

**С. М. Остроумов**, канд. фіз.-мат. наук, провідн. наук. співр.  
(УКРНДІЕП, м. Харків)

## **РОЗРАХУНОК ТА ОПТИМІЗАЦІЯ БАГАТОЕТАПНОГО РЕЖИМУ СКИДАННЯ ЗВОРОТНИХ ВОД З НАКОПИЧУВАЧА У РІЧКУ**

*Розроблено методи розрахунку та оптимізації режиму періодичного скидання зворотної води з накопичувача забруднених господарських вод у річку для випадку, коли кількість етапів скидання протягом року більше двох. У цих методах враховуються, зокрема, умова обмеженості об'єму води у накопичувачі та умови дотримання норм якості води в контрольному створі випуску зворотних вод. Показано, що режим періодичного скидання розраховується неоднозначно, але цю неоднозначність можна усунути, оптимізуючи режим скидання. Наведено приклади розрахунку оптимального режиму скидання.*

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

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

*Разработаны методы расчета и оптимизации режима периодического сброса возвратной воды из накопителя загрязненных хозяйственных вод в реку для случая, когда количество этапов сброса на протяжении года больше двух. В этих методах учитываются, в частности, условие ограниченности объема воды в накопителе и условия соблюдения норм качества воды в контрольном створе выпуска возвратных вод. Показано, что режим периодического сброса рассчитывается неоднозначно, но эту неоднозначность можно устранить, оптимизируя режим сброса. Приведены примеры расчета оптимального режима сброса.*

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

**Головна мета** використання накопичувача – регулювання витрати зворотних вод, що скидаються у річку, при якому в контрольному створі випуску зворотних вод дотримуються норми якості води, або негативний вплив скидання на якість річкової води є мінімальним [1]. При періодичному скиданні зворотних вод об'єм води у накопичувачі та витрата зворотних вод змінюються періодично з періодом  $\tau = 1$  рік, причому скидання зворотних вод протягом року складається з низки *етапів скидання*, на кожному з яких витрата зворотних вод є постійною [1]. *Режим скидання* є заданим, якщо визначені кількість і тривалість етапів скидання та витрата зворотних вод на кожному з етапів. Режим скидання треба розраховувати при розробленні регламентів скидання зворотних вод та проектуванні накопичувачів [1].

В роботі [1] розроблено методи розрахунку і оптимізації режиму періодичного скидання зворотних вод з накопичувача для випадку, коли кількість етапів скидання  $m = 2$ , та пропонується в подальшому розглянути *багатоетапний режим скидання*, для якого  $m > 2$ . У цій роботі при оптимізації режиму скидання не враховується можливість порушення норм якості води в контрольних створах, розташованих нижче контрольного створу розглядуваного випуску зворотних вод. В роботі [2] пропонується алгоритм розрахунку багатоетапного режиму скидання без оптимізації цього режиму, але зазначений алгоритм фактично не обґрунтовується. Зокрема, не формулюється задача розрахунку режиму скидання та не описується метод її розв'язку. Окрім того, вказаний вище алгоритм не дозволяє розрахувати режим скидання у випадках, коли є неможливим дотримання норм якості води в контрольному створі розглядуваного випуску зворотних вод.

Метою даної роботи є математичне формулювання та розроблення методів розв'язку задачі розрахунку і оптимізації багатоетапного режиму скидання зворотних вод з накопичувача з урахуванням можливості порушення норм якості води в контрольному створі розглядуваного випуску зворотних вод та нижче розташованих контрольних створах.

### **1. Визначення кількості і тривалості етапів скидання та відповідної витрати води у фоновому створі**

Для розрахунку режиму скидання використовуються дані про розподіл по місяцях року витрати води у фоновому створі випуску зворотних вод [1] (табл. 1.1). Асимілююча спроможність річки використовується максимально, якщо кожному з етапів скидання відповідає 1 місяць року, тривалості етапів  $\tau_i$  співпадають з тривалостями відповідних місяців, витрати води  $Q_i$  у фоновому створі задаються, наприклад, таблицею 1.1, а кількість  $m$  етапів скидання є максимальною ( $m = 12$ ). Але при збільшенні  $m$  ускладнюється

регулювання витрати зворотних вод. Тому величину  $m$  можна визначити так, щоби було  $m < 12$ . В цьому випадку треба визначити такі етапи скидання, яким відповідає більше одного місяця року [1]. Тривалість кожного з таких етапів дорівнює сумарній тривалості відповідних місяців, а витрата  $Q_i$  для кожного з етапів визначається так, щоби ця витрата була найменшою із тих, які відповідають даним місяцям року [1]. Наприклад, аналізуючи табл. 1.1, можна визначити такі етапи скидання: етап 1 (березень), етап 2 (квітень), етап 3 (травень, червень, липень, серпень, вересень, жовтень, листопад), етап 4 (грудень), етап 5 (січень, лютий). В цьому випадку  $\tau_1 = 31$  доба,  $Q_1 = 5,68$  м<sup>3</sup>/с,  $\tau_2 = 30$  діб,  $Q_2 = 1,56$  м<sup>3</sup>/с,  $\tau_3 = 214$  діб,  $Q_3 = 0,09$  м<sup>3</sup>/с,  $\tau_4 = 31$  доба,  $Q_4 = 0,67$  м<sup>3</sup>/с,  $\tau_5 = 59$  діб,  $Q_5 = 0,2$  м<sup>3</sup>/с. При цьому  $\tau_1 + \tau_2 + \tau_3 + \tau_4 + \tau_5 = \tau = 365$  діб = 1 рік.

Таблиця 1.1 – Приклад розподілу витрати  $Q$  річкової води у фоновому створі по місяцях року [1].

Місяць	III <sup>*)</sup>	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	I	II
$Q, \text{ м}^3/\text{с}$	5,68	1,56	0,42	0,28	0,15	0,09	0,14	0,22	0,38	0,67	0,21	0,2

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

## 2. Формулювання задачі розрахунку режиму скидання

Оскільки величини  $m$ ,  $\tau_i$  вважаються заданими (розділ 1), для розрахунку режиму скидання необхідно і достатньо розрахувати витрати  $g_i$  зворотної води на етапах скидання. Ці витрати розраховуються з урахуванням наступних умов.

Умова обмеженості об'єму води у накопичувачі накопичувача

$$V_{PMO} \leq V(t) \leq V_{HPP} \quad (0 \leq t \leq \tau), \quad (2.1)$$

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

Умова періодичності скидання зворотних вод:

$$V(0) = V(\tau). \quad (2.2)$$

Умови обмеженості витрати зворотних вод:

$$0 \leq g_i \leq g_{\max} \quad (i = 1, 2, \dots, m), \quad (2.3)$$

де  $g_{\max}$  - максимальна витрата зворотних вод, яку можна забезпечити при регулюванні цієї витрати.

Умови дотримання норм якості води в контрольному створі:

$$g_i \leq \hat{g}_i \quad (i = 1, 2, \dots, m), \quad (2.4)$$

де  $\hat{g}_i$  - максимальна витрата зворотних вод, при якій на  $i$ -му етапі скидання дотримуються норми якості води в контрольному створі.

Розрахунок витрат  $\hat{g}_i$  описаний в роботі [1]. Якщо якусь із витрат  $\hat{g}_i$  розрахувати неможливо [1], то відповідна з умов (2.4) не враховується при розрахунку режиму скидання. Очевидно, що витрати  $g_i$  залежать від витрат  $G_i$  води, яка надходить у накопичувач на етапах скидання.

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

### 3. Розрахунок режиму періодичного скидання зворотних вод

Із рівняння водного балансу накопичувача на  $i$ -му етапі скидання одержимо

$$g_i = G_i - \frac{x_i}{\tau_i}, \quad (3.1)$$

де  $x_i = V_i - V_{i-1}$ ;  $V_{i-1}$  та  $V_i$  - значення об'єму  $V$  на початку та наприкінці  $i$ -го етапу скидання.

Із (3.1) видно, що розрахунок витрат  $g_i$  зводиться до розрахунку величин  $x_i$ .

Підставляючи (3.1) у (2.3), (2.4) та розв'язуючи отримані нерівності відносно  $x_i$ , одержимо:

$$(G_i - g_{\max})\tau_i \leq x_i \leq G_i\tau_i, \quad (3.2)$$

$$x_i \geq (G_i - \hat{g}_i)\tau_i. \quad (3.3)$$

Записуючи умову (2.1) на початку та наприкінці  $i$ -го етапу скидання, одержимо таку умову обмеженості об'єму води у накопичувачі на  $i$ -му етапі скидання:

$$-V_p \leq x_i \leq V_p, \quad (3.4)$$

де  $V_p = V_{НПР} - V_{РМО} > 0$ .

Уведемо такі позначення:

$$\tilde{\alpha}_i = \max(-V_p, (G_i - g_{\max})\tau_i), \quad \alpha_i = \max(\tilde{\alpha}_i, (G_i - \hat{g}_i)\tau_i), \quad \beta_i = \min(V_p, G_i\tau_i). \quad (3.5)$$

Можна показати, що система нерівностей (3.2) - (3.4) має розв'язок тоді, і тільки тоді, коли виконуються умови

$$\tilde{\alpha}_i \leq \beta_i, \quad \alpha_i \leq \beta_i, \quad (3.6)$$

причому цей розв'язок такий:

$$\alpha_i \leq x_i \leq \beta_i. \quad (3.7)$$

Якщо перша з умов (3.6) не виконується хоча б для одного з етапів скидання, то скидання зворотних вод з дотриманням умови (2.1) є неможливим. Тому при проектуванні накопичувача рекомендується вибирати витрату  $g_{\max}$  так, щоби виконувалась умова

$$g_{\max} \geq \max(G_1, G_2, \dots, G_m). \quad (3.8)$$

В цьому випадку із (3.5) випливає, що при будь-якому значенні величини  $V_p$  перша з умов (3.6) виконується для всіх етапів скидання. Тому далі вважається, що умова (3.8) виконується. Враховуючи це, із (3.5) одержимо:

$$\tilde{\alpha}_i \leq 0 \quad (i = 1, 2, \dots, m). \quad (3.9)$$

Якщо друга з умов (3.6) не виконується, то для  $i$ -го етапу скидання не виконується відповідна з умов (2.4). В цьому випадку зазначена умова не враховується при розрахунку режиму скидання, причому для  $i$ -го етапу скидання маємо  $\alpha_i = \tilde{\alpha}_i \leq 0$ .

Записуючи нерівність (3.7) для всіх етапів скидання, одержимо:

$$\alpha_1 \leq x_1 \leq \beta_1, \quad \alpha_2 \leq x_2 \leq \beta_2, \quad \dots, \quad \alpha_m \leq x_m \leq \beta_m. \quad (3.10)$$

Якщо врахувати визначення величин  $x_i$  та умову (2.2), то одержимо:

$$\sum_{i=1}^m x_i = 0. \quad (3.11)$$

Враховуючи (3.4), можна одержати таку умову обмеженості об'єму води у накопичувачі на всіх етапах скидання

$$A(x_1, x_2, \dots, x_m) \leq V_p, \quad (3.12)$$

де функція  $A(x_1, x_2, \dots, x_m)$  задається наступним чином:

- сукупність величин  $x_1, x_2, \dots, x_m$  розбивається на групи величин, що мають однакові знаки або дорівнюють нулю та розташовані поруч одна із одною;

- для кожної  $i$ -ої групи розраховується модуль  $A_i$  суми величин, що входять у дану групу;

- значення функції  $A(x_1, x_2, \dots, x_m)$  розраховується за формулою

$$A(x_1, x_2, \dots, x_m) = \max(A_1, A_2, \dots, A_k),$$

де  $k$  - кількість вказаних вище груп.

Таким чином, для розрахунку режиму скидання необхідно знайти розв'язок задачі (3.10) – (3.12) – сукупність величини  $x_1, x_2, \dots, x_m$ , які задовольняють умовам (3.10) - (3.12).

Складаючи нерівності (3.10) та враховуючи умову (3.11), одержимо такі умови існування розв'язку задачі (3.10) – (3.12):

$$\sum_{i=1}^m \beta_i \geq 0, \quad \sum_{i=1}^m \alpha_i \leq 0. \quad (3.13)$$

Із (3.5) видно, що  $\beta_i \geq 0$ . Тому перша з умов (3.13) виконується. Із (3.5), (3.9) випливає, що  $\alpha_i \geq 0$  при  $G_i \geq \hat{g}_i$ . Тому друга з умов (3.13) може не виконуватися. Розрахунковий метод, що дозволяє забезпечити виконання другої з умов (3.13), складається з наступних кроків. На кроці 1 із етапів скидання, для яких  $\alpha_i \geq 0$ , вибираємо етап, для якого величина  $\alpha_i$  є найменшою. Для цього етапу покладаємо  $\alpha_i = \tilde{\alpha}_i \leq 0$  і перевіряємо виконання другої з умов (3.13). Якщо ця умова виконується, то розглядуваний розрахунковий метод закінчено. В іншому випадку виконуємо кроки, що аналогічні кроку 1, доти, поки не виконається друга з умов (3.13).

Щоб описати чисельний метод розв'язку задачі (3.10) – (3.12), розглянемо випадок, коли  $m = 3$ . В цьому випадку умови (3.10) – (3.12) записуються так:

$$\alpha_1 \leq x_1 \leq \beta_1, \quad \alpha_2 \leq x_2 \leq \beta_2, \quad \alpha_3 \leq x_3 \leq \beta_3, \quad (3.14)$$

$$x_1 + x_2 + x_3 = 0, \quad A(x_1, x_2, x_3) \leq V_p. \quad (3.15)$$

Із (3.15) одержимо:

$$x_3 = -(x_1 + x_2). \quad (3.16)$$

На кожному з інтервалів, що задаються першими двома нерівностями (3.14), виберемо  $P+1$  розрахункових точок з координатами

$$x_{1,k} = \alpha_1 + k(\beta_1 - \alpha_1)/P, \quad x_{2,s} = \alpha_2 + s(\beta_2 - \alpha_2)/P \quad (k, s = 0, 1, \dots,$$

$P)$ .

Із (3.16) випливає, що кожній парі розрахункових точок з координатами  $x_1 = x_{1,k}, x_2 = x_{2,s}$  відповідає значення  $x_3 = -(x_{1,k} + x_{2,s})$ . Якщо це значення задовольняє останній із нерівностей (3.14), причому виконується друга з умов (3.15), то вказаний вище набір величин  $x_1, x_2, x_3$  є розв'язком задачі (3.10) – (3.12). Враховуючи це, та перебираючи усі пари розрахункових точок з координатами  $x_{1,k}, x_{2,s}$ , можна визначити певну кількість розв'язків задачі (3.10) – (3.12). Аналогічним методом визначаються розв'язки задачі (3.10) – (3.12) при  $m > 3$ . Для кожного з таких розв'язків відповідні витрати  $g_1, g_2, \dots, g_m$  розраховуються за формулою (3.1). Таким

чином, режим скидання розраховується неоднозначно. Цю неоднозначність можна усунути, оптимізуючи режим скидання.

#### 4. Оптимізація режиму скидання

При оптимізації режиму скидання мінімізується параметр  $F_{\Sigma}$ , що характеризує негативний вплив скидання зворотних вод на якість річкової води [1]. В роботі [1] параметр  $F_{\Sigma}$  розраховується так, що вказаний вище негативний вплив виявляється лише у випадку, коли в контрольному створі розглядуваного випуску зворотних вод порушуються норми якості води. Але, як правило, у річковій системі нижче даного випуску розташовані інші випуски, в контрольних створах яких норми якості води можуть порушитися навіть за умови дотримання цих норм в контрольному створі даного випуску. Тому негативний вплив скидання повинен виявлятися не тільки при порушенні норм якості води в контрольному створі даного випуску, а й у випадку, коли концентрація нормованих речовин в цьому створі перевищує відповідну фонову концентрацію. Враховуючи це та роботу [1], параметр  $F_{\Sigma}$  доцільно розраховувати за такою формулою:

$$F_{\Sigma} = \sum_{i=1}^m \frac{\tau_i}{\tau} \left( \sum_{j1} \frac{\check{C}_{i,j} - \widehat{C}_{i,j}}{C_{ГДК,j}} + \sum_{j2} \frac{\check{C}_{i,j} - C_{ГДК,j}}{C_{ГДК,j}} \right),$$

де  $\check{C}_{i,j}$  - максимальна концентрація  $j$ -ої нормованої речовини в контрольному створі на  $i$ -му етапі скидання;  $\widehat{C}_{i,j}$  - фонові концентрації  $j$ -ої речовини на  $i$ -му етапі скидання;  $C_{ГДК,j}$  - ГДК  $j$ -ої речовини;  $j1$  - номери  $j$  тих речовин, для яких виконується умова  $\check{C}_{i,j} > \widehat{C}_{i,j}$ ;  $j2$  - номери  $j$  тих речовин, для яких виконуються умови  $\check{C}_{i,j} > \widehat{C}_{i,j}$ ,  $\check{C}_{i,j} > C_{ГДК,j}$ .

Можна показати, що параметр  $F_{\Sigma}$  є функцією величин  $x_1, x_2, \dots, x_m$ , причому ця функція розраховується аналогічно тому, як це описано в роботі [1] при  $m = 2$ . Для мінімізації функції  $F_{\Sigma}$  можна використати найпростіший чисельний метод, в якому набори величин  $x_1, x_2, \dots, x_m$  перебираються так, як описано у розділі 3, для цих наборів розраховуються відповідні значення функції  $F_{\Sigma}$ , із цих значень вибирається мінімальне значення  $F_{\min}$  функції  $F_{\Sigma}$  та визначається відповідний оптимальний набір величин  $x_1, x_2, \dots, x_m$ . Аналогічним способом можна розрахувати максимальне значення  $F_{\max}$  функції  $F_{\Sigma}$ .

Після визначення оптимального набору величин  $x_1, x_2, \dots, x_m$  визначається відповідний початковий об'єм  $V(0)$ , при якому виконується умова (3.12). Для цього розраховуються величини

$$t_i = \sum_{j=1}^i \tau_j, \quad V(t_i) = V(0) + \sum_{j=1}^i x_j \quad (i = 1, 2, \dots, m)$$

та будується відповідний графік функції  $V(t)$  при  $0 \leq t \leq \tau$ . При збільшенні величини  $V(0)$  вказаний графік переміщується паралельно самому собі у напрямку вісі ординат, а при зменшенні  $V(0)$  - у протилежному напрямку. Враховуючи це, та будуючи вказаний вище графік при різних значеннях величини  $V(0)$ , можна підібрати таке значення  $V(0)$ , при якому кожна точка вказаного графіка не виходить за межі області, що обмежена прямими  $V(t) = V_{PMO}$  та  $V(t) = V_{HPP}$ .

### 5. Приклади розрахунку оптимального режиму скидання

Нижче описуються розрахунки, в яких вважалось, що  $G_1 = G_2 = \dots = G_m = G$ . У цих розрахунках також вважалось, що в контрольному створі розглядуваного випуску зворотних вод відбувається повне змішування зворотних вод з річковою водою, розглядався випадок, коли  $m = 5$ , використовувалися значення величин  $\tau_1 - \tau_5$ ,  $Q_1 - Q_5$ , які наведені у розділі 1, та величини  $V_{PMO} = 2$  млн. м<sup>3</sup>,  $V_{HPP} = 7$  млн. м<sup>3</sup>,  $g_{\max} = 70$  млн. м<sup>3</sup>/рік. Інші вихідні дані розрахунків наведені у табл. 5.1. При цих вихідних даних були розраховані такі витрати (млн. м<sup>3</sup>/рік):  $\bar{g}_1 \approx 34,12$ ;  $\bar{g}_2 \approx 9,37$ ;  $\bar{g}_3 \approx 0,54$ ;  $\bar{g}_4 \approx 4,025$ ;  $\bar{g}_5 \approx 1,2$ . Інші результати розрахунків наведені у табл. 5.2.

Із табл. 5.2 видно, що при збільшенні витрати  $G$  параметр  $\sigma = F_{\max} / F_{\min}$ , а разом із ним і “виграш” від оптимізації, зменшуються.

Таблиця 5.1 – Концентрації нормованих речовин (вихідні дані розрахунків)

Назва речовини (показника)	Гранично допустима концентрація, мг/л	Концентрація у зворотній воді, мг/л	Фонова концентрація, мг/л
Завислі речовини	25	35	10
Сульфати	100	200	70
Хлориди	300	500	150
Азот амонійний	0,64	0,8	0,3
Нітрати	40	60	30
Нітрити	0,066	0,15	0,05
Фосфати	2,1	4,0	1,5
Нафтопродукти	0,05	0,1	0,02
БСК <sub>5</sub>	3,0	5,0	1,0
СК	50	80	30



Таблиця 5.2 – 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	$g_3$ , млн. м <sup>3</sup> /рік	$g_4$ , млн. м <sup>3</sup> /рік	$g_5$ , млн. м <sup>3</sup> /рік	$F_{\min}$	$F_{\max}$	$V(0)$ , млн. м <sup>3</sup>	$\Delta V$ млн. м <sup>3</sup>
1	11,60	0	0	0,16	0,007	0,07	1,53	2,9-7,0	0,9
2	23,20	0,19	0	0,16	0,003	0,12	1,66	3,9-7,0	1,9
3	34,12	1,13	0	0,08	0,02	0,18	1,72	4,7-7,0	2,7
4	34,12	9,37	0	3,86	0,02	0,46	1,76	5,0-7,0	3,0
5	32,75	0,57	0	25,55	0,013	0,71	2,2	4,35-7	3,25
20	34,12	4,31	28,53	0,24	0,01	6,23	6,7	6,9	5
40	20,47	0	48,53	0	60,68	7,97	8,29	2,05	5
60	70,00	30,80	68,53	1,129	69,59	8,66	8,93	5,45	5

\*) Примітка:  $g_1 - g_5$  - оптимальні витрати зворотної води на етапах скидання 1 - 5;  $F_{\min}$  та  $F_{\max}$  - мінімальне та максимальне значення параметра  $F_{\Sigma}$ ;  $V(0)$  - початковий об'єм води у накопичувачі;  $\Delta V$  - різниця між максимальним та мінімальним об'ємами води у накопичувачі.

Наприклад, при  $G = 1$  млн. м<sup>3</sup>/рік маємо  $\sigma = 21,9$ , а при  $G = 4$  млн. м<sup>3</sup>/рік  $\sigma = 3,9$ . При  $1 \text{ млн. м}^3/\text{рік} \leq G \leq 5 \text{ млн. м}^3/\text{рік}$  маємо  $\Delta V < 5 \text{ млн. м}^3$ , тобто корисний об'єм накопичувача  $V_p = 5 \text{ млн. м}^3$  використовується не повністю, внаслідок чого величина  $V(0)$  змінюється у певному діапазоні (табл. 5.2). Якщо  $20 \text{ млн. м}^3/\text{рік} \leq G \leq 60 \text{ млн. м}^3/\text{рік}$ , то  $\Delta V = 5 \text{ млн. м}^3$ , тобто корисний об'єм  $V_p$  використовується повністю, внаслідок чого при кожному значенні витрати  $G$  величина  $V(0)$  приймає єдине значення (табл. 5.2).

На рис. 5.1 в якості прикладу наведений результат розрахунку динаміки об'єму  $V$  при  $G = 5$  млн. м<sup>3</sup>/рік. Із рис. 5.1 і табл. 5.2 видно, що у даному випадку умови (2.1), (2.2), (3.12), (2.3) виконуються. Це підтверджує достовірність розробленої методики розрахунку та оптимізації режиму скидання.

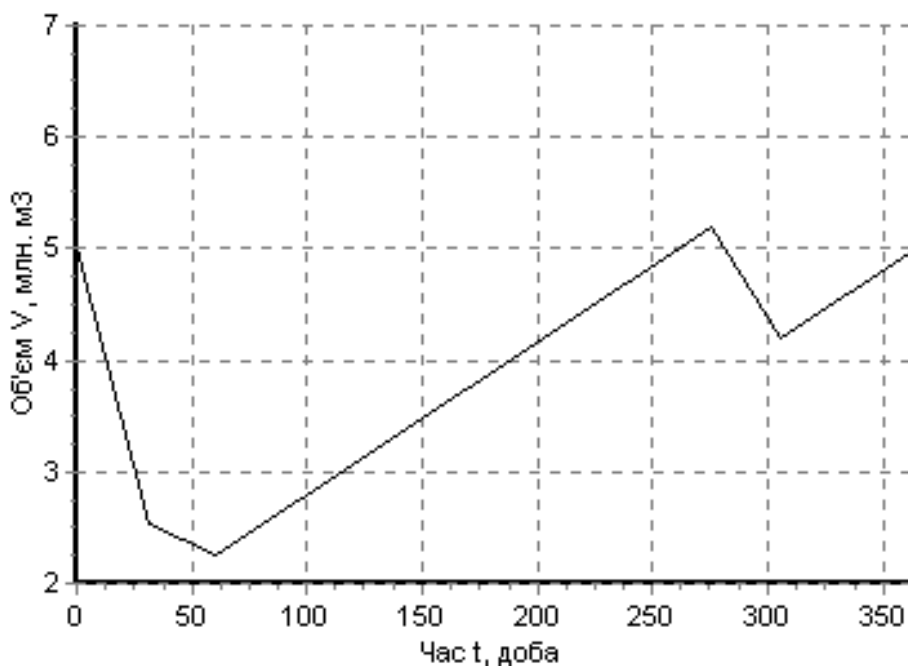


Рисунок 5.1 – Приклад розрахунку динаміки об'єму  $V$  води у накопичувачі для оптимального режиму скидання при  $G = 5$  млн. м<sup>3</sup>/рік.

### Висновки

1. Для випадку, коли кількість етапів скидання протягом року перевищує два, математично сформульована та розв'язана задача розрахунку і оптимізації режиму періодичного скидання зворотних вод з накопичувача у річку з урахуванням можливості порушення норм якості води в контрольному створі розглядуваного випуску зворотних вод та нижче розташованих контрольних створах.

2. Показано, що режим періодичного скидання розраховується неоднозначно, але ця неоднозначність усувається при оптимізації режиму скидання.

3. Наведено приклади розрахунку оптимального режиму скидання, які підтверджують достовірність розроблених методів розрахунку та оптимізації режиму скидання.

### Література

1. Остроумов С. М. Розрахунок і оптимізація режиму періодичного скидання зворотних вод з накопичувача у річку. / С. М. Остроумов, В. В. Брук. // Проблеми охорони навколишнього природного середовища та екологічної безпеки: Зб. наук. пр. / УКРНДІЕП. – Харків: Райдер, 2017. – С. 204-218.

2. Кресін В. С. Алгоритм розрахунку регламенту періодичного скидання зворотних вод з рибницьких ставків та накопичувачів у водні об'єкти. / В. С. Кресін, В. В. Брук // Проблеми охорони навколишнього природного середовища та екологічної безпеки: Зб. наук. пр. / УКРНДІЕП. – Харків: Райдер, 2017. – С. 180-191.

UDC 504:556.11:167.1

S. M. Ostroumov, candidate of physical and mathematical sciences, leading researcher

*USRIEP, Kharkiv*

## CALCULATION AND OPTIMIZATION OF THE MULTI-STAGE RESET MODE OF RETURN WATERS FROM THE DRIVE TO THE RIVER

The mode of periodic discharge of return water from a household wastewater treatment pond is to be designed when planning return water discharge regimen and projecting wastewater ponds. The aim of this paper is mathematical formulation and finding methods of solving the task of calculation and optimizing the mode of periodic discharge of return water from a household wastewater treatment pond into the river for the case, when there are max. two stages of discharge a year. For the first time a mathematical formulation of the above task is presented in the paper and the methods of its solving are developed. In particular, these methods take into account the condition of restricted amount of water in water treatment pond and observance of water quality standards at the point of control of the return water discharge considered, as well as a possibility of violation of water quality standards at the above point of control and all subsequent points of control. The method of calculation of the mode of periodic discharge is based on mathematical modelling of the processes of filling and emptying wastewater treatment pond, as well as the processes of forming quality of river water with a glance to return water discharge to the river. The above method of calculation is applicable only in case, when it is impossible to meet water quality standards at the point of control of the return water discharge considered. It has been shown that the mode of periodic discharge is calculated ambiguously, but this ambiguousness can be avoided by optimizing discharge mode. Optimizing discharge mode minimizes the value  $F_{\Sigma}$ , which characterizes negative impact of discharge on the quality of river water. For the first time a method of  $F_{\Sigma}$  calculation was proposed, in which negative impact of discharge shows itself not only in case of violation of water quality standards at a point of control of return water discharge, but also in case, when concentration of the rated substances at a

point of control exceeds respective background concentration. Such method of  $F_{\Sigma}$  calculation takes into account the possibility of violation of water quality control standards at the points of control below the points of control of return water discharge considered. Examples of calculation of optimal mode of periodic discharge of return water for various water rates, fed into the pond. The above calculation examples corroborate reliability of methods of calculation and optimizing the mode of periodic return water discharge developed.

**Key words:** household wastewater treatment pond, periodic discharge of return water, mode of discharge of return water, point of control, water quality standards.

### References

1. Ostroumov S. M. *Rozraxunok i opty`mizaciya rezhymu periodychnogo skydannya zvorotnyx vod z nakopychuvacha u richku.* / S. M. Ostroumov, V. V. Bruk. // *Problemy oxorony navkolyshnogo pryrodnogo seredovyshha ta ekologichnoyi bezpeky: Zb. nauk. pr. / UKRNDIEP.* – Kharkiv: Rajder, 2017. – S. 204-218.
2. Kresin V. S. *Algorytm rozraxunku reglamentu periodychnogo skydannya zvorotnyx vod z rybnycz`kyyx stavkiv ta nakopychuvachiv u vodni ob'yekty`.* / V. S. Kresiin, V. V. Bruk // *Problemy oxorony navkolyshn`ogo pryrodnogo seredovyshha ta ekologichnoyi bezpeky: Zb. nauk. pr. / UKRNDIEP.* – Kharkiv: Rajder, 2017. – S. 180-191

© Остроумов С. М., 2018  
phone: +38050-577-09-36