

УДК 626.01:626.82:338.43

МЕТОДИКА ВИЗНАЧЕННЯ ОПТИМАЛЬНИХ РОЗРАХУНКОВИХ ВЕЛИЧИН ЗАБЕЗПЕЧЕНОСТІ ПАВОДКІВ НА СТАДІЇ ПРОЕКТУВАННЯ ПРОТИПАВОДКОВИХ СИСТЕМ

В.І. ПЕТРОЧЕНКО, канд. тех. наук,
Інститут водних проблем і меліорації НААН

Розглянуто проблему підвищення ефективності вкладення інвестицій в протипаводкові заходи шляхом удосконалення проектних рішень захисних інженерних систем. Ефективність проектів протипаводкових систем запропоновано оцінювати за величиною індексу дохідності інвестицій в будівництво та реконструкцію систем. Для досягнення максимального індексу дохідності інвестицій розроблено та запропоновано для практичного використання на стадії проектування протипаводкових систем методичні засади вибору оптимальних розрахункових величин забезпеченості паводків.

Ключові слова: паводки, забезпеченість паводків, збитки від паводків, протипаводкові системи, будівництво і реконструкція систем, відвернені збитки від паводків, індекс дохідності інвестицій, ефективність заходів

Проблема та її актуальність. Паводки та повені – стихійні явища, які в багатьох країнах світу спричиняють значні економічні, соціальні та екологічні збитки [1, 2]. В Україні найбільші паводки спостерігаються в басейнах гірських річок Карпатського регіону, де вони можуть повторюватись 3-5 разів на рік [3]. Для координації заходів боротьби з паводками на міжнародному рівні Європейським парламентом прийнята рамкова Директива №2007/60/ЄС [4], у якій для країн ЄС визначено основні рекомендації щодо оцінки та управління ризиками, пов'язаними з паводками. Проте для практичного застосування Директиви №2007/60/ЄС, її загальні директивні положення потребують деталізації, а процедура розробки планів управління ризиками паводкової небезпеки потребує певного наукового обґрунтування та методичного забезпечення.

Актуальність наукового обґрунтування та методичного забезпечення процедури розробки планів управління ризиками паводкової небезпеки обумовлена необхідністю рішення проблеми підвищення ефективності вкладення інвестицій в протипаводкові заходи. Для України цю проблему можна визнати як загальнодержавну, оскільки через велику вартість протипаводкових заходів та їх комерційну непривабливість для приватних інвесторів протипаводковий захист здійснюють переважно за кошти Державного бюджету.

Гіпотезою дослідження є припущення щодо можливості підвищення ефективності вкладення інвестицій в превентивні протипаводкові заходи в басейнах річок шляхом оптимізації розрахункових величин забезпеченості

паводків на стадії розробки проектів протипаводкового захисту.

Метою дослідження є розробка методичних засад визначення оптимальних розрахункових величин забезпеченості паводків на стадії проектування систем протипаводкового захисту.

Методика дослідження. Дослідження виконується з позицій системного аналізу комплексу гідрологічних, гідротехнічних та техніко-економічних показників систем превентивного захисту від паводків в басейнах річок.

Результати дослідження. Ефективність вкладення інвестицій в протипаводкові заходи оцінюють індексом дохідності інвестицій $I(p_p)$, який, залежно від розрахункової (проектної) забезпеченості паводка p_p , що закладають у проект захисної системи, визначають за формулою:

$$I(p_p) = \frac{BZ(p_p)}{B(p_p) + \Delta Z(p_p)}, \quad (1)$$

де $BZ(p_p)$ – відвернені збитки від паводків за умови спорудження в басейні річки системи захисту від паводків розрахункової забезпеченості p_p , тис. грн.; $B(p_p)$ – сума капітальних та експлуатаційних витрат на спорудження в басейні річки системи захисту від паводків розрахункової забезпеченості p_p , тис. грн.; $\Delta Z(p_p)$ – можливі збитки від паводків забезпеченістю p , меншою розрахунковою ($p < (p_p)$), які через цю причину не будуть відвернені, тис. грн.

Відповідно до формули (1) індекс дохідності інвестицій $I(p_p)$ може бути збільшений шляхом: збільшення відвернених збитків $BZ(p_p)$; зменшення витрат $B(p_p)$; зменшення збитків $\Delta Z(p_p)$. Неважко встановити, що зі

збільшенням величини розрахункової забезпеченості паводків $p_p BZ(p_p)$ і $B(p_p)$ зменшуються, а збитки $\Delta Z(p_p)$ збільшуються. Зі зменшенням розрахункової величини забезпеченості паводків $p_p BZ(p_p)$ і $B(p_p)$ збільшуються, а $\Delta Z(p_p)$ зменшуються.

Тобто, якщо проект протипаводкової системи буде розрахований на занадто великий відсоток забезпеченості паводків p_p , маємо порівняно невеликі витрати $B(p_p)$, але при цьому захисні функції протипаводкової системи будуть недостатні, що призведе до зменшення відвернених збитків $BZ(p_p)$ і збільшення збитків $\Delta Z(p_p)$, які не будуть відвернені протипаводковими заходами.

Якщо ж проект протипаводкової системи буде розрахований на занадто малий відсоток забезпеченості паводків p_p , будемо мати систему протипаводкового захисту більш високої надійності, величина можливих збитків $\Delta Z(p_p)$ буде наближатись до нуля, але при цьому витрати $B(p_p)$ на спорудження та експлуатацію системи будуть невиправдано великими.

Основною задачею даного дослідження є розробка методичних засад з визначення оптимальних розрахункових величин забезпеченості паводків p_p^{opt} , за якими досягається максимальне значення $I(p_p)_{max}$ індексу дохідності інвестицій в протипаводкові заходи, які розраховують за формулою (1).

За розробленими методичними засадами оптимальну розрахункову величину забезпеченості паводків на стадії проектування кожної системи захисту від паводків території в басейні річки визначають поетапно.

Етап 1. «Визначення розрахункового створу річки».

Розрахунковим вважають верхній створ річки (поз. 3 на рис. 1), який знаходиться на межі або поблизу межі території басейну річки, що захищається від паводків (поз. 2 на рис. 1). Розрахунковий створ річки можна вважати ще й критеріальним, оскільки через нього паводковий потік потрапляє на територію, що захищається від паводка, тому витрата Q паводкового потоку в ньому є гідрологічним критерієм оцінки паводкової небезпеки в басейні річки.

Етап 2. «Збір та аналіз емпіричних даних гідрологічних досліджень витрати води в розрахунковому створі річки за минулий період».

Результати вимірювань у розрахунковому створі річки максимальної витрати води Q_m , яка була зафіксована протягом певного m -го року минулого періоду, розміщують у ряд (2) в порядку їх послідовного зменшення:

$$Q_1 \geq Q_2 \geq Q_3 \geq \dots \geq Q_m \geq \dots \geq Q_{n-1} \geq Q_n, \quad (2)$$

де m – порядковий номер року в ряду; n – кількість років спостережень у ряду.

Для кожного m -го члена ряду (2) відповідно до [5] визначають імовірність (у відсотках) перевищення його значення Q_m за формулою:

$$p_m = \frac{m}{n+1} \cdot 100\%. \quad (3)$$

Після розрахунків p_m за формулою (3) за емпіричними точками 3 (рис. 2) у вигляді ламаної лінії будують емпіричну криву 1 забезпеченості паводків.

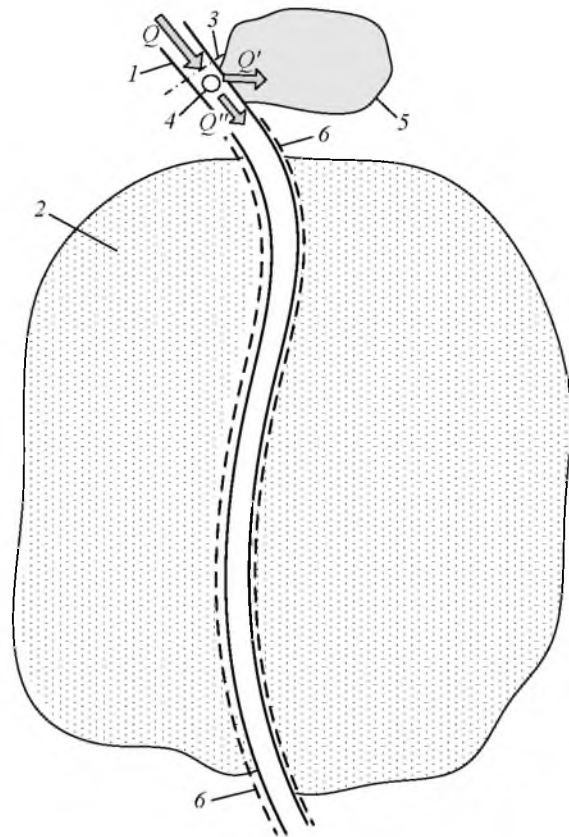


Рис. 1. Принципова схема протипаводкового захисту в басейнах річок:

- 1 – річка; 2 – територія, що захищається від паводків; 3 – розрахунковий створ річки;
- 4 – точка біфуркації паводкового потоку;
- 5 – протипаводкове водосховище;
- 6 – берегозахисна споруда

Етап 3. «Обробка емпіричних даних гідрологічних досліджень паводкових ситуацій за минулий період».

З урахуванням недостатньої кількості емпіричних точок 3 (рис. 2) та похибок їх визначення результати гідрологічних вимірювань згладжують, замінюючи емпіричну криву 1 забезпеченості паводків теоретичною кривою

2. Теоретична крива 2 є графіком спадної функції $Q=F_1(p)$, яку доцільно апроксимувати гіперболою такого виду:

$$Q = \frac{k_1}{p} + k_2. \quad (4)$$

Для можливості обробки емпіричних точок (Q_m, p_m) за методом найменших квадратів доцільно позначити: $1/p=z$; $1/p_m=z_m$. Це дає можливість замінити гіперболічну функцію (4) лінійною функцією (5):

$$Q=f_1(z) = k_1 z + k_2. \quad (5)$$

Для визначення невідомих коефіцієнтів k_1 і k_2 функції (5) складають функцію неузгодженості $\Phi(k_1, k_2)$ та знаходять її мінімальне значення:

$$\Phi(k_1, k_2) = \sum_{z=1}^n (Q_m - (k_1 z_m + k_2))^2 \rightarrow \min. \quad (6)$$

Після математичних перетворень невідомі коефіцієнти k_1 і k_2 лінійної функції (5), а отже і гіперболічної функції (4), знаходять з системи рівнянь:

$$k_1 = \frac{n \sum_{m=1}^n z_m Q_m - \sum_{m=1}^n z_m \cdot \sum_{m=1}^n Q_m}{n \sum_{m=1}^n z_m^2 - \left(\sum_{m=1}^n z_m \right)^2}; \quad (7)$$

$$k_2 = \frac{\sum_{m=1}^n Q_m - a \sum_{m=1}^n z_m}{n}$$

де Q_m – максимальна витрата води, що спостерігалась у m -му році; $z_m = 1/p_m$; p_m – забезпеченість паводка у m -му році, розрахована за формулою (3).

Підставивши у (4) значення коефіцієнтів k_1 і k_2 , розрахованих з системи рівнянь (7), отримують теоретичну залежність $Q=F_1(p)$ забезпеченості паводків у вигляді функції (4), за якою будують теоретичну криву 2 (рис. 2).

Попередньо приймають, що мінімальна розрахункова величина забезпеченості паводків в проектах систем протипаводкового захисту становить 1% ($p_{np} \geq 1\%$), а розрахунковий термін T протипаводкового захисту території в басейні річки для зручності доцільно прийняти рівним 100 років ($T=100$ років). За таких умов формулу (3) можна спростити:

$$p_m = m/n \cdot 100\%. \quad (8)$$

З урахуванням прийнятої класифікації паводків за величиною їх забезпеченості p [1, 3, 6] загальну кількість паводків, що припадає на 100 років, доцільно поділити на 5 модулів за принципом:

$p = 1\%$ – особливо видатні паводки (один раз у 100 років);

$p = 2\%$ – катастрофічні паводки (один раз у 50 років);

$p = 5\%$ – великі паводки (один раз у 20 років);

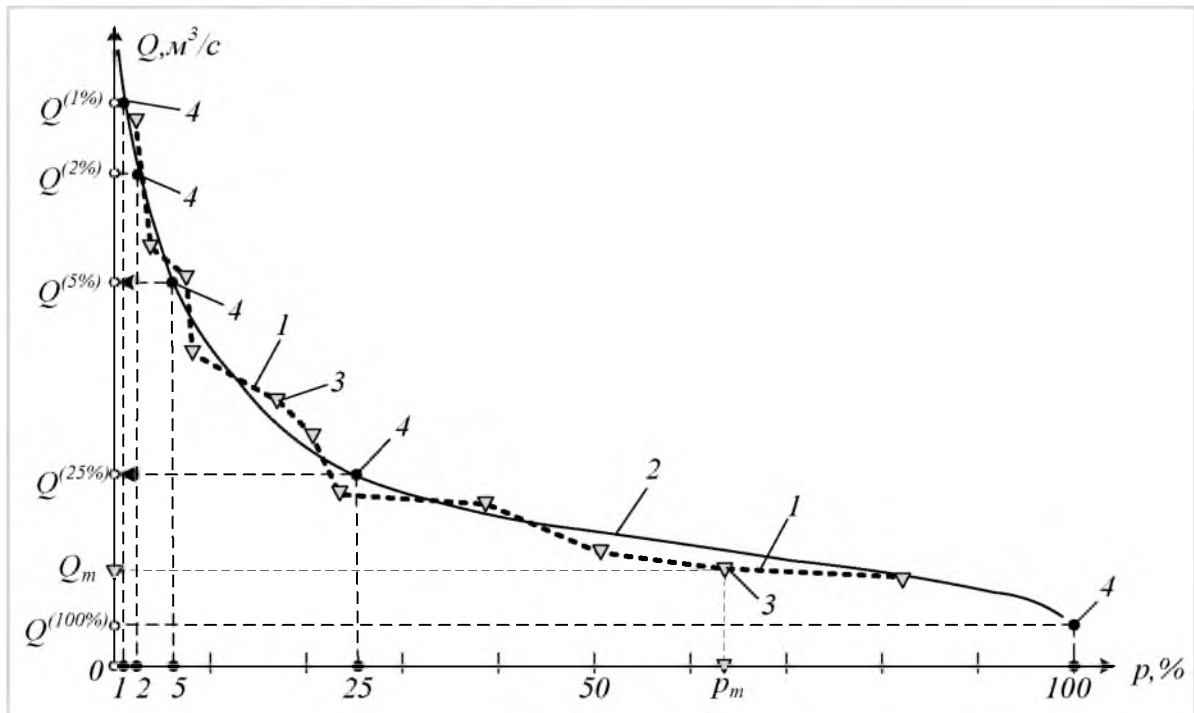


Рис. 2. Криві забезпеченості паводків:

1 – емпірична крива; 2 – теоретична крива (функція $Q = F_1(p)$);

3 – емпіричні точки за результатами гідрологічних спостережень; 4 – значення функції $Q = F_1(p)$ для фіксованих модулів забезпеченості паводків

$p = 25\%$ – середні паводки (один раз у 4 роки);

$p = 100\%$ (близько 100%) – малі паводки (відбуваються щороку). (9)

Зваживши на те, що під час розрахунку забезпеченості паводків протягом року враховують тільки один найбільш інтенсивний паводок, то на проміжку часу $T=100$ років слід розглядати загальну чисельність паводків $Ч_{100}=100$, яку розподіляють за 5 модулями їх забезпеченості так:

$$\begin{aligned} Ч_{100}^{(1\%)} &= 1; \\ Ч_{100}^{(2\%)} &= 2 - Ч_{100}^{(1\%)} = 1; \\ Ч_{100}^{(5\%)} &= 5 - Ч_{100}^{(1\%)} - Ч_{100}^{(2\%)} = 3; \\ Ч_{100}^{(25\%)} &= 25 - Ч_{100}^{(1\%)} - Ч_{100}^{(2\%)} - Ч_{100}^{(5\%)} = 20; \\ Ч_{100}^{(100\%)} &= 100 - Ч_{100}^{(1\%)} - Ч_{100}^{(2\%)} - \\ &- Ч_{100}^{(5\%)} - Ч_{100}^{(25\%)} = 75. \end{aligned} \quad (10)$$

Для модульованих за принципом (9) паводків за формулою (4) виконують розрахунки витрати води в розрахунковому створі річки, а потім відображають гідрологічні показники модульованих паводків точками 4 на теоретичній кривій 2 (рис. 2).

Етап 4. «Збір та аналіз даних щодо збитків від паводків в басейні річки за минулий період».

У басейні річки 1 (рис. 1) визначають територію 2, яка у попередні роки потерпала від паводків різної забезпеченості та яка у майбутньому потребує превентивного проти-паводкового захисту. Межу території 2 визначають за критерієм шкідливого фізичного впливу на неї найбільш інтенсивного паводка (найменшої забезпеченості), що мав місце у попередні роки. Під час визначення межі території 2 слід враховувати також прогностичні дані щодо збільшення площі цієї території в майбутньому за рахунок нових забудов та збільшення обсягів господарської діяльності в басейні річки.

Для кожного зафіксованого у m -му минулому році паводка визначають розмір збитку в грошових одиницях за формулою:

$$З_m = З_m^{екн} + З_m^{сц} + З_m^{екл}, \quad (11)$$

де $З_m$ – збиток від паводка загальний, тис. грн.; $З_m^{екн}$ – збиток від паводка економічний, тис. грн.; $З_m^{сц}$ – збиток від паводка соціальний, тис. грн.; $З_m^{екл}$ – збиток від паводка екологічний, тис. грн.

Збір та аналіз даних щодо збитків від паводків за минулий період здійснюють під час розробки проекту системи проти-паводкового захисту, тому усі визначені у попередні роки вартісні показники (вартість втрачених основних та обігових коштів, втраченої продукції, непрямі економічні збитки, соці-

альні та екологічні збитки тощо), підлягають дисконтуванню за формулою:

$$B_{\eta}^{\tau} = B_{\eta}^m (1+\epsilon)^{(\tau-m)}, \quad (12)$$

де τ – індекс розрахункового року (року розробки проекту проти-паводкової системи); B_{η}^m – вартісний показник η -го об'єкта, який був оцінений у минулому m -му році, тис. грн.; B_{η}^{τ} – вартісний показник η -го об'єкта, що оцінюють у розрахунковому році, тис. грн.; ϵ – коефіцієнт дисконтування; $(\tau-m)$ – проміжок часу від минулого m -го до розрахункового τ -го року, рік.

Збитки від паводків за минулий період часу не завжди могли бути розраховані з достатньою точністю у вартісних показниках, проте у фізичних показниках збитки зазвичай фіксуються більш повно та об'єктивно. Тому в більшості випадків доцільно використовувати статистичні дані збитків від паводків у фізичних показниках, а потім на стадії розробки проекту проти-паводкової системи виконувати розрахунки збитків за минулий період у грошових одиницях вже в цінах розрахункового року. Методика розрахунку економічних, соціальних та екологічних збитків детально викладена у [6].

Етап 5. «Обробка результатів розрахунку збитків від паводкових ситуацій за минулий період».

Загальні збитки в басейні річки від найбільш інтенсивного паводка кожного року минулого періоду, що розраховані за формулою (11), розміщують в ряд (13) у порядку їх послідовного зменшення:

$$З_1 \geq З_2 \geq З_3 \geq \dots \geq З_m \geq \dots \geq З_{n-1} \geq З_n, \quad (13)$$

де m – порядковий номер року в ряду; n – кількість років спостережень в ряду.

Маючи розрахункові дані збитків у вигляді ряду (13), для кожного m -го члена ряду (13) аналогічно ряду (2) визначають імовірність (у відсотках) перевищення його значення $З_m$ за формулою (3). Це дає змогу відповідно до ряду (13) побудувати ряд емпіричних точок забезпеченості:

$$p_1 \leq p_2 \leq p_3 \leq \dots \leq p_m \leq \dots \leq p_{n-1} \geq p_n, \quad (14)$$

а також ряд емпіричних точок $(З_m, p_m)$ для побудови емпіричної кривої:

$$(З_1, p_1), (З_2, p_2), \dots, (З_m, p_m), \dots, (З_{n-1}, p_{n-1}), (З_n, p_n). \quad (15)$$

На базі емпіричних точок ряду (15) за методом найменших квадратів визначають теоретичну залежність збитків від забезпеченості паводків у вигляді функції $З=F_2(p)$,

яку також як і функцію витрат води у розрахунковому створі річки $Q=F_1(p)$ слід вважати спадною і апроксимувати гіперболою:

$$Z = \frac{k_3}{p} + k_4. \quad (16)$$

Невідомі коефіцієнти k_3 і k_4 функції (16) знаходять за методом найменших квадратів за тією ж процедурою, що була наведена вище для визначення коефіцієнтів k_1 і k_2 функції (4).

Етап 6. «Визначення функціональної залежності капітальних та експлуатаційних витрат на здійснення в басейні річки превентивних інженерних протиаводкових заходів від забезпеченості паводків».

За даним етапом визначають функцію $V=F_3(p)$ залежності капітальних та експлуатаційних витрат на здійснення захисних заходів, розрахованих на паводок забезпеченості p . Очевидно, що функція $V=F_3(p)$ є спадною, тому вона також може бути апроксимована гіперболою такого виду:

$$V = \frac{100}{T} \left(\frac{k_5}{p} + k_6 \right), \quad (17)$$

де 100 – розрахунковий строк здійснення протиаводкових заходів, рік; T – строк експлуатації захисної системи, рік; k_5 і k_6 – невідомі коефіцієнти, які знаходять за методом найменших квадратів, використовуючи емпіричні дані з таблиці 1.

Спочатку довільно обирають перший ряд точок забезпеченості паводків, наприклад ряд з 5 точок забезпеченості паводків, модульованих за принципом (9). Потім, використовуючи параметри точок 1-го ряду таблиці 1, за формулою (4) розраховують параметри точок другого ряду таблиці 1.

Це дає змогу відповідно до кожної емпіричної точки Q_m другого ряду визначити емпіричну точку V_m третього ряду шляхом техніко-економічних розрахунків параметрів споруд, здатних захистити територію від паводкового потоку витратою Q_m . Процедура підготовки емпіричних точок третього ряду таблиці 1 ускладнюється тим, що під час розрахунків вартісних показників витрат виникає потреба їх оптимізації. Основним методом оптимізації витрат на здійснення

комплексу протиаводкового захисту є метод біфуркації базису [7]. На розрахунковому створі 3 річки 1 у точці біфуркації 4 (рис. 1) паводковий потік ділиться за принципом:

$$Q_m = Q_m^e + Q_m^p = Q_m \lambda + Q_m (1-\lambda), \quad (18)$$

де $0 \leq \lambda \leq 1$, Q_m^e – витрата частини паводкового потоку, що надходить до протиаводкового водосховища, м³/с; Q_m^p – витрата частини паводкового потоку, що проходить руслом річки 1 з берегозахисними спорудами 6, м³/с.

Спочатку аналізують та обирають ефективні технічні рішення протиаводкових водосховищ рівнинного типу [7], або гірського типу [8] і берегозахисних споруд [9].

За методом біфуркації базису [10] знаходять оптимальне значення λ , за яким досягається мінімальне значення загальних витрат $B_m(Q_m)_\lambda$ на здійснення усього комплексу протиаводкових заходів:

$$B_m(Q_m)_\lambda = B_m^e(Q_m^e) + B_m^p(Q_m^p) = \left\{ \left(\frac{K_m^e}{T_m^e} + b_m^e \right) + \left(\frac{K_m^p}{T_m^p} + b_m^p \right) \right\} \cdot 100 \rightarrow \min, \quad (19)$$

де $B_m^e(Q_m^e)$ – загальні витрати на протиаводковий захист шляхом акумулювання паводкового потоку витратою Q_m^e до водосховища, тис. грн.; K_m^e – капіталовкладення в будівництво водосховища, тис. грн.; T_m^e – розрахунковий строк служби водосховища, рік; b_m^e – витрати на експлуатацію водосховища, тис. грн./рік; $B_m^p(Q_m^p)$ – загальні витрати на здійснення берегозахисних заходів в басейні річки, тис. грн.; K_m^p – капіталовкладення в будівництво берегозахисних споруд, тис. грн.; T_m^p – розрахунковий строк служби берегозахисних споруд, рік; b_m^p – витрати на експлуатацію берегозахисних споруд, тис. грн./рік.

Використовуючи емпіричні точки 1-го і 3-го рядів таблиці 1, визначають за методом найменших квадратів невідомі коефіцієнти k_3 і k_6 функції (17).

Етап 7. «Визначення оптимальних розрахункових величин забезпеченості паводків».

1. Ряди емпіричних точок для визначення функції капітальних та експлуатаційних витрат на здійснення протиаводкових заходів

№ ряду	Назва ряду емпіричних точок	Параметри точок				
		1	2	5	25	100
1	Забезпеченість паводків $p_m, \%$					
2	Витрата паводкового потоку $Q_m(p_m), \text{м}^3/\text{с}$	Q_1	Q_2	Q_3	Q_4	Q_5
3	Витрати на здійснення протиаводкових заходів V_m , тис. грн. /рік	V_1	V_2	V_3	V_4	V_5

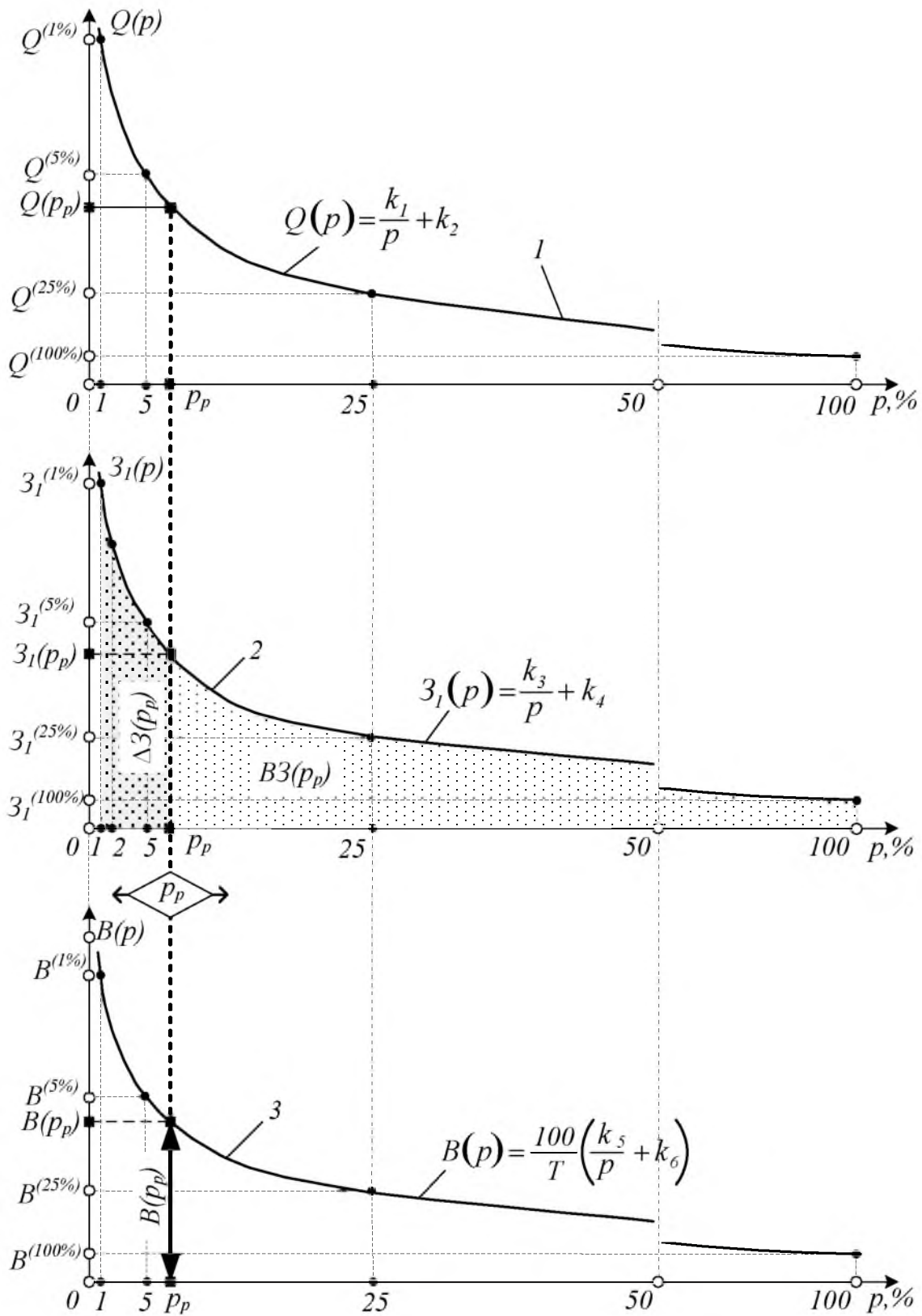


Рис. 3. Спільний аналіз теоретичних кривих забезпеченості паводків:
 1 – за витратою паводкового потоку в розрахунковому створі річки; 2 – за збитками від паводків в басейні річки; 3 – за капітальними та експлуатаційними витратами на здійснення протипаводкових заходів

Для візуального аналізу складових функцій (1) $BZ(p_p)$, $\Delta Z(p_p)$ і $BZ(p_p)$ будують в одному масштабі теоретичні криві функцій (4), (16) і (17) (рис. 3).

Відвернені збитки $BZ(p_p)$ визначають за площею фігури під кривою збитків 2 на інтервалі забезпеченості паводків $p_p \leq p \leq 100$ за формулою:

$$BZ(p_p) = \int_{p=p_p}^{100} \left(\frac{k_3}{p} + k_4 \right) dp = (k_3 \ln p + k_4 p) \Big|_{p_p}^{100} = k_3 \ln \frac{100}{p_p} + k_4(100 - p_p). \quad (20)$$

Невідвернені збитки $\Delta Z(p_p)$ визначають за площею фігури під кривою збитків 2 на інтервалі забезпеченості паводків $1 \leq p \leq p_p$ за формулою:

$$\Delta Z(p_p) = \int_{p=1}^{p_p} \left(\frac{k_3}{p} + k_4 \right) dp = (k_3 \ln p + k_4 p) \Big|_1^{p_p} = k_3 \ln p_p + k_4(p_p - 1). \quad (21)$$

За умови $p=p_p$ загальні витрати на здійснення заходів становлять:

$$B(p_p) = \frac{100}{T} \left(\frac{k_5}{p_p} + k_6 \right). \quad (22)$$

Отже, індекс дохідності інвестицій $I(p_p)$ у протипаводковій заході, залежно від забезпеченості паводків, слід визначати за формулою:

$$I(p_p) = \frac{k_3 \ln \frac{100}{p_p} + k_4(100 - p_p)}{\frac{100}{T} \left(\frac{k_5}{p_p} + k_6 \right) + k_3 \ln p_p + k_4(p_p - 1)} \rightarrow \max. \quad (23)$$

Максимальне значення $I(p_p)_{max}$ досягається за умови:

$$\frac{\partial (I(p_p))}{\partial (p_p)} = 0. \quad (24)$$

Проте, якщо диференціювати функцію (23) за умовою (24), буде отримано складне трансцендентне рівняння, за яким не можна буде визначати аналітичним шляхом p_p^{opt} . Тому для проектувальників пропонується визначати оптимальне значення розрахункової величини забезпеченості паводка p_p^{opt} , за якою буде досягаться максимальне значення індексу дохідності інвестицій $I(p_p)_{max}$ шляхом послідовної підстановки значень p_p у формулу (23).

Якщо за результатами підстановки значень p_p у формулу (23) визначиться, що макси-

мальне значення $I(p_p)_{max}$ досягається в точці $p_p < 1$ (для особливо відповідальних систем), слід прийняти нижню межу γ інтегрування $\Delta Z(p_p)$ з інтервалу $0 < \gamma < 1$. У такому разі $\Delta Z(p_p)$ і $I(p_p)$ визначають за формулами:

$$\Delta Z(p_p) = \int_{p=\gamma}^{p_p} \left(\frac{k_3}{p} + k_4 \right) dp = (k_3 \ln p + k_4 p) \Big|_{\gamma}^{p_p} = k_3 \ln \frac{p_p}{\gamma} + k_4(p_p - \gamma); \quad (25)$$

$$I(p_p) = \frac{k_3 \ln \frac{100}{p_p} + k_4(100 - p_p)}{\frac{100}{T} \left(\frac{k_5}{p_p} + k_6 \right) + k_3 \ln \frac{p_p}{\gamma} + k_4(p_p - \gamma)} \rightarrow \max. \quad (26)$$

Висновки. Протипаводковий захист територій в басейнах річок потребує значних інвестиційних вкладень, тому важливе значення має забезпечення високої ефективності протипаводкових систем на стадії їх проектування, яку запропоновано оцінювати за величиною індексу дохідності інвестицій.

Індекс дохідності інвестицій в протипаводковий захист запропоновано функціонально визначати за трьома показниками: збитками від паводків, які будуть відвернені протипаводковими заходами; збитками від паводків, які можуть бути не відвернені протипаводковими заходами, капітальними та експлуатаційними витратами на здійснення протипаводкових заходів.

Встановлено, що кожен показник індексу дохідності інвестицій і сам індекс залежать від величини розрахункової забезпеченості паводків, яка закладається в основу проекту превентивного протипаводкового захисту.

Запропоновано методичні засади визначення за емпіричними даними теоретичних залежностей забезпеченості паводків: за витратою паводкового потоку; за збитками від паводків в басейні річки; за капітальними та експлуатаційними витратами на здійснення протипаводкових заходів.

Встановлена функціональна залежність індексу дохідності інвестицій від величини розрахункової забезпеченості паводків, за якою запропоновано на стадії проектування захисних систем визначати та обирати оптимальні розрахункові величини забезпеченості паводків, що дасть можливість досягти максимальних показників індексів дохідності інвестицій в протипаводковий захист територій.

Бібліографія

1. Алексеев Н.А. Стихийные явления в природе: проявление, эффективность защиты / Н.А. Алексеев. – М: Мысль, 1988. – 254 с.
2. Петроченко В.И. Методологические основы устойчивого социально-экономического развития территорий трансграничного Полесья в зонах проявления негативных последствий

воздействия поверхностных и грунтовых вод. / В.И. Петроченко. // Проблемы рационального использования природных ресурсов и устойчивое развитие Полесья : сб. докл. Междунар. научн. конф. В 2-х т., Т. 1 / Нац. Акад. наук Беларуси [и др.]. – Минск : Беларуская навука, 2016. – С. 185-189.

3. Ромащенко М.І. Водні стихії. Карпатські повені. Статистика, причини, регулювання / М.І. Ромащенко, Д.П. Савчук / За редакцією М.І. Ромащенко. – К.: Аграрна наука, 2012. – 304 с.

4. Директива № 2007/60 Європейського парламенту і Ради ЄС про оцінку і управління ризиками, пов'язаними з повенями (Страсбург, 23 жовтня 2007 року).

5. Самохин А.А. Практикум по гидрологии / А.А. Самохин, Н.Н. Соловьева, А.М. Догановский. – Л.: Гидрометеоздат, 1980. – 296 с.

6. Петроченко В.І. Еколого-економічна ефективність протипаводкових заходів / В.І. Петроченко, В.А. Сташук. – К.: ДУЕВР, 2009. – 62 с.

7. Патент на корисну модель №86677. Протипаводкова гідроенергетична споруда / Ромащенко М.І., Петроченко В.І., Савчук Д.П. – 2014, Бюл. №1.

8. Патент на корисну модель №87450. Гірське протипаводкове водосховище / Петроченко В.І., Петроченко О.В. – 2014, Бюл. №3.

9. Патент на корисну модель №86676. Покриття берегів водних об'єктів / Петроченко В.І., Шевченко А.М., Савчук Д.П., Петроченко О.В. – 2014, Бюл. №1.

10. Петроченко В.І. Метод біфуркації базису та його застосування при розробці проектів захисту від шкідливої дії вод. / В.І. Петроченко // Матеріали Міжнародної науково-практичної конференції «Водні ресурси України та меліорація земель» (22 березня 2013). – К.: Держводагентство, ІВПІМ НААН – 2013. – С. 12-14.

В.И. Петроченко

Методика определения оптимальных расчетных величин обеспеченности паводков на стадии проектирования противопаводковых систем

Рассмотрена проблема повышения эффективности вложения инвестиций в противопаводковые мероприятия путем усовершенствования проектных решений защитных инженерных систем. Эффективность проектов противопаводковых систем предложено оценивать по величине индекса доходности инвестиций в строительство и реконструкцию систем. Для достижения максимального индекса доходности инвестиций разработаны и предложены для практического использования на стадии проектирования противопаводковых систем методические основы выбора оптимальных расчетных величин обеспеченности паводков.

V. I. Petrochenko

Method for determining optimal design values of flood security at the design stage of engineering systems for flood protection

The problem of increasing the efficiency of investing in flood prevention activities by improving the design solutions of protective engineering systems is considered. The effectiveness of flood control systems projects is suggested to be estimated by the value of the investment return index for the construction and reconstruction of systems. To achieve the maximum index of return on investment, the methodological basis for selecting optimal design values for flood security was developed and proposed for practical use at the design stage of flood control systems.