

УДК 626.25:004.716

Єрошкін Ю.М., к.т.н., асистент (Національний університет водного господарства та природокористування, м. Рівне)

ВИЗНАЧЕННЯ ВИТРАТ ШЛЮЗІВ-РЕГУЛЯТОРІВ: ВІД ТЕОРІЇ ДО ПРАКТИКИ

На основі аналітичних та лабораторних досліджень запропонована комп'ютерна програма для визначення витрат шлюзів-регуляторів, які обладнані плоскими вертикальними затворами.

Ключові слова: шлюз-регулятор, витрата, комп'ютерна програма.

The computer program based on analytical and laboratory investigations which allows to find the flow of sluice-regulators with paddles is given.

Keywords: sluice-regulator, flow, computer program.

На основании аналитических и лабораторных исследований предложена компьютерная программа для определения расхода шлюзов-регуляторов, которые оснащены плоскими вертикальными затворами.

Ключевые слова: шлюз-регулятор, расход, компьютерная программа.

Для здійснення процесу водозабору та водорегулювання на зрошувальних системах України було розроблено та введено в експлуатацію значну кількість індивідуальних та типових гідротехнічних споруд. До них належать: насосні станції, водозабірні споруди, підпірно-регулюючі споруди з плоскими, сегментними, секторними і циліндричними затворами, водомірні пристрої, різні типи швидкотоків, перепадів, трубчатих переїздів, скидних споруд тощо.

Поширеними гідротехнічними спорудами на зрошувальних системах України, що беруть участь в процесі водорозподілу, є шлюзи-регулятори з вертикальними плоскими затворами. Дані споруди виконують функції забору води, регулювання рівнів і витрат.

На сучасному етапі розвитку зрошувальних меліорацій актуальною є проблема оперативного водорегулювання та обліку води. Якісне управління водорозподілом неможливе без поточної інформації про рівень води у верхніх і нижніх б'єфах гідротехнічних споруд, про витрати води через ці споруди, тому вдосконалення гідравлічних розрахунків пропускної здатності таких споруд в умовах експлуатації має велике практичне значення.

Для визначення витрат шлюзів-регуляторів використовують наступні залежності.

При витіканні при повністю піднятих затворах пропускну спроможність

шлюза-регулятора визначають за формулами водозливу з широким порогом.

У випадку непідтопленого витікання використовують залежність [1]

$$Q = \varepsilon m B \sqrt{2g} H_0^{3/2}, \quad (1)$$

де m – коефіцієнт витрати водозливу без бокового стиснення; ε – коефіцієнт бокового стиснення потоку; B – робоча ширина шлюзу; H_0 – повний напір перед шлюзом.

У разі коли маємо підтоплене витікання використовують залежність [1]

$$Q = \varphi_n B h \sqrt{2g(H_0 - h)}, \quad (2)$$

де $\varphi_n = f(\varepsilon m)$ – коефіцієнт швидкості підтопленого водозливу з широким порогом, який враховує гідравлічні опори входу водозливу; h – глибина води на порозі шлюзу.

Шлюз вважають непідтопленим, якщо глибина підтоплення $h_{\text{П}} < n \cdot H_0$, де $n = 0,75 \dots 0,85$ [1].

Для розрахунків пропускної здатності шлюзів-регуляторів при витіканні із-під щита використовують наступні залежності [1]:

- при вільному витіканні

$$Q = \varepsilon \varphi_c B a \varepsilon_c \sqrt{2g(H_0 - h_c)}; \quad (3)$$

- при затопленому витіканні

$$Q = \varepsilon \varphi_c B a \varepsilon_c \sqrt{2g(H_0 - h_z)}, \quad (4)$$

де φ_c – коефіцієнт швидкості, який визначаються за існуючими залежностями [1]; a – висота підняття затворів; ε_c – коефіцієнт вертикального стиснення потоку, значення якого можна прийняти на основі досліджень [1, 2]; $h_c = a \varepsilon_c$ – глибина потоку у стиснутому перерізі за щитом; h_z – глибина води у створі стисненого перерізу.

Формули (1)-(4) використовують при проектуванні споруд, зокрема формулу (2) – для визначення робочої ширини шлюзу, а (3), (4) – для розрахунків спряження б'єфів за шлюзом та визначення пропускної здатності при витіканні із-під щита.

Для визначення витрати в режимі експлуатації споруди формули (1)-(4) використати можна лише у тому разі, якщо є можливість заміряти або визначити аналітичним шляхом глибини на порозі шлюзу h та у стиснутому перерізі h_c і h_z .

При підтопленому витіканні з-під щита для визначення витрати необхідно враховувати глибину води за щитом у створі стисненого перерізу h_z . Оскільки дану глибину виміряти або визначити теоретично для умов просторової задачі нелегко, то ряд дослідників [3-6] для обчислення витрат при затопленому

щитовому отворі запропонували залежності, в яких глибина h_z відсутня. Проте, дана методика розрахунку пропускної здатності шлюзів-регуляторів прямокутного перерізу дає досить задовільні результати лише при невеликих відкриттях затвора та значному підтопленні гідравлічного стрибка у нижньому б'єфі, коли перепадом відновленні можна знехтувати [4].

У роботі [5] автори намагалися визначити h_z через емпіричні коефіцієнти, які залежали від геометричних та гідравлічних параметрів кожної конкретної споруди. Уточнення цих коефіцієнтів шляхом виконання 5-10 замірів в натурних умовах для великих споруд є дуже громіздкою процедурою і не підвищує точність запропонованих залежностей.

У роботі [7] запропонований метод виміру витрат води підпірно-регулюючими спорудами з плоскими і сегментними затворами, який передбачає встановлення додаткових вимірювальних приладів в місці стиснення потоку в підзатворному отворі. Цей метод в практиці експлуатації зрошувальних систем широкого застосування не набув, оскільки потребує додаткових матеріальних затрат, не збільшуючи надійність вимірювання витрат.

На основі аналітичних та лабораторних досліджень в роботах [8, 9] запропонована методика розрахунку пропускної здатності шлюзів-регуляторів на каналах, яка враховує вплив на пропускну здатність форми русла нижнього б'єфу та ступеня розширення потоку за спорудою і дозволяє врахувати всі геометричні та гідравлічні параметри споруд та каналів, на яких влаштовані ці споруди.

Доведено [8, 9], що витрату шлюзів-регуляторів при будь-якій схемі витікання можна представити у вигляді функції

$$Q=f(a, H, h_n). \quad (5)$$

На основі цієї методики у роботі [10] запропонована форма тарувальної таблиці для визначення витрат Q для конкретної споруди та викладені основні принципи її побудови. Для визначення витрати в умовах експлуатації достатньо використати проектні геометричні параметри споруди та внести корективи шляхом замірів таких параметрів, як: ширина прогонів, довжина биків та форми їхніх напірних граней, коефіцієнт закладання укосів каналу.

Основною проблемою побудови витратних характеристик для існуючих гідротехнічних споруд за методикою [10] є велика трудомісткість розрахунків. Розв'язки рівнянь зміни кількості руху в об'ємі рідини, що покладені в основу цієї методики, базуються на використанні графоаналітичних методів або методів наближень.

Як результат фізичного та математичного моделювання гідравлічного процесу протікання води через шлюз-регулятор [8, 9] в даній роботі для визначення витрат шлюзів-регуляторів, які обладнані плоскими вертикальними затворами, пропонується комп'ютерна програма "Шлюз". Інтерфейс цієї програми наведено на рис. 1, 2.

Вхідні параметри для визначення витрати за допомогою програми “Шлюз” можна розділити на статичні та динамічні.

До статичних параметрів шлюзу відносяться: робоча ширина B , довжина споруди, віддаль від початку споруди до щитового отвору, коефіцієнт витрати водозливу без бокового стиснення m , коефіцієнт бокового стиснення потоку \mathcal{E} , коефіцієнт швидкості, що враховує втрати напору при протіканні потоку через щитовий отвір φ_c .

До статичних параметрів нижнього б’єфу відносяться: перепад дна каналу, ширина каналу по дну та коефіцієнт закладання укосів.

Динамічні параметри – параметри, які змінюються в часі: глибина води у верхньому б’єфі H , висота підняття щитів a та глибина води у нижньому б’єфі h_n .

Крім витрати споруди, програма дозволяє визначити наступні параметри: довжину гідравлічного стрибка, глибини води у стисненому перерізі h_z та h_c , другу спряжену глибину стрибка, критичну глибину h_k , глибину води на порозі шлюзу h та відносний перепад відновлення потенціальної енергії ξ .

Зауважимо, що в довідковій літературі перепад відновлення ξ пропонують визначати за відомим графіком Р.Р. Чугаєва. Доведено [8], що для умов просторової задачі формування глибини на порозі шлюзу h залежить від форми русла нижнього б’єфу, а саме: від коефіцієнта закладення укосів каналу, ширини каналу по дну та перепаду дна каналу за спорудою. Враховуючи цей факт, програма “Шлюз” дозволяє більш точно визначати глибину h та, відповідно, витрату споруди Q .

Коефіцієнт вертикального стиснення потоку за щитом ε_c є одним із головних параметрів, які входять у залежності для визначення витрат при непідтопленому і підтопленому щитовому отворі з боку нижнього б’єфу.

Доведено [2], що величина коефіцієнта ε_c залежить від умов надходження потоку до отвору та місця розташування щита відносно входу в споруду. Коефіцієнт ε_c можна представити функцією [2]

$$\varepsilon_c = f(\alpha/H; L_{щ}/\alpha), \quad (6)$$

де $L_{щ}$ – віддаль від щитового отвору до входу в споруду.

Програма “Шлюз” дозволяє визначати витрати, використовуючи значення коефіцієнта вертикального стиснення обчисленого як за формулами М.Є. Жуковського, так і за залежністю (6).

На рис. 1, 2 наведені результати розрахунків витрати шлюза-регулятора з наступними геометричними і гідравлічними параметрами: $B=2,48$ м, довжина споруди 3 м, $L_{щ}=0,5$ м, $m=0,4$, $\mathcal{E}=0,99$, $\varphi_n=1$, перепад каналу по дну $P=0$, ширина каналу по дну 2,48 м, коефіцієнт закладання укосів каналу 2.

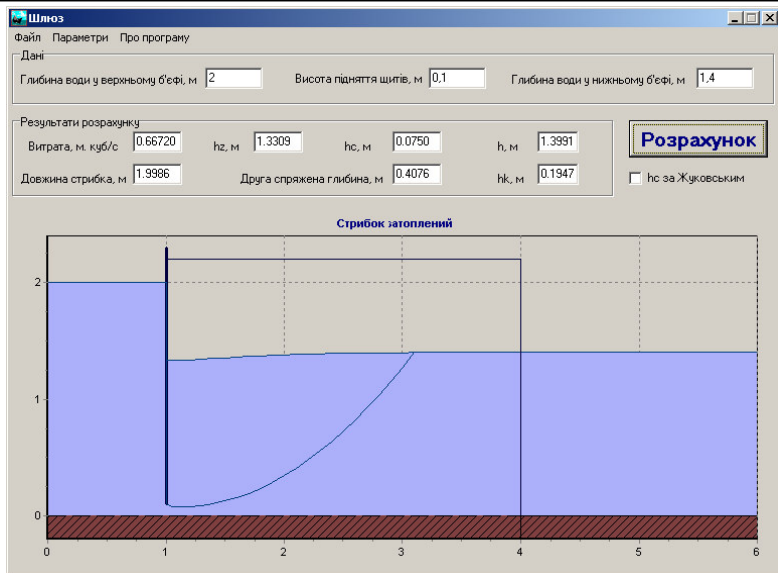


Рис. 1. Результати розрахунку витрати при витіканні із-під щита – стрибок затоплений

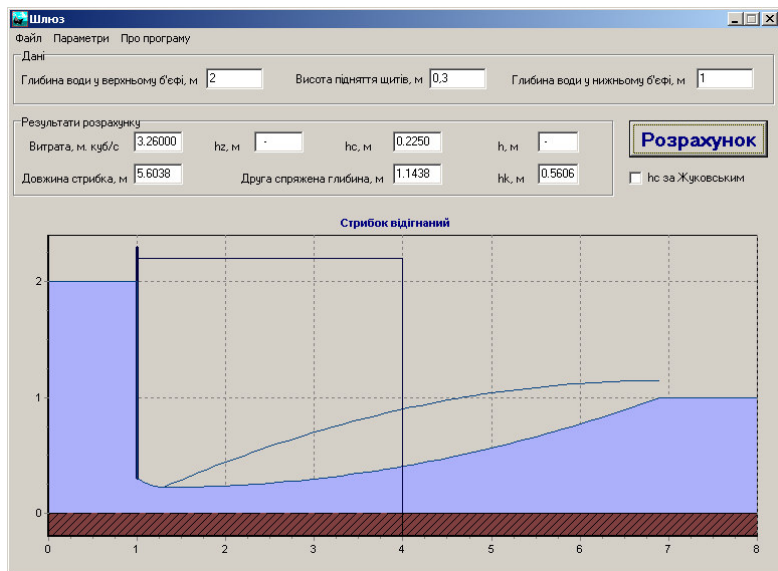


Рис. 2. Результати розрахунку витрати при витіканні із-під щита – стрибок відігнаний

Задаючись глибинами води у верхньому і нижньому б'єфах та висотою підняття затвора, за допомогою програми можна визначити витрату споруди та додаткові параметри (див. рис. 1, 2). Причому, програма автоматично визначає режим протікання води через шлюз-регулятор, враховуючи режими підтопленого та непідтопленого витікання при повністю піднятих затворах.

Використання комп'ютерних технологій в умовах експлуатації гідромеліоративних систем має велике практичне значення. Застосування прикладних програм для моделювання складних гідравлічних процесів дозволить оперативно отримувати інформацію про витрати, рівні води в б'єфах гідротехнічних споруд, покращить умови проведення технологічного обліку води на системах. Крім того, подібні програми можуть використовуватися на стадії проектування споруд для визначення максимальної пропускної спроможності та при розрахунках довжини кріплень їхніх нижніх б'єфів.

Програму "Шлюз" також можна використовувати і в навчальних цілях. За допомогою програми студент може візуально оцінювати умови підтоплення витікання із-під щита, визначати довжину гідравлічного стрибка, величину другої спряженої глибини, вивчати вплив ступеня розширення потоку за спорудою на формування глибини на порозі шлюзу, виконувати розрахунки спряження б'єфів і т.і.

1. Науменко І.І. Гідравліка. – Рівне: НУВГП, 2005. – 475 с.
2. Науменко І.І., Єрошкін Ю.М. Дослідження коефіцієнтів вертикального стиснення потоку за вертикальним щитом // Вісник НУВГП: зб. наук. праць. – Рівне, 2004. – Вип. 3 (27). – С. 139-146.
3. Гинц А.С. К вопросу несвободного истечения из-под щита / А.С. Гинц, А.С. Иноземцев // Гидротехника и мелиорация. – 1967. – №4. – 128 с.
4. Денисенко И.Д. Использование шлюзов-регуляторов с вертикальными плоскими затворами в качестве расходомеров / И.Д. Денисенко, Н.М. Букраба, В.Н. Барило // Гидравлика и гидротехника : респ. межвед. научн.-техн. сб. – 1985. – Вып. 41. – С. 50-53.
5. Киенчук А.Ф. Водораспределение на оросительных системах. – К.: Урожай, 1989. – 176 с.
6. Штеренлихт Д.В. Гидравлика: учеб. для вузов: [в 2-х кн.] / Д.В. Штеренлихт – [2-е изд., перераб. и доп.] – М.: Энергоатомиздат, 1991. – Кн. 2. – 367 с.
7. Малярчук В.Ф. Исследование подпорно-регулирующих сооружений как средств оперативного учета воды на гидромелиоративных системах: Автореф. дис. ... канд. тех. наук. – К., 1979. – 25 с.
8. Науменко І.І., Єрошкін Ю.М. Аналітичні дослідження пропускної здатності безнапірних шлюзів-регуляторів // Вісник УДУВГП: зб. наук. праць. – Рівне, 2002. – Вип. 5 (18). – С. 112-121.
9. Науменко І.І., Єрошкін Ю.М. Пропускна здатність безнапірних шлюзів-регуляторів із вертикальними плоскими затворами // Гідромеліорація та гідротехнічне будівництво: зб. наук. праць. – Рівне, 2004. – Вип. 29. – С. 57-66.
10. Єрошкін Ю.М. Удосконалення методики побудови витратних характеристик шлюзів-регуляторів з плоскими затворами для водорегулювання та водообліку на меліоративних системах // Вісник НУВГП: зб. наук. праць. – Рівне, 2006. – Вип. 4 (36). – С. 122-127.

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