

МЕТОДИ ОЦІНКИ Й УПРАВЛІННЯ ПОВЕРХНЕВИМ СТОКОМ УРБАНІЗОВАНИХ ТЕРИТОРІЙ

У статті розглянуто методи створення оптимальних режимів потрапляння стічних водур. Дніпро з точки зору мінімізації забруднення води як у самому Дніпрі, так і по всій площі водозбору урбанізованої території. Використано методи ГІС-технологій та математичного моделювання процесів змішування та самоочищення стічних вод з урахуванням їхніх якісних показників.

Водозабезпечення великих міських агломерацій та індустріальних центрів є однією з найгостріших проблем сучасності. З ростом чисельності міського населення та значним розвитком

промисловості, теплоенергетики та комунального господарства виникає потреба у збільшенні запасів високоякісної води за рахунок підземних вод. Повільний водообмін у водоносних

горизонтах обмежує можливості збільшення водозбору підземних вод, через те що дуже швидко настає період виснаження підземних джерел води. Збільшення запасів високоякісної води в такій ситуації можливе тільки за рахунок використання поверхневих вод.

Україна належить до країн з досить обмеженими водними ресурсами. Виснаження природних вод у теперішній час відбувається головним чином за рахунок скорочення якісної води у водоймищах під впливом дії антропогенних факторів, зокрема внаслідок забруднення промисловими і комунальними стоками.

Таким чином, проблема охорони природних вод набуває досить гострого характеру. Особливо актуальними стають питання охорони від забруднення водойм басейну Дніпра.

За станом на 1 січня 1990 р. загальна кількість стічних вод України становила 20,6 млрд м³/рік, у т. ч. 2,9 млрд м³/рік (майже 15 %) неочищених і недостатньо очищених. Значна кількість забруднених стічних вод щорічно скидається промисловими і комунальними підприємствами великих міст України: Запоріжжя, Дніпропетровська, Сімферополя, Львова, Полтави, Житомира та інших. У 1995 р. у водні об'єкти Дніпра потрапило 7,9 млрд м³/р стічних вод, з них 3,8 млрд м³/р з комунальних каналізацій, у т. ч. понад 2 млрд м³/р забруднених (з них лише 0,7 млрд м³/р очищено до нормативних показників) [1]. Забруднення водних об'єктів басейну Дніпра у 2000 р. становило: для міді - 1-15 ГДК; цинку - 1-45 ГДК; марганцю - 1-33 ГДК; хрому шестивалентного - 1-12 ГДК. Аналіз даних за 1996-2000 рр. свідчить про неухильне зростання вмісту у воді нафтопродуктів, який у 2000 р. коливався в межах 1-18 ГДК [2].

Незважаючи на те що вживається ряд водоохоронних заходів, у басейні Дніпра водойми продовжують забруднюватись. Основні шляхи забруднення водойм це:

- скидання шахтних і дренажних вод;
- скидання неочищених і недостатньо очищених промислових і комунально-побутових стічних вод;
- змивання забруднень з автострад, територій міст і населених пунктів та інших джерел антропогенного забруднення;
- сільськогосподарський дренажний стік.

Інтенсивність процесу забруднення вод Дніпра можна значно зменшити шляхом регулювання режимом поверхневого стоку урбанізованих територій, зокрема шляхом зменшення швидкості течії поверхневого стоку забруднених вод на окремих його ділянках з метою збільшення

ефективності процесів трансформації і знешкодження забруднюючих речовин.

Відомо, що найшкідливішим процесом забруднення водойм є пряме скидання в русло стічних неочищених промислових і побутових вод, кількість яких щорічно зростає. При цьому екологічна ємність водойм (зокрема Дніпра та й інших річок) України практично вже вичерпана, про що свідчить тенденція до збільшення мінералізації води, зниження рівня кисню у воді та зменшення продуктивності промислової риби. З року в рік в усіх водосховищах Дніпра концентрація фенолів у 4-15 разів перевищує ГДК, вміст нітратів перевищує ГДК у 50-140 разів і т. ін.

Враховуючи згадані вище проблеми, доцільно створити такі режими надходження стічних вод до Дніпра і його приток, які б мінімізували процеси забруднення води як у Дніпрі, так і в підземному середовищі на всій площі водозбору урбанізованих територій. Повноцінний аналіз таких режимів можливий лише на основі застосування математичного моделювання процесів змішування та самоочищення стічних вод з урахуванням швидкостей стоків, їх об'ємів і концентрацій шкідливих речовин у стічних водах. Визначення основних параметрів оптимізації режиму надходження стічних вод мережею водотоків урбанізованої території на прикладі міста Києва здійснюється шляхом проведення імітаційного моделювання динаміки стічних вод і якісних показників води (ХПК, БПК, нітрати, важкі метали тощо).

Математична модель пов'язує функціонально залежністю основні вхідні та вихідні параметри і характеристики моделюючої мережі стічних вод, що скидаються у водотоки різного призначення і які істотно впливають на формування якості води головної річки (Дніпра). Як відомо, екологічна ємність водойм обумовлена можливістю розбавлення стічних вод, а також хімічною, біологічною та фізико-хімічною трансформацією шкідливих речовин, що надходять до водойми. Математичне моделювання дає змогу оцінювати інтенсивність самоочищення стічних вод на урбанізованій території за будь-якої зміни вхідних та керуючих параметрів, а також дозволяє оцінювати значення кожного з параметрів регулювання поверхневим стоком і дати рекомендації з оптимізації режиму скидання стічних вод.

Далеко не кожен водний об'єкт або система характеризуються такими параметрами, які дають змогу управляти процесами формування якості води. Параметри регулювання якості води з'являються лише в тому випадку, коли можна змінювати різні характеристики процесу формування

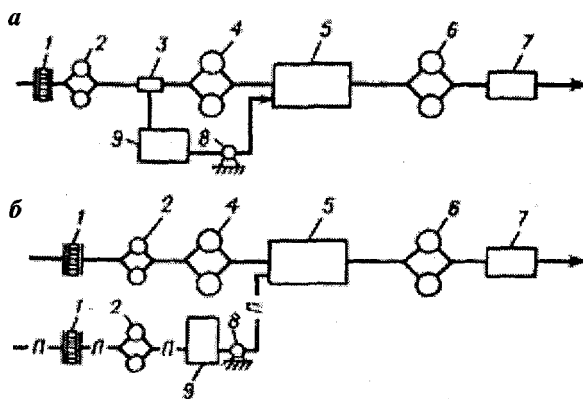


Рис. 1. Схема очистки воды при загальносплавній та роздільній системах каналізації:

a - загальносплавна; *б* - напівроздільна;
1 - решітки, 2 - пісколовки, 3 - розподільна камера,
4 - первинні відстійники, 5 - аеротенки, 6 - вторинні відстійники, 7 - контактні резервуари, 8 - насосні станції, 9 - додаткова ємність

якості води і зменшувати інтенсивність забруднення, а також змінювати морфометричні параметри басейнів самоочищення.

Відомо три основних типи систем відведення поверхневого стоку з міських територій - роздільна, напівроздільна і загальносплавна [6, 8].

При загальносплавній системі каналізації стічні води всіх видів відводяться до водойм єдиною каналізаційною мережею (рис. 1).

При роздільній системі окремі види стічних вод відводяться самостійними каналізаційними мережами. Залежно від виду стічних вод, що транспортуються, каналізаційну мережу розділяють на побутову і дощову (зливову).

При напівроздільній системі каналізації в місцях перетину самостійних каналізаційних мереж роблять водоскидні камери для відводу різних видів стічних вод. Це дозволяє здійснити перепускання найбільш забруднених дощових вод за малих витрат у побутову мережу й відводити єдиним колектором на очисні споруди, а при значних атмосферних опадах викидати порівняно чисті дощові води безпосередньо у водойми. Це означає, що викид дощових вод у водойми здійснюється лише при сильних дощах, що значно знижує рівень забруднення водойм.

Напівроздільна система каналізації має певні переваги порівняно з роздільною і загальносплавною як з економічної, так і екологічної точки зору, оскільки ступінь очищення поверхневих вод разом з міськими стічними водами дуже високий і на виході зі споруд біологічного очищення вміст зважених речовин та органічних сполук, виражених у БПК_{повн}, не перевищує 15-20 мг/л.

Вибір схеми відведення й очищення поверхневого стоку має бути обґрунтований техніко-економічними розрахунками та екологічною експертизою варіантів.

В Україні, як і в більшості розвинених країн, найбільше поширення отримала повна роздільна система каналізації [6, 7]. При цьому на промислових підприємствах України застосовують, як правило, загальносплавні й рідше роздільні системи [7].

У формуванні режиму очищення поверхневих вод урбанізованих територій, незалежно від типу каналізаційної системи, за головний параметр управління прийнято швидкість надходження неочищених і недоочищених стоків до основної водойми (наприклад, Дніпра в м. Києві). Швидкість руху поверхневих вод у каналізаційній мережі стає основним і найефективнішим параметром управління, якщо мережа поверхневого стоку містить певні (резервні) ємності - водні басейни самоочищення, які дають змогу зменшити швидкість течії стічних вод і тим самим збільшити час трансформації забруднюючих речовин (рис. 2). У таких резервних водних басейнах для стічних вод відбуватимуться всі основні процеси самоочищення стоків: змішування, седиментація, хімічне окислення та біохімічна трансформація. За допомогою математичного моделювання визначаються оптимальні розміри й місця розташування таких басейнів, а також здійснюється управління режимами скидів промислових вод по кожній каналізаційній мережі.

Отже, за будь-якої системи водовідведення весь поверхневий стік на промислово-селітебній території міста має здійснюватися через мережу водотоків (на рис. 2 показані стрілками) і басейнів самоочищення стічних вод (на схемі зображені прямокутниками). Така мережа дає змогу регулювати як інтенсивність, так і якість поверхневого водного стоку залежно від інтенсив-

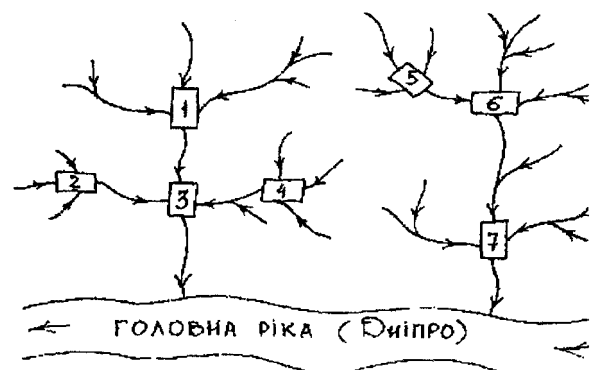


Рис. 2. Фрагмент схеми мережі водних об'єктів, через які здійснюється поверхневий стік

ності атмосферних опадів або інтенсивності скидання промислових вод.

Імітаційна математична модель (ІММ) складається з математичних моделей двох типів – моделі змішування та трансформації стічних вод, що потрапляють у басейни самоочищення, і моделі самоочищення стічних вод у водотоках.

Перша модель має вигляд [4]:

$$\frac{dc^{ij}}{dt} = \sum_{k=1}^{n_i} q_k^j c_k^{ij} - q^j c^{ij} - \alpha c, \quad (1)$$

де q^i , c^{ij} – витрати води i -го басейну стічних вод і концентрація в ньому j -ї забруднюючої речовини; q_k^j , c_k^{ij} – витрати стічних вод з k -го джерела забруднень в i -й басейн і концентрація в них j -ї речовини, α – коефіцієнт самоочищення.

Модель самоочищення стічних вод у водотоках описується таким рівнянням [3, 4]:

$$V_k \frac{dc^{kj}}{dt} = - \left[\gamma_{\min}^j + (\gamma_{\max}^j - \gamma_{\min}^j) e^{-\frac{t}{\mu}} \right] c^{kj}, \quad (2)$$

де V_k – швидкість води в k -му водотоці, c^{kj} – концентрація в ньому j -ї речовини; γ_{\max}^j , γ_{\min}^j – константи швидкості трансформації j -ї речовини в початковий момент часу $t = 0$ та через значний відрізок часу; μ – константа верифікації моделі відповідно до прийнятих одиниць вимірювання часу.

З допомогою розроблених імітаційних математичних моделей процесів самоочищення у басейні та водотоці проведено розрахунки для різноманітних сценаріїв водовідведення з використанням резервних ємностей у каналізаційній мережі. За головний критерій оптимізації обрано

мінімум інтегральної оцінки забруднення стічних вод при їх скиданні в основну водойму (р. Дніпро). Параметрами оптимізації були швидкість потоку води у каналізаційній мережі, розміри й місця розташування резервних ємностей, а також графік скидання промислових вод у каналізаційну мережу.

У результаті розрахунків було встановлено, що навіть без реконструкції існуючої каналізаційної мережі можна суттєво знизити забруднення стічних вод завдяки використанню оптимального графіка скидання забруднених і недоочищених вод промисловими підприємствами, розташованими в басейні водозбору поверхневих вод (наприклад, басейну р. Либіді).

В роботі також розглянуто і проаналізовано методами ГІС-технологій основні характеристики мережі водовідвідних споруд басейну р. Либіді в м. Києві. При цьому визначено оптимальні місця розташування резервних ємностей залежно від категорії джерел забруднення та ландшафтних особливостей території.

Знання динаміки основних параметрів надходження міських стоків дає змогу розробити рекомендації щодо змін режиму надходження неочищених і недостатньо очищених стоків до Дніпра шляхом створення резервних ємностей та оптимального графіка скидання забруднених і недоочищених вод промисловими підприємствами, розташованими в басейні водозбору поверхневих вод. Ці заходи дають змогу при мінімальних фінансових витратах суттєво зменшити інтенсивність надходження забруднених стоків і тим самим знизити концентрацію забруднюючих речовин, які потрапляють у Дніпро та його притоки.

1. Економіка і екологія водних ресурсів Дніпра / В. Я. Шевчук, М. В. Гусев, О. О. Мазуркевич та ін.; За ред. В. Я. Шевчука. – К.: Вища школа, 1996. – 207 с.
2. Національна доповідь про стан навколишнього природного середовища в Україні у 2000 році. – К.: Вид-во Раєвського, 2001. – 184 с.
3. Лаврик В. И., Гвоздяк П. И., Глоба Л. И., Архангельский Е. Ю., Могилевич Н. Ф. Математическое моделирование параметров биореактора при очистке сточных вод // Химия и технология воды. – М. – Т. 22, № 1, 2000. – С. 104–110.
4. Лаврик В. И. Методи математичного моделювання в екології:

- Навч. посіб. – К.: Вид. дім «КМ Академія», 2002. – 203 с.
5. Родзиллер И. Д. Прогноз качества воды водоемов-присмывников сточных вод. – М.: Стройиздат, 1984. – 263 с.
6. Дикаревский В. С., Курганов А. М., Нечаев А. П., Алексеев М. И. Отведение и очистка поверхностных сточных вод. – Л.: Стройиздат, 1990. – 224 с.
7. Кедров В. С., Пальгунов П. П., Сомов М. А. Водоснабжение и канализация. – М.: Стройиздат, 1984. – С. 202–243.
8. Results of National Urban Runoff Program. Final Report. – V. I. NTIS PB 84-185552 / U. S. Environmental Protection Agency. Washington. D. C. 1983.

V. Lavryk, V. Bogolubov

METHODS FOR ANALYSIS AND MANAGEMENT OF DRAINAGE SYSTEM QUALITY IN URBAN AREAS

Information about dynamics of the sewage runoff main parameters allows developing the recommendations for change of the mode of untreated sewage runoff. Creation of reserve receptacles could permit to reduce the sewage runoff intensity and, thereby, to reduce concentration of contaminants, which enter the Dnipro and its tributaries. Main characteristics of Kyiv drainage system are considered and analyzed by means of GIS-technologies.