

DOI: <https://doi.org/10.31073/mivg202101-274>

Available at (PDF): <http://mivg.iwpim.com.ua/index.php/mivg/article/view/274>

УДК 001.891.54-024.84+658.5:556:332.(081)

БАЛАНСОВИЙ МЕТОД ІНТЕГРОВАНОГО УПРАВЛІННЯ ВОДОВІДВЕДЕННЯМ ЗА ОБ'ЄМАМИ ТА МІНЕРАЛІЗАЦІЄЮ ШАХТНИХ ВОД У БАСЕЙНІ р. ІНГУЛЕЦЬ

П.І. Ковальчук¹, докт. техн. наук, В.В. Стеценко², канд. геол. наук, Г.А. Балихіна³, канд. техн. наук, В.П. Ковальчук⁴, докт. техн. наук, О.С. Демчук⁵, канд. техн. наук

¹ Інститут водних проблем і меліорації НААН, Київ, Україна;

<https://orcid.org/0000-0003-1424-6995>, e-mail: kovalchuk.pavlo.ivanovich@gmail.com;

² Криворізький національний університет, Кривий Ріг, Україна;

<https://orcid.org/0000-0002-1471-5379>, e-mail: stesenko-4@meta.ua;

³ Національна академія аграрних наук України, Київ, Україна;

<https://orcid.org/0000-0002-5571-3556>, e-mail: maslova-anna@ukr.net;

⁴ Інститут водних проблем і меліорації НААН, Київ, Україна;

<https://orcid.org/0000-0001-7570-1264>, e-mail: volokovalchuk@gmail.com;

⁵ Національний університет водного господарства і природокористування, Рівне, Україна;

<https://orcid.org/0000-0002-8318-5009>, e-mail: ldem1997@ukr.net

Анотація. Розглянуто балансовий метод визначення пайової участі підприємств Кривбасу за об'ємами акумуляції шахтних вод у ставку-накопичувачу. Формалізовано балансовий метод участі гірничорудних підприємств за частками мінеральних речовин. Розроблено інтегрований підхід до управління водовідведенням у ставок-накопичувач за лінійною згортокою двох балансових рівнянь, сумісно за часткою об'ємів вод та величиною мінералізації в скидах підприємств, що враховує вибір пайової участі у водовідведенні шахтних вод за економічними та екологічними критеріями. Обґрунтовано алгоритм пайової участі гірничорудних підприємств Кривбасу на принципах рівноправності двох критеріїв. Проведено практичні розрахунки частки акумуляції скидних вод у ставку-накопичувачу балки Свистунова. Розглянуто зважену за двома критеріями ціну за водовідведення 1 м³ води в ставок-накопичувач. Критеріями є об'єми відкачаних вод та величина мінералізації. Побудовано графічні залежності зваженої ціни від відношення концентрації скидів різних підприємств до концентрації суміші. Використовуються різні коефіцієнти зваження: платне водовідведення за часткою об'ємів вод; оцінка водовідведення тільки за величиною мінералізації; рівноправний підхід за часткою об'ємів (50%) та мінеральних речовин (50%). Розрахунки показали працездатність алгоритму, можливість його використання підприємствами для інтегрованого управління водовідведенням шахтних вод за критеріями об'ємів та мінералізації. Запропонований балансовий метод легко узагальнити на інші показники якості води (хлориди, сульфати та ін.), які вважаються у певній задачі найбільш актуальними для визначення пайової участі підприємств. В перспективі необхідно розробити теорію платного водокористування та водовідведення в умовах незадовільної якості води з урахуванням інтегрованого підходу за різних показників та їх сукупності, тобто багатокритеріальну оцінку водовідведення та акумуляції шахтних вод.

Ключові слова: балансові методи, екологічні та економічні критерії, інтегроване управління, мінералізація шахтних вод, розбавлення шахтних вод, лінійна згортка критеріїв

Постановка проблеми. На сьогодні не існує технологій очищення високомінералізованих шахтних вод, які були б економічно доступними і забезпечували необхідне зниження мінералізації. Саме тому перед скиданням шахтні води акумулюються в ставку-накопичувачу.

Перед скиданням шахтних вод проводять їх нормоване розбавлення більш чистою водою для зниження мінералізації. Скидання шахтних вод в р. Інгулець проводять у міжвегетаційний період, використовуючи воду з Карачунівського водосховища. У вегетаційний період проводять промивання русла

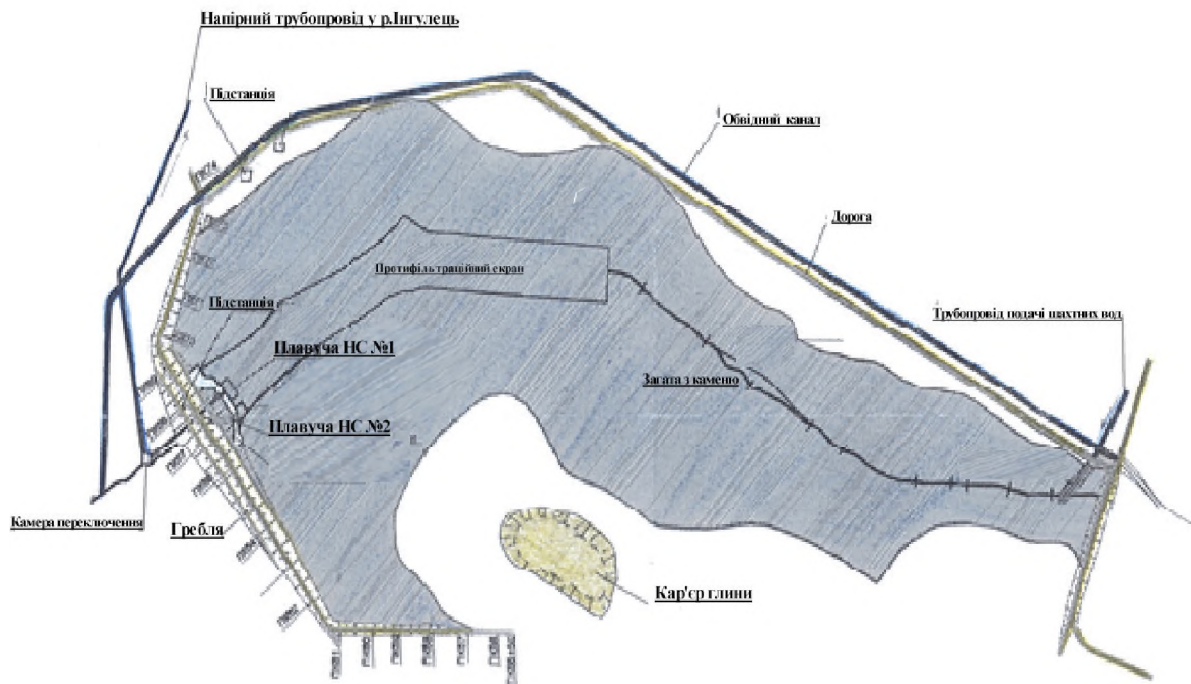
річки і його оздоровлення. Це забезпечує подачу води на Інгулецьку зрошувальну систему, попередження засолення та осолонцювання ґрунтів.

Накопичувач шахтних вод (рис. 1), що споруджений в балці Свистунова, розташований на південь від м. Кривий Ріг в Криворізькому (Широківському) районі Дніпропетровської області.

В ставок-накопичувач, який розміщений на лівому березі р. Інгулець, постійно надходять шахтні води з південної групи шахт. Через складні геологічні та гідрогеологічні умови в місці розташування ставок-



а)



б)

Рис. 1. Ставок – накопичувач шахтних вод у балці Свистунова:
а – розміщення ставка-накопичувача на місцевості; б – схема ставка-накопичувача

накопичувач шахтних вод обліковується як об'єкт незавершеного будівництва, на якому триває реалізація комплексних заходів із проведенням посиленого режиму спостережень та профілактичних ремонтних робіт із підтримки належного стану об'єкта. За таких обставин завжди існує ризик аварійних ситуацій. Тимчасово дозволений максимальний обсяг накопичення надлишків шахтних вод у ставку-накопичувачу складає 7,750 млн м³. Це відповідає позначці рівня води 86,00 м при відмітці гребня греблі 90,5 м. При цьому відмітка нормального підпірного рівня становить 88,5 м, а повний обсяг води – 12 млн м³ досягається при цій відмітці.

Останнім часом існує тенденція до поступового зменшення обсягів скидання надлишків зворотних вод зі ставка-накопичувача, що призводить до його стійкого та тривалого переповнення. Так, у січні 2018 р. переповнення сягало відмітки 11,570 млн м³, а в січні 2019 р. перевищило повний проєктний обсяг наповнення і сягнуло 13,375 млн м³, що створило значний екологічний ризик прориву греблі і створює загрозу виникнення техногенної катастрофи. З метою уникнення аварій на ставку-накопичувачу шахтних вод у балці Свистунова, недопущення виникнення надзвичайних ситуацій та техногенних катастроф, пов'язаних із затопленням навколишніх територій, зупинкою і затопленням діючих шахт та відпрацьованого підземного простору, у міжвегетаційний період передбачено попереджувальний принцип скидання шахтних вод у р. Інгулець. Скидання надлишків зворотних вод із метою їх розбавлення у міжвегетаційний період проводить Державне підприємство «Кривбасшахтозакриття» у відповідності з Постановою Кабінету Міністрів [1].

Актуальність дослідження. Акумуляція шахтних вод у ставку-накопичувачу вимагає також і економічних витрат, які здійснюються виключно за кошти гірничорудних підприємств. За рахунок коштів південної групи шахт проводять розбавлення високомінералізованих вод, що подаються зі ставка-накопичувача безпосередньо в річку Інгулець. У зв'язку з тим, що зворотні води надходять по єдиному трубопроводу у ставок-накопичувач від усіх підприємств разом, виникає необхідність розробки методів розрахунку пайової участі гірничорудних підприємств Кривбасу, що скидають воду в ставок-накопичувач.

Після завершення скиду і розбавлення вод гірничорудні підприємства забезпечують промивку та екологічне оздоровлення річки [2]. Це надає можливість у весняно-

літній період забезпечити необхідну якість води, придатність її для зрошення, рекреації та інших народногосподарських потреб. Кількість води, що надходить із Карачунівського водосховища для розбавлення, промивки та екологічного оздоровлення річки, суттєво залежить від її якості. Отже, при скиданні води ставиться завдання зниження її мінералізації, а при визначенні пайової участі слід враховувати як кількість, так і якість води кожного гірничорудного підприємства при акумуляції шахтних вод.

Тому актуальним є створення балансового методу водовідведення шахтних вод, за яким пайова частка гірничорудних підприємств Кривбасу визначається за часткою об'єму та часткою мінералізації води, що акумулюється в ставку-накопичувачу.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Управління водними ресурсами басейну р. Інгулець передбачає інтегроване управління [3; 4; 5] з виділенням підходів [6] за рівнями ієрархії [7], за підсистемами [2], за видами управління, за водними, земельними та технологічними ресурсами [8; 9], за нелінійними критеріями прийняття рішень [10]. В системній моделі [2] передбачена підсистема екологічної безпеки. Необхідність такої підсистеми узгоджується з Директивою ЄС [11], згідно з якою екологічно ефективно водокористування повинно забезпечуватись досягненням доброго або відмінного стану річки. Це відповідає і Національній парадигмі сталого розвитку України [12].

У міжвегетаційний період вода скидається в р. Інгулець, де розбавляється до нормативів гранично допустимих скидів (ГДС). Процес розбавлення потребує розробки технологічної системи оперативного управління розбавленням. Невирішеним завданням є також і управління водовідведенням високомінералізованих шахтних вод у ставок-накопичувач у балці Свистунова. Тут потрібно визначити пайову участь підприємств за економічними і екологічними критеріями залежно від об'ємів скиду води та частки мінеральних речовин.

У вегетаційний період здійснюється промивання русла річки та її екологічне оздоровлення [13; 14]. Екологічне оздоровлення річок досягається промивкою з водосховищ їхніх русел від забруднення, а також водообміном у водосховищах [15]. Наведено екосистемний метод оцінювання якості води р. Ельби в результаті промивки під час повені [16], відомі промивки річок від малярійних комарів [17], від забруднення солоними

водами океанів [18], екологічне оздоровлення річок [2; 13; 14].

Мета досліджень – розробити та провести апробацію балансового методу розрахунку пайової участі гірничорудних підприємств, за яким здійснюється інтегроване управління водовідведенням за критеріями об'ємів та мінералізації шахтних вод, що акумулюються в ставку-накопичувачу.

1 Матеріали та методи.

1.1 Метод балансу за об'ємами води.

Водовідведення шахтних вод гірничорудних підприємств Кривбасу в ставок-накопичувач визначається балансовим рівнянням за об'ємами води:

$$m(V_1 + V_2 + \dots + V_n) = mV, \quad (1)$$

де m – вартість акумуляції 1 м³ води; V – загальний річний об'єм акумуляції надлишків вод всіма підприємствами; V_1, \dots, V_n – річні об'єми акумуляції вод кожним підприємством.

Поділимо рівняння (1) на mV . Тоді, як показує існуюча практика, методично частка участі (y %) кожного підприємства у формуванні сумарного об'єму скидів визначається як вектор:

$$\left(\frac{V_1}{V}, \frac{V_2}{V}, \dots, \frac{V_n}{V} \right) \cdot 100\%, \quad (2)$$

де $\frac{V_1}{V}, \frac{V_2}{V}, \dots, \frac{V_n}{V}$ є доданки балансового рівняння

$$\frac{V_1}{V} + \frac{V_2}{V} + \dots + \frac{V_n}{V} = 1. \quad (3)$$

1.2 Метод балансу за мінералізацією води

Проведемо формалізацію методу визначення пайової участі підприємств за показником мінералізації вод, що скидаються в ставок-накопичувач. Для цього розглянемо балансове рівняння, що містить концентрації мінеральних речовин:

$$m_1(C_1V_1 + C_2V_2 + \dots + C_nV_n) = mV, \quad (4)$$

де C_1, C_2, \dots, C_n – концентрації речовин, що скидаються підприємствами; m_1 – нормуючий множник $m_1 = \frac{mV}{\sum_{i=1}^n C_i V_i}$.

$$m_1 = \frac{mV}{\sum_{i=1}^n C_i V_i}$$

Підставивши m_1 у рівняння (4), одержимо тотожну рівність

$$m \left(\frac{C_1 V_1}{C_{\text{сум}}} + \frac{C_2 V_2}{C_{\text{сум}}} + \dots + \frac{C_n V_n}{C_{\text{сум}}} \right) = mV, \quad (5)$$

де концентрація суміші $C_{\text{сум}}$ акумульованих вод визначається за формулою:

$$C_{\text{сум}} = \frac{\sum_{i=1}^n C_i V_i}{V}. \quad (6)$$

Поділивши обидві частини рівності (1) на mV , одержимо балансову рівність у частках одиниці:

$$\left(\frac{C_1 V_1}{C_{\text{сум}} V} + \frac{C_2 V_2}{C_{\text{сум}} V} + \dots + \frac{C_n V_n}{C_{\text{сум}} V} \right) = 1, \quad (7)$$

в якій відношення

$$k_i = \frac{C_i V_i}{C_{\text{сум}} V} \quad (8)$$

є часткою мінеральних речовин, яку вносить i -те підприємство при акумуляції стоків відносно загальної кількості мінеральних речовин в об'ємі V .

Як і у випадку відношення об'ємів, візьмемо частку відношення мінеральних речовин (8) як величину пайової участі гірничорудних підприємств за показником мінералізації стоків.

1.3 Інтегроване управління водовідведенням за об'ємами та мінералізацією вод

Нами запропоновано інтегрований підхід, за яким формалізується математична балансова модель, в якій підрахування частки участі підприємств у водовідведенні шахтних вод визначається сумісно за об'ємами та мінералізацією вод. В основу методу балансу покладено балансове рівняння за об'ємами (3) та балансове рівняння за часткою мінеральних речовин, що вносяться цим підприємством (7). Як і в методах двокритеріальної оптимізації [19], розглянемо лінійну згортку цих балансових рівнянь.

Для цього позначимо через λ , $0 \leq \lambda \leq 1 < \lambda < 1$ який ваговий коефіцієнт участі підприємств за величиною об'ємів, а $1-\lambda$ – коефіцієнт участі за величиною мінералізації.

Тоді, помноживши рівність (3) на λ , а рівність (7) на $1-\lambda$, та додаючи ці рівності, одержимо балансове рівняння

$$\begin{aligned} & \left(\left(\lambda + (1-\lambda) \frac{C_1}{C_{\text{сум}}} \right) \frac{V_1}{V} + \right. \\ & \left. + \left(\lambda + (1-\lambda) \frac{C_2}{C_{\text{сум}}} \right) \frac{V_2}{V} + \dots + \right. \\ & \left. + \left(\lambda + (1-\lambda) \frac{C_n}{C_{\text{сум}}} \right) \frac{V_n}{V} \right) = 1, \end{aligned} \quad (9)$$

в якому величина

$$k_i(\lambda) = \left(\lambda + (1-\lambda) \frac{C_i}{C_{\text{сум}}} \right) \frac{V_i}{V} \quad (10)$$

або

$$k_i(\lambda) = \lambda \frac{V_i}{V} + (1-\lambda) \frac{C_i}{C_{\text{сум}}} \frac{V_i}{V} \quad (11)$$

виражає пайову участь i -го гірничорудного підприємства за двома зваженими критеріями: часткою об'ємів води та мінералізацією вод.

2. Алгоритм розрахунку та результати досліджень

2.1. Алгоритм розрахунку пайової участі у водовідведенні шахтних вод підприємств за зваженими критеріями на основі лінійної згортки

Розглянемо основні кроки алгоритму розрахунків пайової участі гірничорудних підприємств Кривбасу сумісно за об'ємами та мінералізацією скидів, використовуючи запропоновані як проміжні підходи: за об'ємами скидів; за мінералізацією надлишкових зворотних вод.

Коефіцієнт λ визначається в (11) залежно від ваги кожного фактору: об'єму чи показника мінералізації вод. При $\lambda=1$ одержуємо крайній випадок – пайова участь визначається за величиною об'єму відведених вод; при $\lambda=0$ – інший крайній випадок – пайова участь підприємств здійснюється за показником мінералізації відведених вод. Оскільки зараз немає підстав вважати один із підходів (за відношенням об'ємів чи відношенням мінеральних речовин) більш актуальним, то обидва критерії визначення пайової участі (за об'ємами та мінералізацією) слід вважати рівноправними, при цьому $\lambda=0,5$. При $\lambda=0,5$ встановлюється певна лінійна комбінація однакового вагового впливу різних методичних підходів: за відношенням об'ємів або мінеральних речовин. Це і покладено в основу алгоритму.

В методиці запропонований підхід, що використовує відношення скидів кожного підприємства до загального об'єму акумульованих вод та відношення мінеральних речовин, скинутих кожним підприємством, до об'єму їх скидів усіма підприємствами при рівноправності цих підходів, тобто при $\lambda=0,5$.

Крок 1. Проводиться збір даних для розрахунку, визначаються обсяги скидів підприємствами, середньозважені за рік (або за розрахунковий період) концентрації акумульованих надлишків зворотних вод за показником мінералізації. Дані по кожному підприємству заносяться в таблицю 1.

Крок 2. Визначається концентрація суміші за показником мінералізації акумульованих стоків підприємств за формулою:

$$C_{\text{сум}} = \frac{\sum_{i=1}^n C_i V_i}{\sum_{i=1}^n V_i} \quad (12)$$

Дані розрахунку $C_{\text{сум}}$ заносяться в таблицю 1.

Крок 3. Проводиться розрахунок відношення зворотних вод за об'ємами $\frac{V_i}{V}$, $i=1, \dots, n$ для всіх підприємств. Дані розрахунків заносяться (у відсотках) у таблицю 1.

Крок 4. Проводиться розрахунок відношення концентрацій C_i кидів підприємств до концентрації суміші $C_{\text{сум}}$. Згідно з методичним підходом визначення пайової участі за мінералізацією вод проводиться розрахунок відношення:

$$\frac{C_i}{C_{\text{сум}}} \frac{V_i}{V} \quad i=1, \dots, n, \quad (13)$$

де $C_i V_i$ сума мінеральних речовин, що скидається i -м підприємством; $C_{\text{сум}} V$ сума мінеральних речовин, що скидається всіма підприємствами в об'ємі V .

Дані розрахунків (у відсотках) заносяться в таблицю 1.

Крок 5. Використовуючи проміжні розрахунки за відношенням об'ємів та відношенням мінеральних речовин, розраховується сумісно за об'ємами та мінералізацією скидних вод частка пайової участі підприємств за виразом (табл. 1):

$$0,5 \left(\frac{V_i}{V} + \frac{C_i V_i}{C_{\text{сум}} V} \right) * 100\% \quad (14)$$

або

$$0,5 \left(1 + \frac{C_i}{C_{\text{сум}}} \right) \frac{V_i}{V} * 100\% \quad (15)$$

Блок-схема розрахунку пайової участі гірничорудних підприємств Кривбасу при акумуляції надлишків зворотних вод в ставку-накопичувачі наведена на рис. 2.

Для розрахунків пайової участі гірничорудних підприємств Кривбасу при акумуляції надлишкових зворотних вод в ставку-накопичувачі балки Свистунова були вибрані вихідні дані за об'ємами скидів та мінералізацією цих вод у 2019 р. Результати розрахунків наведені в таблиці 1.

2.2. Результати досліджень

Наводиться приклад розрахунку пайової участі південної групи шахт Кривбасу за різними методичними підходами (табл. 1).

Дослідження показали, що в рівності (10) важливу роль відіграє зважена за згортокою критеріїв ціна за водовідведення 1 м^3 води (в частках 1, тобто при $m=1$):

Таблиця 1

Вихідні дані та результати розрахунків пайової участі гірничорудних підприємств Кривбасу при акумуляції надлишкових зворотних вод в ставку-накопичувачу балки Свистунова за об'ємами та мінералізацією в 2019 році

№ п/п	Назва підприємств	Вихідні дані		$\frac{C_i}{C_{\text{сум}}}$	Пайова участь		
		Обсяги відкачок, V_i ,	Концентрації, C_i , мг/дм ³		$\frac{V_i}{V} \times 100\%$	$\frac{C_i V_i}{C_{\text{сум}} V} \times 100\%$	$0,5 \left(\frac{V_i}{V} + \frac{C_i V_i}{C_{\text{сум}} V} \right) \times 100\%$
	ПАТ «Кривбасзалізрудком», в т.ч.	5086779					
1	ш. «Жовтнева»	830378	52824	1,66	9,47	11,84	7,11
2	ш. «Родіна»	4256401	37818	1,19	39,95	43,45	36,45
3	ПрАТ «Суша балка» ш. ім. Фрунзе	1810308	24945	0,78	13,84	12,19	15,52
4	ШУПАТ «Арселор Міттал Кривий Ріг»	2249850	29627	0,93	18,65	18,01	19,26
5	ПРАТ «ЦГЗК»	2530011	21259	0,67	18,09	14,51	21,66
	РАЗОМ	11676948	$C_{\text{сум}} = 31723$		100	100	100

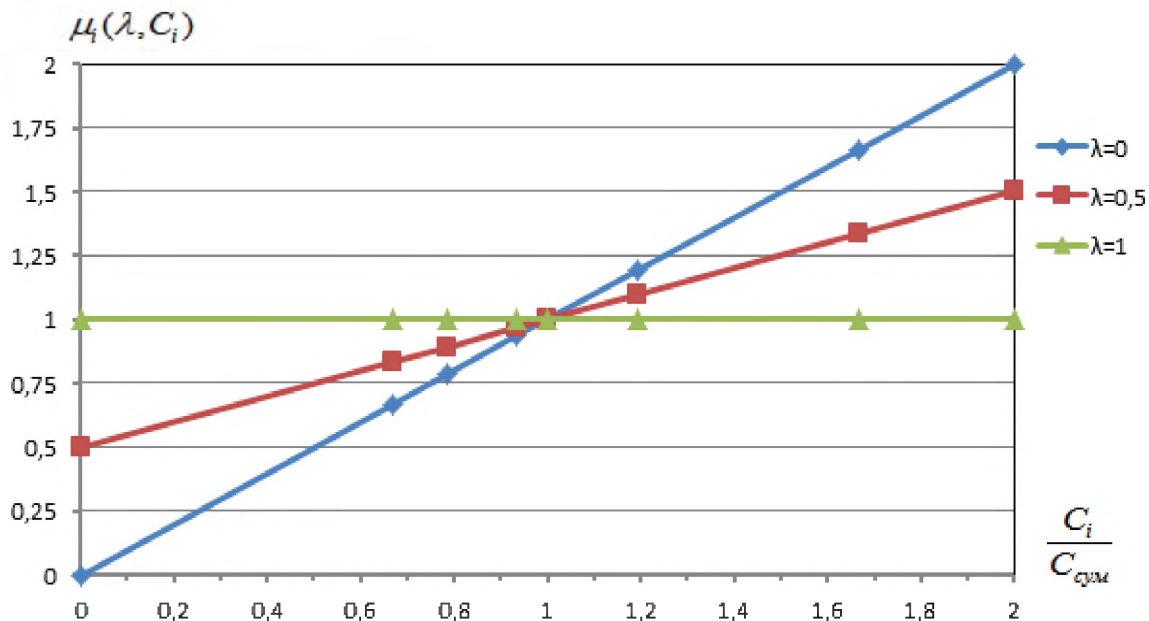


Рис. 2. Залежність зваженої за згорткою критеріїв ціни за водовідведення 1 м³ води від відношення концентрації C_i до концентрації суміші мінеральних речовин $C_{\text{сум}}$, кумульованих різними підприємствами

$$\mu_i(\lambda, C_i) = \lambda + (1 - \lambda) \frac{C_i}{C_{\text{сум}}} \quad (16)$$

Вона може бути меншою одиниці (при $C_i < C_{\text{сум}}$), рівною одиниці (при $C_i = C_{\text{сум}}$) та більшою одиниці (при $C_i > C_{\text{сум}}$). Побудовані графічні залежності зваженої ціни від концентрації $\frac{C_i}{C_{\text{сум}}}$ мінеральних речовин при різних

параметрах λ (рис. 2) відображають лінійні зв'язки. При цьому зважена ціна, як правило, збільшується при збільшенні показника мінералізації.

Тому пайова частка підприємств, які мають підвищену у скидній воді порівняно з $C_{\text{сум}}$ мінералізацію, збільшується (табл. 1). Навпаки, зменшується частка пайової участі для підприємств і є зниженою, порівняно

з $C_{\text{сум}}$, мінералізацією. Якщо всі підприємства мають однакову мінералізацію, тобто $\frac{C_i}{C_{\text{сум}}}$, розподіл пайової участі відбувається фактично за часткою об'ємів скидних вод.

Залежність (16) показує, що при параметрах λ близьких до одиниці стимулюється водовідведення в ставки-накопичувачі за об'ємами вод. При λ близьких до нуля перевагу одержують підприємства, технологічні та організаційні заходи яких націлені на зменшення концентрації мінеральних речовин у стічних водах.

Перспективи подальших досліджень. В перспективі необхідно розробити теорію платного водокористування та водовідведення в умовах незадовільної якості води. Невирішеним завданням у басейні р. Інгулець залишається розробка технологічної системи управління розбавленням високомінералізованих шахтних вод, щорічне визначення об'ємів води для розбавлення, промивання та екологічного оздоровлення річки.

Висновки. Запропонований балансний метод дозволяє визначити пайову участь гірничорудних підприємств Кривбасу в управ-

лінні водовідведенням шахтних вод в ставок-накопичувач. Інтегрований підхід за згортокою двох балансних рівнянь, за часткою об'ємів та часткою мінеральних речовин, забезпечує управління сумісно за екологічними та економічними критеріями. Це стимулює підприємства до зменшення об'ємів скидів зворотних вод в ставок-накопичувач, а за екологічним критерієм – до запровадження технологій, що знижують мінералізацію цих вод.

Ми рекомендуємо зважений метод, за яким 50% плати за водовідведення надлишкових шахтних вод здійснюється за об'ємами та 50% за показником мінералізації ($\lambda=0,5$). Проте надалі необхідно враховувати також інші показники якості води, як окремо, так і при їх взаємодії.

На основі лінійної згортки балансних рівнянь обґрунтовано алгоритм розрахунку пайової участі підприємств, що базується на рівноправному врахуванні критерію частки об'ємів та критерію частки мінеральних речовин. Це дозволило провести практичні розрахунки пайової участі підприємств південної групи шахт Кривбасу сумісно за об'ємами та мінералізацією вод, що акумулюються в ставку-накопичувачу балки Свистунова.

Бібліографія

1. Розпорядження Кабінету Міністрів України №1670-р від 28.12.2020 року «Про запобігання виникненню аварійної ситуації на ставку-накопичувачу, розташованому на території Криворізького району Дніпропетровської області».
2. Системна модель інтегрованого управління водними ресурсами р. Інгулець за басейновим принципом / Kovalchuk, V., Kovalchuk, P., Yatsyuk, M., Kovalenko, R., Demchuk, O., & Balykhina, H. // *Меліорація і водне господарство*, 2020. (1), 37–48. <https://doi.org/10.31073/mivg202001-219>
3. Dukhovny, V., Sokolov, V., Manthrililake, H.: *Integrated Water Resources Management: Putting Good Theory into Real Practice. Central Asian Experience. SIC ICWC, Tashkent (2009)*.
4. Шашук В., Яцик А. Україна на шляху до басейнового принципу управління водними ресурсами // *Водне господарство України*, 2007. № 4. С. 6–10.
5. Климчик О.М., Пінкіна Т.В., Пінкін А.А. Впровадження системи інтегрованого управління водними ресурсами за басейновим принципом // *Scientific Journal «ScienceRise»*. 2018. №4(45). С. 36–40.
6. Закон України «Про внесення змін до деяких законодавчих актів України щодо впровадження інтегрованих підходів в управлінні водними ресурсами за басейновим принципом» від 4 жовтня 2016 року № 1641-VIII.
7. Ковальчук П.І., Ковальчук В.П. Системне управління як розвиток інтегрованого управління водним режимом меліорованих територій // *Вісник НУВГП*. 2015. Вип. 3(71). Сер. Технічні науки.
8. Ковальчук П.І., Коваленко Р.Ю., Балихіна Г.А. Методологічні особливості концепції системного управління водними ресурсами за басейновим принципом // *Меліорація і водне господарство*. Київ : Аграрна наука. 2018. № 1(107). С. 17–23. DOI : <https://doi.org/10.31073/mivg201801-115>
9. Системне моделювання і управління водо- і землекористуванням : монографія. / Ковальчук П.І., Матяш Т.В., Ковальчук В.П., Демчук О.С., Балихіна Г.А., Герус А.В., Пендак Н.В. Київ : Аграрна наука, 2019. 608 с.

10. Kovalchuk P., Kovalenko R., Kovalchuk V., Demchuk O., Balykhina H. (2021) Integrated Water Management and Environmental Rehabilitation of River Basins Using a System of Non-linear Criteria. In : Hu Z., Petoukhov S., Dychka I., He M. (eds) *Advances in Computer Science for Engineering and Education III. ICCSEEA 2020. Advances in Intelligent Systems and Computing*, vol. 1247. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-55506-1_4
11. Directive 2000/60/EC of the European Parliament and of the Council of 23 October 2000 establishing a framework for Community action in the field of water policy // *Official Journal of the European Communities*. 22.12.2000, ENL327/1.
12. Національна парадигма сталого розвитку України ; за заг. ред. акад. НАН України, д-ра техн. наук, проф. Б.Є. Патона. Вид. 2-ге, перероб. і доп. Київ : Державна установа «Інститут економіки природокористування та сталого розвитку Національної академії наук України», 2016. 72 с.
13. Бурлака В.О. Промивка р. Інгулець у 2011 році // *Водне господарство України*. 2011. № 5. С.17–18.
14. Бабій П.О., Лисюк О.Г. Рукотворна повінь на р. Рось // *Водне господарство України*. 2010. № 5. С. 4–6.
15. Kovalchuk, P., Rozhko, V., Kovalchuk, V., Balykhina, H., & Demchuk, O. (2019, September). Optimization of integrated water exchange management technologies in territorial systems for conditions of sustainable development. In 2019 IEEE 14th International Conference on Computer Sciences and Information Technologies (CSIT) (Vol. 1, pp. 80–83). IEEE.
16. Keller I., Schwartz R. “Instrument of the integrated pollutant/sediment management in the Elbe catchment area”, International Conference RIVER BASINS 2015. Monitoring, Modelling & Management of Pollutants. June 24th and 25th 2015. Germany, Karlsruhe – 2015, pp. 67–74.
17. «Investigation of Options to increase the flood mitigation performance of Wivenhoe Dam», Final Report. Brisben: GHD, pp. 146 (2011).
18. «Environmental assessment accelerated Mahaweli development program» in US Agency for International Development, New York : TAMS, pp. 389, (1980).
19. Подиновский В.В., Ногин В.Д. Парето-оптимальные решения многокритериальных задач. Москва : Наука, 1982. 253 с.

References

1. Rozporiadzhennia Kabinetu Ministriv Ukrainy «Pro zapobihannia vynyknenniu avariinoi situatsii na stavku-nakopychuvachu, rozdashovanomu na terytorii Kryvorizkoho raionu Dnipropetrovskoi oblasti» vid 28.12.2020 roky №1670-r. [Ordinance of the Cabinet of Ministers of Ukraine «About accident prevention within storage pond is on Kryvyi Rih district of the Dnipropetrovsk region» of December 28, 2020, №1670-r]. [in Ukrainian]
2. Kovalchuk, V., Kovalchuk, P., Yatsyuk, M., Kovalenko, R., Demchuk, O., & Balykhina, H. (2020). System model of integrated management of the water resources of the Ingulets River by a basin principal. *Land Reclamation and Water Management*, (1), 37–48. <https://doi.org/10.31073/mivg202001-219>
3. Dukhovny, V., Sokolov, V., & Manthrithilake, H. (2009). *Integrated Water Resources Management: Putting Good Theory into Real Practice. Central Asian Experience*. Tashkent: SIC ICWC.
4. Stashuk, V.A., & Yatsyk, A.V. (2007). Ukraine na shlyahu do baseynovoho pryntsyru upravlinnia vodnymy resursamy [Ukraine is on the way toward the basin principle of water resources management]. *Vodne hospodarstvo Ukrainy*, 4, 6–10. [in Ukrainian]
5. Klymchuk, O.M., Pinkina, T.V., & Pinkin, A.A. (2018). Vprovadzhennia systemy integrovanoho upravlinnia vodnymy resursamy za baseynovym pryntsepom [Adaptation of the integrated water resources management system based on the basin principle]. *Scientific Journal Science Rise*, 4(45), 36–40. [in Ukrainian]
6. Zakon Ukrainy «Pro vnesennia zmin do deiakyh zakonodavchyh aktiv Ukrainy shchodo vprovadzhennia integrovanyh pidhodiv v upravlinni vodnymy resursamy za baseynovym pryntsepom» vid 4 zhovtnia 2016 roky № 1641-VIII. [The Law of Ukraine «On Amendments to Certain Legislative Acts of Ukraine on Implementation of Integrated approaches to the of Water Resources Management based on basin principle» of October 4, 2016, No. 1641-VIII]. [in Ukrainian]
7. Kovalchuk, P.I., & Kovalchuk V.P. (2015). Systemne upravlinnia yak rozvytok integrovanoho upravlinnia vodnym rezhytom meliorovanyh terytorii [System management as the integrated management development of the water regime of the reclaimed area]. *Visnyk NUVGP*, 3(71), 19–23. [in Ukrainian]

8. Kovalchuk, P., Kovalenko, R., & Balykhina, H. (2018). Methodological features of the concept of water use system management using basin principle. *Land Reclamation and Water Management*, 107(1), 17–23. <https://doi.org/10.31073/mivg201801-115>. [in Ukrainian]
9. Kovalchuk, P.I., Matiash, T.V., Kovalchuk, V.P., Demchuk, O.S., Balykhina, H.A., Gerus, A.V., & Pendak, N.V. (2019). *Systemne modeliuвання i upravlinnia vodo- i zemlekorystuvanniam : monohrafiia*. Kyiv : Ahrarna nauka. [in Ukrainian]
10. Kovalchuk P., Kovalenko R., Kovalchuk V., Demchuk O., & Balykhina H. (2021) Integrated Water Management and Environmental Rehabilitation of River Basins Using a System of Non-linear Criteria. In: Hu Z., Petoukhov S., Dychka I., He M. (eds) *Advances in Computer Science for Engineering and Education III. ICCSEE 2020. Advances in Intelligent Systems and Computing*, vol. 1247. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-55506-1_4
11. Directive 2000/60/EC of the European Parliament and of the Council of 23 October 2000 establishing a framework for Community action in the field of water policy. (2000). *Official Journal of the European Communities*, ENL327/1.
12. Institute of Environmental Economics and Sustainable Development of the National Academy of Sciences of Ukraine» (2016). *National paradigm of sustainable development for Ukraine*. Kyiv. [in Ukrainian]
13. Burlaka, B. (2011). The flushing Inhulets river in 2011. *Water Management of Ukraine*, 5, 17–18. [in Ukrainian]
14. Babiy, P.O., & Lisyuk, O.G. (2010). Man-made flood on the river Ros. *Water management of Ukraine*, 5, 4–6. [in Ukrainian]
15. Kovalchuk, P., Rozhko, V., Kovalchuk, V., Balykhina, H., & Demchuk, O. (2019, September). Optimization of integrated water exchange management technologies in territorial systems for conditions of sustainable development. 14th International Conference on Computer Sciences and Information Technologies, Vol. 1, 80–83.
16. Keller I., & Schwartz R. (2015) Instrument of the integrated pollutant/sediment management in the Elbe catchment area. *International Conference RIVER BASINS 2015: Monitoring, Modelling & Management of Pollutants*. Germany, Karlsruhe, 67–74.
17. Investigation of Options to increase the flood mitigation performance of Wivenhoe Dam. (2011). *Final Report*. Brisbane: GHD, pp. 146.
18. Environmental assessment accelerated Mahaweli development program. (1980). US Agency for International Development. New York : TAMS.
19. Podinovskiy, V., Noghin, V. (1982). Pareto optimal solution for multicriterion problems. Moscow : Nauka. [in Russian]

**П.И. Ковальчук, В.В. Стеценко, А.А. Балыхина,
В.П. Ковальчук, Е.С. Демчук**

**Балансовый метод интегрированного управления водоотведением
по объемам и минерализацией шахтных вод в бассейне р. Ингулец**

Аннотация. Рассмотрен балансовый метод определения долевого участия предприятий Кривбасса по объемам аккумуляции шахтных вод в пруде-накопителе. Формализован балансовый метод участия горнорудных предприятий с учетом доли минеральных веществ. Разработан интегрированный подход к управлению водоотведением в пруд-накопитель на основе линейной свертки двух балансовых уравнений, который учитывает совместно долю объемов вод и величину минерализации в сбросах предприятий, а также включает выбор долевого участия в водоотведении шахтных вод по экономическим и экологическим критериям. Обоснован алгоритм долевого участия горнорудных предприятий Кривбасса на принципах равноправия двух критериев. Проведены практические расчеты доли аккумуляции сбросных вод в пруде-накопителе балки Свистунова. Рассмотрена взвешенная по двум критериям цена за водоотведение 1 м³ воды в пруд-накопитель. Критериями являются объемы откачанной воды и величина минерализации. Построены графические зависимости взвешенной цены, которые учитывают отношение концентрации сбросов различных предприятий к концентрации смеси. Используются различные коэффициенты взвешивания: платное водоотведение по доле объемов вод; оценка водоотведения только по величине минерализации вод; равноправный подход по доле объемов (50%) и минеральных веществ (50%). Расчеты показали работоспособность алгоритма, возможность его использования предприятиями для интегрированного управления водоотведением шахтных вод по критериям объемов и минерализации. Предложенный балансовый метод легко обобщить и на другие показатели качества воды (хлориды, сульфаты и др.), которые

являются в определенной задаче наиболее актуальными для определения долевого участия предприятий. В перспективе необходимо разработать теорию платного водопользования и водоотведения на фоне неудовлетворительного качества воды с учетом интегрированного подхода при различных показателях и их совокупности, то есть многокритериальную оценку водоотведения и аккумуляции шахтных вод.

Ключевые слова: балансовые методы, экологические и экономические критерии, интегрированное управление, минерализация шахтных вод, разбавление шахтных вод, линейная свертка критериев

P.I. Kovalchuk, V.V. Stetsenko, H.A. Balykhina,
V.P. Kovalchuk, O.S. Demchuk

**Balance method of integrated control of mine water removal
by the volumes and mineralization rate within the Ingulets river basin**

Abstract. The balance method of determining the share of Kryvyi Rig Basin enterprises by the accumulated volume of mine water in the storage pond was considered. The balance method of participation of mining enterprises by the shares of mineral substances was formalized. An integrated approach of the control of water removal into the storage pond when using linear convolution of two balance equations by both the share of water volumes and the mineralization rate in the water discharges of enterprises was developed. It takes into account the choice of equity participation in mine water removal by economic and environmental criteria. The algorithm of equity participation of mining enterprises of Kryvyi Rih Basin on the principles of equality of two criteria was substantiated. The calculations of the share of discharge water accumulation in the storage pond of the Svistunov gully were carried out. The estimated price for water removal of one cubic meter of water into the storage pond by two criteria was considered. The estimation criteria are the volumes of pumped water and mineralization rate. Graphical dependences of the estimated price on the ratio of discharges concentration of different enterprises to the mixture concentration were built. Different estimation coefficients were used: paid water removal by water volumes; assessment of water removal only by mineralization rate; equal approach by the volumes (50%) and mineralization rate (50%). The calculations showed the efficiency of the algorithm, the applicability of its use by enterprises for integrated control of mine water removal by the criteria of volume and mineralization rate. The proposed balance method can be easily generalized when using other indicators of water quality (chlorides, sulfates, etc.), which are considered to be the most relevant for determining the equity participation of enterprises. In the future it is necessary to develop a theory of paid water use and water removal in conditions of unsatisfactory water quality, taking into account the integrated approach by different indicators that means multi-criteria assessment of water removal and accumulation of mine water.

Key words: balance methods, ecological and economic criteria, integrated control, mineralization of mine water, dilution of mine water, linear convolution of criteria