

О.С. ПЕТРЕНКО, кандидат технічних наук  
Київський національний університет будівництва і архітектури.

## ПЕРЕВАГИ ТА НЕДОЛІКИ РОЗРАХУНКУ ГРАНИЧНО-ДОПУСТИМОГО СКИДУ РЕЧОВИН ЗА БАСЕЙНОВИМ ПРИНЦИПОМ

*Показано вплив в річці процесів розбавлення та самоочищення на концентрацію формальдегіду. Представлена послідовність розрахунків граничнодопустимої скидної концентрації та маси речовини за басейновим принципом. Наведено результати аналізу його переваг і недоліків в порівнянні з локальним принципом розрахунку.*

**Ключові слова:** скид стічних вод, допустима скидна концентрація, розбавлення, самоочищення, басейновий та локальний принцип розрахунку.

*Показано влияние в реке процессов разбавления и самоочищения на концентрацию формальдегида. Представлена последовательность расчётов гранично-допустимой сбросной концентрации и массы вещества по бассейновому принципу. Приведены результаты анализа его преимуществ и недостатков в сравнении с локальным принципом расчёта.*

**Ключевые слова:** сброс сточных вод, допустимая сбросная концентрация, разбавление, самоочищение, бассейновый и локальный принцип расчёта.

*The article deals with the influence of the river dilution and self-purification process on the concentration of formaldehyde. The sequence of calculations of the maximum allowable discharge concentration and mass of substance is presented. Conclusion on advantages and insufficiencies of such approach is given as compared to the local management principle of computation.*

**Key words:** waste water discharge, maximum allowable discharge concentration, dilution, self-purification, watershed management and local management principles of computation.

Зменшення негативного впливу скидаємих стічних вод на якісні показники водних об'єктів (ВО) є одним з основних заходів щодо збереження їх для будь-якого виду водокористування, підтримки екологічної безпеки.

Для контролю за процесом забрудненості ВО та планування заходів щодо подолання його шкідливих наслідків, зокрема відшкодування збитків, розраховують граничнодопустимі скиди (ГДС)  $i$ -их нормованих речовин за виразом [1]:

$$M_{\text{дс}}^i = C_{\text{дс}}^i \cdot q, \quad (1)$$

де  $C_{\text{дс}}^i$  – допустима скидна концентрація  $i$ -ої речовини в стічних водах, г/м<sup>3</sup>;  
 $q$  – максимальна витрата стічних вод, м<sup>3</sup>/годину.

Концентрація  $i$ -ої речовини в суміші річкових і стічних вод ( $C^i$ ) в різних створах річки нижче випуска пов'язана з фоновою ( $C_{\text{ф}}^i$ ) та скидною ( $C_{\text{ск}}^i$ ) концентраціями залежністю [2; 4]:

$$C^i = 10^{-k_{\text{д}} t} \left[ \frac{1}{n} (C_{\text{ск}}^i - C_{\text{ф}}^i) + C_{\text{ф}}^i \right], \quad (2)$$

де  $n$  – кратність розбавлення стічних вод в межах ділянки довжиною  $\ell$  метрів від випуску до будь-якого створу за течією, що розглядається, як добуток початкової ( $n_{\text{п}}$ ) і основної ( $n_0$ ) кратностей розбавлення [1-4].

Для максимально забрудненого струменя кратність основного розбавлення визначають за виразом:

$$n_0 = 1 + \gamma \delta, \quad (3)$$

де  $\delta$  – відношення витрат води в річці ( $Q$ ) до витрат стічних вод ( $q$ );

$\gamma$  – коефіцієнт змішування, що показує, яка частка  $Q$  змішалася з  $q$ .

При умові  $10 \leq \delta \leq 400$  величина  $\gamma$  розраховується, як правило, за формулою В.А. Фролова – Й.Д. Родзіллера. Якщо вираз  $\gamma$  з цієї формули підставити в залежність (3), то отримаємо:

$$n_0 = \frac{q + Q}{q + Q \exp(-\alpha \sqrt[3]{\ell})} = \frac{1 + \delta}{1 + \delta \exp(-\alpha \sqrt[3]{\ell})}, \quad (4)$$

де  $\alpha$  – гідравлічний коефіцієнт, який залежить від гідравлічних параметрів річки, місця розташування випуску та величини  $q$ .

На рис. 1 показані приклади зміни  $n_0$  при значеннях параметрів з табл.1. З наведених графіків видно, що приріст  $n_0$  по довжині потоку має затухаючий характер. Це пояснюється зменшенням градієнта поперечної дифузії зі збільшенням  $\ell$  [3].

Множник перед квадратними дужками в формулі (2) з додатнім значенням показника ступеня назвемо *кратністю самоочищення* річки від  $i$ -ої речовини на ділянці довжиною  $\ell$ :

$$n_{\text{с}} = 10^{k_{\text{д}}^i t}, \quad (5)$$

де  $t = \ell / (86400 \cdot v)$  – час переміщення суміші річкових і стічних вод в добах з середньою швидкістю  $v$  в м/с на відстань  $\ell$  метрів.

Значення параметрів для розрахунку  $n_0$ 

№ графіка на рис. 1	Середні значення					
	Коефіцієнт шорсткості русла, $k_{\text{ш}}$	Глибина води в річці $H$ , м	Швидкість течії $v$ , м/с	Витрати води в річці $Q$ , м <sup>3</sup> /с	Витрати стічних вод $q$ , м <sup>3</sup> /с	Співвідношення $\delta = Q / q$
1	0,035	5	1	100	10	10
2	0,035	7	0,5	110	6	18,3
3	0,035	6	0,8	116	8	14,5

Величина  $k_{\text{д}}^i$  – динамічний коефіцієнт неконсервативності  $i$ -ої речовини (1/доба), який розраховується за формулою [2]:

$$k_{\text{д}}^i = k_{\text{с}}^i \cdot k_{\text{T}} \cdot k_{\text{v}}, \quad (6)$$

де  $k_{\text{с}}^i$  – статичний коефіцієнт неконсервативності (довідникова величина), 1/доба;

$$k_{\text{T}} = \left[ 1,12(T+1)^{-0,022} \right]^{T-20} \text{ – температурний коефіцієнт, який залежить}$$

від температури води  $T$  в  $^{\circ}\text{C}$ ;

$$k_{\text{v}} = 5 \text{ – швидкісний коефіцієнт при } v \geq 0,2 \text{ м/с.}$$

На рис.2 наведені графіки зміни кратності самоочищення вод річки, як приклад, від неконсервативної речовини – формальдегіду ( $k_{\text{с}}^{\text{фор}} = 0,61$  1/доб) для зимового ( $T = 2^{\circ}\text{C}$ ;  $k_{\text{T}} = 0,2$ ) і літнього ( $T = 26^{\circ}\text{C}$ ;  $k_{\text{T}} = 1,28$ ) періодів року при значеннях  $v$  з таблиці 1.

Аналіз графіків свідчить про те, що:

а) в літній період процеси самоочищення значно інтенсивніші, ніж в зимовий;

б) чим менша швидкість  $v$ , тим довше, як видно з пояснень до формули (5), формальдегід перебуває на ділянці річки довжиною  $l$  і зазнає впливу процесів самоочищення.

Допустиму скидну концентрацію можна знайти з формули (2) з урахуванням виразу (5) при відомих *порогових* значеннях концентрацій ( $C_{\text{кп}}^i$ )

в контрольному створі ( $КС$ ), а саме при  $C^i = C_{\text{кп}}^i$ :

$$C_{\text{дс}}^i = n \left( n_{\text{с}}^i C_{\text{кп}}^i - C_{\text{ф}}^i \right) + C_{\text{ф}}^i. \quad (7)$$

Порогова концентрація входить до складу *першої* вимоги в  $КС$  [1-4], яку в дещо модифікованому вигляді можна записати так:

$$C_K^i \leq C_{\text{кп}}^i \leq C_{\text{гдк}}^i, \quad (8)$$

де  $C_{\text{гдк}}^i$  і  $C_K^i$  – відповідно, гранично-допустима та фактична концентрація  $i$ -ої речовини в КС.

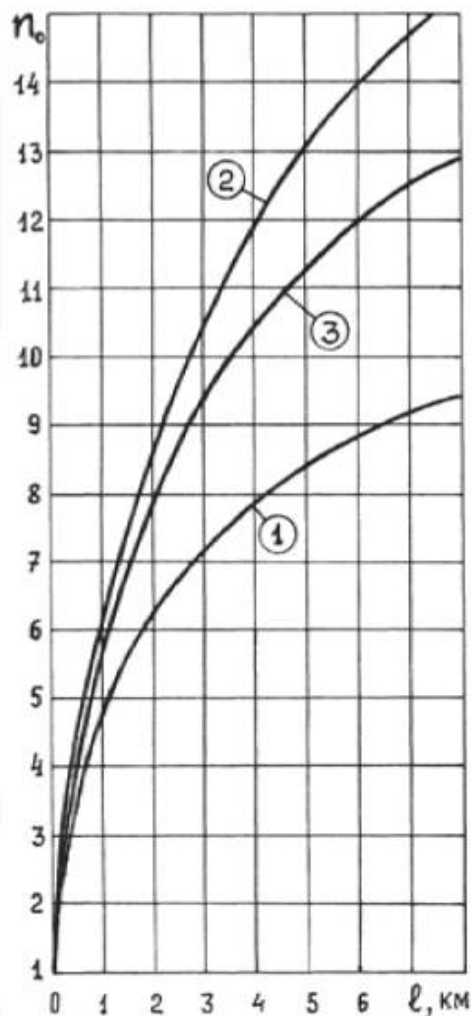


Рис. 1. Графіки зміни значень кратності основного розбавлення в річці за течією при значеннях параметрів з табл. 1

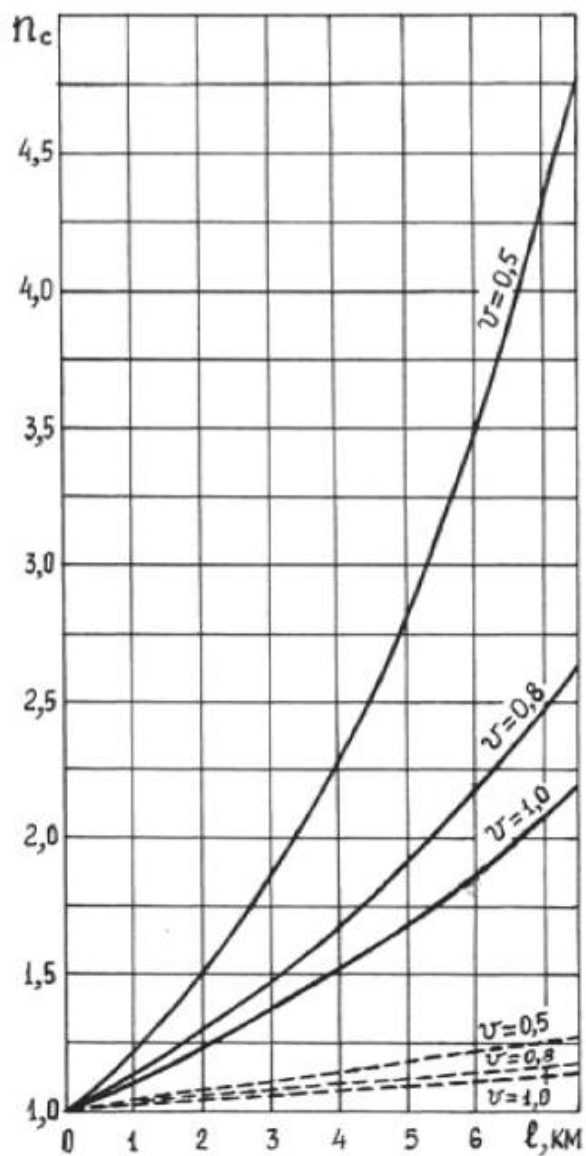


Рис. 2. Графіки зростання кратності самоочищення річки від формальдегіду в літній (—) та зимовий (- - -) періоди при різних значеннях середньої швидкості течії  $v$  в м/с

При  $C_{\text{кп}}^i = C_{\text{гдк}}^i$  вираз (8) набуває звичного вигляду, якщо  $i$ -та речовина не входить до групи  $j$  речовин ( $j \geq 2$ ) однакової лімітуючої ознаки шкідливості (ЛОШ), для яких висувається в КС ще й друга вимога:

$$\sum_{i=1}^j \frac{C_k^i}{C_{ГДК}^i} \leq \sum_{i=1}^j \frac{C_{кп}^i}{C_{ГДК}^i} = 1. \quad (9)$$

У протилежному випадку для  $j$  речовин проводиться перевірка за виразом (9). Наслідком виконання другої перевірки одразу або після зменшення скидних концентрацій буде система нерівностей:

$$\begin{aligned} C_{кп}^{(1)} &< C_{ГДК}^{(1)}; \\ \dots & \dots \\ C_{кп}^j &< C_{ГДК}^j. \end{aligned} \quad (10)$$

Якщо фонове значення  $i$ -ої речовини ( $C_{ф}^i$ ) більше гранично-допустимого, то застосування басейнового принципу розрахунку ГДС неможливо, про що йтиме мова далі.

Вираз в дужках формули (7)

$$C_{ас}^i = n_c^i \cdot C_{кп}^i - C_{ф}^i \quad (11)$$

називають абсолютним значенням асимілюючої спроможності ВО щодо  $i$ -ої речовини або іншого показника якості [4].

Асимілююча спроможність (АС) водного об'єкту щодо  $i$ -ої речовини характеризує його здатність сприймати певне погіршення якості води за цією речовиною без порушення в контрольному створі нормативних вимог (8) та (9).

Величина  $C_{ас}^i$  для консервативних речовин ( $n_c^i = 1$ ) є сталою від випуску до КС, для неконсервативних ( $n_c^i > 1$ , рис.2) – зростає зі збільшенням  $\ell$  внаслідок дії процесів самоочищення.

При малих фонових значеннях  $C_{ф}^i$  (коли якість води за  $i$ -ою речовиною є високою), значення величин  $C_{ас}^i$ ,  $C_{дс}^i$  і  $M_{дс}^i$ , як видно, відповідно, з виразів (11), (7) і (1), будуть найбільші. В цьому випадку витрати коштів на очищення стічних вод від  $i$ -ої речовини будуть мінімальними.

Зростання  $C_{ф}^i$  веде, в свою чергу, до зменшення значень  $C_{ас}^i$ ,  $C_{дс}^i$  і  $M_{дс}^i$  та збільшення вартості очищення.

Якщо значення фонові концентрації перевищує величину  $n_c C_{кп}^i$ , то приймають  $n_c C_{кп}^i = C_{ф}^i$ . Внаслідок цього з формули (11) видно, що завжди  $C_{ас}^i \geq 0$ .

При  $C_{ас}^i = 0$  із залежності (7) отримаємо  $C_{дс}^i = C_{ф}^i$ . Це означатиме, що ГДС  $i$ -ої речовини буде мінімальним, а вартість очищення стічних вод від  $i$ -ої речовини буде максимальною.

З вказаного витікає, що абсолютне значення АС значною мірою *визначає* вибір технологічної схеми очищення та склад очисних споруд водовідведення.

Залежно від величини і особливостей використання  $C_{ас}^i$  розрахунок ГДС речовин на окремих випусках в басейні річки або на її ділянках (ділянках асиміляції ДАС) може виконуватись за одним з двох принципів: басейновим або локальним (без басейновим) [1; 4]. Відмінність між ними полягає в підході до використання АС.

При **басейновому** принципі розрахунку (БПР) частка АС, яка виділена для даної ДАС, розподіляється заздалегідь між окремими наперед відомими водокористувачами (водоскидувачами) за тією, чи іншою схемою. Результатом розподілу є *компромісне* рішення між вказаними водоскидувачами з урахуванням технологічних, екологічних та економічних аспектів скиду стічних вод.

Розрахунок ГДС речовин за басейновим принципом здійснюється за нижче наведеною *послідовністю*.

1. На виділеній ДАС річки визначаються місця розташування  $p$  випусків  $(B_1; B_2; \dots B_p)$  з витратами стічних вод  $q_1; q_2; \dots q_p$ , фонових створів перед ними  $\Phi C_0; \Phi C_1; \dots \Phi C_{p-1}$ , нижнього граничного  $(\Phi C_p)$  та контрольних створів  $(KC_1; KC_2; \dots KC_p)$  (рис. 3).

2. Розраховуються необхідні значення  $n_0$  і  $n_c^i$  за виразами, відповідно, (4) та (5) для окремих інтервалів ДАС річки з урахуванням їх гідрологічних параметрів, коефіцієнта шорсткості та показників, що впливають на процеси самоочищення.

3. Проводиться розрахунок та оцінка *загального допустимого падіння* АС (або допустимого збільшення фонові концентрації) за формулою:

$$\Delta C_{ас}^i = C_{фд,p}^i - C_{фд,0}^i > 0, \quad (12)$$

де  $C_{фд,0}^i; C_{фд,p}^i$  – *відомі* допустимі значення фонових концентрацій відповідно в  $\Phi C_0$  і  $\Phi C_p$ .

Якщо нерівність (12) не виконується, то слід відмовитись від БПР і використовувати локальний принцип розрахунку.

Значення величини  $C_{фд,0}^i$  встановлюється внаслідок впливу природних та антропогенних факторів вище  $\Phi C_0$  і визначається на підставі систематичних замірів.

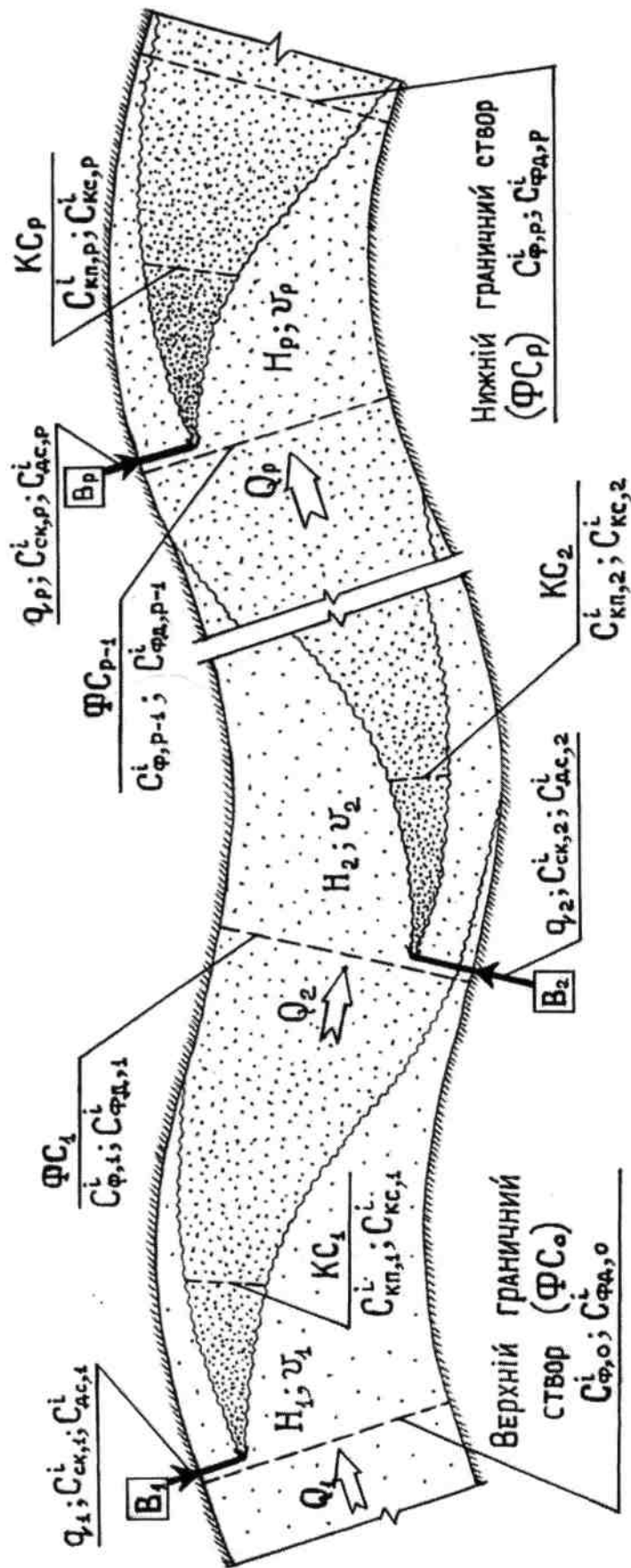


Рис.3. План – схема ділянки асиміляції для розрахунку граничнодопустимих скидів речовин за басейновим принципом

Значення величини  $C_{\text{фд},p}^i$  *призначається* з урахуванням необхідної величини АС для потреб водокористувачів (зокрема водоскидувачів) нижче ДАС.

4. Єдиним контролюючим органом (ЄКО) виконується *розподіл* величини  $\Delta C_{\text{ас}}^i$  між  $p$  водоскидувачами за тим чи іншим *дікуючим* параметром  $R_m$ : наприклад, прямо пропорційно витратам  $q_m$  або обернено пропорційно відстаням між випусками  $1/\ell_m$  та ін. [1; 4], де  $1 \leq m \leq p$ .

Коли такий параметр встановлено (в даній статті проблема його вибору не розглядається), то розраховується *коефіцієнт АС*:

$$k_{\text{ас}} = \Delta C_{\text{ас}}^i / \sum_1^p R_m. \quad (13)$$

Визначається *припустиме падіння АС* після  $m$ -ого випуску:

$$\Delta C_{\text{ас},m}^i = k_{\text{ас}} \cdot R_m. \quad (14)$$

Виконується *перевірка розрахунків*, виконаних за трьома останніми формулами:

$$\Delta C_{\text{ас}}^i = \Delta C_{\text{ас},1}^i + \dots + \Delta C_{\text{ас},m}^i + \dots + \Delta C_{\text{ас},p}^i = \sum_1^p \Delta C_{\text{ас},m}^i. \quad (15)$$

5. Знаходяться *граничнодопустимі концентрації* в *проміжних* фонових створах:

$$C_{\text{фд},m}^i = C_{\text{фд},(m-1)}^i + \Delta C_{\text{ас},m}^i, \quad (16)$$

де при  $m = 1$   $C_{\text{фд},(m-1)}^i = C_{\text{фд},0}^i$

6. Перевіряються відповідності існуючих та наступних розрахункових фонових значень граничнодопустимим:

$$C_{\text{ф},m}^i \leq C_{\text{фд},m}^i. \quad (17)$$

Вимога (17) для ФС так саме, як і вимоги (8), (9) для КС є *обов'язковою* при розрахунках ГДС за басейновим принципом.

Якщо вимога (17) не виконується, то слід впровадити ряд заходів:

а) зменшити допустиму скидну концентрацію  $(C_{\text{дс}}^i)$  за рахунок додаткового очищення стічних вод від  $i$ -ої речовини;

б) збільшити кратність розбавлення  $n$  за рахунок збільшення кількості випускних отворів (зросте значення  $n_0$ ) та (або) підвищити швидкість витікання з них, щоб виникла або зростає кратність початкового розбавлення  $n_{\text{п}}$ ;



в) збільшити величину  $\Delta C_{ac,m}^i$  у формулі (16), тобто провести перерозподіл  $\Delta C_{ac}^i$ .

Перші два заходи направлені на зменшення  $C_{ф,m}^i$ , останній – на збільшення  $\Delta C_{фд,m}^i$ .

7. Розраховуються за виразом (7) допустимі скидні концентрації **по відношенню до  $KС_m$**  з урахуванням *граничного* виконання вимог (8) і (9) в цих створах:

$$C_{дс,км}^i = n_{км} \left( n_{с,км}^i \cdot C_{кп,m}^i - C_{фд,(m-1)}^i \right) + C_{фд,(m-1)}^i, \quad (18)$$

де  $n_{км}$  та  $n_{с,км}^i$  – значення, відповідно, кратностей розбавлення та самоочищення річки від  $i$ -ої речовини на ділянці від  $B_m$  до  $KС_m$ .

8. Визначаються також за виразом (7) допустимі скидні концентрації **по відношенню до  $\PhiС_m$**  з урахуванням *граничного* виконання вимоги (17) в цих створах:

$$C_{дс,фm}^i = n_{фm} \left( n_{с,фm}^i \cdot C_{фд,m}^i - C_{фд,(m-1)}^i \right) + C_{фд,(m-1)}^i, \quad (19)$$

де  $n_{фm}$  та  $n_{с,фm}^i$  – значення, відповідно, кратностей розбавлення та самоочищення річки від  $i$ -ої речовини на ділянці від  $B_m$  до  $\PhiС_m$ .

9. Порівнюються значення концентрацій, знайдені за формулами (18) і (19), та приймаються за розрахункові *менші* з них (вони є складніше досяжними, бо потребують більш глибокого очищення стічних вод):

$$C_{дс,m}^i = \min \left( C_{дс,км}^i; C_{дс,фm}^i \right). \quad (20)$$

10. Проводиться визначення граничнодопустимого скиду  $i$ -ої речовини за виразом (1):

$$M_{дс,m}^i = C_{дс,m}^i \cdot q_m. \quad (21)$$

Аналогічні розрахунки (п.п. 3-10) виконуються **для всіх скидаємих речовин**.

При **локальному** принципі розрахунку (ЛПР) ГДС водоскидувачі використовують АС річки окремо (локально) від інших, тобто без врахування інтересів нижче розташованих сусідів. Це створює сприятливі умови для вище розташованих скидувачів, які значною мірою, а інколи повністю вибирають АС річки, досягаючи при цьому максимальних значень ГДС і, відповідно, мінімальних витрат коштів на очищення стічних вод.

Нижче розташовані водоскидувачі змушені підтримувати значення  $C_{дс}^i \approx C_{ф}^i$ , що вимагає від них значно більшого, не завжди досяжного з технологічних та (або) економічних причин, ступеня очищення.

*Послідовність* ЛПР наводиться нижче.

**А.** Визначаються *місця* випусків з їх витратами, контрольних та фонових створів (рис. 3), кратності розбавлення та самоочищення так само, як і для БПР (п.п. 1; 2).

**Б.** Розраховуються допустимі скидні концентрації  $i$ -ої речовини ( $C_{дс,км}^i$ ) за формулою (18), в якій перше фонове значення ( $C_{ф,0}^i$ ) задається, а всі інші знаходяться за виразом, отриманим із залежностей (5) і (2) при  $C_{ск}^i = C_{дс,км}^i$ :

$$C_{ф,m}^i = \frac{1}{n_{с,m}^i} \left( \frac{C_{дс,км}^i - C_{ф,(m-1)}^i}{n_m} + C_{ф,(m-1)}^i \right), \quad (22)$$

де  $n_m$  та  $n_{с,m}^i$  – відповідно кратності розбавлення та самоочищення від  $i$ -ої речовини на інтервалах річки від  $B_m$  до  $\Phi C_m$ .

**В.** Знаходиться ГДС  $i$ -ої нормованої речовини за формулою (21) з заміною  $C_{дс,m}^i$  на  $C_{дс,км}^i$ .

Як видно, розрахунок ГДС за басейновим принципом *значно складніший*, ніж за локальним. Крім того, застосування БПР можливе лише *при невичерпаній АС* ( $\Delta C_{ас}^i > 0$ ;  $C_{ф}^i < C_{кп}^i$ ), а для виконання необхідних розрахунків і, головне, реалізації їх результатів потрібне *створення ЕКО* з широкими повноваженнями.

В зв'язку з цим ЛПР залишається *основним* засобом визначення ГДС. Він може застосовуватись при будь-яких значеннях  $\Delta C_{ас}^i$  для тих водоскидувачів, які фактично або умовно *не впливають* на нижче розташованих за течією сусідів (в останньому випадку цим впливом нехтують). Використання ж БПР в кожному конкретному випадку повинно мати *вагоме обґрунтування*.

**Приклад розрахунку: визначення ГДС неконсервативної речовини-формальдегіду за басейновим принципом.**

**Вихідні дані:**

- план-схема ДАС з розміщенням  $B_m$ ;  $K C_m$ ;  $\Phi C_{m-1}$ ;  $\Phi C_m$  прийнята такою, як на рис. 3 при  $m=3$ , тобто ДАС розділена на 3 розрахункових інтервалу з параметрами, приведеними в табл. 1;

- відстані від  $B_m$  до  $KC_m$  в усіх інтервалах і для різних розрахункових варіантів становлять  $\ell_{k,m} = 500$  м;
- відстані  $\ell$  між  $B_m$  і  $\Phi C_m$ , залишаючись однаковими на кожному інтервалі, змінюються разом для різних варіантів розрахунку від 500 до 7500 м;
- всі три випуски прийняті русловими та зосередженими;
- значення  $n_0$  беремо з графіків на рис. 1, а значення  $n_c$  – з графіків на рис. 2;
- задані концентрації:  $C_{\text{фд},0} = 0,015$  г/м<sup>3</sup>;  $C_{\text{фд},3} = 0,04$  г/м<sup>3</sup>;  
 $C_{\text{кп}} = C_{\text{гдк}} = 0,05$  г/м<sup>3</sup>.

### **Розрахунки ГДС за басейновим принципом та їх аналіз.**

Знаходимо загальне допустиме падіння АС за формулою (12), г/м<sup>3</sup>:

$$\Delta C_{\text{ас}} = 0,04 - 0,015 = 0,025 > 0.$$

Приймаємо за диктуючий параметр витрати скидаємих стічних вод  $q_m$ .

Це рішення виправдане, якщо відстані між  $B_m$  і  $\Phi C_m$  та технологічні схеми очищення стічних вод, що надходять на кожний випуск, приблизно однакові. З табл. 1  $q_1 = 10$  м<sup>3</sup>/с;  $q_2 = 6$  м<sup>3</sup>/с;  $q_3 = 8$  м<sup>3</sup>/с.

Розраховуємо коефіцієнт АС за виразом (13):

$$k_{\text{ас}} = \Delta C_{\text{ас}}^i / (q_1 + q_2 + q_3) = 0,025 / (10 + 6 + 8) = 0,00104 \left( \frac{\text{г} \cdot \text{с}}{\text{м}^6} \right).$$

Визначаємо припустиме падіння АС на інтервалах за формулою (14), г/м<sup>3</sup>:

$$\Delta C_{\text{ас},1} = 0,00104 \cdot 10 = 0,0104;$$

$$\Delta C_{\text{ас},2} = 0,00104 \cdot 6 = 0,0063;$$

$$\Delta C_{\text{ас},3} = 0,00104 \cdot 8 = 0,0083.$$

Проводимо перевірку попередніх розрахунків за виразом (15), г/м<sup>3</sup>:

$$\Delta C_{\text{ас}} = 0,0104 + 0,0063 + 0,0083 = 0,025.$$

Знаходимо граничнодопустимі концентрації в проміжних фонових створах за формулою (16), г/м<sup>3</sup>:

$$\Delta C_{\text{фд},1} = 0,015 + 0,0104 = 0,0254;$$

$$\Delta C_{\text{фд},2} = 0,0254 + 0,0063 = 0,0317.$$

За виразами (18) та (19) виконуються розрахунки допустимих скидних концентрацій формальдегіду для трьох інтервалів ДАС при їх довжинах  $\ell$  і, відповідно,  $n_c$ .

Порівнюються отримані значення за формулою (20).

Результати останніх обчислень та порівнянь представлені на графіках рис. 4.

Величина параметра  $C_{дс,км} = const$  (горизонтальні графіки) в зв'язку з тим, що розрахунок його ведеться відносно *фіксованого* положення  $КС_m (\ell = \ell_k = 500 \text{ м})$ , отримані значення для порівняння з  $C_{дс,фm}$  *переносяться* в точки, що відповідають іншим  $\ell$ .

Розрахунок параметра  $C_{дс,фm}$  виконується відносно фонового створу  $\Phi C_m$  зі *змінною* відстанню до вище розташованого випуску  $B_m (\ell = \ell_f = 500 \dots 7500 \text{ м})$ . Графіки цього параметру будуть *зростаючими* внаслідок посилення впливу процесів розбавлення і самоочищення зі збільшенням  $\ell$ .

Аналіз графіків на рис. 4 показує, що при малих відстанях  $\ell$  та (або) в зимовий період чи при  $n_c = 1$ , коли вплив вище вказаних процесів незначний і виконується нерівність  $C_{дс,фm} < C_{дс,км}$ , згідно формули (20) величина  $C_{дс,m} = C_{дс,фm}$  (*зростаючі* частини виділених графіків). При збільшенні  $\ell$  починає виконуватись нерівність  $C_{дс,км} < C_{дс,фm}$ : спочатку для літнього періоду (значний вплив процесів самоочищення), а потім взимку (незначний вплив цих процесів) і при  $n_c = 1$  (вплив практично відсутній). Тоді величина  $C_{дс,m} = C_{дс,км}$  (*горизонтальні* частини виділених графіків).

Значення ГДС формальдегіду розраховуються за виразом (21). Деякі з них представлені в табл. 2.

Для порівняння визначимо ГДС також **за локальним принципом**.

*Вихідні дані* будують такими, як і для БПР, окрім того, що концентрація в нижньому граничному створі не задається, а розраховується.

*При ЛПР використовуються такі формули:*

(18) – для знаходження значень  $C_{дс,m} = C_{дс,км}$  послідовно на випусках  $B_1, B_2, B_3$ ;

(22) – для визначення фонових концентрацій від  $\Phi C_1$  до  $\Phi C_3$  (для  $\Phi C_0$  ця концентрація задана:  $C_{ф,0} = 0,015 \text{ г/м}^3$ );

(21) – для розрахунків ГДС формальдегіду на випусках  $B_1, B_2, B_3$ .

*Послідовність операцій* при ЛПР матиме вигляд:

$$\begin{array}{ccccccc}
 C_{ф,0} & & & & & & \\
 \downarrow & & & & & & \\
 C_{дс,к1} \rightarrow C_{ф,1} \rightarrow C_{дс,к2} \rightarrow C_{ф,2} \rightarrow C_{дс,к3} \rightarrow C_{ф,3} & & & & & & (23) \\
 \downarrow & & \downarrow & & \downarrow & & \\
 M_{дс,1} & & M_{дс,2} & & M_{дс,3} & & 
 \end{array}$$

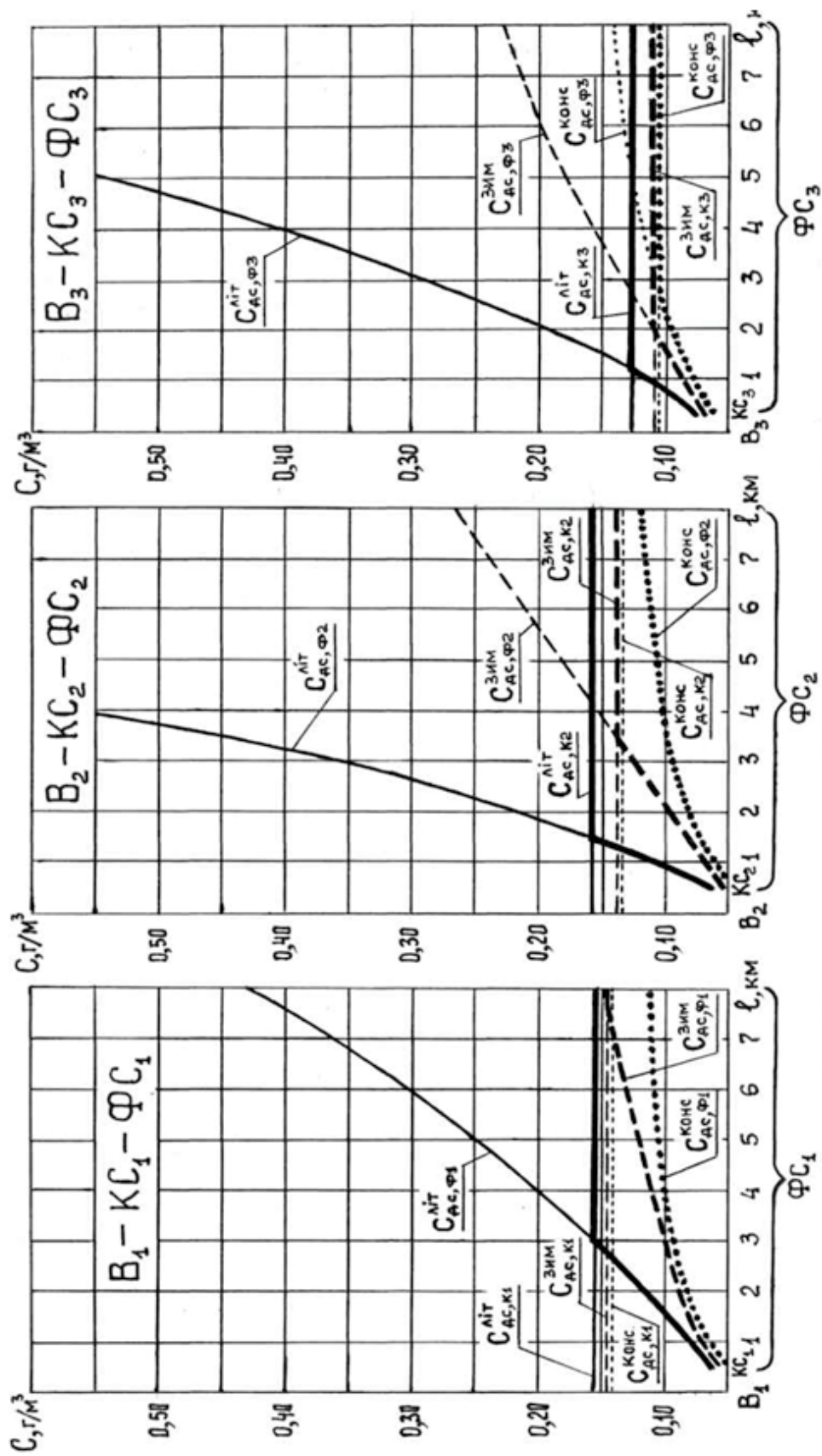


Рис.4. Графіки допустимих скидних значень формальдегіду на випусках  $B_1, B_2, B_3$ , розрахованих за басейновим принципом при граничних виконаннях вимоги (8) в  $KC$  ( $C_{дс,км}$ ) та вимоги (17) в  $\Phi C$  ( $C_{дс,км}$ ) для літнього (—) і зимового (---) періодів, а також за умови розгляду цієї речовини, як консервативної (○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○). Прийняті (менші) значення ( $C_{дс,т}$ ) виділені більш товстими лініями та крапками

Значення ГДС формальдегіду ( $\times 10^{-5}$ ), що розраховані за басейновим (чисельник) і локальним (знаменник) принципами та їх співвідношення

$l$ , км	Інтервали ДАС та значення $q$ в $m^3/c$									Співвідношення між значеннями ГДС: $M_1 : M_2 : M_3$		
	Перший, $q_1=10$			Другий, $q_2=6$			Третій, $q_3=8$			літо	зима	$n_c=1$
	літо	зима	$n_c=1$	літо	зима	$n_c=1$	літо	зима	$n_c=1$			
1	$\frac{22}{43}$	$\frac{19}{41}$	$\frac{18}{40}$	$\frac{18}{18}$	$\frac{12}{14}$	$\frac{10}{13}$	$\frac{26}{20}$	$\frac{19}{14}$	$\frac{17}{13}$	$\frac{4:3:5}{6:3:3}$	$\frac{5:3,5:3,5}{7:2,5:2,5}$	$\frac{5:3:4}{7:2,5:2,5}$
2	$\frac{33}{43}$	$\frac{24}{41}$	$\frac{22}{40}$	$\frac{26}{23}$	$\frac{16}{18}$	$\frac{13}{16}$	$\frac{28}{20}$	$\frac{25}{19}$	$\frac{22}{16}$	$\frac{5:3:4}{6:3:3}$	$\frac{4,5:3:4,5}{6:3:3}$	$\frac{4,5:3:4,5}{7:2,5:2,5}$
3	$\frac{43}{43}$	$\frac{28}{41}$	$\frac{26}{40}$	$\frac{26}{27}$	$\frac{21}{19}$	$\frac{16}{18}$	$\frac{28}{36}$	$\frac{25}{22}$	$\frac{24}{18}$	$\frac{5:3:4}{5:3:4}$	$\frac{4,5:3,5:4}{6:3:3}$	$\frac{5:3:4}{6:3:3}$
5	$\frac{43}{43}$	$\frac{34}{41}$	$\frac{29}{40}$	$\frac{26}{30}$	$\frac{23}{21}$	$\frac{17}{20}$	$\frac{28}{42}$	$\frac{25}{26}$	$\frac{24}{20}$	$\frac{5:3:4}{4,5:3:4,5}$	$\frac{5:3:4}{5,5:3:3,5}$	$\frac{5:3:4}{6:3:3}$
7	$\frac{43}{43}$	$\frac{38}{41}$	$\frac{31}{40}$	$\frac{26}{32}$	$\frac{23}{22}$	$\frac{20}{20}$	$\frac{28}{46}$	$\frac{25}{28}$	$\frac{24}{22}$	$\frac{5:3:4}{4:3:5}$	$\frac{5,5:3:3,5}{5:3:4}$	$\frac{5:3:4}{6:3:3}$

Результати розрахунків  $C_{дс,m}$  представлені на графіках рис.5.

На випуску  $B_1$  значення  $C_{дс,1} = const$  в зв'язку з тим, що визначення цього параметру виконувались при постійному значенні фонові концентрації  $C_{ф,0}$  та інших величин ( $n_{к1}, n_{с,к1}$  при  $l = l_k = 500$  м), які входять до формули (18).

На інших випусках значення  $C_{ф,m}$ , що розраховуються за виразом (22), зменшуються залежно від збільшення розмірів інтервалів  $l$  і, відповідно, значень  $n_m$  та  $n_{с,m}$ . Це забезпечує стабільне зростання величини параметра  $C_{дс,m}$  на всіх інтервалах, крім першого (для літнього періоду більше, для зимового – менше, при  $n_c = 1$  – ще менше).

При ЛПР для першого випуску створені оптимальні умови у використанні АС. Тому значення  $C_{дс,1}$ , особливо при невеликих  $l$ , найбільші, а для  $B_2, B_3$  – найменші. Відповідно, витрати коштів на очищення стічних вод що скидаються з  $B_1$  будуть мінімальними, а з  $B_2$  і  $B_3$  – максимальними.

Результати розрахунків ГДС формальдегіду за формулою (21) занесені також в табл. 2 (знаменники).

Проведемо *порівняльний аналіз* результатів, отриманих за БПР і ЛПР.

Розглянемо графіки на рис. 4 і 5. Склад та технологія очищення стічних вод, що скидаються через випуски  $B_1$ ,  $B_2$ ,  $B_3$ , були прийняті однаковими, тому значення  $C_{дс,m}$  теж повинні бути *близькими*. Максимальні розбіжності  $\Delta C_{дс}$  в %, які спостерігаються між значеннями  $C_{дс,m}$  при розрахунках за різними принципами, і значення  $\ell$ , яким вони відповідають, наведені в табл. 3.

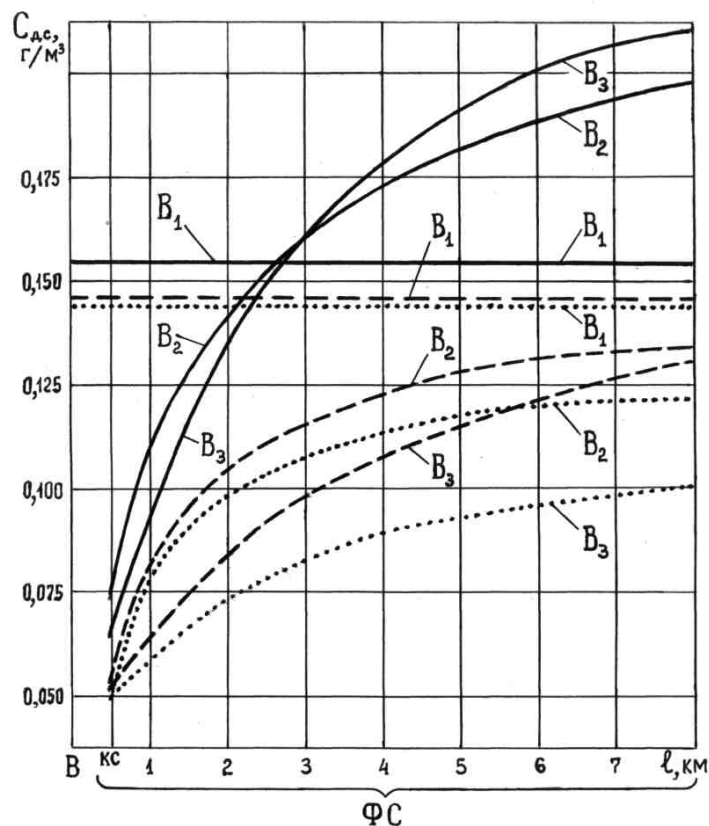


Рис. 5. Графіки значень допустимих скидних концентрацій формальдегіду на випусках  $B_1$ ,  $B_2$ ,  $B_3$ , розрахованих за локальним принципом, при граничних виконаннях вимоги (8) в КС для літнього (—) і зимового (- - -) періодів, а також за умови розгляду цієї речовини, як консервативної (· · · · ·).

В межах розрахунків за одним принципом найбільші розбіжності спостерігаються при відносно малих значеннях  $\ell$  (500...3000 м). В усіх випадках для БПР вони менші, ніж для ЛПР: в літній період до 2 разів, в зимовий – до 7 разів, при  $n_c = 1$  – до 9 разів. Це вказує на те, що при БПР значення  $C_{дс,m}$  на випусках розглянутої ДАС будуть більш рівними.

Максимальні розбіжності значень  $C_{дс,m}$ 

Принцип розрахунку	літо		зима		$n_c = 1$	
	$l$ , км	$\Delta C_{дс}$ , %	$l$ , км	$\Delta C_{дс}$ , %	$l$ , км	$\Delta C_{дс}$ , %
БПР	1,0	50	2,0	23	2,0	20
	3,0	30	4,0	24	7,5	16
ЛПР	0,5	100	0,5	190	0,5	185
	7,5	35	2,0	90	2,0	100

Проведемо порівняння значень ГДС з табл. 2. В зв'язку тим, що диктуючим параметром було прийнято витрати стічних вод на випусках, співвідношення ГДС на цих випусках повинні наближатися до *оптимального* співвідношення  $q_1 : q_2 : q_3 = 5 : 3 : 4$  (сума чисел – 12). В останніх трьох графах табл. 2 представлені величини  $M_1 : M_2 : M_3$ . Видно, що при БПР оптимальне співвідношення спостерігається 9 разів, а при ЛПР-2 рази. Менше відрізняються від оптимального при БПР і інші співвідношення.

Особливої уваги заслуговує значення концентрації формальдегіду в нижньому граничному створі ( $\Phi C_3$ ). Це значення повинно забезпечувати сприятливі умови для *нижче розташованих* за течією водокористувачів (зокрема водоскидувачів) і гарантувати екологічну безпеку. При БПР задається  $C_{ф,3} < C_{фд,3} = 0,04$  г/м<sup>3</sup>. При ЛПР значення  $C_{ф,3}$  розраховується за формулою (22), але ніяк не обмежується.

На рис. 6 представлені графіки залежності  $C_{ф,3}$  від розмірів третього інтервалу  $l$ . Видно, що при ЛПР для літнього періоду необхідне значення підтримується, коли  $l \geq 1,3$  км (точка *a* на графіку), для зимового періоду – при  $l \geq 3$  км (точка *b*), для випадку  $n_c = 1$  – при  $l \geq 7,5$  км (точка *c*). Такі розбіжності результатів пояснюється більш значним впливом процесів самоочищення в літній період і відсутністю цього впливу за умов розгляду формальдегіду, як консервативної речовини ( $n_c = 1$ ). БПР дозволяє забезпечити необхідне значення  $C_{ф,3}$  на будь-якій відстані за течією від  $B_3$ .

### Загальні висновки

1. Басейновий принцип розрахунку ГДС речовин є ефективним засобом забезпечення в річці або на її ділянці більш-менш *оптимального* розподілення асимілюючої спроможності між окремими водоскидувачами, створення для них відносно однакових умов водокористування та витрат коштів на очищення стічних вод, а також гарантування залишкових значень фонові концентрації на виході з ДАС та екологічного благополуччя водного об'єкта.



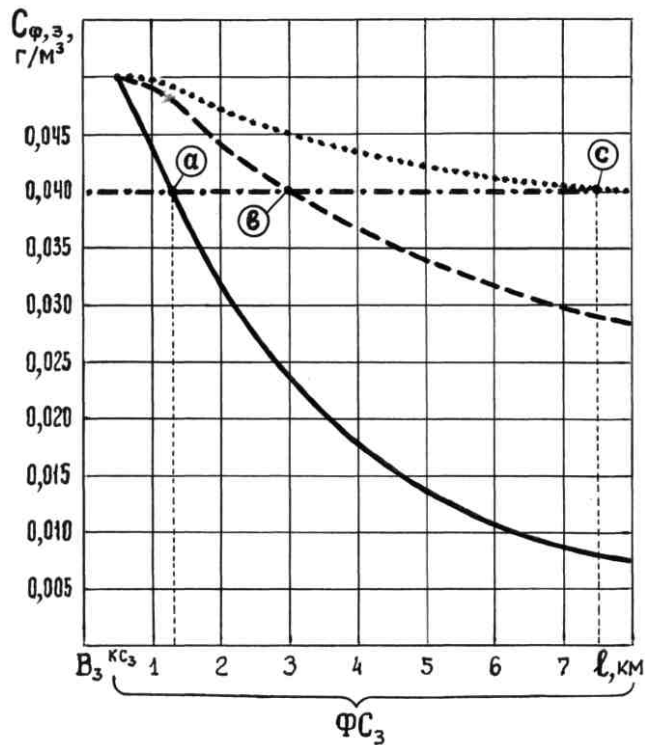


Рис. 6. Графіки концентрацій формальдегіду в нижньому граничному створі ( $\Phi C_3$ ) при БПР для будь-якої пори року (-·-·-·-) та при ЛПР для літнього (—) і зимового (- - -) періодів, а також за умови розгляду цієї речовини, як консервативної (· · · · ·)

2. Реалізація БПР можлива лише при *невичерпаній* АС на розглядаємій ділянці річки і наявності *єдиного контролюючого органу*, який би поділив АС між окремими водоскидувачами і, що найголовніше, міг би *забезпечити виконання* прийнятих рішень щодо цього розподілення.

3. Як впливає з попереднього пункту, впровадження БПР пов'язане із суттєвими труднощами, особливо зі створенням ефективно діючого ЄКО. Тому більш простий і широко розповсюджений ЛПР в багатьох випадках може замінити БПР і навіть мати суттєві переваги (при значній відстані на річці між випусками стічних вод, вичерпаності АС та інш.).

4. Остаточний висновок щодо вибору принципу розрахунку ГДС речовин та визначення заходів і споруд, які забезпечать його реалізацію, слід приймати на альтернативній основі після необхідних досліджень і розрахунків.

### Список літератури

1. *Інструкція* про порядок розробки та затвердження гранично-допустимих скидів (ГДС) речовин у водні об'єкти із зворотними водами. Х.: Укр НЦОВ, ЮНИТЕП, 1994. – 80 с.
2. *Канализация населенных мест и промышленных предприятий: справочник проектировщика*. – М.: Стройиздат, 1981. – 639 с.
3. *Лапшев Н.Н.* Расчеты выпусков сточных вод. – М.: Стройиздат, 1977. – 88 с.
4. *Петренко О.С.* Охорона водних ресурсів. Умови скиду стічних вод в поверхневі водні об'єкти: навчальний посібник. – К.: КНУБА, 2005. – 144 с.