_m \cdot C_x \cdot l_m^2 \cdot V_m^2}, \quad (6)$$

де δ_p – масштаб сил лобового опору;

$P_{\text{лн}}$ – сила лобового опору в натурі;

$P_{\text{лм}}$ – сила лобового опору на моделі.

Прирівняємо (6) до критерію Ньютона:

$$N_u = \frac{F_n}{F_m} = \frac{\rho_n l_n^2 V_n^2}{\rho_m l_m^2 V_m^2}, \quad (7)$$

одержимо:

$$\frac{C_{\text{хн}}}{C_{\text{хм}}} = 1. \quad (8)$$

Підставляючи (8) в (6), одержимо:

$$\delta_p = \frac{P_{\text{лн}}}{P_{\text{лм}}} = \frac{\rho_n \cdot C_x \cdot l_n^2 \cdot V_n^2}{\rho_m \cdot C_x \cdot l_m^2 \cdot V_m^2} = \delta_\rho \cdot \delta^2 \cdot \delta_V^2, \quad (9)$$

де δ_ρ , δ_V – відповідно масштаби густини і швидкості;

δ – лінійний масштаб моделі.

Якщо на моделі і в натурі використовується одна і та ж рідина, то $\delta_\rho = 1,0$, а рівняння (9) набуває наступного вигляду:

$$\frac{P_{\text{лн}}}{P_{\text{лм}}} = \delta^2 \cdot \delta_V^2, \quad (10)$$

звідки:

$$P_{\text{лн}} = P_{\text{лм}} \cdot \delta^2 \cdot \delta_V^2. \quad (11)$$

При $\delta_V = \frac{V_n}{V_m} = \sqrt{\delta}$ формула (10) перетворюється в залежність:

$$P_{лн} = P_{лм} \cdot \delta^3. \quad (12)$$

Тобто сила лобового опору тіла обтікання в натурі буде в δ^3 разів більшою, ніж на моделі.

У випадках коли $V_n = V_m$ і відповідно $\delta_V = 1,0$, формула (12) перетворюється на вираз

$$P_{лн} = P_{лм} \cdot \delta^2. \quad (13)$$

Для випадку, коли один із лінійних розмірів міделевого перерізу на моделі і в натурі однаковий, наприклад, товщина t , формула (13) набуває виразу

$$P_{лн} = P_{лм} \cdot \delta. \quad (14)$$

Тобто залежність між силами лобового опору стає лінійною.

Привіряємо силу лобового опору елемента штучної шорсткості до еквівалентної сили тертя за формулою Дарсі і одержимо:

$$\gamma C_x \omega_x \cdot \frac{V^2}{2g} = \gamma \lambda_{3в} \frac{l_e}{4R} \cdot \bar{\chi} \cdot l_e \cdot \frac{V^2}{2g}, \quad (15)$$

де $\bar{\chi}$ – середній змочений периметр на ділянці l_e ;

l_e – ефективна віддаль між виступами шорсткості;

$\bar{R} = \frac{\bar{\omega}}{\bar{\chi}}$ – середній гідравлічний радіус потоку на тій же ділянці.

Розділимо (15) на $\gamma \omega_x \cdot \frac{V^2}{2g}$ і одержимо:

$$C_x = \lambda_{3в} \frac{l_e^2}{4\bar{\omega} \omega_x} \bar{\chi}^2, \quad (16)$$

де $\lambda_{3в}$ – зведений коефіцієнт гідравлічного тертя русла на ділянці l_e .

З (16) можна визначити $\lambda_{3в}$:

$$\lambda_{3в} = \frac{4\bar{\omega} \cdot \omega_x \cdot C_x}{l_e^2 \cdot \bar{\chi}^2}. \quad (17)$$

З іншого боку [1,2,3] $\lambda_{3в}$ можна визначити за формулою:

$$\lambda_{3в} = \sqrt{\frac{\lambda_1^2 \cdot \chi_1 + \lambda_2^2 \cdot \chi_2}{\bar{\chi}}}, \quad (18)$$

де λ_1, χ_1 – відповідно коефіцієнт гідравлічного тертя і довжина змоченого периметра дна лотка, на ділянці l_e ;

λ_2, χ_2 – відповідно коефіцієнт гідравлічного тертя і довжина змоченого периметра (середня), бокових стінок русла на тій же ділянці.

З (17) при відомому $\lambda_{3\theta}$, можна визначити λ_1 :

$$\lambda_1 = \sqrt{\frac{\lambda_{3\theta}^2 \cdot \overline{\chi_1} + \lambda_2^2 \cdot \overline{\chi_2}}{\chi_1}}. \quad (19)$$

Враховуючи зв'язок між коефіцієнтами гідравлічного тертя λ і Шезі [1,2,3], одержимо:

$$C = \sqrt{\frac{8g}{\lambda}}, \quad (20)$$

а враховуючи формулу Манінга [2], одержимо рівняння:

$$\sqrt{\frac{8g}{\lambda}} = \frac{1}{n_1} R^{-1/6}, \quad (21)$$

де n_1 – коефіцієнт шорсткості дна лотка із елементами штучної шорсткості.

Із (21) і (22) отримаємо:

$$n_1 = \frac{R^{-1/6}}{C_1} = \frac{R^{-1/6}}{\sqrt{\frac{8g}{\lambda}}}. \quad (22)$$

Таким чином, визначивши експериментально C_x для того чи іншого виду елементів штучної шорсткості при $l_e = 7\Delta$, можна набрати масив даних для створення таблиці із взаємною залежністю величин n, λ, C_x, Δ . Така таблиця може дати змогу створити універсальну методику розрахунку бистротоків із штучною шорсткістю на дні. Якщо поперечний переріз лотка бистротоків прямокутний то у формулі (18) $\chi_1 = v$, $\chi_2 = 2h + \Delta$, а $\chi = v + 2h + \Delta$.

1. Агроскин И. И., Дмитриев Г.Т., Пикалов Ф.И. Гидравлика, ученик. – М.: «Энергия», 1964. – 352 с. 2. Рогалевич Ю.П. Гидравлика. – К.: Вища школа, 1993. – 255 с. 3. Науменко І.І. Технічна механіка рідин і газу. – 2 - ге видання. – Рівне, 2009. – 357 с.

Рецензент: д.т.н., професор Рябенко О.А. (НУВГП)