

3. Проведення експериментальних досліджень з матеріалами різного гранулометричного складу, модуля крупності, коефіцієнта неоднорідності, коефіцієнта фільтрації та ін.

4. Удосконалення методики визначення пропускної здатності дренажної конструкції мілкового залягання з урахуванням впливу вібрації на фільтраційну здатність матеріалу дренажного шару основи.

Список літератури

1. *ВБН В.2.3-218-186-2004* Споруди транспорту. Дорожній одяг нежорсткого типу.

2. *М 218-02070915-684:2011* Методика визначення пропускної здатності дренажної конструкції мілкового залягання з урахуванням річного циклу роботи.

3. *ДСТУ Б В.2.7-232:2010* Будівельні матеріали. Пісок для будівельних робіт. Методи випробувань.

4. *ДСТУ Б В.2.7-29-95* Будівельні матеріали. Дрібні заповнювачі природні, із відходів промисловості, штучні для будівельних матеріалів, виробів, конструкцій та робіт. Класифікація.

5. *ДСТУ Б В.2.1-12:2009* Основи та підвалини будинків та споруд. ґрунти. Метод лабораторного визначення максимальної щільності.

6. *ДСТУ Б В.2.1-23:2009* Основи та підвалини будинків та споруд. ґрунти. Методи лабораторного визначення коефіцієнта фільтрації.

***Присвячується пам'яті професора
Віктора Вікторовича Смыслова***

УДК 532.517

Ю.М. КОНСТАНТИНОВ, кандидат технічних наук

О.О. ГІЖА, кандидат технічних наук

Київський національний університет будівництва і архітектури

ПІДПЕРТИЙ ГІДРАВЛІЧНИЙ СТИБОК У ВОДОБІЙНОМУ КОЛОДЯЗІ

Розглядаються загальні характеристики підпертого гідравлічного стрибка перед різними гасителями енергії, вплив числа Фруда на початку стрибка, ступеня підпертості на всі параметри стрибка, вплив наповнення відвідного каналу на глибину водобійного колодязя. Показано, що на максимальну глибину колодязя впливає також кривизна вільної поверхні на виході з нього.

Ключові слова: гідравлічний стрибок, підпертість, реакція уступу, наповнення, глибина колодязя, кривизна потоку на виході з колодязя.

Рассматриваются общие характеристики подпертого гидравлического прыжка перед разными гасителями энергии, влияние числа Фруда в начале прыжка, степени подпертости на все параметры прыжка, влияние наполнения отводного канала на глубину водобойного колодца. Показано, что на максимальную глубину колодца влияет также кривизна свободной поверхности на выходе из него.

Ключевые слова: гидравлический прыжок, подпертость, реакция уступа, наполнение, глубина колодца, кривизна потока на выходе из колодца.

General descriptions of the propped up hydraulic jump are examined before different extinguishers, influence of number of Froude at the beginning of jump, degree of supporting on all parameters of jump, influence of filling of taking channel on the depth of toe basin. On his maximum depth curvature of free surface influences on an exit from a toe basin.

Key words: hydraulic jump, supporting, reaction of ledge, filling, depth of a toe basin, curvature of stream on an exit from a toe basin.

Загальні характеристики підпертого гідравлічного стрибка

В роботі [3] було визначено, що на уступ водобійного колодязя (рис.1) діє динамічна сила R при відносній динамічній реакції уступу $F = \frac{R}{\rho g h_k^2}$ (h_k – критична глибина). Позначивши (в умовах плоскої задачі) відносну висоту уступу $d' = \frac{d}{h_k}$, отримаємо, що **питомий** динамічний тиск на уступ буде $\frac{F}{d'}$, а його зворотнє значення визначає **питому** висоту уступу $\frac{d'}{F}$.

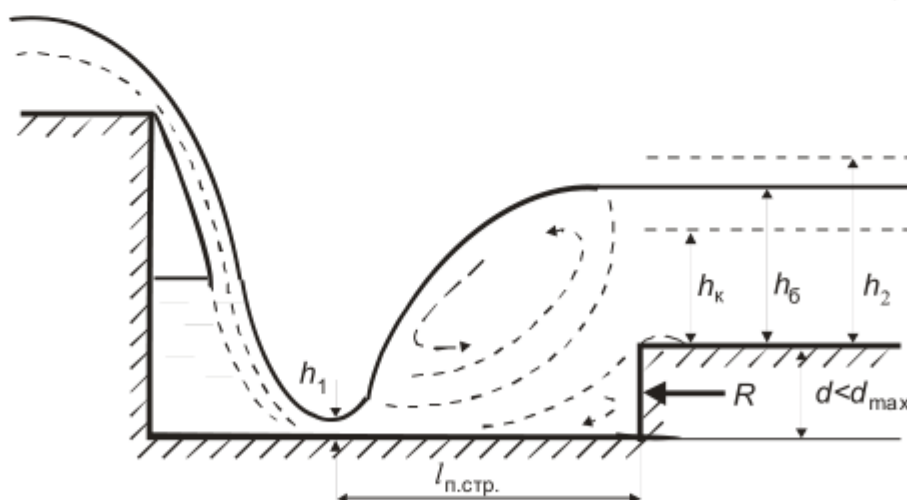


Рис.1. Підпертий гідравлічний стрибок у колодязі

Остання залежить від числа Фруда у початковому перерізі $Fr_1 = \left(\frac{h_k}{h_1} \right)^3$, ступеня підпертості стрибка m , а також від умов виходу потоку

з колодязя у відповідний канал. Як підсумок теоретичних і експериментальних досліджень при різних числах Фруда Fr_1 , m і умовах виходу з колодязя запропонована формула для питомої висоти уступу:

$$\left(\frac{d'}{F}\right) = A + B \ln(n), \quad (1)$$

де динамічна реакція уступу F визначається як різниця відносних стрибкових функцій (при $\alpha_0 = 1$, $\alpha = 1,1$) на початку стрибка Π_1 і після уступу Π_6 :

$$\Pi_1 = \sqrt[3]{\frac{\alpha_0}{\alpha} \frac{h_k}{h_1}} + 0,5 \left(\frac{\alpha h_1}{\alpha_0 h_k} \right)^{0,667} = 0,969 \sqrt[3]{Fr_1} + \frac{0,533}{Fr_1^{0,667}}; \quad (2)$$

$$F = \Pi_1 - \Pi_6 = 0,969 \sqrt[3]{Fr_1} + \frac{0,533}{Fr_1^{0,667}} - \Pi_6; \quad (3)$$

A і B – комплексні параметри, що визначаються за залежностями:

$$A = km^U; \quad (4)$$

$$B = J \ln(m) + W, \quad (5)$$

де k, U, J, W – параметри, що залежать від числа Фруда на початку стрибка Fr_1 і визначаються за формулами:

$$k = \frac{1,3711}{Fr_1^{0,369}}; \quad (6)$$

$$U = 0,2004 Fr_1^{0,2326}; \quad (7)$$

$$J = \frac{0,6401}{Fr_1^{0,4778}}; \quad (8)$$

$$W = 0,0603 - 0,0544 \ln(Fr_1). \quad (9)$$

$m = \frac{l_{п.стр}}{l_{стр}}$ – ступінь підпертості стрибка, тобто відношення довжини підпертого стрибка $l_{п.стр.}$ до довжини досконалого стрибка $l_{стр}$, що визначалась за формулою М.Д. Чертоусова:

$$l_{стр} = 10,3 h_1 (\sqrt{Fr_1} - 1)^{0,81}, \quad (10)$$

n – фактор, що враховує умови обтікання уступу, зокрема зменшення глибини за уступом колодязя порівняно із більшою взаємною глибиною досконалого гідравлічного стрибка h_2 .

Викладене вище стосується особливостей підпертого гідравлічного стрибка, що утворюються у випадках застосування різних типів гасителів енергії. Необхідно відзначити, що враховуючи межі зміни значень k, U, J, W , згідно [3], а також те, що $m \leq 1$ і $n \leq 1$, комплексний параметр A є завжди значно більше добутку $B \ln(n) = T$. Тому надалі будемо вважати, що значення $A = f(Fr_1, m)$ є основною частиною питомої висоти уступу, а значення $T = f(Fr_1, m, n)$ її додатною частиною. Основна частина з врахуванням (6) і (7) визначається як:

$$A = \frac{1,3711}{Fr_1^{0,369}} \cdot m^{0,2004 \cdot Fr_1^{0,2326}} \quad (11)$$

і залежить тільки від Fr_1 і ступеня підпертості стрибка m (рис. 2).

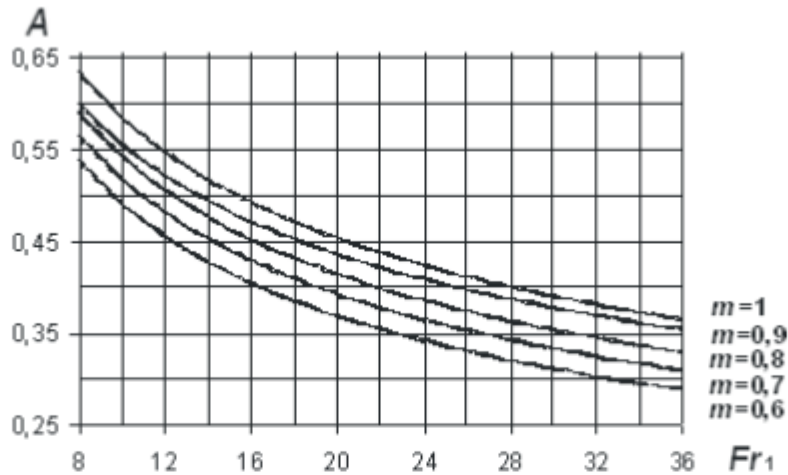


Рис.2. Залежність комплексного параметра A від Fr_1 і m

Значення A , як і Π_1 не залежать від умов виходу потоку у відвідний канал і є загальними й для інших типів гасителів надлишкової енергії у відвідному каналі. До речі, значення

$$Fr_1 = \frac{h_k^3}{h_1^3} = \frac{\alpha Q^2}{gh_1^3} = \frac{\alpha Q V_1 h_1}{gh_1^3} \cdot \frac{\rho \alpha_0}{\rho \alpha_0} = \frac{(K.P)_1}{\rho g h_1^2} \cdot \frac{\alpha}{\alpha_0} \quad \text{при } \alpha_0 \approx \alpha \text{ є відносною кількістю}$$

руху потоку у початковому перерізі. Звідси, враховуючи (6), (7), (8), (9), (10), можна стверджувати, що кількість руху потоку на початку підпертого стрибка впливає практично на всі його характеристики.

Особливості підпертого гідравлічного стрибка у водобійному колодязі

При певних значеннях ступеня підпертості m і параметрів k, U, J, W , які залежать тільки від Fr_1 , на умови виходу до відвідного каналу будуть впливати також значення F і n [3]. Переважно, більша взаємна глибина досконалого стрибка h_2 більше глибини у відвідному каналі h_6 , яка в свою чергу, більше критичної глибини h_k . Тоді умови обтікання уступу характеризуються наповненням глибини відвідного каналу:

$$n = \frac{h_6}{h_2}. \quad (12)$$

Дослідження проводилися при числах Фруда $Fr_1 = 8 \dots 36$, при яких значення $\frac{h_k}{h_2} \approx 0,43 \dots 0,6$. При спокійному стані потоку у відвідному каналі $h_k < h_6 < h_2$, тому попередньо були прийняті значення наповнення глибини в ньому $n = \frac{h_6}{h_2} = 0,5 \dots 0,9$.

Відносна стрибкова функція після уступу Π_6 визначається, з врахуванням (12), як:

$$\Pi_6 = 0,969 \frac{h_k}{h_6} + 0,533 \left(\frac{h_6}{h_k} \right)^2 = 0,969 \frac{h_k}{nh_2} + 0,533 \left(\frac{nh_2}{h_k} \right)^2, \quad (13)$$

де, враховуючи рівняння взаємних глибин досконалого стрибка [2],

$$\frac{nh_2}{h_k} = \frac{0,5n}{\sqrt[3]{Fr_1}} (\sqrt{1+7,27Fr_1} - 1) = f(Fr_1, n). \quad (14)$$

Тоді відносна реакція уступу F , згідно (3):

$$F = \Pi_1 - \Pi_6 = 0,969 \sqrt[3]{Fr_1} + \frac{0,533}{Fr_1^{0,667}} - 1,938 \frac{\sqrt[3]{Fr_1}}{n(\sqrt{1+7,27Fr_1} - 1)} - \frac{n^2 (\sqrt{1+7,27Fr_1} - 1)^2}{7,505 Fr_1^{0,667}}. \quad (15)$$

Ця залежність $F = f(Fr_1, n)$ наведена на графіку (рис. 3).

Основна частина питомої висоти уступу A зменшується при збільшенні кількості руху на початку стрибка і при зменшенні ступеня підпертості m . В той же час при збільшенні Fr_1 відносна реакція уступу F збільшується і, враховуючи (11), (14), і (15), основна частина відносної висоти уступу, як добуток AF теж буде збільшуватися (рис. 4). На значення AF істотно впливає наповнення відвідного русла (при зменшенні n в межах $n = 0,9 \dots 0,6$ значення AF збільшується в 3...4 рази). В той самий час зміна ступеня підпертості стрибка в межах $m = 1 \dots 0,6$ зменшує основну частину відносної висоти уступу в межах 15...22%.

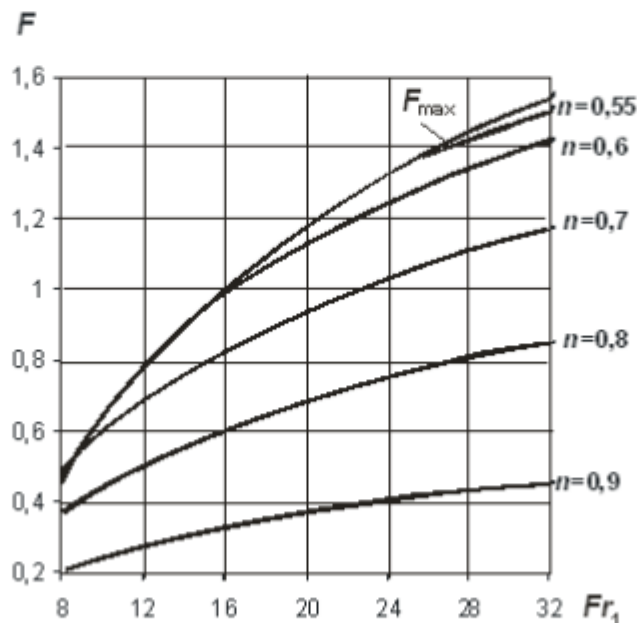


Рис.3. Залежність відносної реакції уступу F від Fr_1 і наповнення n

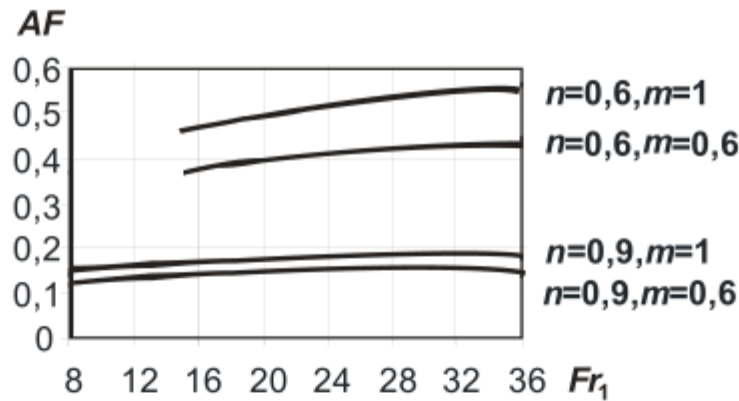


Рис.4. Залежність параметра AF від Fr_1 для різних n і m

Додатна частина питомої висоти уступу $T = B \ln(n)$, згідно (5), (8) і (9), також залежить від Fr_1, m та, що важливо, вона враховує особливості виходу потоку до водовідвідного каналу, тобто від його наповнення $n = h_6/h_2$:

$$T = \left[\frac{0,6401}{Fr_1^{0,4778}} \ln(m) + 0,0603 - 0,0544 \ln(Fr_1) \right] \ln(n). \quad (16)$$

Добуток $TF = f(Fr_1, m, n)$ показує вже додатну частину відносної висоти уступу (рис. 5).

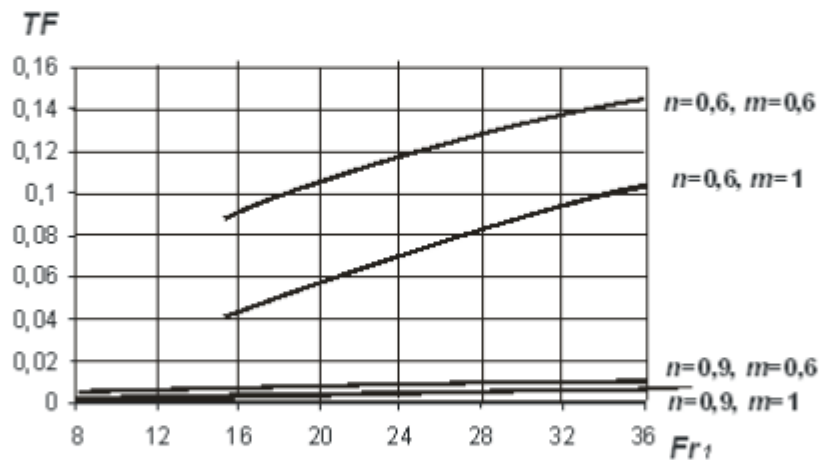


Рис.5. Залежності параметра TF від Fr_1 при різних n і m

Визначивши за формулами (11) і (16) при певних значеннях Fr_1, m, n і h_k величини $A, T = B \ln(n)$ і F , можна знайти необхідну висоту уступу (глибину водобійного колодязя):

$$d = \sigma(A + T)Fh_k, \quad (17)$$

де σ – коефіцієнт запасу.

Після аналізу факторів, що впливають на особливості підпертого стрибка доцільно навести підсумки обробки експериментальних даних (рис.6) по визначенню залежності питомої висоти уступу d'/F від $[A + B \ln(n)]$, які

повністю підтверджують формулу (1), оскільки лінія тренда проходить під кутом 45° .

Вплив додатної частини значно менший, ніж основної ($T \ll A$). На рис.7 показано відношення основної частини відносної висоти уступу AF до її повного значення $d' = d/h_k$.

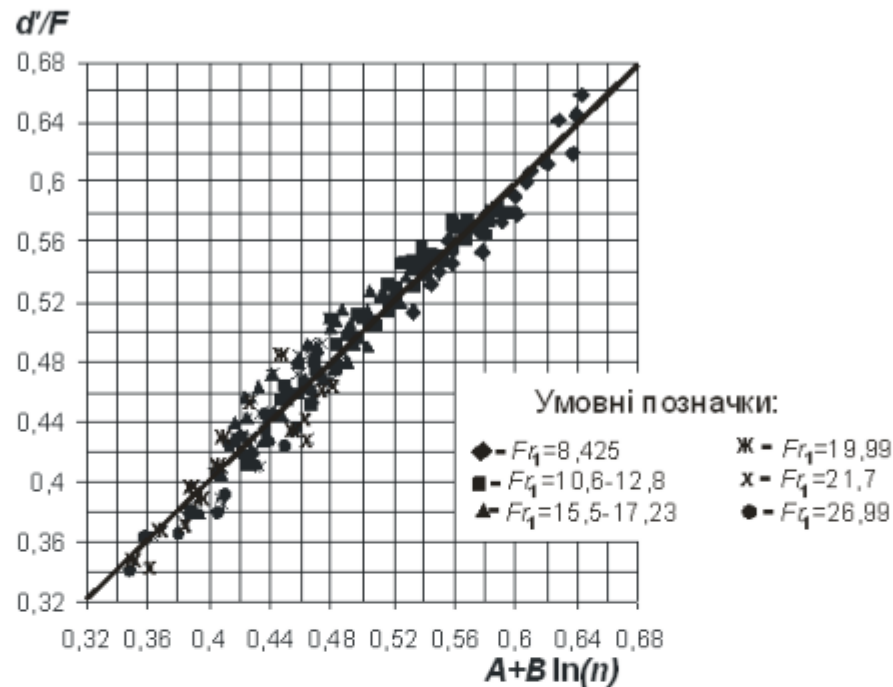


Рис.6. Експериментальні дані d'/F при різних значеннях $A + B \ln(n)$

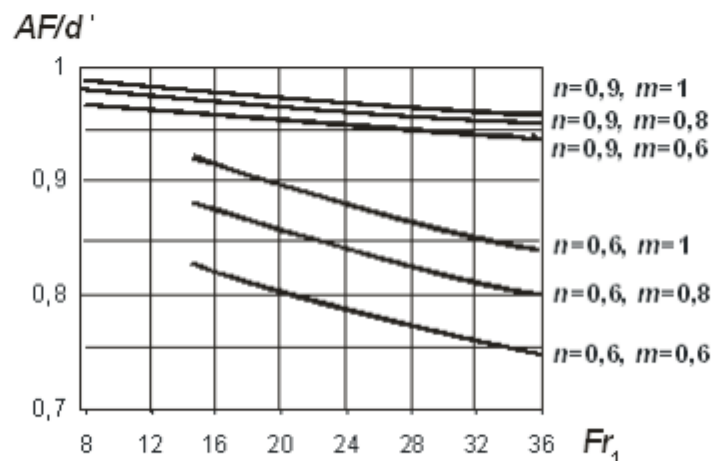


Рис.7. Відношення AF/d' в залежності від Fr_1 при різних n і m

З графіка бачимо, що при $n \geq 0,9$ і $m \geq 0,8$ основна частина відносної висоти уступу AF є близькою до d' , в цьому випадку $AF \approx (0,95...1)d'$ і можна

використовувати спрощену формулу для визначення висоти уступу при $\sigma = 1,05 \dots 1,1$:

$$d = \sigma A F h_k. \quad (18)$$

Визначення максимально необхідної глибини колодязя

У деяких випадках після водобійного колодязя може існувати бурхливий стан потоку (в руслах шляхового водовідводу з похилом дна більше критичного, або при випуску води до незаповненого водовідвідного каналу). У цих випадках вихід у відповідний канал здійснюється за схемою незатопленого водозливу з широким порогом (рис.8), тобто на порозі встановлюється бурхливий стан потоку з глибиною $h_6 < h_k$, яка не впливає на умови підходу потоку до уступу.

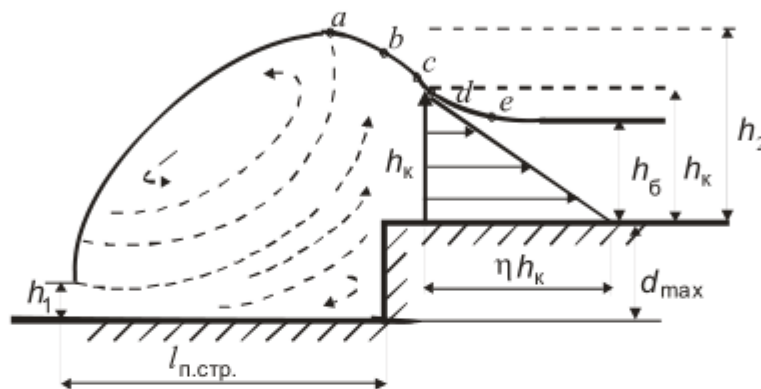


Рис.8. Підпертий гідрравлічний стрибок $h_6 < h_k$ і $d = d_{\max}$

Граничною глибиною, яка ще впливає на розміри гідрравлічного стрибка у водобійному колодязі є критична глибина h_k . При вході на незатоплений водозлив поверхня потоку спочатку має опукле окреслення abc , а потім угнуте cde . На останній ділянці cde здійснюється перехід через критичну глибину h_k . За дослідженнями В.В.Смислова [4] при угнутості кривої cde в перерізі з критичною глибиною h_k встановлюється підвищений тиск на дно $p = \eta \rho g h_k$ з п'єзометричною висотою ηh_k , при $h_k = n h_2$ і коефіцієнті підвищення тиску $\eta > 1$.

У цьому випадку, відносна стрибкова функція після уступу $\Pi_6 = \Pi_k$ визначається як:

$$\Pi_k = 0,969 \frac{n h_2}{n h_2} + 0,533 \eta \left(\frac{n h_2}{n h_2} \right)^2 = 0,969 + 0,533 \eta. \quad (19)$$

При переході через критичну глибину значення відносної стрибкової функції Π_k буде мінімальним, а відносна реакція уступу $F = \Pi_1 - \Pi_k$ буде максимальною:

$$F_{\max} = 0,969 \frac{h_k}{h_1} + 0,533 \left(\frac{h_1}{h_k} \right)^2 - 0,969 - 0,533\eta. \quad (20)$$

При $F = F_{\max}$ згідно (20) глибина водобійного колодязя буде максимально необхідною (або, спрощено, максимальною), при якій стрибок починається в початковому перерізі з глибиною h_1 і розміщується у водобійному колодязі без впливу стану потоку у відвідному каналі. Іноді таку глибину колодязя називають критичною глибиною колодязя [1].

За дослідженнями В.В. Смилова значення $\eta > 1$ і можуть досягати значень $\eta = 1,2$. Приймаючи, в середньому $\eta = 1,1$ і при наповненні глибини відвідного каналу $n = \frac{h_k}{h_2}$, з (19) отримаємо $\Pi_k = 1,555$, а з (20)

$$F_{\max} = 0,969 \frac{h_k}{h_1} + 0,533 \left(\frac{h_1}{h_k} \right)^2 - 1,555. \quad (21)$$

При максимальній глибині колодязя $d_{\max}$ повинно бути $F = F_{\max}$ і $\Pi_6 = \Pi_k = 1,555$. Підставляючи останнє в (13), отримаємо:

$$0,969 \frac{h_k}{nh_2} + 0,533 \left(\frac{nh_2}{h_k} \right)^2 = 1,555. \quad (22)$$

Звідси для різного наповнення відвідного каналу n можна знайти відповідне значення $\frac{h_2}{h_k}$, при якому лінії F та $F_{\max}$ перетинаються, тобто $F = F_{\max}$. Тоді з (14) знаходимо відповідні значення Fr_1 . Так, при $n = 0,55$ буде $Fr_1 = 25,1$, а при $n = 0,6$ $Fr_1 = 15,4$.

Значення $F_{\max} = f(Fr_1)$ також наведені на графіку (рис. 3). При $Fr_1 < 15,4$ і $n = 0,6$, згідно (15), значення відносної реакції уступу $F_{n=0,6} > F_{\max}$, а при $Fr_1 < 25,1$ і $n = 0,55$ значення $F_{n=0,55} > F_{\max}$, що є неможливим при початку стрибка у стисненому перерізі. Фактично цей переріз буде затопленим (рис. 9).

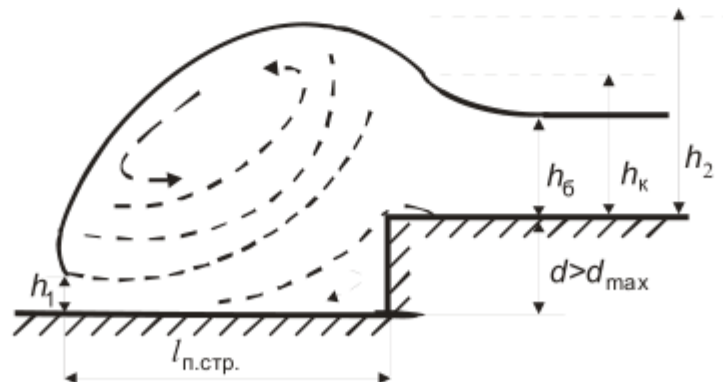


Рис.9. Затоплений підпертий гідравлічний стрибок при $h_6 < h_k$ і $d > d_{\max}$

Тому на графіках (рис. 3, 4, 5, 7) не показані значення функцій F , AF , TF , AF/d' при $n = 0,6$ і $Fr_1 < 15,4$.

Для визначення максимальної висоти уступу у формулу (1) необхідно ввести $F = F_{\max}$ і $n = \eta h_k / h_2 = 1,1 h_k / h_2$. Тоді, з врахуванням (14), отримаємо:

$$\left(\frac{d'}{F}\right)_{\max} = A + B \ln\left(\frac{\eta h_k}{h_2}\right) = A + B \ln\left(\frac{2 \cdot 1,13 \sqrt{Fr_1}}{\sqrt{1 + 7,27 Fr_1} - 1}\right). \quad (23)$$

У цьому рівнянні права частина залежить тільки від Fr_1 і ступеня підпертості стрибка m .

Для перевірки рівняння були проведені експериментальні дослідження у гідравлічному лотку після перепаду, а також оброблено дослідження А.Н.Рахманова [1]. В експериментах для різних висот уступу початок стрибка встановлювався у стисненому перерізі, стрибок розміщувався в межах водобійного колодязя при бурхливому стані потоку у відповідному каналі.

На рис.10 наведені експериментальні значення максимальної питомої висоти уступу $(d'/F)_{\max}$ в залежності від комплексного параметра $A + B \ln(\eta h_k / h_2)$. Лінія тренда дослідних даних підтверджує формулу (22).

Максимальну відносну висоту уступу можна визначити за формулою:

$$d'_{\max} = \left[A + B \ln\left(\frac{\eta h_k}{h_2}\right) \right] F_{\max}. \quad (23)$$

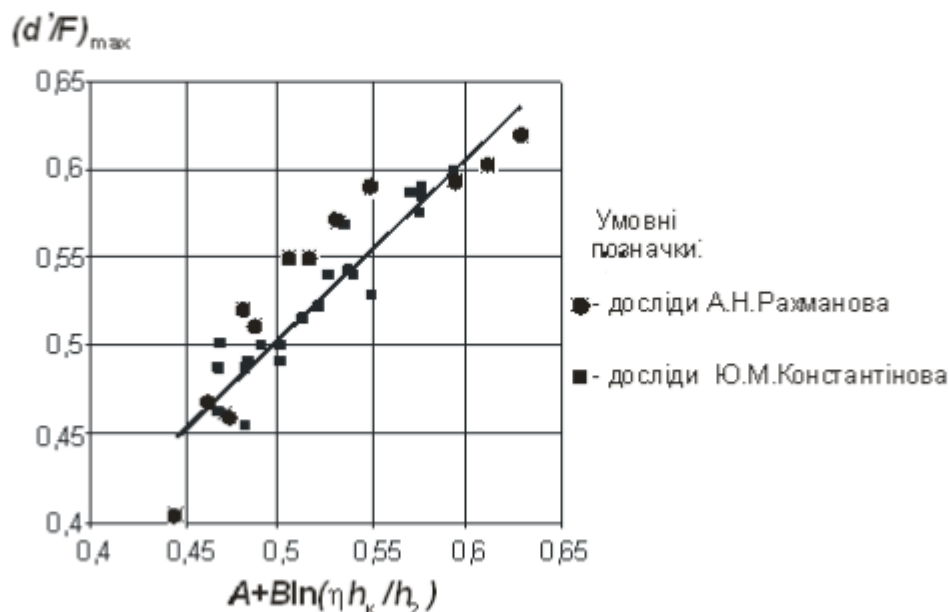


Рис.10. Експериментальна залежність $(d'/F)_{\max} = A + B \ln\left(\frac{\eta h_k}{h_2}\right)$

Оскільки $A = f(Fr_1, m)$, $B = f(Fr_1, m)$, $F_{\max} = f(Fr_1)$ і $\frac{h_k}{h_2} = f(Fr_1)$, то також і $d'_{\max} = f(Fr_1, m)$, що показано на рис.11. На цьому рисунку наведені також значення відносної глибини водобійного колодязя d' при $n = \frac{h_6}{h_2} \geq \frac{h_k}{h_2}$.

Підсумки досліджень показують, що відносна висота уступу d' збільшується при збільшенні числа Фруда Fr_1 , ступеня підпертості m і зменшенні наповнення відвідного каналу n . При числах Фруда $Fr_1 \leq 15,4$ і $n = 0,6$ відносну висоту уступу d' слід приймати згідно з $d'_{\max}$ при певних значеннях ступеня підпертості m . Оскільки на графіку показані величини $d'_{\max}$ і d' тільки для певних значень Fr_1 , n , m , то за інших умов необхідно користуватися інтерполяцією або формулами (23) і (1).

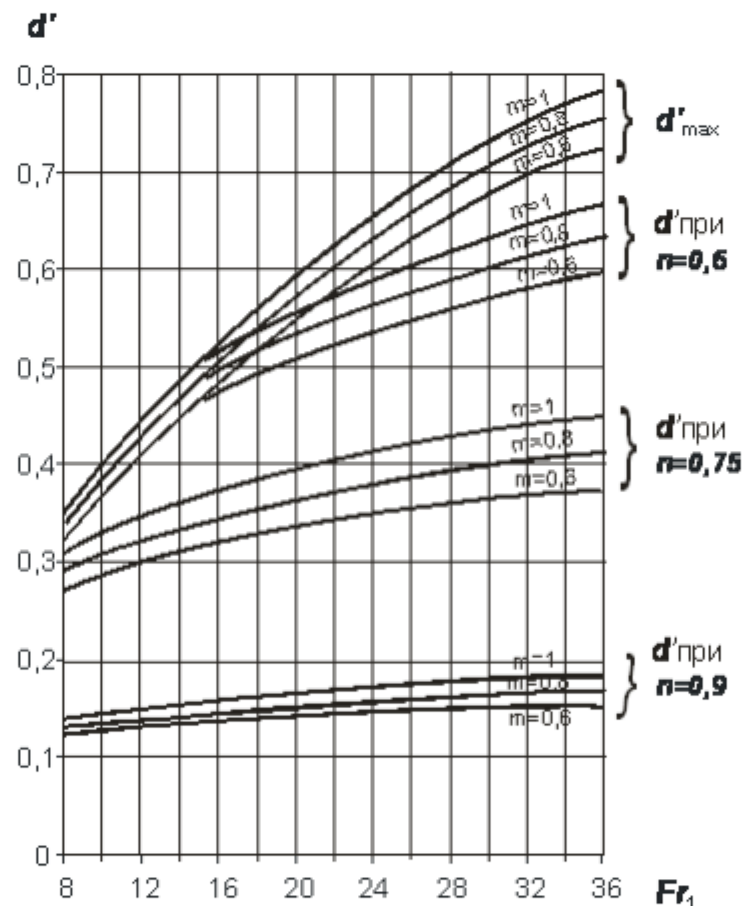


Рис.11. Графіки для $d'_{\max} = f(Fr_1, m)$ і $d' = f(Fr_1, n, m)$

Список літератури

1. Гидравлические расчеты водосбросных гидротехнических сооружений: Справочное пособие / Лаппо Д.Д., Векслер А.Б., Войнич-Сяноженцкий Т.М. и др. – М.: Энергоиздат, 1988. – 624 с.
2. Константінов Ю.М., Гіжа О.О. Інженерна гідравліка. К.: Видавничий дім «Слово», 2006. – 432 с.

1. Константинов Ю.М, Гіжа О.О. Гідродинамічні характеристики підпертого гідравлічного стрибка. // Проблеми водопостачання, водовідведення та гідравліки. – К: КНУБА, 2009. – № 12. – С.136–146.

2. Смыслов В.В. Теория водослива с широким порогом. – К: Изд-во АН УССР, 1956. – 184 с.

УДК 628.147.23

Т.В. АРГАТЕНКО, кандидат технічних наук

О.О. ІЩЕНКО, магістр

Київський національний університет будівництва і архітектури

В.С. ЗЛОБІНА, кандидат технічних наук

Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут»

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ КОРИГУВАННЯ pH ВОДИ БРУСИТОМ

Представлено результати експериментальних досліджень обробки водних розчинів меленим та зернистим бруситом. Показано ефективність обробки знесоленої води з метою підвищення pH на 1...2 одиниці та можливість застосування реагенту для нейтралізації розчинів сильних кислот.

Ключові слова: підлогування, зворотній осмос, гідроксид магнію, брусит.

Представлены результаты экспериментальных исследований обработки водных растворов молотым и зернистым бруситом. Показана эффективность обработки обессоленной воды с целью повышения pH на 1...2 единицы и возможность использования реагента для нейтрализации растворов сильных кислот.

Ключевые слова: подщелачивание, обратный осмос, гидроксид магния, брусит.

The results of tests of chemical and physical properties of several phases and several phases of the hammer crushed brucite used as a reagent to adjust pH of water. The effect of using of brucite for pH correction and capacity of using brucite for neutralization acids showed.

Keywords: alkalizing, reverse osmosis, magnesium hydroxide, brucite.

Постановка задачі

Коригування pH води є одним із найпоширеніших процесів при водопідготовці та очищенні стічних вод. Так, наприклад, збільшення pH