

## **РОЗРАХУНОК І ОПТИМІЗАЦІЯ РЕЖИМУ ПЕРІОДИЧНОГО СКИДАННЯ ЗВОРОТНИХ ВОД З НАКОПИЧУВАЧА У РІЧКУ**

*Розроблено метод розрахунку та оптимізації режиму періодичного скидання зворотної води з накопичувача забруднених промислових вод у річку для випадку, коли кількість етапів скидання протягом року дорівнює двом. В цьому методі враховуються умови не переповнення накопичувача та дотримання норм якості річкової води в контрольному створі. Показано, що режим періодичного скидання розраховується неоднозначно, але цей режим можна розрахувати однозначно, мінімізуючи його негативний вплив на якість води в контрольному створі. Наведено приклади розрахунку оптимального режиму скидання.*

**Ключові слова:** накопичувач промислових вод, періодичне скидання зворотних вод, контрольний створ, норми якості води.

**Актуальність та постановка проблеми.** Накопичувач — це штучна водойма, що використовується для накопичення промислових забруднених стічних, чи шахтних, кар'єрних, рудникових вод [1] та періодичного скидання цих вод у поверхневий водний об'єкт, як правило, у річку [2, 3]. Головна мета експлуатації накопичувача — регулювання витрати зворотних вод в оптимальному режимі, який забезпечує дотримання норм якості води в контрольному створі випуску зворотних вод, та при якому є мінімальним негативний вплив скидання зворотних вод на якість річкової води [2–4].

При періодичному скиданні зворотних вод їх витрата та об'єм води у накопичувачі є періодичними функціями часу з періодом 1 рік, причому скидання зворотних вод протягом року складається із низки етапів скидання, на кожному з яких витрата зворотних вод є постійною [2, 3]. Режим скидання є заданим, якщо визначені кількість і тривалість етапів скидання та витрата зворотних вод на кожному з етапів [2]. Режим скидання треба розраховувати при розробленні регламентів скидання [1] та проектуванні накопичувачів [2–4].

В роботах [3, 4] вказується, що скидання зворотних вод з накопичувачів негативно впливає на якість річкової води, але цей вплив кількісно не характеризується. В роботі [2] зазначений вище вплив ха-

рактизується лише мінералізацією річкової води, а умови не переповнення накопичувача та дотримання норм якості річкової води не розглядаються. При цьому витрати  $g_i$  зворотних вод, які відповідають місяцям року, розраховуються виходячи з умови, що мінералізація річкової води має однакове значення  $\mu$  для всіх місяців року, але ця умова не обґрунтовується. В роботі [2] також стверджується, що  $\mu$  — це мінімально можливе значення мінералізації річкової води, однак це твердження теж не обґрунтовується. Таким чином, в роботі [2] методи розрахунку та оптимізації режиму скидання зворотних вод з накопичувача фактично не розроблені.

**Мета роботи.** визначення кількісної характеристики негативного впливу періодичного скидання зворотних вод з накопичувача на якість річкової води; розроблення методу розрахунку та оптимізації режиму періодичного скидання з урахуванням умов не переповнення накопичувача та дотримання норм якості води в контрольному створі випуску зворотних вод.

## Результати досліджень.

### 1. Розрахунок максимально допустимої витрати зворотної води

Максимально допустима витрата зворотної води (максимально допустима витрата) — це така максимальна витрата, при якій в контрольному створі дотримуються норми якості води, тобто виконуються умови:

$$C_i^{\text{кк}} \leq C_i^{\text{ГДК}} \quad (i = 1, 2, \dots, N), \quad (1.1)$$

де  $C_i^{\text{кк}}$  та  $C_i^{\text{ГДК}}$  — максимальна концентрація  $i$ -ої нормованої речовини в контрольному створі та ГДК цієї речовини;  $N$  — кількість нормованих речовин.

У певних випадках при розрахунку режиму скидання розрахунок максимально допустимої витрати не потрібний, бо в цих випадках дотримання або порушення умов (1.1) не залежить від витрати зворотної води. Щоби визначити ці випадки, уведемо такі позначення:  $C_i^{\text{зв}}$  - концентрація  $i$ -ої нормованої речовини у зворотній воді;  $C_i^{\text{ф}}$  — фонова концентрація цієї речовини.

Існують наступні варіанти співвідношень між величинами  $C_i^{зв}$ ,  $C_i^{\Phi}$ ,  $C_i^{ГДК}$ :

- а)  $C_i^{зв} < C_i^{\Phi} < C_i^{ГДК}$ , б)  $C_i^{зв} < C_i^{ГДК} < C_i^{\Phi}$ , в)  $C_i^{\Phi} < C_i^{зв} < C_i^{ГДК}$ ,  
г)  $C_i^{ГДК} < C_i^{\Phi} < C_i^{зв}$ , д)  $C_i^{ГДК} < C_i^{зв} < C_i^{\Phi}$ , е)  $C_i^{\Phi} < C_i^{ГДК} < C_i^{зв}$ .

Для визначення вказаних вище випадків виконується наступний аналіз:

Для кожної  $i$ -ої речовини перевіряється виконання умов а) — е) та приймається одне з таких тверджень: “речовину не можна скидати без порушення норм якості води”; “речовину можна скидати з будь-якою витратою”; “для скидання речовини потрібний розрахунок максимально допустимої витрати”.

Якщо для  $i$ -ої речовини виконується одна з умов а) — в), то для неї виконується умова  $C_i^{зв} < C_i^{ГДК}$ , і тому цю речовину “можна скидати з будь-якою витратою” [5]. Якщо для речовини виконується умова г), то одна з умов (1.1), що відповідає цій речовині, порушується, тобто “речовину не можна скидати без порушення норм якості води”. Якщо для речовини виконується умова д), то треба розглянути наступні випадки [5]. Якщо умова  $C_i^{\Phi} > C_i^{ГДК}$  обумовлена господарськими факторами, то “речовину не можна скидати без порушення норм якості води”, а якщо природними факторами, — то “речовину можна скидати з будь-якою витратою”. Якщо ж для речовини виконується умова е), то “для скидання речовини потрібний розрахунок максимально допустимої витрати”.

Якщо всі речовини “можна скидати з будь-якою витратою”, або серед речовин є хоча б одна, яку “не можна скидати без порушення норм якості води”, то розрахунок максимально допустимої витрати не потрібний. В іншому випадку максимально допустима витрата розраховується наступним чином.

Якщо задати деяке значення витрати  $g$  зворотної води, то за формулами, що наведені в Інструкції [5], можна розрахувати відповідне значення кратності розбавлення  $n$  зворотної води в контрольному створі, тобто  $n(g)$  — задана функція (тут вважаються заданими всі величини, від яких залежить величина  $n$  [5], окрім витрати  $g$ ). Оскільки при збільшенні  $g$  кратність розбавлення  $n(g)$  зменшується [5],

враховуючи умови (1.1), можна показати, що максимально допустима витрата  $g_m$  є розв'язком рівняння:

$$n(g_m) = n_j, \quad (1.2)$$

в якому величина  $n_j$  задається формулами

$$n_j = \max(n_1, n_2, \dots, n_S), \quad n_i = \frac{C_i^{\text{зв}} - C_i^{\text{ф}}}{C_i^{\text{ГДК}} - C_i^{\text{ф}}} \quad (i = 1, 2, \dots, S)$$

де  $i$  — номер нормованої речовини, для якої “потрібний розрахунок максимально допустимої витрати”;  $S$  — кількість таких речовин.

Рівняння (1.2) можна розв'язати будь-яким із відповідних чисельних методів, зокрема, відносно простим методом бісекції [6].

## 2. Визначення кількості та тривалості етапів скидання.

### Математичне формулювання задачі розрахунку режиму скидання

При розрахунку режиму скидання треба враховувати, що кратність розбавлення  $n$  залежить від витрати  $Q$  річкової води у фоновому створі випуску зворотних вод [5], причому витрата  $Q$  суттєво змінюється протягом року [5, 7]. Приклад внутрішньорічного розподілу річкового стоку наведений у табл. 1 (аналогічним чином розподіляється відповідна витрата  $Q$ ).

Таблиця 1 — Внутрішньорічний розподіл стоку річок Полтавської і Харківської областей для року середньої водності [7]

Місяць року	III *)	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	I	II
% річного стоку	56,8	15,6	4,2	2,8	1,5	0,9	1,4	2,2	3,8	6,7	2,1	2

\*) Примітка: I — січень, II — лютий, III — березень, і т. д.

Із табл.1 випливає, що у березні (пік весняного паводку) витрата річкової води у 9 разів перевищує витрату осіннього паводку (грудень) та у 63 рази перевищує меженну витрату (липень). Тому в даному випадку скидання зворотних вод протягом року можна розбити на 2 етапи: етап 1, що відповідає березню і має тривалість  $\tau_1=31$  доба, та етап 2, що відповідає всім іншим місяцям року і має тривалість  $\tau_2=334$  доби. Оскільки кратність розбавлення  $n$  зменшується при зменшенні витрати  $Q$  [5], можна вважати, що для етапу 1:  $Q = Q_1 = 0,568 \cdot Q_{\text{ф}}$ , а для етапу 2  $Q = Q_2 = 0,009 \cdot Q_{\text{ф}}$ , де  $Q_{\text{ф}}$  — середньорічна витрата води у фоно-

вому створі. Можливість такого вибору величин  $Q_1$  і  $Q_2$  обумовлена ось чим: якщо умови (1.1) дотримуються при  $Q = Q_1$  та  $Q = Q_2$ , то ці умови будуть дотримуватися і при інших значеннях  $Q$ , які відповідають табл. 1. Відзначимо, що переважна більшість річок України має внутрішньорічний розподіл стоку, аналогічний наведеному в табл. 1 [7], а витрати  $G_1$ ,  $G_2$  води, що надходить у накопичувач на етапах 1, 2, можуть бути різними.

Розрахунок режиму періодичного скидання зворотних вод з накопичувача полягає у визначенні витрат  $g_1$ ,  $g_2$  зворотної води, яка скидається з накопичувача на етапах 1, 2. Ці витрати розраховуються з урахуванням наступних умов.

Умова не переповнення накопичувача:

$$V_{\text{РМО}} \leq V(t) \leq V_{\text{НПР}} \quad (0 \leq t \leq \tau_1 + \tau_2), \quad (2.1)$$

де  $V(t)$  — об'єм води у накопичувачі в залежності від часу  $t$ ;  $V_{\square\square}$  та  $V_{\square\square}$  — значення об'єму  $V$  при рівні мертвого об'єму та при нормальному підпірному рівні води у накопичувачі.

Умова періодичності скидання зворотних вод:

$$V(0) = V(\tau_1 + \tau_2). \quad (2.2)$$

Умова дотримання норм якості води в контрольному створі:

$$g_1 \leq \hat{g}_1, \quad g_2 \leq \hat{g}_2, \quad (2.3)$$

де  $\hat{g}_1$ ,  $\hat{g}_2$  — максимально допустимі витрати на етапах скидання 1, 2.

Умова обмеженості витрати зворотної води:

$$0 \leq g_1 \leq g_{\text{max}}, \quad 0 \leq g_2 \leq g_{\text{max}}, \quad (2.4)$$

де  $g_{\text{max}}$  — витрата зворотної води, що відповідає максимальній пропускній спроможності випуску зворотних вод.

Задача розрахунку режиму періодичного скидання формулюється так: враховуючи умови (2.1) — (2.4), необхідно розрахувати витрати  $g_1$ ,  $g_2$  при заданих значеннях величин  $\tau_1$ ,  $\tau_2$ ,  $\hat{g}_1$ ,  $\hat{g}_2$ ,  $G_1$ ,  $G_2$ ,  $g_{\text{max}}$ ,  $V_{\text{НПР}}$ ,  $V_{\text{РМО}}$ .

### **3. Розрахунок режиму скидання без урахування умови дотримання норм якості води в контрольному створі**

У випадках, коли дотримання норм якості води в контрольному створі є неможливим (розділ 4), або розрахунок максимально допусти-

мої витрати не потрібний (розділ 1), режим скидання треба розраховувати без урахування умови (2.3) дотримання норм якості води в контрольному створі.

Враховуючи умову (2.2), рівняння водного балансу накопичувача на етапах скидання 1, 2 можна записати так:

$$V_0 + G_1\tau_1 - g_1\tau_1 = V_1, \quad V_1 + G_2\tau_2 - g_2\tau_2 = V_0, \quad (3.1)$$

де  $V_0$  та  $V_1$  — об'єми води у накопичувачі на початку та наприкінці етапу 1.

Із (3.1) знаходимо:

$$g_1 = G_1 - \Delta V / \tau_1, \quad g_2 = G_2 + \Delta V / \tau_2, \quad (3.2)$$

де  $\Delta V = V_1 - V_0$ .

Якщо  $\Delta V > 0$ , то на етапі 1 об'єм  $V$  збільшується, а на етапі 2 — зменшується (рис. 1, а). Якщо  $\Delta V < 0$ , то на етапі 1 об'єм  $V$  зменшується, а на етапі 2 — збільшується (рис. 1, б)

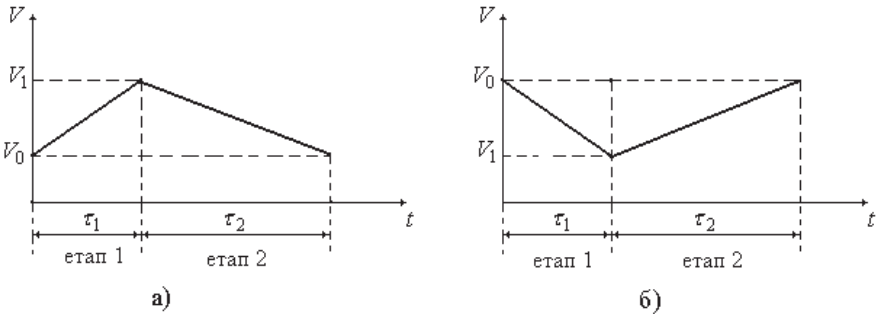


Рис. 1 — Якісний характер динаміки об'єму  $V$  води у накопичувачі протягом року: а)  $\Delta V = V_1 - V_0 > 0$ ; б)  $\Delta V < 0$ .

Записуючи умову (2.1) при  $V = V_0$  і  $V = V_1$ , знаходимо:

$$V_{\text{РМО}} \leq V_0 \leq V_{\text{НПР}}, \quad V_{\text{РМО}} \leq V_1 \leq V_{\text{НПР}}. \quad (3.3)$$

Враховуючи, що  $\Delta V = V_1 - V_0$ , із (3.3) одержимо:

$$-V_p \leq \Delta V \leq V_p, \quad (3.4)$$

де  $V_p = V_{\text{НПР}} - V_{\text{РМО}}$ .

Із (2.4), (3.2) отримаємо:

$$\tau_1(G_1 - g_{\text{max}}) \leq \Delta V \leq G_1\tau_1, \quad (3.5)$$

$$-G_2\tau_2 \leq \Delta V \leq \tau_2(g_{\text{max}} - G_2). \quad (3.6)$$

Враховуючи, що серед лівих та правих частин нерівностей (3.4) — (3.6) практично не може бути частин, які приймають однакові числові значення, знайдемо розв'язок системи нерівностей (3.4) — (3.6).

Можна показати, що система нерівностей (3.5), (3.6) має розв'язок лише у випадку, коли виконується умова

$$G_1\tau_1 + G_2\tau_2 < g_{\max}(\tau_1 + \tau_2), \quad (3.7)$$

причому цей розв'язок такий:

$$\tilde{\alpha} \leq \Delta V \leq \tilde{\beta}, \quad (3.8)$$

де

$$\tilde{\alpha} = \begin{cases} \tau_1(G_1 - g_{\max}), \text{ якщо } G_1\tau_1 + G_2\tau_2 < g_{\max}\tau \\ -G_2\tau_2 \text{ якщо } G_1\tau_1 + G_2\tau_2 > g_{\max}\tau_1 \end{cases}, \quad (3.9)$$

$$\tilde{\beta} = \begin{cases} G_1\tau_1, \text{ якщо } G_1\tau_1 + G_2\tau_2 < g_{\max}\tau_2 \\ \tau_2(g_{\max} - G_1), \text{ якщо } G_1\tau_1 + G_2\tau_2 > g_{\max}\tau_2 \end{cases}. \quad (3.10)$$

Аналогічно, система нерівностей (3.4), (3.8) має розв'язок лише у випадку, коли виконуються умови

$$-V_p < \tilde{\beta}, \quad \tilde{\alpha} < V_p, \quad (3.11)$$

причому цей розв'язок такий:

$$\alpha \leq \Delta V \leq \beta, \quad (3.12)$$

де  $\alpha = \max(-V_p, \tilde{\alpha})$ ,  $\beta = \min(V_p, \tilde{\beta})$ .

Таким чином, система нерівностей (3.4) — (3.6) має розв'язок лише у випадку, коли виконуються умови (3.7), (3.11), причому цей розв'язок задається нерівністю (3.12). Якщо хоча б одна з умов (3.7), (3.11) не виконується, то скидання зворотних вод з дотриманням умов (2.1), (2.2), (2.4) є неможливим. Тому при проектуванні накопичувача величини  $g_{\max}$ ,  $V_p$  слід вибирати так, щоби виконувалися умови (3.7), (3.11).

Якщо задати будь-яке значення  $\Delta V$ , що задовольняє умові (3.12), та за формулами (3.2) розрахувати відповідні витрати  $g_1$ ,  $g_2$ , то умови (2.1), (2.2), (2.4) будуть виконуватися. Таким чином, без урахування умови (2.3) режим скидання розраховується неоднозначно.

#### 4. Розрахунок режиму скидання з урахуванням умови дотримання норм якості води в контрольному створі

Підставляючи (3.2) у (2.3), знаходимо:

$$A \leq \Delta V \leq B, \quad (4.1)$$

де

$$A = \tau_1(G_1 - \hat{g}_1), \quad B = \tau_2(\hat{g}_2 - G_2).$$

Можна показати, що система нерівностей (3.12), (4.1) має розв'язок лише у випадку, коли виконуються умови

$$A < B, \quad \alpha < \beta, \quad (4.2)$$

причому цей розв'язок такий:

$$\max(A, \alpha) \leq \Delta V \leq \min(B, \beta). \quad (4.3)$$

Якщо хоча б одна з умов (4.2) не виконується, то скидання зворотних вод з дотриманням норм якості води в контрольному створі є неможливим. В цьому випадку витрати  $g_1$ ,  $g_2$  розраховуються так, як описано у розділі 3. Якщо ж умови (4.2) виконуються, то задавши будь-яке значення  $\Delta V$ , що задовольняє умові (4.3), за формулами (3.2) можна розрахувати відповідні витрати  $g_1$ ,  $g_2$ , при яких будуть виконуватися умови (2.1) — (2.4). Таким чином, з урахуванням умови (2.3) режим скидання розраховується неоднозначно, так само, як і без урахування умови (2.3) (розділ 3). Для усунення цієї неоднозначності та для зменшення негативного впливу скидання зворотних вод на якість річкової води доцільно виконати оптимізацію режиму скидання.

#### 5. Оптимізація режиму скидання

Враховуючи рекомендації роботи [8], негативний вплив скидання зворотних вод на якість води в контрольному створі для етапів 1, 2 можна характеризувати величинами  $F_1$ ,  $F_2$ , які визначаються так:

$$F_1 = \sum_{i=1}^{N_1} \check{C}_{1,i} / C_{ГДК,i}, \quad F_2 = \sum_{i=1}^{N_2} \check{C}_{2,i} / C_{ГДК,i}, \quad (5.1)$$

де  $C_{ГДК,i}$  — ГДК  $i$ -ої нормованої речовини;  $\check{C}_{1,i}$ ,  $\check{C}_{2,i}$  — максимальні концентрації  $i$ -ої речовини в контрольному створі на етапах 1, 2;  $N_1$ ,



$N_2$  — кількості речовин (на етапах 1, 2), максимальна концентрація яких в контрольному створі перевищує ГДК.

Вочевидь, що при збільшенні тривалості етапу 1 або етапу 2 збільшується його негативний вплив на якість води в контрольному створі. Тому для всього режиму скидання зазначений вище негативний вплив доцільно характеризувати величиною  $F_\Sigma$ , що визначається так:

$$F_\Sigma = F_1\tau_1 / (\tau_1 + \tau_2) + F_2\tau_2 / (\tau_1 + \tau_2) \quad (5.2)$$

Із (5.1), (5.2) одержимо:

$$F_\Sigma = \tau_1 / (\tau_1 + \tau_2) \sum_{i=1}^{N_1} \check{C}_{1,i} / C_{ГДК,i} + \tau_2 / (\tau_1 + \tau_2) \sum_{i=1}^{N_2} \check{C}_{2,i} / C_{ГДК,i} \quad (5.3)$$

Будемо вважати, що для етапів 1, 2 задані всі величини, які необхідні для розрахунку концентрацій  $\check{C}_{1,i}$ ,  $\check{C}_{2,i}$  [5], окрім витрат  $g_1$ ,  $g_2$ . Покажемо, що в цьому випадку  $F_\Sigma$  — задана функція величини  $\Delta V$ .

Якщо задати певне значення величини  $\Delta V$ , то за формулами (3.2) можна розрахувати витрати  $g_1$ ,  $g_2$ . Далі, за формулами, що наведені у [5], можна розрахувати відповідні концентрації  $\check{C}_{1,i}$ ,  $\check{C}_{2,i}$ , а потім, за формулою (5.3), — величину  $F_\Sigma$ . Таким чином, задавши значення  $\Delta V$ , можна розрахувати відповідне значення  $F_\Sigma$ , тобто  $F_\Sigma = F_\Sigma(\Delta V)$ , де  $F_\Sigma(\Delta V)$  — задана функція.

При оптимізації режиму скидання знаходиться таке оптимальне значення величини  $\Delta V$ , при якому функція  $F_\Sigma(\Delta V)$  приймає мінімальне значення на інтервалі значень  $\Delta V$ , який задається одною з нерівностей (3.12), (4.3) в залежності від неможливості або можливості дотримання норм якості води в контрольному створі. Функція  $F_\Sigma(\Delta V)$  мінімізується з використанням будь-якого із чисельних методів мінімізації функції одної змінної [6]. Після визначення оптимального значення  $\Delta V$  відповідні оптимальні витрати  $g_1$ ,  $g_2$  розраховуються за формулами (3.2).

## 6. Приклади розрахунку оптимального режиму скидання

Розрахунки, що описуються далі, проводилися з використанням комп'ютерної програми, яка реалізує описаний вище метод розрахунку оптимального режиму скидання. Оптимальні витрати  $g_1$ ,  $g_2$  розраховувалися при різних значеннях витрати  $G = G_1 = G_2$ . При роз-

рахунку кратності розбавлення  $n$  вважалося, що в контрольному створі відбувається повне змішування зворотних вод з річковою водою. В розрахунках розглядалися речовини, що нормуються у всіх випадках скидання зворотних вод [9], та використовувалися такі вихідні дані:  $\tau_1 = 31$  доба;  $\tau_2 = 334$  доби;  $V_p = 5$  млн. м<sup>3</sup>;  $g_{\max} = 73$  млн. м<sup>3</sup>/рік;  $Q_1 = 5,68$  м<sup>3</sup>/с;  $Q_2 = 0,09$  м<sup>3</sup>/с (величини  $Q_1, Q_2$  розраховані відповідно до розділу 2 при  $Q_\phi = 10$  м<sup>3</sup>/с). Інші вихідні дані розрахунків наведені у табл. 2

При цих вихідних даних були розраховані такі максимально допустимі витрати (млн. м<sup>3</sup>/рік):  $\hat{g}_1 = 34,12$ ;  $\hat{g}_2 = 0,15$ . Результати інших розрахунків наведені у табл. 6.2.

Оскільки  $G = G_1 = G_2$ , умова (3.7) виконується лише при  $G < g_{\max} = 73$  млн. м<sup>3</sup>/рік, та із (3.2) випливає, що умова (2.3) виконується лише при

$$G < (\hat{g}_1\tau_1 + \hat{g}_2\tau_2) / (\tau_1 + \tau_2) = 3.03 \text{ млн. м}^3/\text{рік.}$$

Тому у табл. 2 наведені значення  $G < 73$  млн. м<sup>3</sup>/рік.

Таблиця 2 — Концентрації нормованих речовин (вихідні дані розрахунків)

Назва речовини (показника)	Гранично допустима концентрація, мг/л	Концентрація у зворотній воді, мг/л	Фонові концентрації, мг/л	
			Етап 1	Етап 2
Завислі речовини	25	35	10	15
Мінералізація	1000	2000	800	900
Сульфати	100	200	70	80
Хлориди	300	500	150	200
Азот амонійний	0,64	0,8	0,3	0,4
Нітрати	40	60	30	20
Нітрити	0,066	0,15	0,05	0,06
Фосфати	2,1	4,0	1,5	2,0
Нафтопродукти	0,05	0,1	0,02	0,03
БСК <sub>5</sub>	3,0	5,0	1,0	2,2

При  $G < 3,03$  млн. м<sup>3</sup>/рік маємо  $F_{\Sigma, \min} = F_{\Sigma, \max} = 0$ , а оптимальні витрати  $g_1, g_2$  відсутні (Табл. 3). Це обумовлено тим, що в даному випадку при всіх значеннях величини  $\Delta V$ , які задовольняють умові  $\Delta V_{\min} \leq \Delta V \leq \Delta V_{\max}$ , дотримуються норми якості води в контрольному створі та виконується умова  $F_{\Sigma} = 0$ .

Таблиця 3 — Результати розрахунків оптимального режиму скидання при різних значеннях витрати  $G$  води, що надходить у накопичувач

$G$ , млн. м <sup>3</sup> / рік	$g_1$ , *) млн. м <sup>3</sup> /рік	$g_2$ , млн. м <sup>3</sup> / рік	$\Delta V_{\text{опт}}$ , млн. м <sup>3</sup>	$\Delta V_{\min}$ , млн. м <sup>3</sup>	$\Delta V_{\max}$ , млн. м <sup>3</sup>	$F_{\Sigma, \min}$	$F_{\Sigma, \max}$
1	–	–	–	-0,915	-0,778	0	0
2	–	–	–	-1,830	-1,693	0	0
2,5	–	–	–	-2,288	-2,151	0	0
3,02	–	–	–	-2,641	-2,627	0	0
3,04	34,27	0,142	-2,652	-2,782	0,258	0,085	10,88
5	57,4	0,137	-4,45	-4,575	0,425	0,36	12,9
10	68,87	4,536	-5,0	-5,0	0,849	12,86	14,19
20	34,03	18,7	-1,192	-4,501	1,7	14,9	15,12
30	34,03	29,7	-0,342	-3,652	2,548	15,33	15,63
40	34,03	40,55	0,507	-2,803	3,397	15,54	15,86
50	34,03	51,48	1,356	-1,953	4,247	15,66	16,0
60	34,09	62,405	2,200	-1,104	5,0	15,75	16,10
70	37,68	73,0	2,745	-0,255	2,745	15,98	16,12
71	49,45	73,0	1,830	-0,17	1,83	15,99	16,7
72	61,23	73,0	0,915	-0,085	0,915	16,17	16,18

\*) Примітка:  $g_1, g_2$  — оптимальні витрати зворотної води на етапах скидання 1, 2;  $\Delta V_{\text{опт}}$ ,  $\Delta V_{\min}$ ,  $\Delta V_{\max}$  — оптимальне, мінімальне та максимальне значення величини  $\Delta V$ ;  $F_{\Sigma, \min}$ ,  $F_{\Sigma, \max}$  — мінімальне та максимальне значення функції  $F_{\Sigma}(\Delta V)$ .

Якщо  $G > 3,03$  млн. м<sup>3</sup>/рік, то  $F_{\Sigma, \max} > F_{\Sigma, \min}$  (Таб. 3). При цьому, якщо величина  $G$  наближається до 3,03 млн. м<sup>3</sup>/рік, то  $F_{\Sigma, \max} \gg F_{\Sigma, \min}$ , тобто оптимізація режиму скидання дає “дуже значній вииграш”. Але при збільшенні витрати  $G$  “вииграш від оптимізації” суттєво зменшується (Таб. 3).

На рис. 2 в якості прикладу наведений графік функції  $F_{\Sigma}(\Delta V)$  при  $G = 5$  млн. м<sup>3</sup>/рік.

Як видно з рис. 2, величина  $F_{\Sigma}$  змінюється стрибкоподібно, що обумовлено стрибкоподібною зміною величин  $N_1, N_2$ . Аналогічним чином змінюється величина  $F_{\Sigma}$  й при інших значеннях витрати  $G$ .

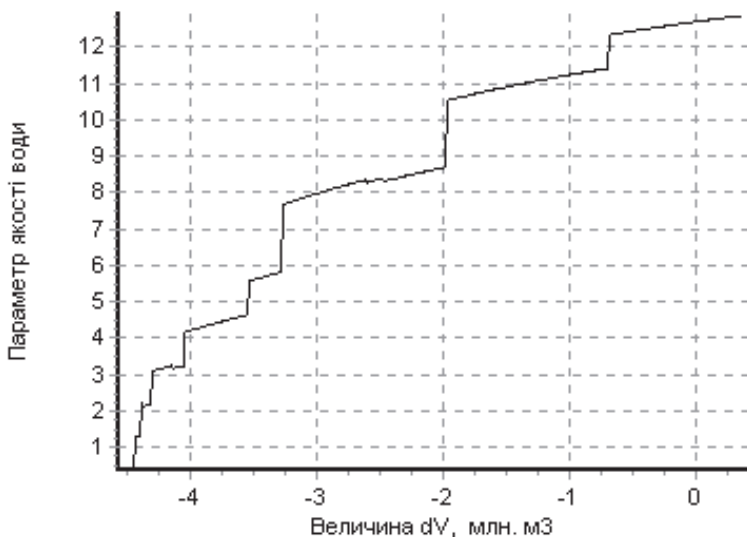


Рис. 2 — Параметр якості води (величина  $F_{\Sigma}$ ) в залежності від величини  $\Delta V$  при  $G = 5$  млн. м<sup>3</sup>/рік.

### Висновки

- Для випадку, коли кількість етапів скидання протягом року дорівнює двом, математично сформульована та розв’язана задача розрахунку і оптимізації режиму періодичного скидання зворотної води з накопичувача забруднених промислових вод

- у річку з урахуванням умов не переповнення накопичувача та дотримання норм якості води в контрольному створі;
- Розроблено метод розрахунку максимально допустимої витрати зворотних вод, при якій дотримуються норми якості води в контрольному створі;
  - Запропоновано кількісну характеристику негативного впливу періодичного скидання зворотних вод з накопичувача на якість води в контрольному створі;
  - Показано, що режим періодичного скидання розраховується неоднозначно, але цей режим можна розрахувати однозначно, мінімізуючи його негативний вплив на якість води в контрольному створі;
  - Наведено приклади розрахунку оптимального режиму скидання;
  - Для більш ефективного використання асимілюючої спроможності річки, в яку скидаються зворотні води, в подальшому доцільно розробити метод розрахунку та оптимізації режиму періодичного скидання зворотних вод з накопичувача для випадку, коли кількість етапів скидання перевищує два.

### Література

1. Водний кодекс України. — К.: Ін Юре, 2004. — 136 с.
2. Охотник Е.К. Оптимизация режимов сбросов шахтных вод в речную сеть / Е.К. Охотник // *Екологія і природокористування: зб. наук пр. / Дніпропетровський національний університет імені Олеся Гончара.* — Дніпропетровськ, 2005. — Вип. 8. — С. 202-208.
3. Кочет В.М. Проблема скиду шахтних вод у р. Самара в контексті впливу на біотичні компоненти її екосистем / В.М. Кочет, О.О. Христов, Н.І. Загубіженко // *Вісник Дніпропетровського університету: зб. наук пр. / Дніпропетровський національний університет імені Олеся Гончара.* — Дніпропетровськ, 2006. — Серія “Біологія”. — С. 86-91.
4. Лаврик М.О. Исследование характера и степени воздействия прудов-накопителей шахтных вод на объекты окружающей среды / М.О. Лаврик, А.В. Павличенко, К.В. Трепачова / [gr.nmu.org.ua/pdf/2015/20150906-66.pdf](http://gr.nmu.org.ua/pdf/2015/20150906-66.pdf)
5. Інструкція про порядок розробки та затвердження гранично допустимих скидів (ГДС) речовин у водні об’єкти із зворотними водами / УкрНЦОВ. — Харків, 1994. — 79 с.

6. Самарский А.А., Гулин А.В. Численные методы / А.А. Самарский, А.В. Гулин. — М.: Наука, 1989. — 432 с.
7. Яцик А.В. Малі річки України. / А.В. Яцик, Л. Б. Бишовець, Є. О. Багатов, та інш. — К.: Урожай, 1991. — 294 с.
8. Белогуров В.П. Применение коэффициента загрязненности для оценки состояния водных объектов / В.П. Белогуров, В.Ю. Бакланова // Технологический аудит и резервы производства. — № 1/4( 21). — 2015. — С. 17-19.
9. Постанова Кабінету Міністрів України від 11 вересня 1996 р. №1100 “Про Порядок розроблення і затвердження нормативів гранично допустимого скидання забруднюючих речовин та перелік забруднюючих речовин, скидання яких нормується” // Зібрання постанов Уряду України. — 1996. — № 17. — Ст. 490.

### References

1. *Vodnyy kodeks Ukrayiny*. — K.: In Yure, 2004. — 136 s.
2. *Ohotnik E.K. Optimizacija rezhimov sbrosov shakhtnyh vod v rechnuju set' / E.K. Ohotnik // Ekologija i prirodokoristuvannja: zb. nauk pr. / Dnipropetrovs'kij nacional'nij universitet imeni Olesja Gonchara. — Dnipropetrovs'k, 2005. — Vip. 8. — S. 202-208*
3. *Kochet V.M. Problema skydu shakhtnykh vod u r. Samara v konteksti vplyvu na biotychni komponenty yiyi ekosystem / V.M. Kochet, O.O. Khrystov, N.I. Zahubizhenko // Visnyk Dnipropetrovs'koho universytetu: zb. nauk pr. / Dnipropetrovs'kyy natsional'nyy universytet imeni Olesya Honchara. — Dnipropetrovs'k, 2006. — Seriya “Biolohiya”. — S. 86-91.*
4. *Lavrik M.O. Issledovanie haraktera i stepeni vozdejstvija prudov-nakopitelej shakhtnyh vod na ob#ekty okružhajushhej sredy / M.O. Lavrik, A.V. Pavlichenko, K.V. Trepachova / / rr.nmu.org.ua/pdf/2015/20150906-66.pdf*
5. *Instruktsiya pro poryadok rozrobky ta zatverdzhennya hranychno dopustymykh skydiv (HDS) rehovyn u vodni ob»yekty iz zvorotnymy vodamy / UkrNTsOV. — Kharkiv, 1994. — 79 s.*
6. *Samarskij A.A., Gulin A.V. Chislennye metody / A.A. Samarskij, A.V. Gulin. — M.: Nauka, 1989. — 432 s..*
7. *Yatsyk A.V. Mali richky Ukrayiny. / A.V. Yatsyk, L. B. Byshovets', Ye.O. Bahatov, ta insh. — K.: Urozhay, 1991. — 294 s.*

8. *Belogurov V.P. Primenenie koeficienta zagryaznennosti dlja ocenki sostojanija vodnyh ob#ektov / V.P. Belogurov, V.Ju. Baklanova // Tehnologicheskij audit i rezervy proizvodstva. — № 1/4( 21). — 2015. — S. 17-19.*
9. *Postanova Kabinetu Ministriv Ukrainy vid 11 veresnya 1996 r. #1100 "Pro Poryadok rozroblennya i zatverdzhennya normatyviv hranychno dopustymoho skydannya zabrudnyuyuchykh rehovyn ta perelik zabrudnyuyuchykh rehovyn, skydannya yakykh normuyet'sya" // Zibrannya postanov Uryadu Ukrainy. — 1996. — # 17. — St. 490.*

### **Остроумов С. М., Брук В. В. РАСЧЕТ И ОПТИМИЗАЦИЯ РЕЖИМА ПЕРИОДИЧЕСКОГО СБРОСА ВОЗВРАТНЫХ ВОД ИЗ НАКОПИТЕЛЯ В РЕКУ**

*Разработан метод расчета и оптимизации режима периодического сброса возвратной воды из накопителя промышленных загрязненных вод в реку для случая, когда количество этапов сброса на протяжении года равно двум. В этом методе учитываются условия не переполнения накопителя и соблюдения норм качества речной воды в контрольном створе. Показано, что режим периодического сброса рассчитывается неоднозначно, однако этот режим можно рассчитать однозначно, минимизируя его негативное влияние на качество воды в контрольном створе. Приведены примеры расчета оптимального режима сброса.*

**Ключевые слова:** *накопитель промышленных вод, периодический сброс возвратных вод, контрольный створ, нормы качества воды.*

### **Ostroumov S. M., Brook V. V. THE CALCULATION AND OPTIMIZATION OF THE MODE OF THE PERIODIC DISCHARGE OF WASTE WATER FROM A STORAGE RESERVOIR IN A RIVER**

*The method of the calculation and optimization of the mode of the periodic discharge of waste water from a storage reservoir of industrial polluted water in a river is designed in case of two stages of a discharge during the year. In this method the condition of the storage reservoir non-overflowing and condition of the keeping within the water quality requirements at a river checkpoint are taking into account. It is shown that mode of the periodic discharge is calculating non-uniquely, however it is possible to calculate this mode uniquely by minimizing its negative influence upon the water quality at a river checkpoint. The instances of the calculation of the optimum mode of a discharge are cited.*

**Key words:** *discharge of industrial water, periodic discharge of waste water, checkpoint, water quality requirements.*