

ПРОГНОЗУВАННЯ ТА КЕРУВАННЯ ЯКІСТЮ ПОВЕРХНЕВОГО СТОКУ ЗА ДОПОМОГОЮ ІМІТАЦІЙНОГО МАТЕМАТИЧНОГО МОДЕЛЮВАННЯ *

Статтю присвячено вивченню математичної моделі кінетики трансформації у воді легкоокислюваної органічної речовини й динаміки розчиненого у воді кисню з урахуванням процесів розбавлення і водообміну. На основі результатів імітаційного моделювання побудовано алгоритм регулювання якості поверхневого стоку.

1. Побудова математичної моделі з урахуванням процесів водообміну, розбавлення і трансформації забруднень

Математична модель динаміки органічної речовини й розчиненого у воді кисню з урахуванням процесів розбавлення і водообміну записується у вигляді диференціальних рівнянь відносно мас цих речовин, а саме [1]:

$$\frac{dm_{\text{БПК}}}{dt} = Q - k_1 m_{\text{БПК}} - q C_{\text{БПК}}, \quad (1)$$

$$\frac{dm_{\text{РК}}}{dt} = R + k_2 W (C_{\text{РК}}^* - C_{\text{РК}}) - k_1 m_{\text{БПК}} - q C_{\text{РК}}, \quad (2)$$

де позначено:

$$Q = \sum_{i=1}^n C_{\text{БПК}}^i q_i; \quad R = \sum_{i=1}^n C_{\text{РК}}^i q_i; \quad q = \sum_{i=1}^n q_i, \quad (3)$$

а через $m_{\text{БПК}}$ і $m_{\text{РК}}$ позначено відповідно масу органічної речовини і масу розчиненого кисню (РК), причому маса органічної речовини, що надходить з η джерел забруднення (побутові та промислові стоки), вимірюється кількістю кисню,

* Робота виконувалась у рамках ДФФД Міністерства освіти і науки України (договір Ф7/556-2001).

необхідного для дихання мікроорганізмів, що розкладають (окислюють, мінералізують) дану органічну речовину. Ця кількість кисню, як відомо [2], називається біологічною потребою кисню (БПК). Враховуючи співвідношення

$$m(t) = WC(t); \quad W = \text{const}, \quad (4)$$

система диференціальних рівнянь (1)-(2) перепишеться у вигляді

$$\frac{dC_{\text{БПК}}}{dt} = \bar{Q} - \bar{k}_1 C_{\text{БПК}}, \quad (5)$$

$$\frac{dC_{\text{РПК}}}{dt} = \bar{R} + k_2 C_{\text{РПК}}^* - \bar{k}_2 C_{\text{РПК}} - k_1 C_{\text{БПК}}, \quad (6)$$

де введено такі сталі величини:

$$\begin{aligned} \bar{Q} &= \frac{Q}{W}; \quad \bar{R} = \frac{R}{W}; \quad \bar{k}_1 = k_1 + \frac{1}{\tau}; \\ \bar{k}_2 &= k_2 + \frac{1}{\tau}; \quad \tau = \frac{W}{q}. \end{aligned} \quad (7)$$

Розв'язок рівняння (5), що задовольняє відповідну початкову умову $C_{\text{БПК}}(0) = C_{\text{БПК}}^{(0)}$, має вигляд

$$C_{\text{БПК}}(t) = \frac{Q}{q(1+k_1\tau)} + \left[C_{\text{БПК}}^{(0)} - \frac{Q}{q(1+k_1\tau)} \right] e^{-\frac{1+k_1\tau}{\tau}t}. \quad (8)$$

Враховуючи вираз (8), рівняння (6) перепишеться у такому вигляді:

$$\begin{aligned} \frac{dC_{\text{РПК}}}{dt} &= -\bar{k}_2 C_{\text{РПК}} + \bar{R} + k_2 C_{\text{РПК}}^* - \frac{k_1 Q}{q(1+k_1\tau)} - \\ &- k_1 \left[C_{\text{БПК}}^{(0)} - \frac{Q}{q(1+k_1\tau)} \right] e^{-\frac{1+k_1\tau}{\tau}t}. \end{aligned} \quad (9)$$

Розв'язок відповідного однорідного рівняння

$$\frac{dC_{\text{РПК}}}{dt} = -\bar{k}_2 C_{\text{РПК}} \quad (10)$$

має вигляд

$$C_{\text{РПК}}(t) = A e^{-\bar{k}_2 t}, \quad A = \text{const}. \quad (11)$$

Застосовуючи метод Лагранжа, розв'язок неоднорідного рівняння (9) будемо шукати у вигляді

$$C_{\text{РПК}}(t) = A(t) e^{-\bar{k}_2 t}, \quad (12)$$

де $A(t)$ - невідома функція.

Знайдемо похідну

$$\frac{dC_{\text{РПК}}}{dt} = \frac{dA}{dt} e^{-\bar{k}_2 t} - \bar{k}_2 A(t) e^{-\bar{k}_2 t}. \quad (13)$$

Після підстановки функції (12) та її похідної (13) в рівняння (9) одержимо

$$\begin{aligned} \frac{dA}{dt} &= \bar{R} e^{-\bar{k}_2 t} + k_2 C_{\text{РПК}}^* e^{-\bar{k}_2 t} - \frac{k_1 Q}{q(1+k_1\tau)} e^{-\bar{k}_2 t} - \\ &- k_1 \left[C_{\text{БПК}}^{(0)} - \frac{Q}{q(1+k_1\tau)} \right] e^{-(\bar{k}_1 - \bar{k}_2)t}. \end{aligned} \quad (14)$$

Інтегруючи рівняння (14), знайдемо

$$\begin{aligned} A(t) &= \left(\frac{\bar{R} + k_2 C_{\text{РПК}}^*}{k_2} - \frac{k_1 Q}{k_2 q(1+k_1\tau)} \right) e^{-\bar{k}_2 t} + \\ &+ \frac{k_1}{k_1 - \bar{k}_2} \left[C_{\text{БПК}}^{(0)} - \frac{Q}{q(1+k_1\tau)} \right] e^{-(\bar{k}_1 - \bar{k}_2)t} + B, \\ B &= \text{const}. \end{aligned} \quad (15)$$

Підставляючи функцію (15) у праву частину рівності (12), одержимо загальний розв'язок рівняння (9) у вигляді

$$\begin{aligned} C_{\text{РПК}}(t) &= \frac{\bar{R} + k_2 C_{\text{РПК}}^*}{k_2} - \frac{k_1 Q}{k_2 q(1+k_1\tau)} + B e^{-\bar{k}_2 t} + \\ &+ \frac{k_1}{k_1 - \bar{k}_2} \left[C_{\text{БПК}}^{(0)} - \frac{Q}{q(1+k_1\tau)} \right] e^{-\frac{1+k_1\tau}{\tau}t}. \end{aligned} \quad (16)$$

Використовуючи початкову умову, знайдемо

$$\begin{aligned} B &= C_{\text{РПК}}^{(0)} - \frac{\bar{R} + k_2 C_{\text{РПК}}^*}{k_2} + \frac{k_1 Q}{k_2 q(1+k_1\tau)} - \\ &- \frac{k_1}{k_1 - \bar{k}_2} \left[C_{\text{БПК}}^{(0)} - \frac{Q}{q(1+k_1\tau)} \right]. \end{aligned} \quad (17)$$

Підставляючи вираз (17) у праву частину рівності (16), знайдемо шуканий розв'язок рівняння (9), а саме:

$$\begin{aligned} C_{\text{РПК}}(t) &= \frac{\bar{R} + k_2 C_{\text{РПК}}^*}{k_2} - \frac{k_1 Q}{k_2 q(1+k_1\tau)} + \frac{k_1}{k_1 - \bar{k}_2} \left[C_{\text{БПК}}^{(0)} - \right. \\ &- \left. \frac{Q}{q(1+k_1\tau)} \right] e^{-\frac{1+k_1\tau}{\tau}t} + \left[C_{\text{РПК}}^{(0)} - \frac{\bar{R} + k_2 C_{\text{РПК}}^*}{k_2} + \frac{k_1 Q}{k_2 q(1+k_1\tau)} - \right. \\ &- \left. \frac{k_1}{k_1 - \bar{k}_2} \left(C_{\text{БПК}}^{(0)} - \frac{Q}{q(1+k_1\tau)} \right) \right] e^{-\bar{k}_2 t}. \end{aligned} \quad (18)$$

Отже, розв'язком системи рівнянь (1)-(2), які задовольняють початкові умови, є функції (8) і (18).

Для зручності обчислень і кращого розуміння фізичних параметрів, що визначають процес зміни концентрації органічних речовин, розчиненого у воді кисню, формули (8) та (18), поклавши $k_1 = \alpha$, $k_2 = \beta$, перепишемо в іншому вигляді.

Зокрема, формули (8) для знаходження концентрації органічних речовин (БПК), що легко окислюються (розкладаються мікроорганізмами), запишемо у такому вигляді:

$$C_{\text{БПК}}(t) = \bar{C}_{\text{БПК}}^\alpha + \left[C_{\text{БПК}}^{(0)} - \bar{C}_{\text{БПК}}^\alpha \right] e^{-\frac{t}{\tau_\alpha}}, \quad (19)$$

де рівноважна та середня зважена концентрації органічних речовин у воді визначається рівностями

$$\bar{C}_{\text{БПК}}^{\alpha} = \frac{\bar{C}_{\text{БПК}}}{1 + \alpha\tau}, \quad \bar{C}_{\text{БПК}} = \frac{Q}{q},$$

$$Q = \sum_{i=1}^n C_{\text{БПК}}^i q_i, \quad q = \sum_{i=1}^n q_i, \quad (20)$$

а так званий прискорений період водообміну τ_{α} визначається такою рівністю:

$$\tau_{\alpha} = \frac{\tau}{1 + \alpha\tau}, \quad \tau = \frac{W}{q}. \quad (21)$$

У випадку консервативних (біологічно жорстких) органічних речовин у формулах (19)-(21) потрібно покласти $\alpha = 0$.

Формулу (18) для знаходження концентрації розчинено у воді кисню (РК) запишемо таким чином:

$$C_{\text{РК}}(t) = C_{\text{РК}}^{\text{ст}} + \left[C_{\text{РК}}^{(0)} - C_{\text{РК}}^{\text{ст}} - \frac{\alpha}{\alpha - \beta} (C_{\text{БПК}}^{(0)} - \bar{C}_{\text{БПК}}^{\alpha}) \right] e^{-\frac{t}{\tau_{\beta}}} +$$

$$+ \frac{\alpha}{\alpha - \beta} (C_{\text{БПК}}^{(0)} - \bar{C}_{\text{БПК}}^{\alpha}) e^{-\frac{t}{\tau_{\alpha}}}, \quad (22)$$

$$\tau_{\alpha} = \frac{\tau}{1 + \alpha\tau}, \quad \tau_{\beta} = \frac{\tau}{1 + \beta\tau},$$

$$C_{\text{РК}}^{\text{ст}} = \bar{C}_{\text{РК}}^{\beta} + \frac{\beta\tau}{1 + \beta\tau} C_{\text{РК}}^* - \frac{\alpha\tau}{1 + \beta\tau} \bar{C}_{\text{БПК}}^{\alpha}; \quad (23)$$

де позначено:

$$\bar{C}_{\text{РК}} = \frac{R}{q}; \quad \bar{C}_{\text{РК}}^{\beta} = \frac{\bar{C}_{\text{РК}}}{1 + \beta\tau}; \quad \bar{C}_{\text{БПК}}^{\alpha} = \frac{\bar{C}_{\text{БПК}}}{1 + \alpha\tau}. \quad (24)$$

Коефіцієнт аерації β визначається за допомогою таких емпіричних формул [1]:

при великих швидкостях течії користуються формулою

$$\beta = 5,13Vh^{\frac{3}{4}} \quad (25)$$

або формулою

$$\beta = 4,46V^{0,703}h^{-1,054}, \quad (26)$$

при малих швидкостях течії (0,1-0,5 м/с) користуються формулою

$$\beta = 3,68 V^{\frac{1}{2}} h^{\frac{3}{4}}, \quad (27)$$

де V - швидкість, h - глибина (течії) річки.

Непогані результати щодо визначення коефіцієнта аерації дають такі формули:

$$\beta = 5,01 V^{0,969} h^{-1,673}, \quad (28)$$

$$\beta = 5,51 V^{0,607} h^{-1,689}. \quad (29)$$

Якщо потрібно більш точно описати взаємодію між легкоокислюваними органічними речовинами (БПК) і розчиненим у воді киснем (РК),

то замість системи лінійних диференціальних рівнянь (5)-(6) застосовують таку систему нелінійних рівнянь:

$$\frac{dC_{\text{БПК}}}{dt} = \frac{Q}{W} - \lambda C_{\text{БПК}} C_{\text{РК}} - \left(\frac{q}{W} + \alpha \right) C_{\text{БПК}}; \quad (30)$$

$$\frac{dC_{\text{РК}}}{dt} = \frac{R}{W} - \alpha C_{\text{БПК}} + \beta C_{\text{РК}}^* - \left(\beta + \frac{q}{W} \right) C_{\text{РК}}, \quad (31)$$

де $\lambda \left[\frac{\text{м}^3}{\text{г} \cdot \text{доба}} \right]$ - коефіцієнт неконсервативності

при нелінійній взаємодії між БПК і РК.

Система рівнянь (30)-(31) є нелінійною, а тому для її розв'язання необхідно застосувати чисельні методи [3], наприклад метод Рунге-Кутта.

Динаміка органічних речовин і розчиненого кисню у водотоці описується такою системою рівнянь (стаціонарний процес масопереносу):

$$V \frac{dC_{\text{БПК}}}{dx} + \alpha C_{\text{БПК}} = 0, \quad C_{\text{БПК}}(0) = C_{\text{БПК}}^{(0)}; \quad (32)$$

$$V \frac{dC_{\text{РК}}}{dx} + \beta C_{\text{РК}} - \beta C_{\text{РК}}^* + \alpha C_{\text{БПК}} = 0,$$

$$C_{\text{РК}}(0) = C_{\text{РК}}^{(0)}. \quad (33)$$

Замінивши в рівняннях (32) і (33) $V = \frac{dx}{dt}$, одержимо

рівняння руху забруднених стоків, які характеризуються концентраціями БПК та РК, у такому вигляді:

$$\frac{dC_{\text{БПК}}}{dt} + \alpha C_{\text{БПК}} = 0, \quad C_{\text{БПК}}(0) = C_{\text{БПК}}^{(0)}; \quad (34)$$

$$\frac{dC_{\text{РК}}}{dt} + \beta C_{\text{РК}} = \beta C_{\text{РК}}^* - \alpha C_{\text{БПК}}$$

$$C_{\text{РК}}(0) = C_{\text{РК}}^{(0)}. \quad (35)$$

Розв'язки крайових задач (34)-(35) мають вигляд:

$$C_{\text{БПК}}(t) = C_{\text{БПК}}^{(0)} e^{-\alpha t}, \quad t = \frac{x}{V}; \quad (36)$$

$$C_{\text{РК}}(t) = C_{\text{РК}}^* + \frac{C_{\text{БПК}}^{(0)}}{\alpha - \beta} e^{-\alpha t} +$$

$$+ \left(C_{\text{РК}}^{(0)} - C_{\text{РК}}^* - \frac{C_{\text{БПК}}^{(0)}}{\alpha - \beta} \right) e^{-\beta t}. \quad (37)$$

2. Проведення імітаційного математичного експерименту

Концентрації $C_{\text{БПК}}(t)$ і $C_{\text{РК}}(t)$ у басейні самоочищення (в озері, ставку або водосховищі) будемо визначати за допомогою формул (19)-(24). Обчислення концентрацій доцільно проводити в

певній послідовності (за певним алгоритмом), причому спочатку обчислюються постійні величини; деякі з них визначають важливі фізичні та біохімічні характеристики процесів самоочищення. Невідомі числові характеристики процесу забруднення й самоочищення та концентрації БПК і РК обчислюють при таких вихідних (заданих) величинах: $C_{\text{БПК}}^{(0)}$, $C_{\text{РК}}^{(0)}$, α , β , W , $C_{\text{БПК}}^k$, $q_{\text{БПК}}^k$, $C_{\text{РК}}^k$, $C_{\text{РК}}^*$, n .

Обчислення постійних величин проводиться в такій послідовності:

$$\begin{aligned}
 & 1) \bar{C}_{\text{БПК}} = \frac{Q}{q}, \quad Q = \sum_{k=1}^n C_{\text{БПК}}^k q_k, \quad q = \sum_{k=1}^n q_k; \\
 & 2) \bar{C}_{\text{РК}} = \frac{R}{q}, \quad R = \sum_{k=1}^n C_{\text{РК}}^k q_k; \\
 & 3) \tau = \frac{W}{q}, \quad \tau_\alpha = \frac{\tau}{1 + \alpha\tau}, \quad \tau_\beta = \frac{\tau}{1 + \beta\tau}; \\
 & 4) C_{\text{БПК}}^{\text{ст}} = \bar{C}_{\text{БПК}}^\alpha = \frac{\bar{C}_{\text{БПК}}}{1 + \alpha\tau}; \\
 & 5) \Delta C_{\text{БПК}}^{(0)} = C_{\text{БПК}}^{(0)} - \bar{C}_{\text{БПК}}^\alpha; \\
 & 6) \delta = \frac{\alpha}{\alpha - \beta} \Delta C_{\text{БПК}}^{(0)}; \\
 & 7) \bar{C}_{\text{РК}}^\beta = \frac{\bar{C}_{\text{РК}}}{1 + \beta\tau}; \\
 & 8) C_{\text{РК}}^{\text{ст}} = \bar{C}_{\text{РК}}^\beta + \beta\tau_\beta C_{\text{РК}}^* - \alpha\tau_\alpha C_{\text{БПК}}^{\text{ст}}; \\
 & 9) \Delta C_{\text{РК}}^{(0)} = C_{\text{РК}}^{(0)} - C_{\text{РК}}^{\text{ст}}; \quad 10) \gamma = \Delta C_{\text{РК}}^{(0)} - \delta.
 \end{aligned} \tag{38}$$

Після обчислення постійних величин (38) динаміка БПК і РК визначається за такими рівностями:

$$C_{\text{БПК}}(t) = \bar{C}_{\text{БПК}}^\alpha + \Delta C_{\text{БПК}}^{(0)} \exp\left(-\frac{t}{\tau_\alpha}\right), \tag{39}$$

$$C_{\text{РК}}(t) = C_{\text{РК}}^{\text{ст}} + \delta \exp\left(-\frac{t}{\tau_\alpha}\right) + \gamma \exp\left(-\frac{t}{\tau_\beta}\right). \tag{40}$$

Для проведення імітаційного математичного експерименту з регулювання самоочищення та якості води на площі водозбору розглянемо тестовий приклад з такими вихідними даними:

$$\begin{aligned}
 & C_{\text{БПК}}^1 = 15 \text{ г/м}^3; \quad C_{\text{БПК}}^2 = 11 \text{ г/м}^3; \\
 & C_{\text{БПК}}^3 = 23 \text{ г/м}^3; \\
 & C_{\text{РК}}^1 = 4,3 \text{ г/м}^3; \quad C_{\text{РК}}^2 = 7,5 \text{ г/м}^3; \\
 & C_{\text{РК}}^3 = 3,1 \text{ г/м}^3; \\
 & q_1 = 30 \text{ м}^3/\text{добу}; \quad q_2 = 25 \text{ м}^3/\text{добу}; \\
 & q_3 = 5 \text{ м}^3/\text{добу}; \\
 & \alpha = 0,99 \text{ доба}^{-1}; \quad \beta = 0,50 \text{ доба}^{-1}; \\
 & C_{\text{РК}}^* = 9,21, \quad T = 20 \text{ }^\circ\text{C}.
 \end{aligned} \tag{41}$$

За початкові значення БПК і РК в басейні візьмемо середні значення концентрації, а саме:

$$\begin{aligned}
 & C_{\text{БПК}}^{(0)} = \bar{C}_{\text{БПК}} = 14 \text{ г/м}^3; \\
 & C_{\text{РК}}^{(0)} = \bar{C}_{\text{РК}} = 5,53 \text{ г/м}^3.
 \end{aligned} \tag{42}$$

Параметром керування буде об'єм басейна W . Тому розрахунки виконаємо для $W_1 = 300 \text{ м}^3$, $W_2 = 600 \text{ м}^3$, $W_3 = 900 \text{ м}^3$.

Спочатку проведемо всі розрахунки для $W_1 = 300 \text{ м}^3$.

$$\begin{aligned}
 & 1) \bar{C}_{\text{БПК}} = 14 \text{ г/м}^3; \quad 2) \bar{C}_{\text{РК}} = 5,53 \text{ г/м}^3; \\
 & 3) \tau = 5 \text{ діб}; \quad \tau_\alpha = 0,84 \text{ доби}, \quad \tau_\beta = 0,84; \\
 & 4) \bar{C}_{\text{БПК}}^\alpha = 2,35 \text{ г/м}^3; \quad 5) \Delta C_{\text{БПК}}^{(0)} = 11,65 \text{ г/м}^3 \\
 & 6) \delta = 23,54; \quad 7) \bar{C}_{\text{РК}}^\beta = 1,58; \quad 8) C_{\text{РК}}^{\text{ст}} = 4,83; \\
 & 9) \Delta C_{\text{РК}}^{(0)} = 0,7; \quad 10) \gamma = -22,84.
 \end{aligned} \tag{43}$$

З обчислених постійних величин важливою характеристикою процесу самоочищення є концентрації $\bar{C}_{\text{БПК}}^\alpha = 2,35 \text{ г/м}^3$ і $C_{\text{РК}}^{\text{ст}} = 4,83 \text{ г/м}^3$, які встановлюються при настанні рівноваги. Саме до таких рівноважних значень концентрацій прямують процеси взаємодії РК та БПК, і саме на ці величини потрібно орієнтуватись при попередніх кількісних оцінках процесів самоочищення та насичення поверхневих вод киснем.

Після визначення постійних величин (43) можна перейти до визначення динаміки $C_{\text{БПК}}$ та $C_{\text{РК}}$. Алгоритм та результати обчислення концентрацій БПК наведені в табл. 1, а концентрації РК - в табл. 2. За даними цих таблиць на рис. 1 представлено графік динаміки РК і БПК.

3. Висновки

З наведених обчислень (див. табл. 1-3; 4-6), а також з побудованих графіків динаміки БПК та РК (див. рис. 1-3) видно, що в першому сценарії, коли $W_1 = 300 \text{ м}^3$, концентрація РК в басейні за перші 3 доби різко знижується, при цьому також знижується концентрація БПК. На третю добу ці концентрації зрівноважуються, а потім концентрація РК перевищує концентрацію БПК. Концентрація БПК зрівноважуються на шосту добу, а концентрація РК - на восьму добу, тобто процес стабілізується (стаціонарний процес). Крім того, потрібно відзначити, що у другому сценарії, коли $W_2 = 600 \text{ м}^3$, концентрація забруднень зменшується в 1,8 раза, а у третьому сценарії, коли $W_3 = 900 \text{ м}^3$, - у 2,7 раза порівняно з першим сценарієм.

Таблиця 1. Алгоритм і результати обчислення динаміки БПК при $W=300\text{ м}^3$

t_n	$a = \frac{t_n}{\tau_a}$	$b = \exp(-a)$	$d = \Delta C_{\text{БПК}}^{(0)} b$	$C_{\text{БПК}} = \bar{C}_{\text{БПК}}^a + d$
0	0	1	11,65	14,00
1	1,19	0,304	3,542	5,89
2	2,38	0,092	1,072	3,42
3	3,57	0,028	0,326	2,68
4	4,76	0,008	0,093	2,44
5	5,95	0,002	0,023	2,37
6	7,14	0,001	0,012	2,36

Таблиця 2. Алгоритм і результати обчислення динаміки БПК при $\Psi=600\text{ м}^3$

t_n	$a = \frac{t_n}{\tau_a}$	$b = \exp(-a)$	$d = \Delta C_{\text{БПК}}^{(0)} b$	$C_{\text{БПК}} = \bar{C}_{\text{БПК}}^a + d$
0	0	1	12,716	14
1	1,09	0,336	4,275	5,560
2	2,18	0,113	1,438	2,722
3	3,27	0,038	0,483	1,768
4	4,36	0,012	0,163	1,447
5	5,45	0,004	0,055	1,339
6	6,54	0,001	0,018	1,300
7	7,63	0,001	0,006	1,290
8	8,72	0	0,002	1,287
9	9,81	0	0	1,285

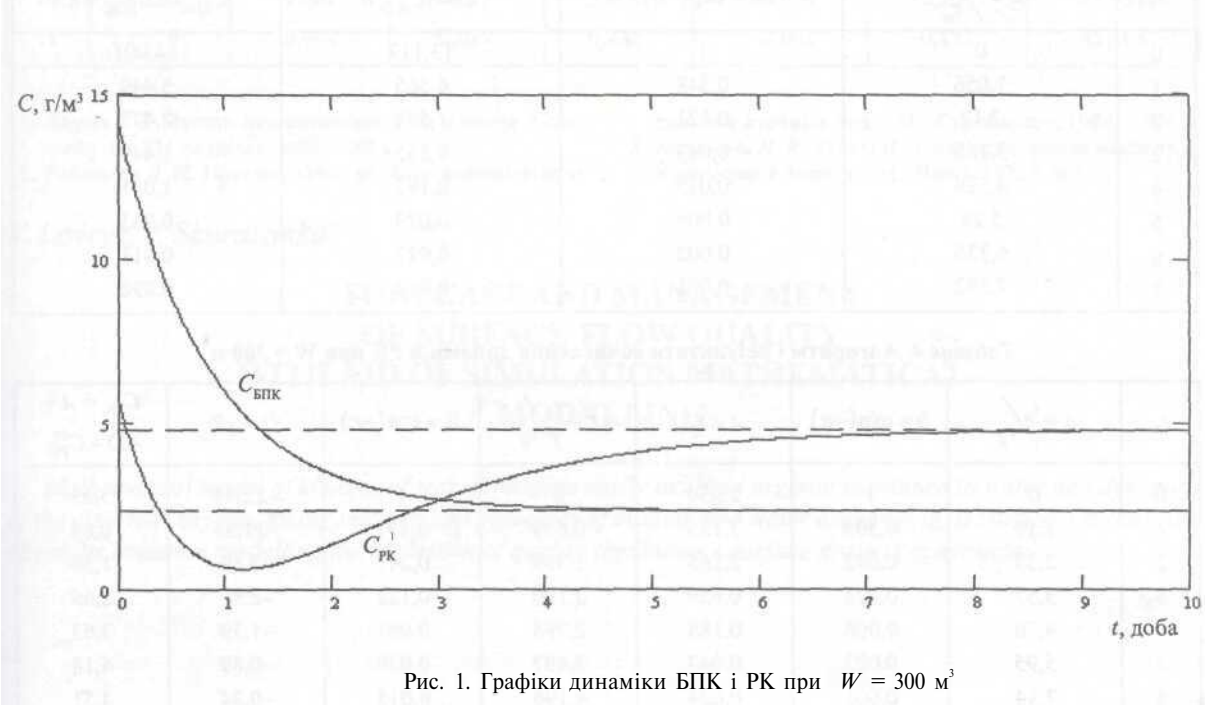


Рис. 1. Графіки динаміки БПК і РК при $W = 300\text{ м}^3$

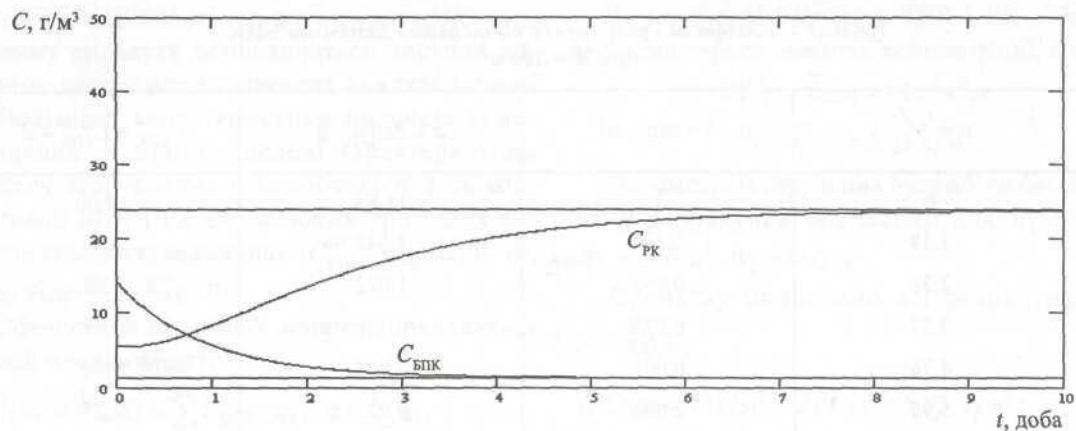


Рис. 2. Графіки динаміки БПК і РК при $W = 600 \text{ м}^3$

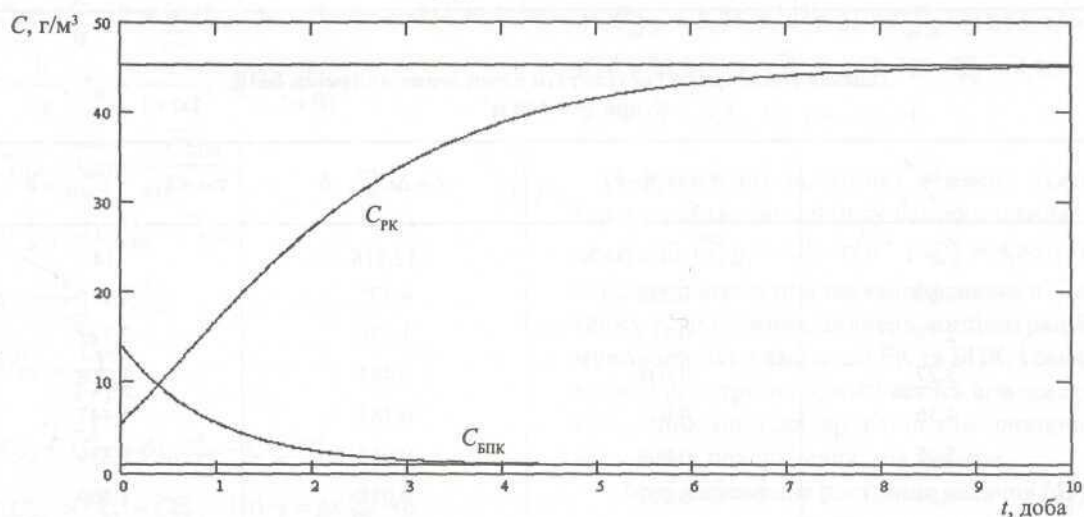


Рис. 3. Графіки динаміки БПК і РК при $W = 900 \text{ м}^3$

Таблиця 3. Алгоритм і результати обчислення динаміки БПК при $W = 900 \text{ м}^3$

t_n	$a = \frac{t_n}{\tau_a}$	$b = \exp(-a)$	$d = \Delta C_{\text{БПК}}^{(0)} b$	$C_{\text{БПК}} = \bar{C}_{\text{БПК}}^a + d$
0	0	1	13,117	14,001
1	1,056	0,348	4,565	5,449
2	2,12	0,121	1,588	2,472
3	3,168	0,043	0,565	1,449
4	4,224	0,015	0,197	1,081
5	5,28	0,006	0,079	0,963
6	6,336	0,002	0,027	0,911
7	7,392	0,001	0,014	0,898

Таблиця 4. Алгоритм і результати обчислення динаміки РК при $W = 300 \text{ м}^3$

t_n	$a = \frac{t_n}{\tau_a}$	$b = \exp(-a)$	$A = \delta b$	$r = \frac{t_n}{\tau_\beta}$	$B = \exp(-r)$	$D = \gamma B$	$C_{\text{ПК}} = A + D + C_{\text{ПК}}^{\text{ст}}$
0	0	1	23,54	0	1	-22,84	5,53
1	1,19	0,304	7,155	0,699	0,497	-11,35	0,66
2	2,38	0,092	2,165	1,399	0,247	-5,64	1,36
3	3,57	0,028	0,659	2,100	0,122	-2,80	2,69
4	4,76	0,008	0,188	2,798	0,061	-1,39	3,63
5	5,95	0,002	0,047	3,497	0,030	-0,69	4,18
6	7,14	0,001	0,024	4,196	0,015	-0,34	4,51

Таблиця 5. Алгоритм і результати обчислення динаміки РК при $W = 600 \text{ м}^3$

t_n	$a = t_n / \tau_a$	$b = \exp(-a)$	$A = \delta b$	$r = t_n / \tau_B$	$B = \exp(-r)$	$D = \gamma B$	$C_{PK} = A + D + C_{PK}^{ст}$
0	0	1	25,691	0	1	-44,032	5,533
1	1,09	0,337	8,658	0,6	0,549	-24,173	8,358
2	2,18	0,114	2,929	1,2	0,302	-13,297	13,505
3	3,27	0,039	1,002	1,8	0,166	-7,309	17,566
4	4,36	0,013	0,334	2,4	0,091	-4,006	20,201
5	5,45	0,005	0,129	2,499	0,05	-2,201	21,801
6	6,54	0,002	0,052	3,599	0,028	-1,232	22,693
7	7,63	0,001	0,026	4,199	0,016	-0,704	23,195
8	8,72	0,001	0,026	4,799	0,009	-0,396	23,503

Таблиця 6. Алгоритм і результати обчислення динаміки РК при $W = 900 \text{ м}^3$

t_n	$a = t_n / \tau_a$	$b = \exp(-a)$	$A = \delta b$	$r = t_n / \tau_B$	$B = \exp(-r)$	$D = \gamma B$	$C_{PK} = A + D + C_{PK}^{ст}$
0	0	1	26,502	0	1	-66,238	5,532
1	1,056	0,348	9,223	0,567	0,568	-37,623	16,868
2	2,112	0,121	3,207	1,133	0,323	-21,394	27,081
3	3,168	0,043	1,14	1,7	0,183	-12,121	34,287
4	4,224	0,015	0,398	2,266	0,104	-6,888	38,778
5	5,28	0,006	0,16	2,833	0,059	-3,908	41,520
6	6,336	0,002	0,054	3,399	0,034	-2,252	43,070
7	7,393	0,001	0,027	3,966	0,019	-1,258	44,037
8	8,448	0,001	0,027	4,533	0,011	-0,728	44,567
9	9,504	0,001	0,027	5,099	0,007	-0,463	44,832
10	10,56	0,001	0,027	5,666	0,004	-0,264	45,031
11	11,616	0,001	0,027	6,232	0,002	-0,132	45,163

1. Лаврик В. І. Методи математичного моделювання в екології.- К.: КМ Академія, 2002.- 203 с.
2. Родзиллер Д. Й. Прогноз качества воды водоемов-при-

- емников сточных вод.- М.: Стройиздат, 1984.- 264 с.
3. Копченова Н. В., Марон И. А. Вычислительная математика в примерах и задачах.- М.: Наука, 1972.- 367 с.

V. Lavryk, I. Skurativska

FORECAST AND MANAGEMENT OF SURFACE FLOW QUALITY WITH AID OF SIMULATION MATHEMATICAL MODELLING

Mathematical model of kinetics of transformation easily oxidized organic substance in water and dynamics of the dissolved oxygen, taking into account processes of diluting and water exchanging, is studied. On the basis of results imitation modelling the algorithm of quality regulation a surface drain is constructed.