

Дмитрієва О. О.,  
Тертичний О. Л.,  
Хоренжя І. В.

## МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ОПЕРАТИВНОГО УПРАВЛІННЯ РЕЖИМАМИ РОБОТИ СИСТЕМИ ВОДОВІДВЕДЕННЯ НАСЕЛЕНИХ ПУНКТІВ

Висвітлено питання визначення параметрів роботи системи водовідведення населених пунктів, які забезпечать захист очисних споруд від надходження забруднених вод понад нормативні вимоги. Наведено фрагмент керованого модулю, який призначений для перехоплення вод, у випадку їх значного забруднення. Аналітично визначенні параметри, що характеризують режими наповнення та спорожнення регулюючих ємностей системи захисту очисних споруд.

**Ключові слова:** система водовідведення; режим роботи; виробничі, побутові, поверхневі та дренажні води.

### 1. Вступ

Існуючі системи водовідведення населених пунктів (НП) є екологічно небезпечними [1–3]. В [4, 5] показано, що для їх перетворення на екологічно безпечні системи необхідно здійснити ряд заходів, важливим з яких є здійснення управління режимами роботи системи водовідведення при подачі стічних (виробничих, побутових, поверхневих) та дренажних вод на біологічні очисні споруди (БОС) у штатних та аварійних ситуаціях.

### 2. Аналіз основних досліджень і публікацій

БОС НП України, а отже і поверхневі водні об'єкти, в які скидаються очищені зворотні води з БОС, є беззахисними перед сумішшю аварійних та несанкціонованих скидів виробничих, поверхневих стічних і дренажних вод, забруднених внаслідок аварій і катастроф [6]. Це обумовлено тим, що у водовідвідних мережах України не передбачена система захисту БОС від надходження зворотних вод, забруднених понад нормативні вимоги. В [7] показано, що для подолання цієї проблеми потрібно додавати в існуючі системи водовідведення керованого модулю. При цьому використання модулю визначено тільки в загалі. Відомі моделі SWWM та GWLF [8, 9], що засновані на оцінці впливу поверхневого стоку з урбанізованих територій, не дозволяють їх використовувати для автоматизації роботи керованого модулю.

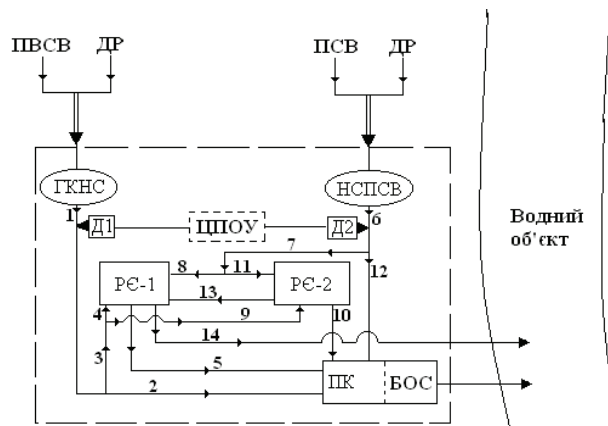
### 3. Мета статті

Мета статті полягає у розробці математичної моделі вибору параметрів роботи системи водовідведення НП (її керованого модулю) для захисту БОС від надходження забруднених вод понад нормативні вимоги.

### 4. Виклад основного матеріалу

**4.1. Характеристика схеми фрагменту керованого модулю.** Системи водовідведення НП України рекомендується доповнити наведеним фрагментом (рис. 1), який призначений для регулювання подачі стічних і дре-

нажних вод на БОС НП та перехоплення цих вод, у випадку їх забруднення понад нормативні вимоги. Наведемо ключові елементи цього фрагмента та їх функціонування.



**Рис. 1.** Схема фрагменту керованого модулю: ПВСВ — побутово-виробничі стічні води; ДР — дренажні води; ПСВ — поверхневі стічні води; ГКНС — головна каналізаційна насосна станція; НПСВБ — насосна станція поверхневих і дренажних стічних вод; Д1, Д2 — датчики автоматизованої системи контролю та регулювання стічних і дренажних вод; ЦПОУ — центральний пункт оперативного управління; РЕ-1, РЕ-2 — регулюючі ємності; ПК — приймальна камера БОС НП; 1–14 трубопроводи стічних і дренажних вод

Спочатку розглянемо регулювання подачі на БОС суміші ДР і ПВСВ вод та їх перехоплення у випадку, якщо вони забруднені понад нормативні вимоги аварійними або несанкціонованими скидами. Суміш ДР і ПВСВ НП по трубопроводу 1 (рис. 1) подається від ГКНС до датчиків Д1 автоматизованої системи контролю та регулювання стічних і дренажних вод (АСКРСДВ), яка знаходиться у ЦПОУ. Ця система здійснює вимірювання в трубопроводі 1 витрат води та концентрацію небезпечних речовин, що характерні для суміші ДР і ПВСВ конкретного НП. Датчики Д1 дозволяють вимірювати концентрацію небезпечних речовин у безперервному режимі (п.п. 4.3).

Якщо АСКРСДВ не реєструє перевищення концентрації хоча б однієї з небезпечних речовин понад

гранично-допустимі концентрації (ГДК) у воді, яка спрямовується на БОС, то суміш зазначених вод подається АСКРСДВ на ПК БОС по трубопроводах 1, 2. В іншому випадку ці води, забруднені понад нормативні вимоги, спрямовуються по трубопроводах 1, 3, 4 до регулюючої ємності РЕ-1 та накопичуються в ній. Далі, ця суміш подається АСКРСДВ з РЕ-1 на ПК БОС по трубопроводу 5 у ті періоди часу, коли витрата усіх інших ДР і ПВСВ, що спрямовуються на БОС, менше максимальної витрати  $Q_{\max}$ , на яку спроектовані БОС, та коли ПСВ і ДР не надходять до БОС з регулюючої ємності РЕ-2 або з НСПСВ. Витрату стічних вод, що подаються на БОС з РЕ-1, АСКРСДВ визначає так (п.п. 4.2), щоб регулююча ємність РЕ-1 спорожнявалася за мінімальний час, і щоб при цьому не порушувалися проектні умови подачі стічних вод на БОС.

Якщо забруднену понад нормативні вимоги суміш ДР і ПВСВ треба відводити у ємність РЕ-1, а в ній проводяться ремонтні або експлуатаційні роботи, то зазначена вище суміш подається по трубопроводах 1, 3, 9 у ємність РЕ-2 та накопичується в ній. У цьому випадку, забруднені понад нормативні вимоги ДР і ПВСВ подаються АСКРСДВ з РЕ-2 у ПК БОС по трубопроводу 10 у ті періоди часу, коли годинна витрата усіх інших стічних вод, що надходять до БОС, менше  $Q_{\max}$ , та коли ПСВ і ДР не потрапляють на БОС від НСПСВ або з ємності РЕ-1. При цьому витрата стічних і ДР, що подаються на БОС з РЕ-2, визначається АСКРСДВ так (п.п. 4.2), щоб ємність РЕ-2 спорожнявалася за мінімальний час, і при цьому не порушувалися проектні умови подачі стічних вод на БОС. Відзначимо, що спорожнення регулюючих ємностей РЕ-1 і РЕ-2 за мінімальний час є дуже важливим, бо якщо ці ємності не є порожніми, то у разі необхідності вони можуть бути «нездатними прийняти» стічні і дренажні води.

Розглянемо тепер регулювання подачі на БОС суміші ПСВ і ДР та їх перехоплення у випадку, коли їх витрати разом з ПВСВ перевищують  $Q_{\max}$ , або коли суміш після НСПСВ забруднена понад нормативні вимоги внаслідок техногенних аварій і катастроф. Суміш ПСВ і ДР НП по трубопроводу 6 подається від НСПСВ до датчиків Д2 автоматизованої системи контролю та регулювання стічних і дренажних вод, які вимірюють в трубопроводі 6 витрату води та концентрацію небезпечних речовин, що характерні для суміші розглядаємих вод конкретного НП. Спочатку розглянемо випадок, коли датчики Д2 не реєструють у трубопроводі 6 перевищення концентрації хоча б однієї з небезпечних речовин понад ГДК, тобто коли поверхневі стічні води не забруднені понад нормативні вимоги.

Якщо БОС не спроектовані на приймання суміші ПСВ і ДР, то ці води подаються АСКРСДВ по трубопроводах 6, 7, 11 у регулюючу ємність РЕ-2 та накопичуються в ній. Якщо БОС спроектовані на приймання цієї суміші і сумарна витрата цих та усіх інших вод, що подаються на БОС, не перевищує свого проектного значення  $Q_{\max}$ , то ПСВ подаються АСКРСДВ у ПК БОС по трубопроводах 6, 12.

Якщо БОС спроектовані на приймання суміші ПСВ і ДР, але сумарна витрата цих та усіх інших вод, що надходять до БОС, перевищує  $Q_{\max}$ , то частина цієї суміші з трубопроводу 6 відводиться АСКРСДВ на БОС по трубопроводу 12 з такою витратою, щоб сумарна витрата усіх стічних і дренажних вод, що подаються

на БОС, дорівнювала  $Q_{\max}$ . Інша ж частина стічних і дренажних вод з трубопроводу 6 по трубопроводах 7, 11 відводиться у регулюючу ємність РЕ-2 та накопичується в ній. Далі АСКРСДВ здійснює відведення вод з РЕ-2 на БОС по трубопроводу 10 у ті періоди часу, коли сумарна витрата усіх інших вод, що потрапляють до БОС, є мінімальною (як правило, такі періоди тривають з 22-ої до 5-ої години кожної доби). Суміш води подається з РЕ-2 у ПК БОС з такою витратою, щоб сумарна витрата цих та усіх інших вод, що потрапляють у цей час до БОС, дорівнювала витраті  $Q_{\max}$ .

Якщо при відведенні суміші ПСВ і ДР, не забруднених понад нормативні вимоги, у ємність РЕ-2 вона повністю заповнюється, то надлишок цих вод потрапляє з РЕ-2 до РЕ-1 по самопливному трубопроводу 13. Якщо ж повністю заповнюється і ємність РЕ-1, то суміш, що розглядається, скидається з РЕ-1 у водний об'єкт (рис. 1) по трубопроводу 14. Така надзвичайна ситуація може виникнути внаслідок дуже тривалих та інтенсивних дощів. Але її імовірність досить мала, бо об'єм кожної з ємностей РЕ-1 та РЕ-2 дорівнює об'єму дощових вод, які утворюються внаслідок дощу з періодом однократного перевищення розрахункової інтенсивності дощу в 1 рік. Крім того, в цій ситуації у водний об'єкт скидаються досить чиста суміш ПСВ і ДР, тому що забруднення, які змиваються цими водами із забудованих територій, розбавляються великою кількістю досить чистої дощової води. Відзначимо, що у випадку, коли ємності РЕ-1 і РЕ-2 наповнені водами, не забрудненими понад нормативні вимоги, спорожнення цих ємностей доцільно починати одночасно, причому бажано скоріше спорожнити ту ємність, для якої є більшою ймовірність необхідності наступного наповнення цієї ємності.

Нарешті розглянемо випадок, коли суміш ПСВ і ДР НП забруднені понад нормативні вимоги внаслідок техногенних аварій та катастроф. Якщо датчики Д2 автоматизованої системи контролю та регулювання стічних і дренажних вод реєструють в трубопроводі 6 перевищення хоча б однієї з концентрацій небезпечних речовин понад ГДК, то суміш вод по трубопроводах 6, 7, 8 подаються АСКРСДВ до ємності РЕ-1 і накопичуються в ній. Подача стічних вод, забруднених понад нормативні вимоги, з РЕ-1 до БОС здійснюється так, як це описано вище. Якщо ПСВ і ДР треба відводити у ємність РЕ-2, а в ній проводяться ремонтні або експлуатаційні роботи, то суміш цих вод подається по трубопроводах 6, 7, 8 у ємність РЕ-1 та накопичуються в ній. Якщо води, що накопичені в РЕ-1, не забруднені понад нормативні вимоги, то відведення цих вод з РЕ-1 до БОС здійснюється АСКРСДВ так, як це описано вище для ємності РЕ-2 при відведенні з неї вод, не забруднених понад нормативні вимоги.

У випадку доповнення систем водовідведення НП описаним вище фрагментом (рис. 1) усі випуски неочищеної суміші ПСВ і ДР у водні об'єкти ліквідуються, а стічні і дренажні води, що потрапляли до цих випусків, відводяться на НСПСВ і подаються на БОС так, як це описано в даному підрозділі.

**4.2. Визначення параметрів, що характеризують режимами наповнення та спорожнення регулюючих ємностей системи захисту БОС.** Режими наповнення та спорожнення регулюючих ємностей РЕ-1, РЕ-2 (рис. 1) характеризуються такими параметрами:  $q_1$  і  $q_2$  — витрати суміші стічних і дренажних вод, що подаються в ємності

РЕ-1 і РЕ-2 при їх наповненні, м<sup>3</sup>/год;  $\tau_1$  і  $\tau_2$  — часи наповнення ємностей РЕ-1 і РЕ-2 сумішшю стічних і дренажних вод, год;  $V_1$  і  $V_2$  — об'єми суміші стічних і дренажних вод, що накопичуються в ємностях РЕ-1 і РЕ-2 внаслідок їх наповнення, м<sup>3</sup>;  $\tilde{q}_1$  і  $\tilde{q}_2$  — витрати суміші стічних і дренажних вод, які відводяться з ємностей РЕ-1 і РЕ-2 при їх спорожненні, м<sup>3</sup>/год;  $\tilde{\tau}_1$  і  $\tilde{\tau}_2$  — часи спорожнення ємностей РЕ-1 і РЕ-2, год.

Як зазначено вище, ці параметри є різними для різних режимів наповнення або спорожнення ємностей РЕ-1 і РЕ-2, та дані параметри визначаються АСКРСДВ за результатами відповідних вимірювань і розрахунків. Опишемо визначення вказаних вище параметрів, що характеризують режими наповнення та спорожнення регулюючих ємностей РЕ-1, РЕ-2 (рис. 1).

**4.3. Визначення параметрів, що характеризують наповнення регулюючих ємностей.** Розглянемо наповнення регулюючої ємності РЕ-1 сумішшю ДР і ПВСВ, забруднених понад нормативні вимоги внаслідок аварійних або несанкціонованих скидів виробничих стічних вод. В цьому випадку АСКРСДВ починає відводити зазначену вище суміш у ємність РЕ-1 в момент часу  $t_{\text{поч}}$ , коли датчики Д1 починають реєструвати перевищення концентрації хоча б однієї з небезпечних речовин понад ГДК, і закінчує відводити цю суміш в момент часу  $t_{\text{кін}}$ , коли датчики Д1 закінчують реєструвати зазначене вище перевищення. Моменти часу  $t_{\text{поч}}$ ,  $t_{\text{кін}}$  визначаються АСКРСДВ за результатами вимірювання концентрації небезпечних речовин датчиками Д1. Час  $\tau_1$  наповнення ємності РЕ-1 розраховується за формулою:  $\tau_1 = t_{\text{кін}} - t_{\text{поч}}$ .

Витрата  $q_1$  суміші стічних і дренажних вод, що відводяться в ємність РЕ-1, визначається АСКРСДВ за результатами вимірювань витрати води у трубопроводі 1 датчиками Д1. Об'єм  $V_1$  суміші стічних і дренажних вод, що накопичуються в ємності РЕ-1, розраховується за формулою:  $V_1 = q_1 \tau_1$ .

Таким же способом визначаються параметри  $\tau_1$ ,  $q_1$ ,  $V_1$  у випадку, коли забруднені понад нормативні вимоги ПСВ і ДР подаються в ємність РЕ-1 по трубопроводах 6, 7, 8. В цьому випадку для визначення вказаних вище параметрів використовуються результати відповідних вимірювань, що здійснюються датчиками Д2. Аналогічним способом визначаються параметри  $\tau_2$ ,  $q_2$ ,  $V_2$ , коли забруднена понад нормативні вимоги суміш ПВСВ і ДР подається в ємність РЕ-2 по трубопроводах 1, 3, 9. Зазначені параметри визначаються за показаннями датчиків Д1.

Розглянемо випадок, коли суміш ПСВ і ДР, не забруднені понад нормативні вимоги, подаються у регулюючу ємність РЕ-2 по трубопроводах 6, 7, 11.

Якщо БОС не спроектовані на приймання суміші поверхневих стічних і дренажних вод, то ці води подаються у регулюючу ємність РЕ-2 з витратою  $Q_6$ , яка вимірюється в трубопроводі 6 датчиками Д2. В даному випадку витрата  $q_2$  цих вод, що подаються у ємність РЕ-2, є  $q_2 = Q_6$ . Час  $\tau_2$  такої подачі залежить від тривалості  $\tau^*$  утворення цих вод (внаслідок відповідного дощу, танення снігу, тощо) та від об'єму  $\tilde{V}$  ємностей РЕ-2 і РЕ-1 (об'єми цих ємностей є однаковими). Якщо  $\tau^* q_2 \leq \tilde{V}$ , то за час  $\tau^*$  ємність РЕ-2 не переповнюється. В цьому випадку  $\tau_2 = \tau^*$ , а об'єм  $V_2$  води, що накопичується в ємності РЕ-2, є  $V_2 = q_2 \tau^*$ . Якщо ж  $\tau^* q_2 > \tilde{V}$ , то за час  $\tau^*$  ємність РЕ-2 переповнюється. В цьому випадку  $V_2 = \tilde{V}$ , а  $\tau_2 = \tilde{V}/q_2$ .

Якщо БОС спроектовані на приймання суміші ПСВ і ДР, але сумарна витрата цих та усіх інших стічних вод, що надходять до БОС, перевищує витрату  $Q_{\text{max}}$  на яку спроектовані БОС, то частина суміші ПСВ і ДР з трубопроводу 6 відводиться на БОС по трубопроводу 12 з витратою  $Q_{12}$ , яка визначається виходячи з умови, що сумарна витрата усіх вод, що подаються в цей час на БОС, дорівнює  $Q_{\text{max}}$ :

$$Q_{12} = Q_{\text{max}} - Q, \quad (1)$$

де  $Q$  — витрата суміші побутово-виробничих стічних і дренажних вод у трубопроводі 1 (вона вимірюється датчиками Д1).

Інша ж частина ПСВ і ДР з трубопроводу 6 по трубопроводах 7, 11 відводиться у регулюючу ємність РЕ-2. При цьому рівняння водного балансу, яке описує розгалуження потоку цих вод у трубопроводі 6 на два потоки у трубопроводах 7 і 12, має вигляд:

$$Q_{12} = Q_7 + Q_6, \quad (2)$$

де  $Q_7$  — витрата води у трубопроводі 7.

Відзначимо, що в даному випадку  $q_2$  є витратою суміші ПСВ і ДР, які подаються у ємність РЕ-2, є  $q_2 = Q_7$ . Підставляючи (1) у (2) і розв'язуючи отримане рівняння відносно витрати  $Q_7$ , знаходимо:

$$Q_7 = q_2 = Q_{\text{max}} - Q - Q_6. \quad (3)$$

В даному випадку параметри  $\tau_2$  і  $V_2$  розраховуються за такими ж формулами, як і в розглянутому вище випадку, коли БОС не спроектовані на приймання суміші ПСВ і ДР. При цьому в зазначених вище формулах використовується значення  $q_2$ , що розраховане за формулою (3).

В наступному підрозділі розглядається розрахунок параметрів, що характеризують спорожнення ємностей РЕ-1, РЕ-2. Для такого розрахунку необхідно визначити концентрації небезпечних речовин у стічних і дренажних водах, що накопичуються в ємностях РЕ-1, РЕ-2 внаслідок їх наповнення. Опишемо визначення вказаних вище концентрацій за результатами їх вимірювання датчиками Д1, Д2 під час наповнення ємностей РЕ-1, РЕ-2.

Як зазначено вище, датчики Д1, Д2 вимірюють концентрацію небезпечних речовин в безперервному режимі. Це означає, що один із зазначених датчиків вимірює концентрації  $C_1, C_2, \dots, C_N$  деякої небезпечної речовини через певні однакові проміжки часу тривалістю  $\Delta t$  (рис. 2). На рис. 2 момент часу  $t_1$  відповідає початку наповнення одної з ємностей РЕ-1 і РЕ-2, а момент часу  $t_2$  — кінцю наповнення. Середня (за часом) концентрація  $\tilde{C}$  даної небезпечної речовини у стічних водах, що накопичуються в даній регулюючій ємності, розраховується за формулою:

$$\tilde{C} = \frac{1}{t_N - t_1} \int_{t_1}^{t_N} C(t), \quad (4)$$

де  $C(t)$  — концентрація розглядуваної небезпечної речовини в залежності від  $t$ .

Визначений інтеграл у правій частині співвідношення (4) можна наближено розрахувати за формулою трапеції [10]:

$$\int_{t_1}^{t_N} C(t) dt = \frac{\Delta t}{2} (C_1 + 2C_2 + 2C_3 + \dots + 2C_{N-2} + C_{N-1}), \quad (5)$$

де  $\Delta t$  — тривалість часового інтервалу, через який вимірюються концентрації небезпечних речовин (рис. 2);  $C_i$  — концентрація даної небезпечної речовини в момент часу  $t_i$ ;  $N$  — кількість вимірювань концентрації речовини у стічних водах під час їх відведення в регулюючу ємність.

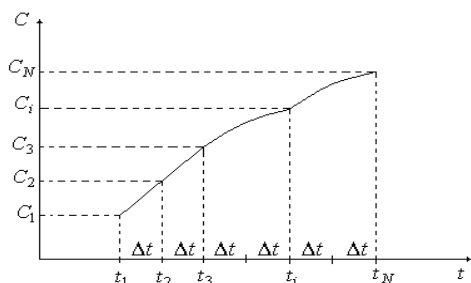


Рис. 2. Концентрація  $C$  деякої небезпечної речовини в залежності від часу  $t$  (за результатами вимірювання датчиків Д1, Д2 у безперервному режимі)

Підставляючи (5) у (4), одержимо:

$$\tilde{C} = \frac{\Delta t (C_1 + 2C_2 + 2C_3 + \dots + 2C_{N-2} + C_{N-1})}{2(t_N - t_1)}. \quad (6)$$

**4.4. Визначення параметрів, що характеризують спорожнення регулюючих ємностей.** Розглянемо спорожнення ємності РЕ-1 у випадку, коли вона наповнена водами, забрудненими понад нормативні вимоги. Як було зазначено вище, необхідно визначити витрату  $\tilde{q}_1$  так, щоб час  $\tilde{\tau}_1$  спорожнення ємності РЕ-1 був мінімальним, і щоб при цьому не порушувалися проектні умови подачі стічних вод на БОС. В даному випадку стічні води відводяться з ємності РЕ-1 по трубопроводу 5 у ПК БОС (рис. 1), де ці води змішуються з іншими водами, що подаються на БОС від ГКНС по трубопроводах 1, 2. У цей час всі інші води не подаються на БОС. Рівняння балансу маси  $i$ -тої небезпечної речовини, яке відбиває зазначене вище змішування вод, має вигляд:

$$C_i Q + \tilde{C}_i \tilde{q}_1 = C_i^{CM} (Q + \tilde{q}_1), \quad (7)$$

де  $\tilde{C}_i$ ,  $C_i$  — концентрації  $i$ -тої речовини відповідно в ємності РЕ-1 та в трубопроводі 1;  $Q$  — витрата суміші стічних і дренажних вод в трубопроводі 1;  $C_i^{CM}$  — концентрація  $i$ -тої речовини у суміші стічних і дренажних вод, яка потрапляє з приймальної камери до БОС;  $\tilde{q}_1$  — витрата суміші стічних і дренажних вод, що відводяться з ємності РЕ-1.

Витрата  $Q$  та концентрація  $C_i$  вимірюються датчиками Д1, а концентрація  $\tilde{C}_i$  визначається за формулою, що аналогічна формулі (6). В даному випадку під час відведення стічних вод з РЕ-1 повинні виконуватися такі умови:

$$C_i^{CM} \leq C_i^{ГДК} \quad (i=1, 2, \dots, M), \quad (8)$$

$$C_i \leq C_i^{ГДК} \quad (i=1, 2, \dots, M), \quad (9)$$

$$\tilde{C}_i > C_i^{ГДК} \quad (i=1, 2, \dots, M), \quad (10)$$

$$\tilde{q}_1 + Q \leq Q_{max}, \quad (11)$$

де  $C_i^{ГДК}$  — гранично допустима концентрація  $i$ -тої небезпечної речовини у воді, яка спрямовується на біологічне очищення;  $M$  — кількість небезпечних речовин у стічних і дренажних водах, що характерні для даного НП;  $Q_{max}$  — максимальна сумарна витрата стічних і дренажних вод, на яку спроектовані БОС.

Виконання умови (8) забезпечує дотримання норми якості стічних і дренажних вод, що подаються на БОС. Умова (9) відповідає тому, що води, які подаються на БОС від ГКНС, не забруднені понад нормативні вимоги, а умова (10), — що води, які відводяться з ємності РЕ-1, забруднені понад нормативні вимоги. Виконання умови (11) забезпечує неперевикнення сумарної витрати стічних і дренажних вод, що подаються на БОС, понад проектні значення  $Q_{max}$ . Відзначимо, що при виконанні умов (8), (11) не порушуються проектні умови подачі суміші стічних і дренажних вод на ОС.

Розв'язуючи рівняння (7) відносно  $\tilde{q}_1$ , одержимо:

$$\tilde{q}_1 = Q \frac{C_i^{CM} - C_i}{\tilde{C}_i - C_i^{CM}}. \quad (12)$$

Із (8)–(10) випливає, що:

$$\tilde{C}_i > C_i, \quad (13)$$

$$\tilde{C}_i > C_i^{CM}. \quad (14)$$

Враховуючи (14), а також умови  $Q > 0$  і  $\tilde{q}_1 > 0$ , із (12) одержимо:

$$C_i^{CM} > C_i. \quad (15)$$

Покажемо, що при зменшенні концентрації  $\tilde{C}_i$  зменшується час  $\tilde{\tau}_1$  спорожнення ємності РЕ-1. Із (12) знаходимо:

$$\frac{\partial \tilde{q}_1}{\partial \tilde{C}_i} = -Q \frac{C_i^{CM} - C_i}{(\tilde{C}_i - C_i^{CM})^2}. \quad (16)$$

Якщо врахувати умову (15), то із (16) одержимо:

$$\frac{\partial \tilde{q}_1}{\partial \tilde{C}_i} < 0.$$

Виконання останньої умови означає, що при збільшенні концентрації  $C_i$  зменшується витрата  $\tilde{q}_1$ . Отже, при зменшенні концентрації  $C_i$  витрата  $\tilde{q}_1$  збільшується. Очевидно, що при цьому зменшується час  $\tilde{\tau}_1$ . Таким чином, при зменшенні концентрації  $\tilde{C}_i$  час  $\tilde{\tau}_1$  також зменшується.

Покажемо, що при збільшенні концентрації  $C_i^{CM}$  збільшується витрата  $\tilde{q}_1$ , а отже, при збільшенні витрати  $\tilde{q}_1$  збільшується концентрація  $C_i^{CM}$ .

Із (12) знаходимо:

$$\frac{\partial \tilde{q}_1}{\partial C_i^{CM}} = Q \frac{\tilde{C}_i - C_i}{(\tilde{C}_i - C_i^{CM})^2}. \quad (17)$$

Із (13), (17) випливає, що:  $\frac{\partial \tilde{q}_1}{\partial C_i^{CM}} > 0$ .

Виконання цієї умови означає, що при збільшенні концентрації  $C_i^{CM}$  збільшується витрата  $\tilde{q}_1$ . Але, відпо-

відно до (8), максимально допустиме значення концентрації  $C_i^{cm}$ , при якому не порушуються норми якості стічних і дренажних вод, що подаються на БОС, є:

$$C_i^{cm} = C_i^{ГДК}. \quad (18)$$

Підставляючи (18) у (12), знаходимо таке максимально допустиме значення витрати  $\tilde{q}_1$ :

$$\tilde{q}_1 = Q \frac{C_i^{ГДК} - C_i}{\tilde{C}_i - C_i^{ГДК}}. \quad (19)$$

Із (19) видно, що кожній  $i$ -тій речовині відповідає своє значення максимально допустимої витрати  $\tilde{q}_1$ . Але ця витрата повинна бути однаковою для всіх речовин. Враховуючи це, а також формулу (19) і те, що при зростанні витрати  $\tilde{q}_1$  зростає концентрація  $C_i^{cm}$ , знаходимо таку максимально допустиму витрату  $\tilde{q}_1^{max}$ , яка є задовільною для всіх речовин:

$$\tilde{q}_1^{max} = Q \cdot \min_{i=1}^M \left( \frac{C_i^{ГДК} - C_i}{\tilde{C}_i - C_i^{ГДК}} \right). \quad (20)$$

Очевидно, що витраті  $\tilde{q}_1^{max}$  відповідає мінімальне значення часу  $\tilde{\tau}_1$  спорожнення ємності РЕ-1. Із (19), (20) видно, що максимально допустима витрата  $\tilde{q}_1^{max}$  дорівнює мінімальному із значень витрати  $\tilde{q}_1$ , розрахованих за формулою (19) при  $i = 1, 2, \dots, M$ . Нехай вказаному вище мінімальному значенню витрати  $\tilde{q}_1$  відповідає небезпечна речовина з номером  $i = s$  ( $s \leq M$ ). Цю речовину можна назвати лімітуючою речовиною, бо мінімальний час  $\tilde{\tau}_1$ , який відповідає витраті  $\tilde{q}_1^{max}$  при даному значенні концентрації  $\tilde{C}_s$ , можна зменшити лише внаслідок зменшення концентрації  $\tilde{C}_s$  саме цієї  $s$ -тої речовини. Дійсно, враховуючи наведене вище визначення лімітуючої речовини, формулу (20) можна записати так:

$$\tilde{q}_1^{max} = Q \cdot \frac{C_s^{ГДК} - C_s}{\tilde{C}_s - C_s^{ГДК}}.$$

З останньої формули видно, що при зменшенні концентрації  $\tilde{C}_s$  збільшується витрата  $\tilde{q}_1^{max}$ , а отже, зменшується мінімальний час  $\tilde{\tau}_1$ , який відповідає витраті  $\tilde{q}_1^{max}$ .

Якщо, наприклад, лімітуючою речовиною є нафтопродукти, то для зменшення мінімального часу спорожнення ємності РЕ-1 концентрацію нафтопродуктів бажано зменшити в цій ємності перед її спорожненням.

Виконання умови (11) забезпечується наступним чином.

Якщо  $\tilde{q}_1^{max} \leq Q_{max} - Q$ , то АСКРСДВ відводить стічні і дренажні води з РЕ-1 на БОС з витратою  $\tilde{q}_1 = \tilde{q}_1^{max}$ . Якщо ж  $\tilde{q}_1^{max} > Q_{max} - Q$ , то АСКРСДВ відводить ці води витратою  $\tilde{q}_1 = Q_{max} - Q$ .

Час  $\tilde{\tau}_1$  спорожнення ємності РЕ-1 визначається за формулою

$$\tilde{\tau}_1 = \frac{V_1}{\tilde{q}_1}, \quad (21)$$

де  $V_1$  — об'єм стічних і дренажних вод, що накопичені в ємності РЕ-1.

Очевидно, що у випадку спорожнення ємності РЕ-2, коли вона наповнена сумішшю стічних і дренажних вод, які є забрудненими понад нормативні вимоги, парамет-

ри  $\tilde{q}_2$ ,  $\tilde{\tau}_2$  визначаються фактично за такою ж самою методикою, як і в описаному вище випадку спорожнення ємності РЕ-1 після її наповнення стічними і дренажними водами, забрудненими понад нормативні вимоги.

Нарешті, розглянемо випадок одночасного початку спорожнення ємностей РЕ-1 і РЕ-2, які наповнені поверхневими стічними і дренажними водами, не забрудненими понад нормативні вимоги. Нехай ймовірність необхідності наступного наповнення ємності РЕ-1 є  $\eta_1$ , а ємності РЕ-2 —  $\eta_2$ . Очевидно, що в цьому випадку доцільно скоріше спорожнити ту ємність, для якої ймовірність необхідності її наступного наповнення є більшою. Тому в даному випадку повинна виконуватися умова:

$$\frac{\tilde{\tau}_1}{\tilde{\tau}_2} = \frac{\eta_2}{\eta_1}. \quad (22)$$

Враховуючи, що:

$$\tilde{\tau}_1 = \frac{V_1}{\tilde{q}_1}, \quad \tilde{\tau}_2 = \frac{V_2}{\tilde{q}_2}, \quad (23)$$

із (23) одержимо:

$$\frac{\tilde{q}_2}{\tilde{q}_1} = \frac{\eta_2 V_2}{\eta_1 V_1}. \quad (24)$$

В даному випадку води, що відводяться на БОС з ємностей РЕ-1 і РЕ-2, змішуються зі ПБСВ і ДР, що подаються на БОС від ГКНС, причому, стічні води, які утворюють зазначену суміш, не забруднені понад нормативні вимоги, а отже і ця суміш не забруднена понад нормативні вимоги. Тому, якщо виконується умова:

$$\tilde{q}_1 + \tilde{q}_2 + Q = Q_{max}, \quad (25)$$

то проектні умови подачі стічних вод на БОС не порушуються, а часи  $\tilde{\tau}_1$  і  $\tilde{\tau}_2$  є мінімальними.

Розв'язуючи систему рівнянь (24), (25) відносно витрат  $\tilde{q}_1$  і  $\tilde{q}_2$ , одержимо:

$$\tilde{q}_1 = (Q_{max} - Q) \frac{\eta_1 V_1}{\eta_1 V_1 + \eta_2 V_2}, \quad \tilde{q}_2 = \tilde{q}_1 \frac{\eta_2 V_2}{\eta_1 V_1}.$$

Часи  $\tilde{\tau}_1$  і  $\tilde{\tau}_2$  спорожнення ємностей РЕ-1 і РЕ-2 розраховуються за формулами (23).

## 5. Висновки

Для забезпечення функціонування описаної вище автоматизованої системи контролю і регулювання стічних і дренажних вод може бути розроблена комп'ютерна програма, яка би реалізовувала запропоновані вище методи розрахунку параметрів, що характеризують режими наповнення і спорожнення регулюючих ємностей РЕ-1, РЕ-2. Результатом цього стане захист біологічних очисних споруд населеного пункту від надходження забруднених вод понад нормативні вимоги.

## Література

1. Яковлев, С. В. Канализация [Текст] : Учебник для вузов по спец. «Водоснабжение и канализация» / С. В. Яковлев, Я. А. Карелин, А. И. Жуков, С. К. Колобанов. — Лет Ме Принт, 2012. — 638 с.

2. Directive 2000/60/ EC of the European Parliament and of the Council of 23 October 2000 establishing a framework for Community action in the field of water policy [Text] // Official Journal of the European Union L 327, 22.12.2000. — 72 p.
3. Tyler Miller G. Living in the Environment (Ninth Edition) [Text] / G. Tyler Miller // Wadsworth Publish Company. — ITP: California USA, 1997. — 800 p.
4. Дмитрієва, О. О. Екологічно безпечне водокористування у населених пунктах України [Текст] / О. О. Дмитрієва. — К. : Рада по вивченню продуктивних сил України НАН України, 2008. — 459 с.
5. Council Directive 91/271/EEC of 21 May 1991 concerning urban waste- water treatment [Text] // Official Journal L 135, 30/05/1991/ P. 0040–0052. CELEX:31991L0271:EN:HTML.
6. Дмитрієва, О. О. Існуюча концепція управління водокористуванням населених пунктів України [Текст] / О. О. Дмитрієва // Продуктивні сили і регіональна економіка. — К. : РВПСУ. — 2006. — Ч. II, С. 228–238.
7. Дмитрієва, О. О. Інноваційні технології перебудови водокористування в населених пунктах України [Текст] / О. О. Дмитрієва // Механізм регулювання економіки. — 2008. — № 2. — С. 196–200.
8. Lewis, A. STORM WATER MANAGEMENT MODEL USER'S MANUAL : Version 5.0. National Risk Management Research Laboratory Office of Research and Development U. S. [Text] / A. Lewis, L. A. Rossman // Environmental Protection Agency Cincinnati. — OH 45268, 1997. — 249 p.
9. Haith, D. A. GWLF: Generalized watershed loading functions (User's Manual, version 2.0) / D. A. Haith, R. Mandel, R. S. Wu. — Cornell University, 1992.
10. Выгодский, М. Я. Справочник по высшей математике [Текст] / М. Я. Выгодский. — М. : АСТ: Астрель, 2006. — 991 с.

#### МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ОПЕРАТИВНОГО УПРАВЛЕНИЯ РЕЖИМАМИ РАБОТЫ СИСТЕМЫ ВОДООТВЕДЕНИЯ НАСЕЛЕННЫХ ПУНКТОВ

Освещены вопросы определения параметров работы системы водоотведения населенных пунктов, которые обеспечат защиту

очистных сооружений от поступления загрязненных вод сверх нормативных требований. Приведен фрагмент управляемого модуля, который предназначен для перехвата вод в случае их значительного загрязнения. Аналитически определены параметры, характеризующие режимы наполнения и опорожнения регулирующих емкостей системы защиты очистных сооружений.

**Ключевые слова:** система водоотведения; режим работы; производственные, бытовые, поверхностные и дренажные воды.

*Дмитрієва Олена Олексіївна, доктор економічних наук, заступник директора з наукової роботи та маркетингу наукових досліджень, зав. лаб. 2.1. Екологічно безпечного водовідведення у водогосподарських системах населених пунктів та господарських об'єктів, Український науково-дослідний інститут екологічних проблем.*

*Тертичний Олег Леонідович, кандидат технічних наук, провідний науковий співробітник, Український науково-дослідний інститут екологічних проблем.*

*Хоренжася Ірина Віталіївна, здобувач, Український науково-дослідний інститут екологічних проблем.*

*Дмитриева Елена Алексеевна, доктор экономических наук, заместитель директора по научной работе и маркетингу научных исследований, зав. лаб. 2.1 Экологически безопасного водоотведения в водохозяйственных системах населенных пунктов и хозяйственных объектов, Украинский научно-исследовательский институт экологических проблем.*

*Тертычный Олег Леонидович, кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник, Украинский научно-исследовательский институт экологических проблем.*

*Хоренжася Ирина Витальевна, соискатель, Украинский научно-исследовательский институт экологических проблем.*

*Dmitrieva Elena, Ukrainian Research and Design Institute for Environmental Problems.*

*Tertychnyi Oleg, Ukrainian Research and Design Institute for Environmental Problems.*

*Horenzhaya Irina, Ukrainian Research and Design Institute for Environmental Problems.*

УДК 666.616

Захаров А. В.

## ВИКОРИСТАННЯ НОВИХ ВИДІВ МІНЕРАЛЬНОЇ СИРОВИНИ УКРАЇНИ В ТЕХНОЛОГІЇ КЕРАМІЧНИХ ВИРОБІВ З ПОКРИТТЯМИ

Встановлено особливості створення керамічних виробів, що містять новий вид польвошпатової сировини як в складі мас, так і в складі поливних покриттів. Керамічну продукцію одержано за технологією однократного випалу завдяки зближенню хімічних складів основи та покриття, при економії енергоресурсів на їх виготовлення.

**Ключові слова:** польвошпатована сировина, однократний випал, економія енергоресурсів.

### 1. Вступ

Перспектива значного зросту виробництва керамічних щільноспечених матеріалів та склокристалічних покриттів можлива лише за умов створення надійної мінерально-сировинної бази, вибору шляхів та вірної оцінки найбільш раціонального використання мінеральних ресурсів, підготовки нових родовищ сировини і оп-

рацювання її технологічної придатності. До актуальних факторів порівняння властивостей керамічної сировини слід також віднести можливість економії енергоресурсів в процесі виробництва продукції та зниження показників собівартості при використанні вітчизняних мінеральних ресурсів.

У зв'язку з відсутністю родовищ високосортних польвових шпатів Україна сьогодні відчуває дефіцит цього