

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Національний університет кораблебудування
імені адмірала Макарова

**С. С. Ришков, В. В. Благодатний, А. М. Мозговий,
Н. В. Морозова**

**МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ
ДО ВИКОНАННЯ ПРАКТИЧНИХ РОБІТ З ДИСЦИПЛІНИ
"ВОДОПОСТАЧАННЯ, ВОДОВІДВІД, ПОЛІПШЕННЯ
ЯКОСТІ ВОДИ"**

Рекомендовано Методичною радою НУК

Миколаїв 2009

УДК 658.265: 644.65: 614.777

Методичні вказівки до виконання практичних робіт з дисципліни "Водопостачання, водовідвід, поліпшення якості води" / *С.С. Рижков, В.В. Благодатний, А.М. Мозговий, Н.В. Морозова.* – Миколаїв: НУК, 2009. – 44 с.

Кафедра екології

Викладено теоретичні основи для проведення розрахунків водоспоживання та водовідведення, а також визначення якості природних вод. Наведено приклади розрахунків водного балансу, обсягів водоспоживання та стічних вод, необхідного ступеня очищення стічних вод, розбавлення вод у водотоках.

Призначені студентам спеціальності 8.070801 "Екологія та охорона навколишнього середовища", а також можуть бути використані при виконанні розділів дипломних проектів студентами інших спеціальностей.

Рецензент доктор технічних наук, професор Борисенко В.Д.

Згідно з наказом ректора НУК №8 від 09.01.2008 методичні вказівки публікуються в авторській редакції і відповідальність за їх редагування несе автор.

Вступ

Останніми десятиріччями все більшого значення набуває проблема водних ресурсів. Зростання обсягів споживання води, вичерпання експлуатаційних запасів прісної води, забруднення вод скидами промислових підприємств, транспортних засобів, комунальними стічними водами – ось далеко не повний перелік тих факторів, що становлять дедалі більшу загрозу екологічній ситуації на планеті. Значення води як стратегічного ресурсу з кожним роком зростає. Тому у підготовці бакалаврів з екології важливе місце посідає набуття знань про сучасні засоби економного використання води, технічно та екологічно досконалі системи водопостачання та водовідведення, ефективні методи поліпшення якості води.

Дисципліна "Водопостачання, водовідвід, поліпшення якості води" складається з двох модулів: "Якість води та способи її поліпшення" й "Системи водопостачання та водовідведення", обсягом по одному кредиту кожний. До складу цих модулів входять лекційні, практичні та індивідуальні заняття.

Протягом курсу лекцій студенти повинні засвоїти теоретичні основи очищення води у системах водопостачання та водовідведення, вивчити основні закономірності впливу людської діяльності на якість води. Під час дев'яти практичних занять (роботи 1–4 відносяться до першого модулю, 5–9 до другого) студенти повинні оволодіти сучасними методами оцінки якості води, розрахунку показників, систем водопостачання та водовідведення. З цією метою студенти повинні вивчити основні теоретичні положення, викладені у тексті відповідних робіт. Виконання практичних занять № 1, 3, 5–9 полягає у розв'язанні студентами індивідуальних розрахункових завдань згідно з наведеними прикладами. За матеріалом практичних занять № 2, 4 студенти повинні скласти тестування.

Розрахунок водогосподарчого балансу

Водогосподарчий баланс визначає співвідношення між наявними водними ресурсами та потребами водоспоживачів. При його складанні враховують кількість і якість поверхневих і підземних вод, розміри водоспоживання, в тому числі незворотного, обсяги води з урахуванням заходів щодо регулювання стоку, а також розмір стоку, що використовується за межами даної території.

В залежності від завдань народного господарства складаються і використовуються такі водогосподарчі баланси:

звітний, що відображає вже досягнуте використання водних ресурсів, ефективність роботи існуючих водогосподарчих систем і служить для аналізу тенденцій водоспоживання і розробки заходів для його забезпечення;

оперативний, що розробляється на поточний рік з метою раціонального розподілу очікуваних водних ресурсів;

плановий, що відображає завдання розвитку водного господарства, у відповідності з загальним економічним розвитком; ефективності роботи існуючих водогосподарчих систем;

перспективний, що враховує вплив водного фактору на довгострокову перспективу розвитку та розміщення продуктивних сил;

підсумковий, що відображає несприятливі сторони водопостачання протягом тривалого часу (25...30 років).

Видаткова частина водогосподарчого балансу для території містить такі складові (рис. 1.1):

загальні витрати води Q_1 галузями народного господарства;

загальна поворотна витрата води Q_2 , що скидається у річку після використання;

частина поворотної витрати води Q_3 , що могла бути використана повторно в районі I:

$$Q_3 = \alpha \cdot Q_2, \text{ де } \alpha - 0,1 \dots 0,5;$$

найменша витрата Q_4 , яка допускається у річці за вимогами санітарії, судноплавства, відпочинку і розбавлення стічних вод;

необхідна мінімальна витрата Q_5 води на даній ділянці річки :

$$Q_5 = Q_1 - Q_3 + Q_4, \quad (1.1)$$

загальні втрати води на річковій ділянці в межах району I:

$$Q_6 = Q_1 - Q_2. \quad (1.2)$$

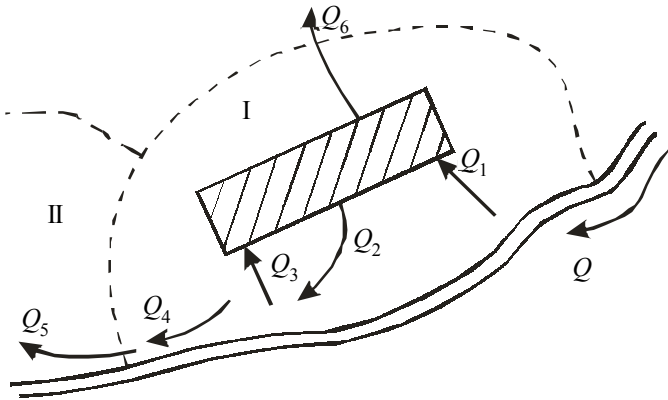


Рис. 1.1. Складові водогосподарчого балансу:
I; II – райони, для яких складається водогосподарчий баланс

До прибуткової частини водогосподарчого балансу (водні ресурси) території входять такі складові:

надходження води на дану територію:

$$V_1 = V_1' - V_1'' + V_1''' + V_1''', \quad (1.3)$$

де V_1' – природний приплив поверхневих і підземних вод із сусідніх водозборів; V_1'' – поворотні води з ділянок, що розташовані вище даної території; V_1''' – поверхневий і підземний стоки, сформовані в межах границь власного водозбору; V_1'''' – перекидання води із сусідніх річкових басейнів;

регулювання стоку за рахунок використання обсягу водоймищ, розташованих у межах району:

$$V_2 = V_2' - (V_2'' + V_2'''), \quad (1.4)$$

де V_2' – спрацювання водоймищ; V_2'' – наповнення водоймищ; V_2''' – втрати води на фільтрацію і випаровування;

загальний обсяг зарегульованого стоку, який може бути наданий усім

водокористувачам даного району:

$$V_3 = V_1 - V_2; \quad (1.5)$$

витрата води у річищі річки, який буде надходити в розташований нижче за течією район II:

$$V_4 = V_3 - Q_6; \quad (1.6)$$

надлишок стоку понад мінімально допустимими витратами:

$$V_5 = V_4 - Q_6. \quad (1.7)$$

Аналіз водогосподарчого балансу дозволяє виявити вимоги до кількості, якості і термінів використання води у межах регіону відповідно зі складом водоспоживачів, їхнім розміщенням на території басейну, та очікуваними тенденціями зміни обсягів водоспоживання. Водогосподарчі баланси складаються роздільно по підземних і поверхневих водах.

Умовою позитивного водного балансу по підземних водах є:

$$Q_e - Q_n > 0, \quad (1.8)$$

де Q_e – експлуатаційні запаси або природні ресурси підземних вод; Q_n – сумарний об'єм підземних вод, що використовуються.

Якщо баланс негативний, необхідно вжити заходів щодо збільшення забору поверхневих вод, штучного заповнення і збагачення підземних вод.

Позитивний водогосподарчий баланс поверхневих вод досягається за умови:

$$C - \Delta C - \psi - C_n \pm \Delta V > 0, \quad (1.9)$$

де C – стік з розглянутої території; ΔC – стік, що формується на ділянці; ψ – споживання води на ділянці,

$$\psi = Q_\Sigma + \Delta Q_\Sigma - q; \quad (1.10)$$

Q_Σ – сумарний відбір води з річки для водоспоживачів і подача на інші ділянки території; ΔQ_Σ – зменшення річкового стоку за рахунок відбору підземних вод; q – промислові, комунально-побутові, дренажні й інші стічні води, що надходять у річку на ділянці і можуть бути використані повторно; C_n – необхідний транзитний стік у кінцевій ділянці створу, згідно з вимогами санітарії, забезпечення судноплавства, відпочинку, рибного господарства, умови розбавлення стічних вод; тощо; ΔV – наповнення (–) або спрацювання (+) водоймищ.

При негативному балансі необхідне регулювання або перерозподіл стоку. У деяких випадках допускається скорочення подачі води для систем водяного зрошення, сільськогосподарських культур, річкового транспорту, гідроенергетики і рибного господарства, тобто

$$\begin{aligned}\psi' &= k_1 \cdot Q_{\Sigma} + \Delta Q_{\Sigma} - k_2 \cdot q \\ C' &= k_3 \cdot C_{\text{н}},\end{aligned}\tag{1.11}$$

де k_1, k_2, k_3 – понижуючі коефіцієнти, рівні $0,8 \dots 1,0$.

У ряді випадків водогосподарчі баланси складають з урахуванням якості води, процесів перетворення забруднюючих речовин у водних об'єктах та техніко-економічних міркувань. При цьому ліміти для водокористувачів встановлюють з урахуванням допустимої різниці між нормативним і фактичним навантаженням по стоках.

Приклад. Розрахувати водогосподарчий баланс району для маловодного року для забезпеченості 95 %, якщо загальні витрати води складають 750 млн м³, загальні зворотні втрати води – 431 млн м³; частина зворотних витрат, що використовуються повторно – 217 млн м³; найменші допустимі витрати води у річці – 516 млн м³; надходження води на дану територію 2375 млн м³; витрати води за рахунок використання водосховищ складають 620 млн м³.

Розв'язок. Знаходимо потрібні мінімальні витрати води для даного району у маловодний рік із забезпеченістю 95 %:

$$Q_5 = 750 - 217 + 516 = 1049 \text{ млн м}^3.$$

Загальні втрати води на річковій ділянці у межах даного району:

$$Q_6 = 750 - 431 = 319 \text{ млн м}^3.$$

Загальний об'єм зарегульованого стоку:

$$V_3 = 2375 - 620 = 1755 \text{ млн м}^3.$$

Витрати води, що надходять у райони, які розташовані нижче:

$$V_4 = 1755 - 319 = 1436 \text{ млн м}^3.$$

Надлишок наявного стоку:

$$V_5 = 1436 - 516 = 920 \text{ млн м}^3.$$

Показники якості природної води

Фізичні показники якості води. Температура води підземних джерел є сталою (8...12 °C), а у поверхневих джерел змінюється по сезонах року (0,1...30 °C) в залежності від надходження підземних вод, скидів, теплообміну з навколишнім середовищем тощо.

Прозорість і каламутність характеризують наявність у воді завислих речовин (частинок піску, глини, мулу, планктону, водоростей та ін.). Їхній вміст вимірюється у г/м³ (мг/л), а прозорість визначається за висотою стовпчика води, крізь який видно хрестоподібні лінії товщиною 1 мм, або друкарський шрифт.

Кольоровість води зумовлена присутністю гумусних і дубильних речовин, продуктів життєдіяльності або розпаду організмів, що населяють воду, з'єднань заліза, стічних вод або "цвітінням" водоймищ. Вона вимірюється у градусах платиново-кобальтової шкали.

Смаки та запахи природних вод можуть бути природного походження (продукти життєдіяльності або розкладання гідробіонтів, хімічної взаємодії) або штучного (скидання промислових стоків). Розрізняють чотири основні смаки води: солоний, гіркий, солодкий і кислий. Присмаками називають відтінки основних смакових відчуттів: залізистий, лужний, терпкий тощо. Основними запахами природного походження є земляний, рибний, гнильний, сірководневий, ароматичний, болотяний, глинистий та ін., а штучного походження – хлорний, камфорний, аптечний, феноловий, хлорфенольний, запах нафтопродуктів. Інтенсивність і характер запахів, і присмаків води визначають органолептично, за п'ятибальною шкалою. Нульова оцінка відповідає відсутності запаху (присмаку), 1 бал – дуже слабкому, 2 – слабкому, 3 – помітному, 4 – виразному, 5 – дуже сильному.

Хімічні показники якості води. Солевміст води оцінюють по сухому залишку (мг/л), який утворюється при випаровуванні відомого об'єму води, попередньо профільтрованої через паперовий фільтр. Кількісною характеристикою розчинених у воді мінеральних речовин (мінералізацією води) є сума головних іонів: HCO_3^- , SO_4^{2-} , Cl^- , Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+ . Зростання мінералізації сприяє знаходженню ґрунтових або стічних вод.

Лужність води (мг-екв/л) визначається сумою гідроксильних іонів, що містяться у воді, і аніонів слабких кислот (вугільної та органічних). Розрізняють бікарбонатну, карбонатну і гідратну лужність, а їх сума визначає загальну лужність води. Лужні метали (мг/л) в природних водах звичайно представлені іонами калія і натрія з переважанням останнього.

Жорсткість води зумовлена наявністю в ній солей кальцію і магнію і виражається у мг-екв/л (1 мг-екв/л жорсткості дорівнює 12,16 мг/л іонів магнію). За кордоном жорсткість води вимірюють різними градами жорсткості, які відповідають вмісту CaCO_3 в певному об'ємі води. Жорсткість, викликана карбонатними і бікарбонатними солями кальцію і магнію, називається карбонатною, а кальцієвими і магнієвими солями сірчаної, соляної, кремнієвої і азотної кислот – некарбонатною. Сума карбонатної і некарбонатної жорсткості визначає загальну жорсткість.

Активна реакція води є показником її лужності або кислотності, кількісно вона характеризується концентрацією водневих іонів.

На практиці активну реакцію води виражають водневим показником pH, що є негативним десятковим логарифмом концентрації водневих іонів, тобто $\text{pH} = -\lg [\text{H}^+]$. Для нейтральної води $\text{pH} = 7$, для кислоти – < 7 і для лугів – > 7 . Природні води за величиною pH можна класифікувати на кислі – $\text{pH} = 1 \dots 3$, слабокислі – $\text{pH} = 4 \dots 6$, нейтральні – $\text{pH} = 7$; легко лужні – $\text{pH} = 8 \dots 10$, лужні – $\text{pH} = 11 \dots 14$. Активна реакція природних вод звичайно варіюється в межах 6,5...8,5, що відповідає лімітам питної води.

Окиснюваність води, тобто кількість кисню, мг/л, необхідного для окиснення домішок у даному об'ємі, зумовлена присутністю органічних і деяких легкоокиснюваних неорганічних речовин. У залежності від окиснювача розрізняють перманганатну і біхроматну окиснюваність. Окиснюваність є важливою гігієнічною характеристикою води (ознакою її забруднення побутовими стоками) і нормується для живильної води котлів (впливає на спінювання), охолоджувальної води (через можливе біообростання), води, що використовується при виготовленні синтетичних волокон і пластмас тощо.

Біохімічне споживання кисню – це кількість кисню, мг/л, що необхідна для аеробного біохімічного окиснення органічних сполук у воді протягом двох (БСК₂) чи п'яти діб (БСК₅) або необмеженого часу (БСК_{повн}). За БСК можна оцінювати рівень антропогенної евтрофікації водойм.

Вміст біогенних речовин, тобто таких, що найактивніше беруть участь у життєдіяльності гідробіонтів. На якість води найбільше впливають з'єднання азоту (іони амонію, нітритні й нітратні), що утворюються у воді в результаті відновлення нітритів і нітратів заліза сірководнем, гумусними речовинами і т. д., або в результаті розкладання білкових сполук, що вносяться в водоймище із стічними водами, роблячи воду ненадійною у санітарному відношенні. Сполуки фосфору (H_2PO_4^- , HPO_4^{2-} , PO_4^{3-}) у природних водах присутні в малих кількостях, але істотно впли-

вають на водну рослинність. Тому вміст фосфору визначає рівень продуктивності водойм. До біогенних речовин належать також сполуки кремнію (SiO_3^{2-} , HSiO_3^-), дво- і тривалентного заліза, деякі мікроелементи.

Фтор та йод є активними у біологічному відношенні мікроелементами. Кількість фтору в питній воді (для запобігання карієсу або флюорозу) повинна бути в межах 0,7...1,5 мг/л, а йоду (для уникнення ендемічного зобу) – не менш 10^{-8} мг/л.

Токсичні речовини – миш'як, стронцій, берилій і ін., а також радіоактивні речовини – уран, радій зазвичай потрапляють у водоймища з скиданням стічних вод.

Розчинені у воді гази суттєво впливають на якість води. Так, вуглекислота, сірководень, кисень надають воді за певних умов корозійних властивостей по відношенню до металів і бетонів. Присутність сірководню у воді надає їй неприємного запаху, сприяє корозії металу і може викликати заростання трубопроводів в результаті інтенсивного розвитку сіркобактерій. Вироблені у процесі гниття рослин аміак та метан істотно впливають на технологію хлорування. Вміст кисню є важливою характеристикою фізико-хімічного режиму водоймища та процесів самоочищення.

Крім перелічених загальних застосовують специфічні показники якості води, які характеризують особливості місцевих природних умов та антропогенних впливів на водний об'єкт. До цих показників належать вміст фенолів, синтетичних поверхнево-активних речовин, нафтопродуктів, важких металів та пестицидів. Зазначені речовини шкідливо впливають на якість води та життєдіяльність гідробіонтів. Зокрема, збільшення концентрацій важких металів (As, Cd, Cr, Co, Fe, Ni, Mn, Pb, Hg, Zn, Se, Ag) викликає порушення біологічних процесів у живих організмах, пестициди мають токсичну і мутагенну дію, синтетичні поверхнево-активні речовини погіршують органолептичні якості води та кисневий режим.

Гідробіологічні показники якості води. Видовий склад організмів є індикатором зміни якості води, оскільки його зменшення, як правило, свідчить про зростання рівня забрудненості водойм. Для оцінки видового складу застосовують індекси різноманіття.

Сапробність, тобто ступінь насичення води органічними речовинами, оцінюється за допомогою біоіндикаторів (сапробіонтів). Визначивши їхній кількісний та якісний склад, розраховують індекси сапробності. Вищі значення індексів відповідають вищому рівню забрудненості води.

Функціональні характеристики водойм: величина первинної продукції, індекс самоочищення – самозабруднення, інтенсивність деструкції та ін.

Бактеріологічні показники якості води. Загальне мікробне число, тобто кількість мікроорганізмів у розрахунку на 1 мл досліджуваної води. Цей показник зазвичай визначають шляхом висіву невеликого обсягу досліджуваного зразка води на щільне живильне середовище і підрахування мікробних колоній, які виросли.

Наявність у природній воді патогенних мікроорганізмів. До числа останніх відносяться бактерії й віруси. Для кількісної характеристики вмісту кишкової палички використовують колі-індекс, та колі-титр.

Колі-індекс – це кількість кишкових паличок в одиниці об'єму досліджуваної води. Колі-титр – це найменша кількість води, у якій міститься хоча б одна кишкова паличка. Колі-титр виражають у безрозмірних одиницях. Наприклад, якщо колі-титр дорівнює 300, у 300 мл води міститься одна кишкова паличка. Для переведення колі-титру в колі-індекс треба число 1000 розділити на величину колі-титру. Колі-титр застосовується як індикаторна характеристика забруднення водойм, яка свідчить про потрапляння до них стічних вод.

Практичне заняття № 3

Оцінка якості поверхневих вод суші за гідрохімічними показниками (методика Гідрохімічного інституту)

Метод оцінки якості води водних об'єктів за гідрохімічними показниками дозволяє оцінити якість води за ступенем придатності для основних видів водоспоживання – господарсько-питного, культурно-побутового, а також для рибогосподарських цілей.

Структура методу включає такі основні напрямки обробки аналітичного матеріалу:

- визначення характеру забруднення за величиною умовного коефіцієнту комплексності;

- установлення рівня і класу якості води по величині комбінаторного індексу забруднення;

- виділення пріоритетних забруднюючих компонентів за кількістю і складом лімітуючих показників забруднення;

- проведення диференційованої оцінки лімітуючих забруднюючих речовин.

На першій стадії оцінюються антропогенний внесок у забруднення води в створі за допомогою умовного коефіцієнта комплексності K – відношення кількості забруднюючих речовин, вміст яких перевищує нормати-

ви n' , до загальної кількості інгредієнтів, що досліджуються n :

$$K = \frac{n'}{n} \cdot 100\%. \quad (3.1)$$

На другій стадії встановлюється рівень якості води водних об'єктів за триступеневою класифікацією.

Перший ступінь класифікації полягає у встановленні міри стійкості забруднення за величиною повторюваності випадків перевищення ГДК для i -го інгредієнта H_i , що є відношенням кількості результатів аналізу, в яких перевищується гранично допустима концентрація $N_{ГДК}$ до загальної кількості результатів аналізу N_i :

$$H_i = \frac{N_{ГДК}}{N_i}. \quad (3.2)$$

За результатами аналізу забрудненням можуть надаватися такі характеристики виражені в балах (табл. 3.1).

Таблиця 3.1. Класифікація води водних об'єктів за ознаками повторюваності випадків забрудненості

Повторюваність, %	Характеристика забруднення води водних об'єктів за ознакою повторюваності	Часткові оціночні бали	
		виражені умовно	абсолютні значення
[0; 10]	Одинична	a	1
[10; 30]	Нестійка	b	2
[30; 50]	Стійка	c	3
[50; 100]	Характерна	d	4

На другому ступені класифікації встановлюється рівень забруднення, за показником кратності перевищення ГДК для i -го інгредієнта K_i – відношення концентрації його у воді водного об'єкта C_i , мг/дм³, до гранично допустимої $C_{ГДК}$:

$$K_i = \frac{C_i}{C_{ГДК}}. \quad (3.3)$$

За цим показником, також відокремлюють чотири якісно відмінні ступені рівня забруднення виражені у балах (табл. 3.2).

Таблиця 3.2. Класифікація води водотоків за рівнем забрудненості

Кратність перевищень нормативів	Характеристика рівня забрудненості	Часткові оціночні бали	
		виражені умовно	абсолютні значення
[0; 2]	Низький	a_1	1
[2; 10]	Середній	b_1	2
[10; 50]	Високий	c_1	3
[50; 100]	Дуже високий	d_1	4

На наступному етапі для кожного з інгредієнтів отримують узагальнені оціночні бали якості води S_i шляхом перемноження оцінок отриманих для нього на першому та другому етапах. Якщо S_i дорівнює одиниці, вода вважається слабкозабрудненою, якщо він лежить в межах від 1 до 2 – забрудненою, відповідно від 2 до 4 – брудною, від 4 до 12 – дуже брудною, а від 12 – недопустимо брудною.

На заключному етапі класифікація здійснюється на основі величини комбінаторного індексу забрудненості:

$$KIZ = \sum_{i=1}^n S_i. \quad (3.4)$$

При визначенні КІЗ із загальної кількості врахованих інгредієнтів і визначаються лімітуючі показники забруднення (ЛПЗ), які погіршують її якість до класу "недопустимо брудна".

В залежності від кількості врахованих інгредієнтів та ЛПЗ, певному класу якості води (стану забрудненості) відповідають різні чисельні значення КІЗ (табл. 3.3).

Приклад. Визначити клас якості води за величиною КІЗ, що враховує вплив п'яти компонентів: азоту амонійного, азоту нітритного, нафтопродуктів, фенолів та БСК₅, якщо повторюваність випадків перевищення ГДК для цих компонентів складає відповідно 16; 34; 21; 27; 37 %, а кратність перевищення ГДК – 12,3; 4,9; 1,7; 0,5 та 14,0 відповідно.

Розв'язок. За табл. 3.1 визначаємо характеристику забруднення води за ознакою повторюваності. Для азоту амонійного, нафтопродуктів та фенолів вона є нестійкою (b або 2), а для азоту нітритного та БСК₅ – стійкою (c або 3).

Таблиця 3.3. Класифікація якості води водотоків за величиною комбінаторного індексу забрудненості

Клас якості води водотоків	Розряд класу якості води	Характеристика стану забрудненості води	Величина комбінаторного індексу забрудненості (КІЗ) з урахуванням кількості лімітуючих показників забрудненості (ЛПЗ)					
			Без врахування числа ЛПЗ	1 ЛПЗ ($k = 0,9$)	2 ЛПЗ ($k = 0,8$)	3 ЛПЗ ($k = 0,7$)	4 ЛПЗ ($k = 0,6$)	5 ЛПЗ ($k = 0,5$)
I	–	Слабо забурднена	[1n]	[0,9n]	[0,8n]	[0,7n]	[0,6n]	[0,5n]
II	–	Забурднена	[1n; 2n]	[0,9n; 1,8n]	[0,8n; 1,6n]	[0,7n; 1,4n]	[0,6n; 1,2n]	[0,5n; 1,0n]
III	–	Бурдна	[2n; 4n]	[1,8n; 3,6n]	[1,6n; 3,2n]	[1,4n; 2,8n]	[1,2n; 2,4n]	[1,0n; 2,0n]
III	а	Бурдна	[2n; 3n]	[1,8n; 2,7n]	[1,6n; 2,4n]	[1,4n; 2,1n]	[1,2n; 1,8n]	[1,0n; 1,5n]
III	б	Бурдна	[3n; 4n]	[2,7n; 3,6n]	[2,4n; 3,2n]	[2,1n; 2,8n]	[1,8n; 2,4n]	[1,5n; 2,0n]
IV	а	Дуже бурдна	[4n; 6n]	[3,6n; 5,4n]	[3,2n; 4,8n]	[2,8n; 4,2n]	[2,4n; 3,6n]	[2,0n; 3,0n]
IV	б	Дуже бурдна	[6n; 8n]	[5,4n; 7,2n]	[4,8n; 6,4n]	[4,2n; 5,6n]	[3,6n; 4,8n]	[3,0n; 4,0n]
IV	в	Дуже бурдна	[8n; 10n]	[7,2n; 9,0n]	[6,4n; 8,0n]	[5,6n; 7,0n]	[4,8n; 6,0n]	[4,0n; 5,0n]
IV	г	Дуже бурдна	[10n; 11n]	[9,0n; 9,9n]	[8,0n; 8,8n]	[7,0n; 7,7n]	[6,0n; 6,6n]	[5,0n; 5,5n]

За табл. 3.2 визначаємо характеристики рівня забрудненості води за окремими компонентами. Для фенолів він є низьким (a_1 або 1), для азоту нітритного та нафтопродуктів – середнім (b_1 або 2), азоту амонійного та БСК₅ – високим (c_1 або 3).

Визначаємо узагальнені оціночні бали S_i :

для азоту амонійного $S_1 = b \times c_1 = 6$ – вода дуже брудна;

для азоту нітратного $S_2 = c \times b_1 = 6$ – вода дуже брудна;

для нафтопродуктів $S_3 = b \times b_1 = 4$ – вода брудна;

для фенолів $S_4 = b \times a_1 = 2$ – вода забруднена;

для БСК₅ $S_5 = c \times c_1 = 9$ – вода дуже брудна.

Комбінаторний індекс забрудненості:

$$\text{КІЗ} = \sum_{i=1}^5 S_i = 6 + 6 + 4 + 2 + 9 = 27.$$

Згідно з табл. 3.3, оскільки ЛПЗ не враховується, КІЗ перебуває в межах $[4n; 6n]$, а отже вода відноситься до IV класу, розряду a тобто є дуже брудною.

Практичне заняття № 4

Проведення екологічної оцінки якості води

Спрощена екологічна оцінка якості води здійснюється коли зручніше користуватись однозначною оцінкою: при плануванні водоохоронної діяльності, еколого-економічному районування та картографуванні, узагальненого визначення впливу антропогенного навантаження на водні об'єкти та тенденцій зміни стану якості води у часі, оцінки умов відтворення водних ресурсів тощо.

Спрощена екологічна оцінка якості води здійснюється шляхом обчислення екологічного індексу (I_e) згідно з формулою $I_e = \max \{I_1, I_2, I_3\}$, де I_1, I_2, I_3 – індекси вмісту компонентів сольового складу в прісних водах, трофо-сапробіологічних (еколого-санітарних) показників та специфічних показників токсичної і радіаційної дії відповідно.

Кожний із наведених індексів розраховується окремо на підставі відносних значень показників, що входять до складу відповідних блоків.

Для перерахування концентрацій інгредієнтів або значень інших показників якості води у відносні значення індексів (I_i) використовують пе-

ревідні функції вигляду:

$$I_i = \max Y_{jk}, \quad (4.1)$$

$$1 \leq k \leq N_j, \quad (4.2)$$

де Y_{jk} – відносне значення k -го показника з j -ї групи показників; N_j – загальна кількість показників з j -го блоку, які враховуються при обчисленні.

Для визначення величин Y_i використовують монотонні і кусково-лінійні неперервні функції з точками зламу які мають вигляд:

$$Y_i = \begin{cases} 1 & x \leq x_1, \\ k_i \cdot x - k_i \cdot x_i + y_i & x_i < x \leq x_{i+1}, \\ 8 & x > x_{n+1}, \end{cases}$$

де $\{x_i\}$ ($i = 1, \dots, n$) – множина абсолютних значень показників, які розмежовують окремі категорії якості води; y_i – значення категорії води для відповідного інтервалу абсолютних значень показників; $x_{n+1} = x_n \Delta x$; $\Delta x = \min \Delta x_i$; $\Delta x_i = x_{i+1} - x_i$; $1 \leq i \leq n - 1$; $k_i = (y_{i+1} - y_i) / \Delta x_i$.

Ординати точок зламу є верхніми межами відповідних інтервалів значень показників категорії якості води.

Відносна оцінка кожного показника є числовою безрозмірною величиною, значення якої знаходиться в інтервалі від 1 до 8 і відповідає певній категорії якості води:

I категорія	$I_e = 1,0;$
II категорія	$1,0 < I_e < 2,0;$
III категорія	$2,0 < I_e < 3,0;$
IV категорія	$3,0 < I_e < 4,0;$
V категорія	$4,0 < I_e < 5,0;$
VI категорія	$5,0 < I_e < 6,0;$
VII категорія	$6,0 < I_e < 7,0;$
VIII категорія	$I_e > 7,0.$

Розгорнута екологічна оцінка якості води проводиться окремо для кожного з трьох блоків: показників сольового складу, трофо-сапробіологічних (еколого-санітарних) показників, а також специфічних показників токсичної і радіаційної дії.

Якість води за показниками сольового складу описується множи-

ною альтернатив, представленою вектором стану $a = \{a_1, a_2, \dots, a_9\}$, компоненти якого залежать від градації мінералізації води тобто від співвідношення значення мінералізації s з граничними значеннями s_i ($i = 1, 2, \dots, 8$). Відповідно значенням вектору a воді надається категорія якості (табл. 4.1).

Таблиця 4.1. Категорії якості води за сольовим складом

Градація рівня мінералізації	Компоненти вектора стану $a_i(s)$	Категорія якості води	Символ категорії якості
$s \leq s_1$	a_1	β -гіпогалинна	L_1
$s_1 < s \leq s_2$	a_2	α -гіпогалинна	L_2
$s_2 < s \leq s_3$	a_3	β -олігогалинна	L_3
$s_3 < s \leq s_4$	a_4	α -олігогалинна	L_4
$s_4 < s \leq s_5$	a_5	β -мезогалинна	L_5
$s_5 < s \leq s_6$	a_6	α -мезогалинна	L_6
$s_6 < s \leq s_7$	a_7	полігалинна	L_7
$s_7 < s \leq s_8$	a_8	евгалинна	L_8
$s_8 < s$	a_9	ультрагалинна	L_9

При оцінці якості води за трофо-сапробіологічними (еколого-санітарними) показниками спочатку визначають вектор стану $b_k^i = \{b_1^i, b_2^i, b_3^i, b_4^i, b_5^i, b_6^i, b_7^i, b_8^i\}$, компоненти якого залежать від показників якості p_j .

В подальшому переходять від чисельних значень показників до їх значень за шкалою рангів шляхом введення такої числової функції:

$$r^j = f[b^j(p_j)] = \begin{cases} 1, \text{ при } b^j = b_1^j \\ 2, \text{ при } b^j = b_2^j \\ 3, \text{ при } b^j = b_3^j \\ 4, \text{ при } b^j = b_4^j \\ 5, \text{ при } b^j = b_5^j \\ 6, \text{ при } b^j = b_6^j \\ 7, \text{ при } b^j = b_7^j \\ 8, \text{ при } b^j = b_8^j \end{cases}, \text{ де } b^i(p_j) = \begin{cases} b_1^j, \text{ при } p_j \leq p_j^1 \\ b_2^j, \text{ при } p_j^1 < p \leq p_j^2 \\ b_3^j, \text{ при } p_j^2 < p \leq p_j^3 \\ b_4^j, \text{ при } p_j^3 < p \leq p_j^4 \\ b_5^j, \text{ при } p_j^4 < p \leq p_j^5 \\ b_6^j, \text{ при } p_j^5 < p \leq p_j^6 \\ b_7^j, \text{ при } p_j^6 < p \leq p_j^7 \\ b_8^j, \text{ при } p_j^7 < p \leq p_j^8 \end{cases}.$$

На наступному етапі визначається функція міри R , яка є середньозваженою величиною в шкалі рангів за формулою:

$$R = \frac{\sum_{j=1}^n a_j r_j}{\sum_{j=1}^n a_j},$$

де $a_j = 1$, якщо p_j відоме; $a_j = 0$, якщо p_j невідоме (дані відсутні).

За значеннями R визначаються категорії якості води за трофо-сапробіологічними (еколого-санітарними) показниками:

$$L = \begin{cases} L_1 \text{ (I категорія), при} & R \leq 1,5 \\ L_2 \text{ (II категорія), при} & 1,5 < R \leq 2,5 \\ L_3 \text{ (III категорія), при} & 2,5 < R \leq 3,5 \\ L_4 \text{ (IV категорія), при} & 3,5 < R \leq 4,5 \\ L_5 \text{ (V категорія), при} & 4,5 < R \leq 5,5 \\ L_6 \text{ (VI категорія), при} & 5,5 < R \leq 6,5 \\ L_7 \text{ (VII категорія), при} & 6,5 < R \leq 7,5 \\ L_8 \text{ (VIII категорія), при} & 7,5 < R \end{cases},$$

де L – символи, що позначають назви категорій якості води ($k = 1, 2, \dots, 8$).

Для адекватнішої оцінки якості води за трофо-сапробіологічними (еколого-санітарними) показниками накладати обмеження на відхилення величин окремих показників. При цьому воду відносять до K -категорії якості, якщо із сімнадцяти показників, які характеризують її стан, дванадцять належать до K -категорії і нижчої (кращої) від неї, а п'ять можуть мати значення, відповідні $(K + 1)$ -категорії, або ж три показники належать до $(K + 1)$ -категорії і два показники – до $(K + 2)$ -категорії. Міра при цьому змінюється в таких межах:

L_1 (I категорія), якщо	$R \leq 1,42, \max r_j \leq 3;$
L_2 (II категорія), якщо	$1,42 < R \leq 2,42, \max r_j \leq 4;$
L_3 (III категорія), якщо	$2,42 < R \leq 3,42, \max r_j \leq 5;$
L_4 (IV категорія), якщо	$3,42 < R \leq 4,42, \max r_j \leq 6;$
L_5 (V категорія), якщо	$4,42 < R \leq 5,42, \max r_j \leq 7;$

L_6 (VI категорія), якщо	$5,42 < R \leq 6,42, \max r_j \leq 8;$
L_7 (VII категорія), якщо	$6,42 < R \leq 7,42;$
L_8 (VIII категорія), якщо	$7,42 < R.$

Оцінка якості води за специфічними показниками дається по значенню показника, який відповідає найгіршій категорії якості води.

Для врахування динаміки перехідних процесів від однієї категорії до іншої, кожний проміжок зміни міри в рамках однієї категорії поділяють на п'ять підкатегорій з метою уточнення, до верхньої чи нижньої сусідньої категорії значення показників якості води є ближчими.

Підкатегорії визначаються наступним чином:

$$\text{I при } R^1 \leq R < R^1 + (R^2 - R^1)/5,$$

$$\text{I(II) при } R^1 + \frac{1}{5}(R^2 - R^1) \leq R < R^1 + \frac{2}{5}(R^2 - R^1),$$

$$\text{I-II при } R^1 + \frac{2}{5}(R^2 - R^1) \leq R < R^1 + \frac{3}{5}(R^2 - R^1),$$

$$\text{II(I) при } R^1 + \frac{3}{5}(R^2 - R^1) \leq R < R^1 + \frac{4}{5}(R^2 - R^1),$$

$$\text{II при } R^1 + \frac{4}{5}(R^2 - R^1) \leq R < R^2,$$

$$\text{II при } R^2 \leq R < R^2 + \frac{1}{5}(R^3 - R^2),$$

$$\text{II(III) при } R^2 + \frac{1}{5}(R^3 - R^2) \leq R < R^2 + \frac{2}{5}(R^3 - R^2),$$

$$\text{II-III при } R^2 + \frac{2}{5}(R^3 - R^2) \leq R < R^2 + \frac{3}{5}(R^3 - R^2),$$

$$\text{III(II) при } R^2 + \frac{3}{5}(R^3 - R^2) \leq R < R^2 + \frac{4}{5}(R^3 - R^2),$$

$$\text{III при } R^2 + \frac{4}{5}(R^3 - R^2) \leq R < R^3.$$

Тут R_k ($k = 1, 2, \dots, 8$) – граничні значення міри, які відокремлюють одну категорію якості води від іншої.

Визначення добових об'ємів водоспоживання населених пунктів

Водопостачання міст і населених місць здійснюється за допомогою складних технічних систем, що забезпечують прийом природної води з поверхневого або підземного джерела водоприймальними спорудами, її очищення та кондиціонування (за потреби) на очисних спорудах, транспортування і подавання води водогонами і водорозподільними мережами до всіх споживачів під необхідним тиском, який створюють насосні станції. Крім того до систем водопостачання включають: акумулювальні ємкості, а також резервуари і водонапірні башти, що є запасними і регулювальними ємкостями (рис. 5.1).

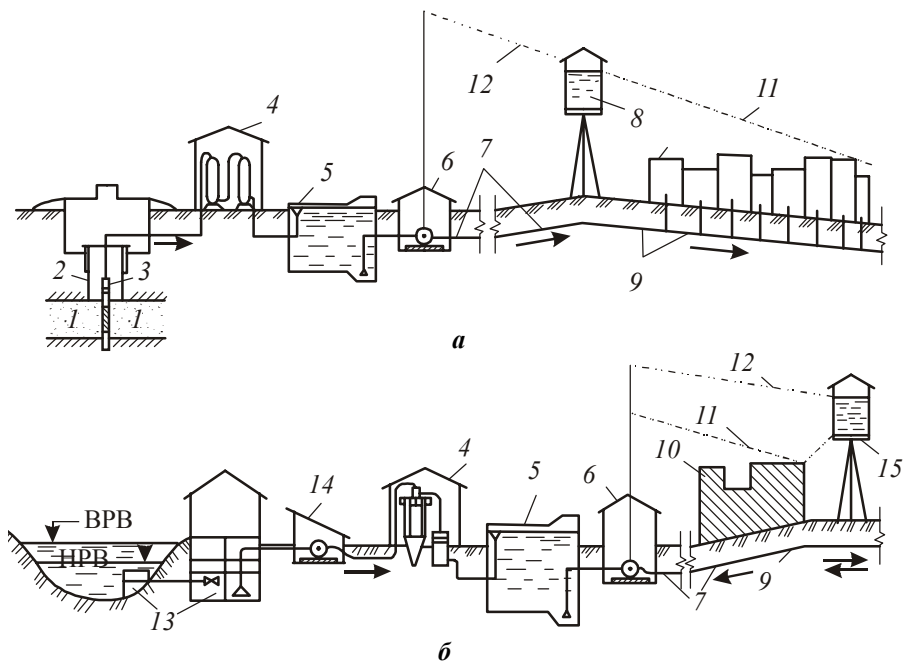


Рис. 5.1. Схеми водопостачання з підземного (а) і поверхневого (б) джерел:

1 – експлуатаційний водоносний горизонт; 2 – водозабірна свердловина; 3 – заглибний електронасос; 4 – водоочисна станція; 5 – резервуар чистої води; 6 – насосна станція другого підйому; 7 – водогони; 8 – водонапірна башта; 9 – водопровідна мережа; 10 – об'єкт водопостачання; 11 – річковий водозбір; 12 – насосна станція першого підйому; 13 – контррезервуар (водонапірна станція в кінці мережі);

BPB, HPB – відповідно верхній і нижній рівні води

Склад і послідовність розміщення окремих споруд систем водопостачання залежать від призначення, місцевих природних умов, вимог водоспоживача або економічних міркувань. Якщо очисні споруди і резервуари чистої води розташовані на достатньо високих позначках місцевості, насосну станцію другого підйому до схеми не включають, а очищену воду подають споживачу по водогонах самотливом. При постачанні підземних артезіанських вод, які не потребують кондиціонування, очисні споруди не використовують.

Основною вимогою до систем водопостачання є висока ймовірність безвідмовного функціонування протягом тривалого часу. За ступенем гарантованої надійності подавання води водопроводи поділяють на три категорії. Водопроводи населених пунктів з кількістю мешканців понад 50 тис. чоловік належать до першої категорії – від 5 до 50 тис. чоловік – до другої, менш ніж 5 тис. чоловік – до третьої категорії. Зменшення подавання води на господарсько-питні потреби допускається до 30 % розрахункових витрат, на виробничі потреби – до рівня, що визначається аварійним графіком робіт підприємств. Тривалість такого зменшення подавання води допускається до 3 діб для першої категорії, до 10 діб для другої категорії і до 15 діб для третьої категорії. Зменшення подавання води нижче зазначеної межі або взагалі перерви в її постачанні допускаються на період до 10 хв. для першої категорії, до 6 год. для другої категорії та до доби для третьої категорії.

Найпоширенішими є багатофункціональні системи водопостачання, призначені для питного, побутового, господарського, виробничого і протипожежного водопостачання.

При проектуванні водопровідних споруд систем водопостачання міст і населених місць необхідно враховувати коливання водоспоживання протягом року, місяців сезону, годин доби і хвилин. Зміна споживання води з роками зумовлена збільшенням чисельності населення і підвищенням благоустрою. Сезонні зміни водоспоживання визначають головним чином міграція населення і кліматичні чинники. Так влітку частіше користуються ваннами і душами і потрібно багато води на поливання. Нерівномірність споживання води протягом тижня значною мірою залежить від виробничого профілю міста або населеного місця, а також чергування робочих, неробочих та святкових днів. Протягом доби максимальна витрата води спостерігається у середині дня, мінімальна – вночі. Найбільшою мірою на режимі роботи системи відбивається годинна нерівномірність водоспоживання, яка залежить від багатьох випадкових чинників, непіддатних обліку.

Продуктивність водопровідних споруд системи водопостачання повинна бути достатньою для гарантованої подачі води при форсованому режимі роботи: підвищенні швидкості руху води в трубах водопровідних мереж, виході насосів із зони оптимальних значень коефіцієнтів корисної дії, підвищенні витрата реагентів на очисних спорудах тощо.

Водоспоживання залежить від ступеня впорядкування будівель, чисельності населення і кліматичних умов міста. Норми питомого водоспоживання регламентуються СНІП 2.04.02-84 "Водопостачання. Зовнішні мережі і споруди". При проектуванні систем водопостачання населених пунктів питоме середньодобове (за рік) водоспоживання на господарсько-питні потреби населення приймають такими:

Таблиця 5.1. Норми водоспоживання населених пунктів

Ступінь впорядкування районів житлової забудови будівлями, обладнаними внутрішнім водопроводом і каналізацією	Питоме водоспоживання на одного мешканця, л/добу
без ванн	125...160
з ваннами і місцевими водонагрівачами	160...230
з централізованим гарячим водопостачанням	230...350

Розрахункова (середня за рік) добова витрата води ($\text{м}^3/\text{добу}$) на господарсько-питні потреби в населеному пункті:

$$Q_{\text{доб сер}} = \sum q_{\text{ж}} N_{\text{ж}} / 1000, \quad (5.1)$$

де $q_{\text{ж}}$ – питоме водоспоживання; $N_{\text{ж}}$ – розрахункова кількість жителів в районах житлової забудови з різним ступенем впорядкування.

Розрахункові добові витрати води під час найбільшого і найменшого водоспоживання ($\text{м}^3/\text{доб}$):

$$Q_{\text{доб max}} = k_{\text{доб max}} \cdot Q_{\text{доб сер}}; \quad (5.2)$$

$$Q_{\text{доб min}} = k_{\text{доб min}} \cdot Q_{\text{доб сер}}; \quad (5.3)$$

$k_{\text{доб max}} = 1,1 \dots 1,3$; $k_{\text{доб min}} = 0,7 \dots 0,9$ – коефіцієнти добової нерівномірності водоспоживання, що враховують благоустрій населення, режим роботи підприємств, ступінь впорядкування будівель, зміни водоспоживання за сезонами року і днями тижня.

Розрахункові годинні витрати води ($\text{м}^3/\text{год}$):

$$q_{\text{год max}} = k_{\text{год max}} \cdot Q_{\text{доб max}} / 24; \quad (5.4)$$

$$q_{\text{год min}} = k_{\text{год min}} \cdot Q_{\text{доб min}} / 24. \quad (5.5)$$

Коефіцієнт годинної нерівномірності водоспоживання:

$$k_{\text{год max}} = \alpha_{\text{max}} \cdot \beta_{\text{max}}; \quad (5.6)$$

$$k_{\text{год min}} = \alpha_{\text{min}} \cdot \beta_{\text{min}}, \quad (5.7)$$

де α – коефіцієнт, що враховує ступінь впорядкування будівель, режим роботи підприємств та інші місцеві умови, $\alpha_{\text{max}} = 1,2 \dots 1,4$; $\alpha_{\text{min}} = 0,4 \dots 0,6$; β – коефіцієнт, що враховує кількість жителів в населеному пункті (табл. 5.2).

Таблиця 5.2. Значення коефіцієнта β

Коефіцієнт	Кількість жителів, тис. чол.												
	До 0,1	0,2	0,3	0,5	1	2,5	4	10	20	50	100	300	1000 і більше
β_{max}	4,5	3,5	3	2,5	2	1,6	1,5	1,3	1,2	1,15	1,1	1,05	1
β_{min}	0,01	0,02	0,03	0,05	0,1	0,1	0,2	0,4	0,5	0,6	0,7	0,85	1

Розподіл витрат води по годинах доби в населених пунктах, на промислових та сільськогосподарських підприємствах здійснюють згідно з розрахунковими графіками водоспоживання, що виключають збіг за часом максимальних відборів води на різні потреби.

Приклад. Визначити добові та годинні витрати господарсько-побутові потреби міста з населенням 120 тис. чол., якщо кількість жителів у районах облаштованим внутрішнім водопроводом без ванн складає 37 тис. чол., з ваннами та гарячим водопостачанням 34 тис. чол.

Розв'язок. Згідно з табл. 5.1 визначасмо питоме водоспоживання на одного мешканця. Для районів без ванн $q_1 = 140$ л/добу, з ваннами та місцевим водо нагріванням $q_2 = 200$ л/добу, з централізованим гарячим водопостачанням $q_3 = 300$ л/добу. Тоді середні добові витрати:

$$Q_{\text{доб max}} = \frac{37000 \cdot 140 + 49000 \cdot 200 + 34000 \cdot 300}{1000} = 25180 \text{ м}^3/\text{добу}.$$

Приймаємо добові коефіцієнти нерівномірності $k_{\text{доб max}} = 1,1$, $k_{\text{доб min}} = 0,9$. Тоді максимальні і мінімальні добові витрати відповідно дорівнюють:

$$Q_{\text{доб max}} = 1,1 \cdot 25180 = 27698 \text{ м}^3/\text{добу};$$

$$Q_{\text{доб min}} = 0,9 \cdot 25180 = 22662 \text{ м}^3/\text{добу}.$$

Приймаємо коефіцієнти, що враховують місцеві умови, $\alpha_{\text{max}} = 1,3$, $\alpha_{\text{min}} = 0,5$. Коефіцієнти, що враховують кількість мешканців у населеному пункті, згідно з табл.5.2 $\beta_{\text{max}} = 1,1$, $\beta_{\text{min}} = 0,7$. Тоді коефіцієнти годинної нерівномірності водоспоживання:

$$k_{\text{год max}} = 1,3 \cdot 1,1 = 1,43;$$

$$k_{\text{год min}} = 0,5 \cdot 0,7 = 0,35.$$

Розрахункові годинні витрати води:

$$q_{\text{год max}} = \frac{1,43 \cdot 27698}{24} = 1650,3 \text{ м}^3/\text{годину};$$

$$q_{\text{год min}} = \frac{0,35 \cdot 22662}{24} = 330,5 \text{ м}^3/\text{годину}.$$

Практичне заняття № 6

Оцінка ефективності використання води на промисловому підприємстві

Воду, що використовують у виробничих процесах, можна поділити на чотири категорії. До I категорії відносять нагрівальну або охолоджувальну воду, яка при проведенні технологічних процесів не контактує з продуктом, тому практично не забруднюється, а лише змінює свою температуру. Вода II категорії – це вода, яка забруднюється механічними або розчинними домішками, проте не нагрівається (поглинання домі-

шок, гідротранспорт, миття обладнання, підлоги, тари, утворення пульпи). Вода III категорії відрізняється від попередньої тим, що при проведенні технологічних процесів ще й нагрівається (абсорбція, контактний теплообмін). Вода IV категорії є екстрагентом або розчинником. Крім того, широко використовують водяну пару.

Потрібну кількість води визначають за збільшеними нормами водоспоживання даної галузі промисловості, які встановлюють або рекомендують для різних виробничих процесів, виходячи з дослідів чи на основі науково обгрунтованого розрахунку.

За способами використання води системи водозабезпечення промислових підприємств поділяють на такі основні види (рис. 6.1):

прямотечійні – усю воду, відпрацьовану в будь-якому виробничому процесі, скидають у водойму після очищення або без нього. Така схема доцільна при достатній кількості водних ресурсів, малому споживанні води, незначній забрудненості стоків та ускладненості її повторного використання (вода входить до складу кінцевої продукції або істотно змінює свій склад). Для зменшення кількості води, яка забирається з водного джерела, застосовують послідовне використання відпрацьованої води у іншому виробництві без проміжного очищення, охолодження та обробки з подальшим скидом у водойму;

оборотні – усю відпрацьовану воду піддають охолодженню (воду I категорії) або очищенню та дезінфекції (воду II категорії), або очищенню та охолодженню (воду III категорії) і повертають на той самий об'єкт для повторного використання без скидання у водойму;

комбіновані – для окремих виробництв застосовують системи оборотного водопостачання при загальній прямотечійній схемі.

У разі прямотечійного водопостачання деякий об'єм води втрачається безповоротно ($Q_{\text{вт}}$). Об'єм стічних вод, що відводяться та скидаються у водойму ($Q_{\text{ск}}$), становить

$$Q_{\text{ск}} = Q_{\text{дж}} - Q_{\text{вт}}, \quad (6.1)$$

де $Q_{\text{дж}}$ – об'єм підживлювальних вод, що відбираються з водойми і додаються до системи.

У схемі з послідовним водопостачанням об'єм стічних вод, що скидаються, зменшується відповідно до втрат на всіх стадіях виробництва:

$$Q_{\text{ск}} = Q_{\text{дж}} - (Q_{\text{вт1}} + Q_{\text{вт2}} + \dots). \quad (6.2)$$

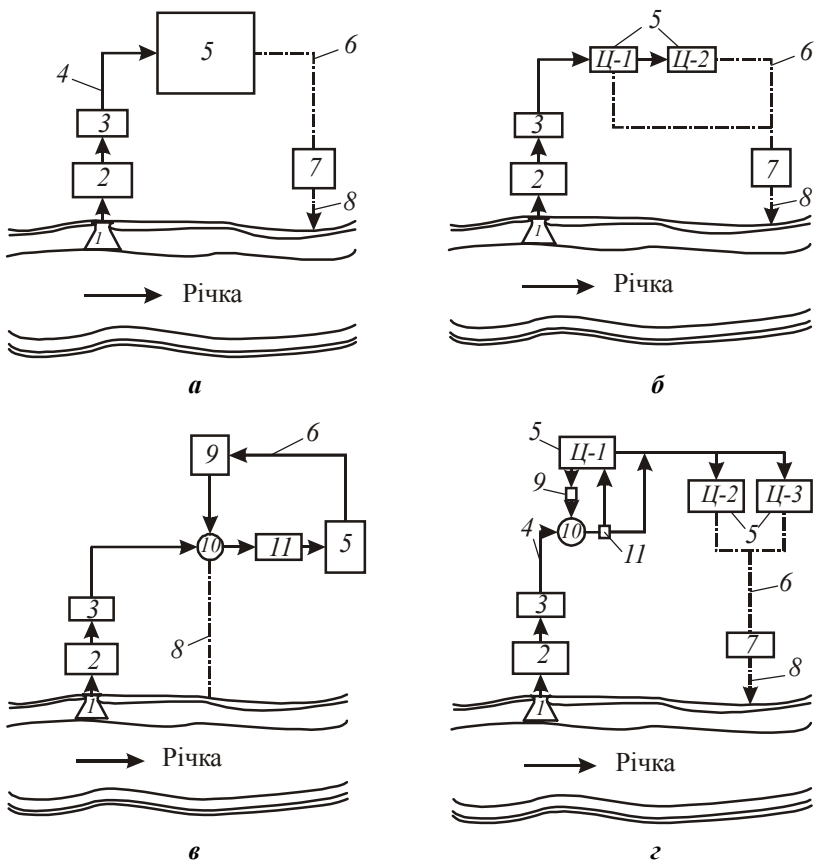


Рис. 6.1. Схеми промислового водопостачання:

а – прямотечійна; *б* – прямотечійна з повторним використанням води;

в – оборотна; *г* – комбінована;

1 – водозабір з насосною станцією першого підйому (НС-I); 2 – водоочисні споруди;

3 – НС-II; 4 – подавання річкової води; 5 – промислові об'єкти; 6 – скидання відпрацьованої води; 7 – станція очищення стічних вод; 8 – скидання води в річку;

9 – водоохолоджувальне устаткування; 10 – забірна камера; 11 – НС оборотної води, Ц – цех

У разі проходження стічних вод додатково через систему очисних споруд втрати води збільшуються, оскільки частина води втрачається в процесі очищення (зі шламом, осадом тощо):

$$Q_{\text{ск}} = Q_{\text{дж}} - (Q_{\text{вт1}} + Q_{\text{вт2}} + Q_{\text{шл}} + Q_{\text{ос}}). \quad (6.3)$$

У разі оборотного водопостачання безповоротні втрати води ($Q_{\text{вт}}$) складаються з втрат на випаровування $Q_{\text{вип}}$, знесення з охолоджувача вітром та розбризкування $Q_{\text{зн}}$, зі шламом та осадам $Q_{\text{шл}}$, $Q_{\text{ос}}$, внаслідок течій та при виробництві $Q_{\text{т}}$, а також на продування системи з метою її освіження $Q_{\text{пр}}$. Тоді об'єм підживлювальних вод, що відбираються з водойми і додаються до системи, складає:

$$Q_{\text{дж}} = Q_{\text{вип}} + Q_{\text{зн}} + Q_{\text{т}} + Q_{\text{шл}} + Q_{\text{пр}}. \quad (6.4)$$

Ефективність використання води на промислових підприємствах оцінюють за трьома показниками:

1. Технічну досконалість системи водопостачання оцінюють за відносним об'ємом використаної оборотної води ($P_{\text{об}}$, %):

$$P_{\text{об}} = \frac{Q_{\text{об}}}{Q_{\text{об}} + Q_{\text{дж}} + Q_{\text{с}}} \cdot 100\%, \quad (6.5)$$

де $Q_{\text{об}}$, $Q_{\text{дж}}$, $Q_{\text{с}}$ – об'єми води, що використовується відповідно в обороті, забирається з джерела та надходить у систему водопостачання з сировиною.

2. Раціональність використання води, яку забирають з джерела, оцінюють коефіцієнтом використання $K_{\text{в}}$:

$$K_{\text{в}} = \frac{(Q_{\text{дж}} + Q_{\text{с}} - Q_{\text{ск}})}{Q_{\text{дж}} + Q_{\text{с}}}. \quad (6.6)$$

3. Втрати води оцінюють за формулою:

$$P_{\text{вт}} = \frac{Q_{\text{дж}} - Q_{\text{с}} - Q_{\text{ск}}}{Q_{\text{вт}} + Q_{\text{с}} + Q_{\text{п}} + Q_{\text{об}}} \cdot 100\%, \quad (6.7)$$

де $Q_{\text{п}}$ – кількість води, що використовується у виробництві послідовно.

Приклад. Оцінити ефективність використання води на машинобудівному підприємстві, якщо об'єм води, що використовується в обороті та послідовно становить 9500 м^3 , об'єм води, що забирається з джерела – 585 м^3 , об'єм стічних вод – 135 м^3 , а втрати води – 450 м^3 . Кількістю води, що надходить у систему водопостачання з сировиною, знехтувати.

Розв'язок. Визначаємо відносний об'єм використаної оборотної води за формулою (6.5):

$$P_{об} = \frac{9500}{9500 + 585} 100\% = 94,2\%.$$

Коефіцієнт використання води, яку забирають з джерела K_B , згідно з формулою (6.6) дорівнює:

$$K_B = \frac{585 - 135}{585} = 0,77.$$

Втрати води оцінюємо за формулою (6.7):

$$P_{вт} = \frac{585 - 135}{135 + 9500} 100\% = 4,67\%.$$

Практичне заняття № 7

Визначення забрудненості стічних вод населеного пункту

Міські стічні води є сумішшю побутових і виробничих стічних вод. Крім того, до комунальної каналізаційної мережі можуть надходити дощові води.

Витрати міських побутових вод з 1 га площі кварталів дорівнюють 0,3...2,0 л/с (питома витрата) або 10...600 тис. м³/рік. Питомі норми водовідведення від районів житлової забудови залежать від ступеню їхнього благоустрою і відповідають нормам водопостачання (табл. 5.1). Для визначення годинних і добових витрат побутових вод нормативні значення підставляють у формули виду (5.1)–(5.5). Максимальний коефіцієнт годинної нерівномірності притоку стічних вод складає 1,44...2,5, а мінімальний – 0,4...0,67. Коефіцієнт добової нерівномірності є порівняно сталим і перебуває у межах 1,1...1,3.

Склад і концентрації забруднень, а також кількість виробничих стічних вод, які надходять до міської каналізаційної мережі, залежить від галузей промисловості та потужності підприємств.

Загальні витрати дощової води значно менші за витрати побутових вод: протягом року складають 1500...2000 м³ з 1 га, проте характеризуються значною нерівномірністю – від 0 за сухої погоди до 300 л/с під час інтенсивних злив. У дощових водах міститься значна кількість нерозчинених мінеральних домішок, а також органічних. БСК дощових вод досягає 50...60 мг/л.

Основними типами схем міських систем водовідведення є загальностічні, роздільні й комбіновані.

У загальностічних системах відведення побутових, виробничих і дощових стічних вод здійснюється через спільну водовідвідну мережу. Частина суміші стічних вод скидається у водоймище через зливові скиди на головному колекторі.

Роздільні системи підрозділяються на повні роздільні, неповні роздільні та напівроздільні.

У *повних роздільних системах* водовідведення кожного виду стічних вод: побутових, виробничих і дощових забезпечується власною водовідвідною мережею. Виробничі стічні води повністю або частково очищуються на спеціальних очисних спорудах (рис. 7.1). У першому випадку їх спрямовують для доочищення на загальноміські очисні споруди, у другому – скидають у водоймище. Неповні роздільні системи мають єдину виробничо-побутову мережу, якою відводяться забруднені побутові і виробничі стічні води, в той час як відведення дощових вод у водоймище передбачається по відкритих лотках, кюветах і канавах. Таку систему доцільно облаштовувати лише для невеликих об'єктів.

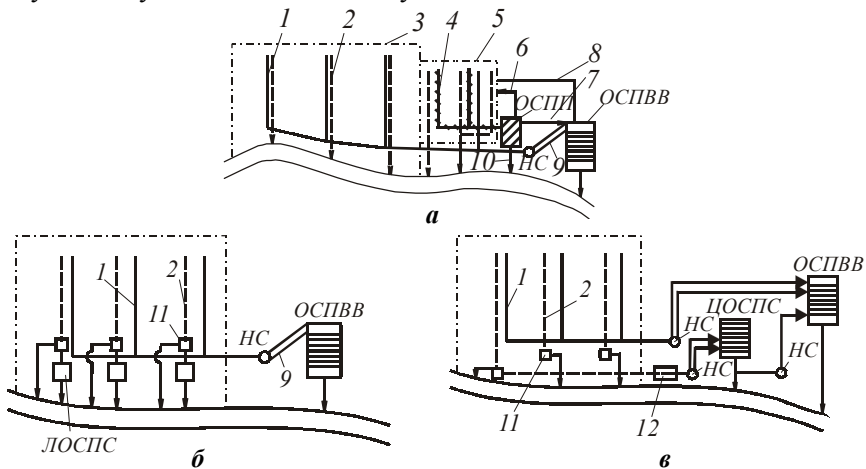


Рис. 7.1. Схеми повної роздільної системи водовідведення:

а – без очищення поверхневого стоку; *б* і *в* – з очищенням поверхневого стоку відповідно на локальних і на централізованих очисних спорудженнях;

ОСПВВ – очисні спорудження побутових і виробничих вод; ОСПП – очисні спорудження промислового підприємства; ЛОСПС – локальні очисні спорудження поверхневого стоку; ЦОСПС – централізовані очисні спорудження поверхневого стоку; НС – насосна станція; 1 – побутова мережа, 2 – зливові мережа; 3 – границя міста; 4 – виробнича мережа; 5 – границя промислового підприємства; 6 – повернення води на підприємства після очищення; 7 – подача води для доочищення на очисні спорудження міста; 8 – подача очищених вод на промислове підприємство; 9 – напірні трубопроводи; 10 – випуск очищених виробничих стічних вод у водойму; 11 – розділювальні камери; 12 – регулюючий резервуар

Напівроздільна система також складається з виробничо-побутової і дощової водовідвідних мереж. У місцях їх перетину встановлюють роздільні камери, які перепускають у виробничо-побутову мережу лише воду, яка проходить по нижній частині камери. Тому за порівняно малих витрат води в дощовій мережі вся вона потрапляє до головного колектору виробничо-побутової мережі, а за великих витрат в період сильних злив менш забруднені дощові води відводяться у водоймище без очищення.

Комбіновані системи формуються в процесі розвитку міста при реконструкції системи водовідведення. Так, в частині міста, що розвивається, може бути встановлена повна роздільна система, а в нереконструйованій частині зберегтися загальностічна система.

Система каналізації характеризується скиданням забруднюючих речовин у водний об'єкт. Приведена маса річного скидання забруднень (ум. т/рік):

$$M = \sum_{j=1}^n A_j \cdot m_j, \quad (7.1)$$

де n – кількість видів забруднюючих речовин; A_j – показник відносної небезпеки скидання j -ї речовини у водоймище, ум.т/рік (табл. 7.1); m_j – загальна маса річного скидання j -ї речовини, т/рік.

Для кожної забруднюючої речовини (ум.т/т)

$$A_j = C_j / C_{\text{ГДК}_j}, \quad (7.2)$$

де C_j – умовна концентрація j -ї забруднюючої речовини, $C_j = 1 \text{ г/м}^3$; $C_{\text{ГДК}_j}$ – гранично допустима концентрація j -ї речовини у воді, яка використовується для рибогосподарських цілей або господарсько-питного водопостачання, г/м^3 .

Таблиця 7.1. Значення константи A , для деяких поширених забруднюючих речовин

Речовини	Гранично допустима концентрація, г/м^3 , для		Константа A_j , ум. т/т
	ведення рибного господарства	господарчо-питного водопостачання	
БСК	3	500	0,33
Завислі речовини	20		0,05
Сульфати			0,002

Продовж. табл. 7.1

Речовини	Гранично допустима концентрація, г/м ³ , для		Константа A_i , ум. т/т
	ведення рибного господарства	господарчо-питного водопостачання	
Хлориди		350	0,003
Азот (загальний)		10	0,1
Нафта і нафтопродукти	0,5		2
Мідь	0,01		100
Цинк	0,01		100
Аміак	0,05		20
Миш'як	0,05		20
Цианіди	0,05		10
Формальдегіди	0,1		10

Концентрацію забруднень у міських стічних водах знаходять за рівнянням:

$$P_{\text{см}} = \frac{P_{\text{поб}} Q_{\text{поб}} + \sum P_{\text{вир}} Q_{\text{вир}}}{Q_{\text{поб}} + \sum Q_{\text{вир}}}, \quad (7.3)$$

де $P_{\text{поб}}$, $P_{\text{вир}}$ – концентрації забруднень, г/м³, у побутових та виробничих стічних водах відповідно; $Q_{\text{поб}}$, $Q_{\text{вир}}$ – витрати, м³/добу побутових та виробничих стічних вод відповідно.

Приклад. Визначити концентрацію забруднень за завислими речовинами та БСК_{повн} у стічних водах, що надходять на очисні споруди міста з районів, обладнаних каналізацією, а також ваннами та місцевими водонагрівачами населенням 51 тис. чол., з централізованим гарячим водопостачанням – 66 тис. чол., без ванн – 23 тис. чол. Крім того у каналізацію надходять стічні води з двох промислових об'єктів у кількості 3800 м³/добу і 11500 м³/добу, концентрація забруднень по завислим речовинам дорівнює відповідно 350 та 150 мг/л, а по БСК_{повн} відповідно 250 та 200 мг/л.

Розв'язок. Визначаємо середньодобові витрати стічних вод від різних районів. Згідно з табл. 5.1 питоме водовідведення для району 1 приймаємо 200 л/добу, для району 2 – 300 л/добу, району 3 – 140 л/добу. У відповідності з формулою (5.1) середньодобові витрати для цих районів:

$$Q_{\text{поб}_1} = 51000 \cdot 300 \cdot 10^{-3} = 15300 \text{ м}^3/\text{добу},$$

$$Q_{\text{поб}_2} = 66000 \cdot 200 \cdot 10^{-3} = 13200 \text{ м}^3/\text{добу},$$

$$Q_{\text{поб}_3} = 23000 \cdot 140 \cdot 10^{-3} = 3220 \text{ м}^3/\text{добу}.$$

Визначимо концентрацію забруднень у стічних водах районів з різним ступенем благоустрою, враховуючи що вміст забруднень у побутових стічних водах по завислих речовинах складає 65 г/(чол. добу):

$$P_{\text{поб}_1}^{\text{зав}} = \frac{65}{200} = 0,325 \text{ г/л} = 325 \text{ мг/л};$$

$$P_{\text{поб}_2}^{\text{зав}} = \frac{65}{300} = 0,217 \text{ г/л} = 217 \text{ мг/л};$$

$$P_{\text{поб}_3}^{\text{зав}} = \frac{65}{140} = 0,464 \text{ г/л} = 464 \text{ мг/л};$$

$$P_{\text{поб}_1}^{\text{БСК}} = \frac{75}{200} = 0,375 \text{ г/л} = 375 \text{ мг/л};$$

$$P_{\text{поб}_2}^{\text{БСК}} = \frac{75}{300} = 0,250 \text{ г/л} = 250 \text{ мг/л};$$

$$P_{\text{поб}_3}^{\text{БСК}} = \frac{75}{140} = 0,536 \text{ г/л} = 536 \text{ мг/л}.$$

За формулою (7.3) розраховуємо концентрацію забруднень у стічних водах, що надходять на міські очисні споруди. За завислими речовинами:

$$P_{\text{см зав}} = \frac{325 \cdot 15300 + 217 \cdot 13200 + 464 \cdot 3220 + 350 \cdot 3800 + 150 \cdot 11500}{15300 + 13200 + 3220 + 3800 + 11500} = 263 \text{ мг/л},$$

За БСК_{повн}

$$P_{\text{см БСК}} = \frac{375 \cdot 15300 + 250 \cdot 13200 + 536 \cdot 3220 + 250 \cdot 3800 + 200 \cdot 11500}{15300 + 13200 + 3220 + 3800 + 11500} = 298 \text{ мг/л}$$

Визначення ступеню розбавлення стічних вод

Розбавлення стічних вод у водоймищах залишається одним з основних факторів їх знешкодження. Особливо важливим є незалежність розбавлення від антропогенних впливів. Процес спричиняється турбулентним перемішуванням струменів стічних вод з чистішими струменями водойми і залежить від гідравлічних характеристик водного об'єкту та способу скидання. Випуск може бути береговим або безпосередньо у річище у місцях найінтенсивнішої течії. Останній спосіб ефективніший, особливо в разі застосування розсіювальних випусків.

Розбавлення виражається відношенням суми витрат розбавлюваної та розбавлюючої води до витрат розбавлюваної води. При скиданні стічних вод кратність розбавлення n дорівнює:

$$n = \frac{\gamma \cdot Q + q}{q}, \quad (8.1)$$

де Q – середньомісячна витрата води водотоку, $\text{м}^3/\text{с}$; q – максимальна витрата стічних вод, що підлягають скиданню до водотоку; γ – коефіцієнт змішування, який знаходять за формулою:

$$\gamma = \frac{1 - e^{-\alpha \sqrt[3]{L}}}{1 + \frac{Q}{q} \cdot e^{-\alpha \sqrt[3]{L}}}, \quad (8.2)$$

L – відстань по фарватеру водотоку від місця випуску до розрахункового створу, м; α – коефіцієнт, що залежить від гідравлічних умов змішування:

$$\alpha = \xi \cdot \varphi \cdot \sqrt[3]{\frac{D}{q}}, \quad (8.3)$$

де ξ – коефіцієнт, що залежить від розташування випуску стічних вод у водотоці: (при випуску біля берега = 1; при випуску у фарватер = 1,5); φ – коефіцієнт звивистості водотоку, тобто відношення відстані між даними створами водотоку по фарватеру до відстані по прямій; D – коефіцієнт турбулентної дифузії.

Для рівнинних річок і спрощених розрахунків, коефіцієнт турбулент-

ної дифузії знаходять за формулою М.В. Потапова:

$$D = \frac{V_{\text{сер}} \cdot H_{\text{сер}}}{200}, \quad (8.4)$$

де $V_{\text{сер}}$ – середня швидкість течії водотоку на ділянці між нульовим і розрахунковим створами, м/с; $H_{\text{сер}}$ – середня глибина на цій ділянці, м.

Точніші значення D визначаються за формулою:

$$D = \frac{g \cdot H_{\text{сер}} \cdot V_{\text{сер}}}{M \cdot C}, \quad (8.5)$$

де $H_{\text{сер}}$ – середня глибина на даній ділянці; $V_{\text{сер}}$ – середня швидкість течії водотоку на ділянці; g – прискорення вільного падіння; C – коефіцієнт Шезі; M – коефіцієнт залежний від C . За умови $10 < C < 60$, $M = 0,7 \cdot C + 6$, а при $C \geq 60$ $M = \text{const} = 48$. Вираз $M \cdot C$ має розмірність м/с².

Якщо в процесі руху стічних вод до розрахункового створу на окремих ділянках гідравлічні умови змінюються, спочатку з виразу (8.5) визначають коефіцієнт турбулентної дифузії для кожної ділянки, а потім його розраховують для всієї розрахункової довжини за співвідношенням:

$$D = \frac{D_1 \cdot L_1 + D_2 \cdot L_2 + \dots + D_n \cdot L_n}{L_1 + L_2 + \dots + L_n}, \quad (8.6)$$

де $D_1; D_2; \dots; D_n$ – коефіцієнти турбулентної дифузії окремих ділянок; $L_1; L_2; \dots; L_n$ – довжина окремих ділянок.

Загалом, перенесення розчинених і завислих речовин в природних потоках описується рівнянням турбулентної дифузії:

$$\frac{dc}{dt} = D_x \frac{\partial^2 c}{\partial x^2} + D_y \frac{\partial^2 c}{\partial y^2} + D_z \frac{\partial^2 c}{\partial z^2} - V_x \cdot \frac{\partial c}{\partial x} - V_y \cdot \frac{\partial c}{\partial y} - V_z \cdot \frac{\partial c}{\partial z}, \quad (8.7)$$

де C – концентрація забруднюючої речовини у воді, мг/л; t – час, с; U – швидкість осадження завислих речовин, м/с (для розчинених речовин $U = 0$ і рівняння записується без останнього члена); $V_x; V_y; V_z$ – компоненти швидкості течії (м/с) щодо координат $x; y; z$ (м), причому вісь x спрямована за течією потоку, вісь y – від поверхні до дна, а вісь z – по ширині потоку; D – коефіцієнт турбулентної дифузії (м²/с).

Рівняння турбулентної дифузії розв'язують наближеними методами. При цьому рівняння (8.7), як правило, істотно спрощують, а ділянку від місця скидання стічних вод до контрольного створу розбивають площинами, паралельними координатним осям на розрахункові елементи, для яких послідовно визначають концентрації домішки відповідно обраній моделі. Результатом є одно- або двомірне поле концентрації забруднюючої речовини.

Приклад. Планується скидати у водотік стічні води промислового підприємства з максимальною витратою $q = 2,0 \text{ м}^3/\text{с}$. Нижче за течією від планованого берегового випуску стічних вод, на відстані 2,5 км знаходиться селище **М.**, мешканці якого використовують воду водотоку для купання та відпочинку. Середньомісячна витрата водотоку $Q = 27 \text{ м}^3/\text{с}$; середня глибина – 1,2 м; середня швидкість течії – 1,4 м/с; коефіцієнт Шезі на цій ділянці $C = 38 \text{ м}^{1/2}/\text{с}$; звивистість русла слабо виражена.

Визначити кратність розбавлення стічних вод у розрахунковому створі. Випуск стічних вод – береговий.

Розв'язок. Оскільки водотік є водним об'єктом призначеним для культурно-побутового водокористування, встановлюємо розрахунковий створ за 1000 м до межі селища.

У цьому випадку відстань, прийнята для розрахунку довжини ділянки розведення:

$$L = 2500 - 1000 = 1500 \text{ м.}$$

Визначимо коефіцієнт турбулентної дифузії за виразом (8.5):

$$D = \frac{9,8 \cdot 1,4 \cdot 1,2}{32,6 \cdot 38} = 0,01.$$

Оскільки $10 < C < 60$, звідси

$$M = 0,7 \cdot C + 6 = 0,7 \cdot 38 + 6 = 32,6.$$

Оскільки випуск береговий, а звивистість русла слабо виражена, то за виразом (8.3) визначимо:

$$\alpha = 1 \cdot 3 \sqrt[3]{\frac{0,01}{2,0}} = 0,17.$$

Для спрощення обчислення коефіцієнта змішування за виразом (8.2)

попередньо обчислимо:

$$\beta = e^{-\alpha \sqrt[3]{L}} = e^{-0,17 \sqrt[3]{1500}} = 0,143.$$

Тоді

$$\gamma = \frac{1-\beta}{1 + \frac{Q}{q} \cdot \beta} = \frac{1-0,143}{1 + \frac{27}{2,0} \cdot 0,143} = 0,292.$$

Кратність розбавлення стічних вод промислового підприємства у розрахунковому створі згідно виразу (8.1) складатиме:

$$n = \frac{0,292 \cdot 27 + 2,0}{2,0} = 4,9.$$

Практичне заняття № 9

Визначення необхідного ступеню очищення виробничих стічних вод

Кількість стічних вод, що утворюються на промисловому підприємстві, визначається згідно з нормами водовідведення – середній кількості води, що відводиться від даного виробництва, на одиницю готової продукції або сировини за раціональної норми водоспоживання.

Витрати виробничих стічних вод, м³/добу, розраховують за формулою:

$$Q_{\text{доб}} = \sum_{i=1}^n M_i N_i, \quad (9.1)$$

де M_i – норма водовідведення для i -го виробництва, м³ на одиницю готової продукції або сировини з урахуванням обороту води; N_i – кількість одиниць готової продукції або сировини, що виробляється (переробляється) на i -ому виробництві протягом доби; n – загальна кількість виробництв на підприємстві.

Максимальні витрати стічних вод, л/с, на i -му виробництві дорівнюють:

$$Q_{ci}^{\text{max}} = \frac{N_{i \text{ зм}}^{\text{max}} M k_{\text{год}}}{3,6T}, \quad (9.2)$$

де $N_{i\text{зм}}^{\text{max}}$ – максимальна кількість одиниць готової продукції або сировини, що виробляється (переробляється) на i -ому виробництві протягом зміни; $k_{\text{год}}$ – коефіцієнт годинної нерівномірності; T – кількість робочих годин за зміну.

Витрати побутових стічних вод на промисловому підприємстві розраховують аналогічно витратам міських стічних вод (приклад 6.1), підставляючи у формули (5.1)–(5.3) кількості робітників, що працюють у гарячих та (або) у холодних цехах і відповідні добові норми водовідведення (45 та 25 л/чол.). Слід враховувати також кількість робочих годин на добу і коефіцієнт годинної нерівномірності для даної галузі промисловості.

Схема каналізації підприємства повинна відповідати складу, кількості і властивостям стічних вод, наявності й пропускній здатності міської каналізації, потужності водойми для скидання стічних вод та необхідному ступеню їх очищення.

Загальностічна система каналізації (рис. 9.1, *а*) раціональна за порівняно низької мінералізації усіх видів стічних вод підприємства, що робить можливим їх спільне біологічне очищення, і не призводить до перевищення ГДК мінеральних солей у водоймі – приймачі при скидах. У зворотньому випадку (а також за високого вмісту мастил, нафти, розчинених органічних сполук тощо) застосовують повну роздільну систему (рис. 9.1, *б*). Поширення набули також двомережні неповні роздільні системи з окремим відведенням зливових вод (рис. 9.1, *в*).

Особливістю систем водовідведення промислових підприємств є застосування роздільних мереж каналізації стоків різного складу (кислих, лужних, хромистих тощо), а також локальних очисних споруд для вилучення токсичних, регенерації або утилізації цінних продуктів, які містяться у стоках лише окремих цехів і навіть окремих технологічних установок підприємства. Такі споруди можуть входити до складу систем оборотного водопостачання згаданих цехів або слугувати першим ступенем очищення стічних вод перед їх надходженням на загальнозаводські очисні споруди (рис. 9.1, *г*).

Нарешті, реалізуються різні варіанти роздільних схеми з повним або частковим оборотом стічних вод, наприклад, з використанням виробничих стічних вод у оборотному водопостачанні, та скиданням зливових і очищених побутових стічних вод до водойми (рис. 9.4, *д*), а також безстічні системи.

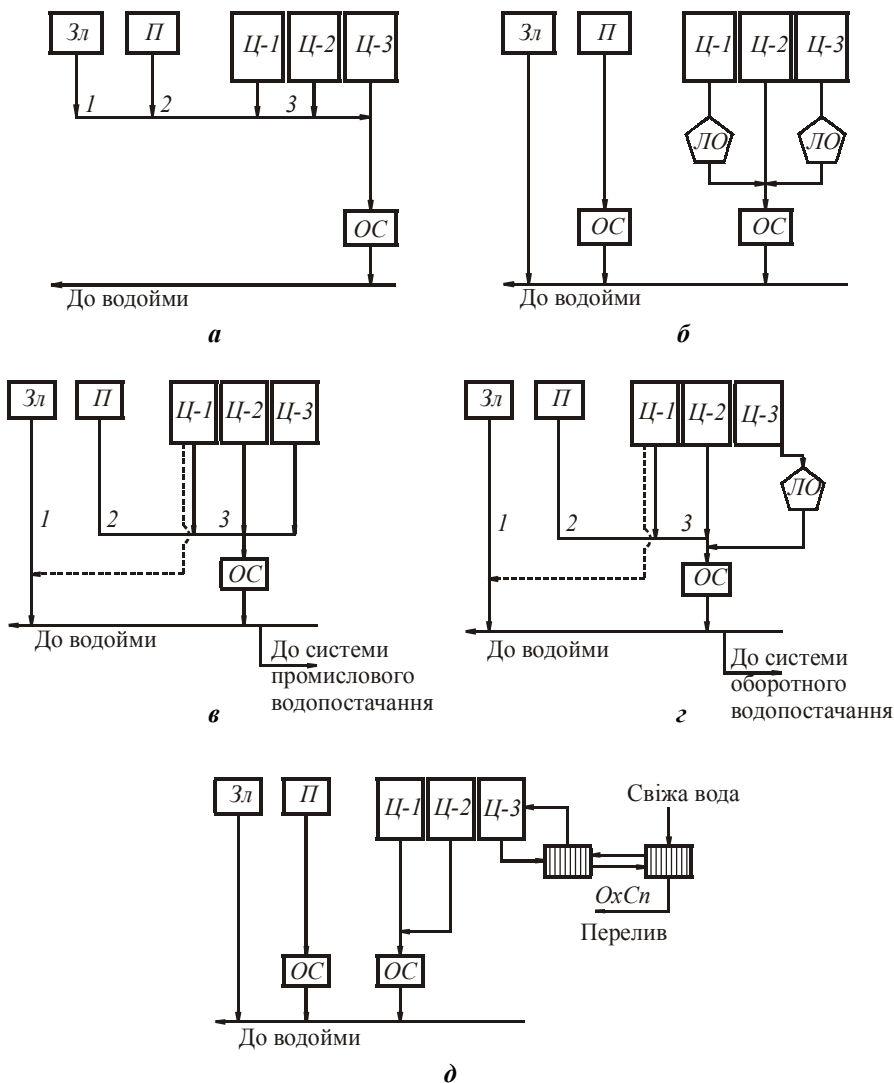


Рис. 9. 1. Системи каналізації промислових підприємств:

а – загальносвітча; **б** – повна роздільна з трьома мережами каналізації; **в** – неповна роздільна з двома мережами каналізації; **г** – роздільна з локальними очисними спорудами; **д** – роздільна з використанням виробничих стічних вод для оборотного водопостачання; Ц – цех; ЛО – локальні очисні споруди; ОС – очисні споруди; Зл, 1 – зливові (дошові) води; П, 2 – побутові води; ОхСп – охолодні споруди; 3 – виробничі стічні води

Умовою випуску стічних вод у водні об'єкти є відповідність води цього об'єкту в розрахунковому створі санітарним вимогам. Для досягнення даної умови необхідно наперед розрахувати граничні концентрації забруднюючих речовин в стічних водах, з якими ця вода може бути скинута у водний об'єкт. Розрахувавши необхідну концентрацію забруднень (або БСК) в очищеній стічній воді ($C_{\text{оч}}$) і знаючи їхню концентрацію (БСК) у стічній воді, що надходить на очищення ($C_{\text{ст}}$), визначають потрібну ефективність очищення стічних вод за формулою:

$$E = \frac{C_{\text{ст}} - C_{\text{оч}}}{C_{\text{ст}}} \cdot 100\%. \quad (9.3)$$

Концентрацію завислих речовин в очищеній стічній воді, дозволений до скидання у водний об'єкт, визначають з виразу:

$$C_{\text{оч}} = P \cdot \left(\frac{\gamma \cdot Q}{q} + 1 \right) + C_{\text{ф}}, \quad (9.4)$$

де $C_{\text{ф}}$ – концентрація завислих речовин у воді водного об'єкту до скидання стічних вод; P – дозволене санітарними нормами збільшення вмісту завислих речовин у воді водного об'єкту в розрахунковому створі.

Допустиме БСК_{повн} очищених стічних вод $L_{\text{повн}}^{\text{ст}}$ з умови збереження розчиненого кисню:

$$L_{\text{повн}}^{\text{ст}} = \frac{\gamma \cdot Q}{0,4 \cdot q} (O^{\text{в}} - 0,4 \cdot L_{\text{повн}}^{\text{в}} - O) - \frac{O}{0,4}, \quad (9.5)$$

де Q – витрата води водотоку, м³/добу; γ – коефіцієнт змішування; $O^{\text{в}}$ – вміст розчиненого кисню у водотоці до місця випуску стічних вод, г/м³; q – витрата стічних вод, що скидаються, м³/добу; $L_{\text{повн}}^{\text{в}}$ – повне біохімічне споживання кисню водою водойми, г/м³; $L_{\text{повн}}^{\text{ст}}$ – повне біохімічне споживання кисню стічною водою, допустимою до скидання, г/м³; O – мінімальний вміст розчиненого кисню водного об'єкту, що приймається рівним 4 або 6 г/м³; 0,4 – коефіцієнт для перерахунку БСК_{повн} в БСК₂.

Якщо враховувати процеси самоочищення у водоймі, формула (9.5) набуває вигляду:

$$L_{\text{ст}} = \frac{\gamma \cdot Q}{q \cdot 10^{-k_{\text{ст}} \cdot t}} \cdot (L_{\text{ГДК}} - L_{\text{е}} \cdot 10^{-k_{\text{ст}} \cdot t}) + \frac{L_{\text{ГДК}}}{10^{-k_{\text{ст}} \cdot t}}, \quad (9.6)$$

де $k_{\text{ст}}$, $k_{\text{в}}$ – константи швидкості споживання кисню відповідно стічною водою і водою водного об'єкту; $L_{\text{ГДК}}$ – значення допустимої концентрації БСК_{повн} суміші стічних вод і води водного об'єкту в розрахунковому створі, г/м³; $L_{\text{в}}$ – БСК_{повн} води водного об'єкту до місця випуску стічних вод, г/м³; t – тривалість переміщення води від місця скидання до розрахункового створу, діб.

Температура стічних вод, дозволених до скидання, повинна задовольняти умові:

$$T_{\text{ст}} \leq n \cdot T_{\text{доп}} + T_{\text{в}}, \quad (9.7)$$

де $T_{\text{доп}}$ – дозволене підвищення температури води водного об'єкту; $T_{\text{в}}$ – температура води водного об'єкту до місця скидання стічних вод.

Допустима кількість кислоти або лугу в стічних водах, мг-екв/л, з умови їх розведення водою джерела в n раз визначається по формулах:

$$C_{\text{доп к}} = (1 - n) \cdot C_{\text{к}}, \quad (9.8)$$

$$C_{\text{доп л}} = (1 - n) \cdot C_{\text{л}}. \quad (9.9)$$

Для визначення максимально допустимого вмісту кислоти $C_{\text{к}}$ або лугу $C_{\text{л}}$ в 1 мл нормального розчину, які нейтралізують 1 л води водойми, розроблено графічний метод розрахунку за номограммами.

Приклад 9.1

У водойму з витратою $Q = 30$ м³/с після очисних споруд скидаються очищені стічні води з витратою $q = 1,5$ м³/с. Концентрація завислих речовин у стічній воді, що надходить на очисні споруди, $C_{\text{ст}} = 145$ мг/л. Ділянка водного об'єкта, куди скидаються стічні води, відноситься до другої категорії рибогосподарського водокористування. Концентрація завислих речовин у воді водного об'єкта до місця скидання $C_{\text{ф}} = 2$ мг/л. Коефіцієнт змішування для даного випадку $\gamma = 0,29$.

Розв'язок. Виходячи з умов відповідно до "Правил охорони поверхневих вод" допустиме збільшення вмісту завислих речовин у водному об'єкті після скидання стічних вод $P = 0,25$ мг/л.

Концентрація завислих речовин у стічній воді, що скидається в даний водний об'єкт, не повинна перевищувати значення, розраховані за (9.4):

$$C_{\text{оч}} = 0,25 \cdot \left(\frac{0,29 \cdot 30}{1,5} + 1 \right) + 2 = 3,7.$$

Для цього очисні споруди повинні забезпечити необхідне очищення (9.3):

$$E_{\text{зав}} = \frac{250 - 3,7}{250} \cdot 100 = 98,52 \, \%.$$

Приклад 9.2

Визначити необхідний ступінь очищення стічних вод за вмістом розчинного кисню, які скидаються у водотік, за наступних умов: витрата стічних вод $q = 1,8 \, \text{м}^3/\text{с}$; витрата водотоку $Q = 44 \, \text{м}^3/\text{с}$; коефіцієнт змішування стічних вод $\gamma = 0,42$; вміст розчинного кисню у воді водотоку до місця скидання стічних вод $O^B = 8,5 \, \text{мг/л}$; БСК_{повн} у водотоці до місця скидання $L^B_{\text{повн}} = 1,9 \, \text{мг/л}$; БСК_{повн} стічної води, що надходить на очисні споруди $L_a = 270 \, \text{мг/л}$.

Розв'язок. Водний об'єкт, до якого відбувається скидання стічних вод, призначений для комунально-побутових потреб населення, тобто до II категорії, для нього допустима концентрація розчиненого кисню в розрахунковому створі не повинна бути менш 4 мг/л у будь-який період року.

Розрахункову концентрацію за БСК_{повн} в очищених стічних водах за умови збереження в розрахунковому створі припустимої концентрації розчиненого кисню визначаємо за формулою (5.16):

$$L^{\text{ст}}_{\text{повн}} = \frac{0,42 \cdot 44}{0,4 \cdot 1,8} \cdot (8,5 - 0,4 \cdot 1,9 - 4) - \frac{4}{0,4} = 86,0 \, \text{мг/л},$$

$$E_{\text{БСК}_{\text{повн}}} = \frac{L_a - L^{\text{ст}}_{\text{повн}}}{L_a} \cdot 100 = \frac{270 - 86,0}{270} \cdot 100 = 68,15 \, \%.$$

Список рекомендованої літератури

1. *Запольський А.К.* Водопостачання, водовідведення та якість води. – К.: Вища шк., 2005. – 671 с.
2. Инженерная защита окружающей среды /Под ред. *О.Г. Воробьева*. – СПб.: Лань, 2002. – 288 с.
3. Инженерная защита поверхностных вод от промышленных стоков /*Д.А. Кривошеин* и др. – М.: Высшая школа, 2003. – 344 с.
4. *Кравченко В.С.* Водопостачання та каналізація. – К.: Кондор, 2003. – 288 с.
5. *Ласков Ю.М.* и др. Примеры расчетов канализационных сооружений. – М: Стройиздат, 1987. – 255с.
6. Рациональное использование водных ресурсов /*С.В. Яковлев* и др. – М.: Высш. шк., 1991. – 400 с.
7. *Сніжко С.І.* Оцінка та прогнозування якості природних вод. – К.: Ніка-центр, 2001. – 264 с.
8. Фізико-хімічні основи технології очищення стічних вод /*А.К. Запольський* та ін. – К.: Лібра, 2000. – 552 с.
9. *Левківський С.С., Падун М.М.* Раціональне використання і охорона водних ресурсів. – К.: Либідь, 2006. – 280 с.

Зміст

Вступ.....	3
Практичне заняття № 1. Розрахунок водогосподарчого балансу.	4
Практичне заняття № 2. Показники якості природної води.....	8
Практичне заняття № 3. Оцінка якості поверхневих вод суші за гідрохімічними показниками (методика Гідрохімічного інституту)...	11
Практичне заняття № 4. Проведення екологічної оцінки якості води.....	15
Практичне заняття № 5. Визначення добових об'ємів водоспоживання населених пунктів.....	20
Практичне заняття № 6. Оцінка ефективності використання води на промисловому підприємстві.....	24
Практичне заняття № 7. Визначення забрудненості стічних вод населеного пункту.....	28
Практичне заняття № 8. Визначення ступеню розбавлення стічних вод.....	33
Практичне заняття № 9. Визначення необхідного ступеню очищення виробничих стічних вод.....	36
Список рекомендованої літератури.....	42

Навчальне видання

РИЖКОВ Сергій Сергійович
БЛАГОДАТНИЙ Володимир Валентинович
МОЗГОВИЙ Андрій Михайлович
МОРОЗОВА Наталія Вікторівна

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ
до виконання практичних робіт з дисципліни
"Водопостачання, водовідвід, поліпшення якості води"

(українською мовою)

Комп'ютерна верстка *М. В. Удод*
Коректор *М. О. Паненко*

Свідectво про внесення суб'єкта видавничої справи до Державного реєстру видавців,
виготівників і розповсюджувачів видавничої продукції
ДК № 2506 від 25.05.2006 р.

Підписано до друку 07.07.09. Папір офсетний. Формат 60×84/16.
Друк офсетний. Гарнітура "Таймс". Ум. друк. арк. 2,5. Обл.-вид. арк. 2,7.
Тираж 100 прим. Вид. № 34. Зам. № 252. Ціна договірна

Видавець і виготівник Національний університет кораблебудування,
54002, м. Миколаїв, вул. Скороходова, 5