

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

Національний аерокосмічний університет ім. М. Є. Жуковського  
«Харківський авіаційний інститут»

П. Г. Кирієнко, Є. М. Варламов, В. В. Кручина, І. М. Берешко

ВОДОПОСТАЧАННЯ, ВОДОВІДВЕДЕННЯ  
ТА ПОЛІПШЕННЯ ЯКОСТІ ВОДИ

Навчальний посібник

Харків «ХАІ» 2013

УДК 628.14 + 628.16 + 628.2 (075.8)  
В 62

Рецензенти: д-р техн. наук Л. Я. Анищенко,  
канд. техн. наук В. А. Квасов

**Водопостачання, водовідведення та поліпшення якості**  
В 62 води [Текст] : навч. посіб. / П. Г. Кириєнко, Є. М. Варламов,  
В. В. Кручина, І. М. Берешко. – Х. : Нац. аерокосм. ун-т  
ім. М. Є. Жуковського «Харк. авіац. ін-т», 2013 . – 188 с.

Розглянуто теми: загальна характеристика природних вод; водні ресурси України; системи і схеми водопостачання; водозабірні споруди з поверхневих і підземних джерел; технологічні схеми підготовки питної води; якість питної води; системи каналізації; біологічні технологічні схеми очищення стічних вод; деякі технологічні схеми фізико-хімічного очищення стічних вод; організація контролю якості стічних вод.

Наведено завдання і приклад виконання розрахунково-графічної роботи для визначення витрат води населеним пунктом, побудови водогону і його розрахунку, а також побудови ліній п'єзометричних висот водогону.

Для студентів, що вивчають курс «Водопостачання, водовідведення та поліпшення якості води».

Іл. 50. Табл. 36. Бібліогр.: 17 назв

**УДК 628.14 + 628.16 + 628.2 (075.8)**

© Кириєнко П. Г., Варламов Є. М.,  
Кручина В. В., Берешко І. М., 2013  
© Національний аерокосмічний  
університет ім. М. Є. Жуковського  
«Харківський авіаційний інститут», 2013

«Вода! У тебе нет ни цвета,  
ни запаха, ни вкуса,  
тебя не опишешь, тобою  
наслаждаешься, не понимая,  
что ты такое. Ты не просто  
необходима для жизни,  
ты – сама жизнь»

Антуан де Сент-Экзюпері

## **I. ВСЕ ПРО ВОДУ**

### **1. 1. Все про воду**

Необхідність води для забезпечення життєдіяльності людини і всього живого на нашій планеті обумовлена її роллю у кругообігу природи, а також у забезпеченні фізіологічних, гігієнічних, рекреаційних, естетичних та інших потреб людини.

Перші космонавти побачили з Космосу планету Земля голубою, тому що  $\frac{3}{4}$  її поверхні складає гідросфера.

Організм людини потребує споживання води навіть у стані спокою. Втрата організмом людини 20–22% води призводить до неможливості існування самого організму.

Це зв'язано з тим, що процеси травлення, синтез живої речовини і всі обмінні процеси відбуваються у водному середовищі. Але значення води не вичерпується її фізіологічною роллю. Велика кількість води використовується людиною для забезпечення господарсько-побутових потреб, досягнення належного санітарно-технічного режиму лікувально-профілактичних закладів, підприємств громадського харчування, для проведення оздоровчої та лікувальної терапії. В містах велика кількість води витрачається на полив вулиць і зелених насаджень.

Але найбільшу кількість води використовує промислове виробництво. Там продукується найбільша кількість забруднень поверхневих і підземних вод.

Кількість води, що необхідна для однієї людини на добу, залежить від клімату місцевості, ступеню благоустрою житла, стану житлового фонду, культурного рівня населення та інших факторів (табл. 1. 1).

Загальна кількість води у світі – 1,5 млрд км<sup>3</sup>. За оцінками вчених, запаси прісних вод становлять 2,5 % від світових запасів, а 97,5 % – солоні води морів і океанів. 75 % світових запасів прісних вод зберігаються в арктичних і антарктичних шапках полюсів і вічних льодовиках. Якщо розтопити всі світові льодовики, то товща води дорівнюватиме 53 метрам, і вода буде рівномірно розподілена по всій поверхні Землі.

Таблиця 1. 1

Норми водовідведення (водоспоживання) господарсько-побутових стічних вод для населених пунктів

Ступінь благоустрою районів житлової забудови	Норма водовідведення (водопостачання) на одного жителя, л/добу
Будови, що обладнані водопроводом, каналізацією, але без ванн	125 – 160
Будови, що обладнані водопроводом, каналізацією, ваннами з місцевим водопостачанням	160 – 230
Будови, що обладнані водопроводом, каналізацією, системою центрального гарячого водопостачання	230 – 350
Житлові будови без каналізації	25

Майже 24 % прісних вод знаходяться під землею у вигляді ґрунтових вод, а 0,5% – у землі у вигляді вологи. Таким чином, на доступні джерела води припадає трохи більше 0,01 % світових запасів води (табл. 1. 2).

Таблиця 1. 2

Класифікація води залежно від розчинених солей

Води	Розчинено солей
Прісні води	до 1 г/л
Слабосолонуваті води	від 1 до 3 г/л
Солонуваті води	від 3 до 5 г/л
Сильносолонуваті води	від 5 до 10 г/л
Солоні	від 10 до 25 г/л
Сильносолоні чи морська сіль	від 25 до 50 г/л
Розсоли	більше 50 г/л

Вода на Землі перебуває у стані постійного кругообігу, випаровуючись під дією сонячної радіації та випадаючи на поверхню Землі у вигляді дощу та снігу.

У 1783 – 1803 роках було визначено кількісний і окисний склад води та її класична формула  $H_2O$ , де 88,81 % – кисень і 11,19 % – водень.

У 1931 році було відкрито ізотопи водню:  $H^1$  – протій і  $H^2$  – дейтерій, а у 1951 році  $H^3$  – тритій. Відповідно, з'явилися формули:  $H_2O$ ,  $D_2O$ ,  $T_2O$ .

Відомі три ізотопи кисню –  $O^{16}$ ,  $O^{17}$ ,  $O^{18}$  – дали назву важкій і надважкій воді.

Хімічну природу води до цього часу не визначено. Вона складається з 18 різних речовин.

Вода відома у трьох агрегатних станах:

- газоподібний стан – моногідролі (рис. 1. 1, а);
- рідина – дигідролі (рис. 1. 1, б);
- тверда речовина (лід) – тригідролі (рис. 1. 1, в).

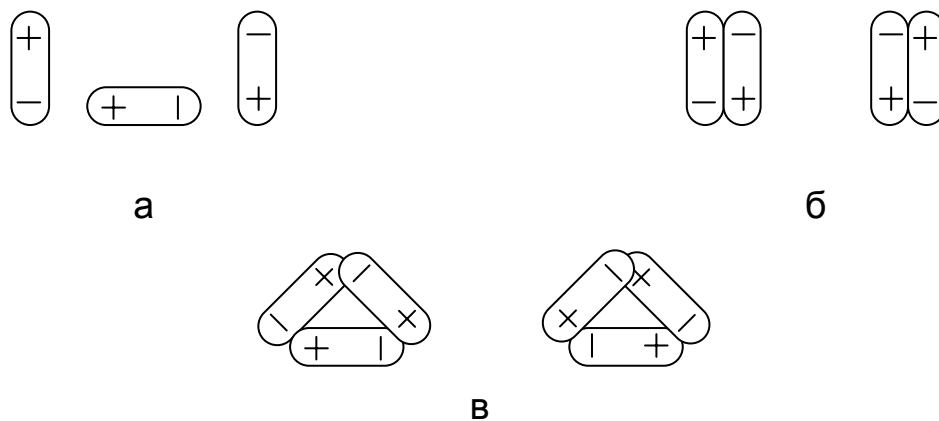


Рис. 1. 1. Агрегатний стан води:  
а – моногідролі, б – дигідролі, в – тригідролі

Існують аномалії води:

- 1) при нагріванні води від 0 до 4°C її об'єм зменшується, максимальної щільності вода досягає при температурі 3,98°C;
- 2) об'єм води при замерзанні збільшується;
- 3) поверхневий натяг води найбільший із рідин і становить 75 ерг/см<sup>3</sup>;
- 4) чиста вода – діелектрик;
- 5) вода – універсальний розчинник.

## 1. 2. Джерела води

Основними джерелами води на Україні є: моря – Чорне і Азовське; озера – Світязь та інші; штучні озера, які створені людьми; річки – Дніпро з його притоками – Десною, Прип'яттю, Сулою, Самарою, Псьолом, а також Сіверський Донець, Південний Буг, Західний Буг, Дністер, Тиса, Прут, Дунай.

Чорне і Азовське моря використовуються в основному для судноплавства, рибальства та як зони відпочинку громадян України і туристів.

Для питного водопостачання використовуються води річок і озер, які складають поверхневий стік. Залежно від наявності іонів розчинених солей усі природні води поділяють на три класи: гідрокарбонатні (карбонатні), сульфатні та хлоридні. Якість поверхневих вод залежить від кліматичних і геологічних факторів. Основними кліматичними факторами є частість та кількість опадів, а також екологічний стан відповідного регіону. Оподи несуть з собою деяку кількість нерозчинених частинок – пилюки, пісоку, грибкових спор та ін.

Поверхневі води характеризуються в основному відносною м'якістю, високим вмістом органіки і присутністю мікроорганізмів.

До геологічних факторів треба віднести місця, де починає формуватися поверхневий стік (болота, гори, підземні води та ін.), по територіях і ґрунтах яких протікають річки (як приклад, р. Жовті води). Річки розподіляються на малі, середні та великі (табл. 1. 3).

Таблиця 1. 3

Класифікація річок за розмірами

Категорія річки	Загальна площа водозабору, км <sup>2</sup>	Витрати води, м <sup>3</sup> /с	Швидкість течії, м/с	Коливання рівня, м
мала	до 2000	до 5	до 0,2	до 1
середня	2000 – 50000	5 – 100	0,2 – 1	1 – 2
велика	більше 50000	більше 100	більше 1	більше 2

Естуарії класифікуються за визначальним гідрологічним режимом: стічні, припливно-відпливні, змінно-нагінні та за коливанням рівня: до 0,5 м – малі, від 0,5 до 1 м – середні, більше 1 м – великі.

**Підземні води.** Підземні води класифікують за походженням, фізичним станом, а також за характером ґрунтів, гідравлічних умов, температури, мінералізації і хімічного складу.

У ситуації, коли підземні води вважаються як джерела питної води, важливою інформацією є хімічний склад води та її мінералізація. За цими показниками всі підземні води розподіляють на прісні (до 1%), солонуваті (1 – 25%), солоні (25 – 50%) і розсоли (більше 50%).

Прісні води близькі за складом до поверхневих вод. Солонуваті підземні води відносяться до мінералізованих вод гідрокарбонатного чи сульфатного класів. У цих водах основними є катіони кальцію, натрію, магнію, калію, заліза і рідко марганцю. Разом з присутніми у водах аніонами – карбонатами, сульфатами, хлоридами, гідрокарбонатами, – катіони утворюють солі. Концентрація солей залежить від глибини залягання води. У водних горизонтах великих глибин вміст солей достатньо високий і тому їх можна віднести до класу солонуватих. До

цього класу треба віднести і велику кількість відомих мінеральних вод. Такі води мають активну бальнеологічну дію. До таких вод слід віднести води Трусковця (відома «Нафтуся»), Моршина, Миргорода, регіонів Криму, Одеси, Харкова та ін.

На якість підземних вод можуть впливати такі фактори:

- 1) геологічна природа водоносного шару;
- 2) характер і склад ґрунтів, через які поверхнева вода просочується до водоносного горизонту;
- 3) склад води в підземному горизонті та її вік;
- 4) хімічний склад опадів у окремому регіоні.

Ці води характеризуються достатньо високим ступенем мінералізації, жорсткістю, низьким вмістом органіки і майже повною відсутністю мікроорганізмів.

**Артезіанські води.** Цей клас підземних вод залягає глибоко під землею у водоносних горизонтах між водоупорними шарами. Ці води мають значну мінералізацію і меншу забрудненість порівняно з поверхневими і ґрунтовими водами.

**Гейзери.** Гейзери на Україні зустрічаються у м. Берегові Закарпатської області та на Керченському півострові Автономної Республіки Крим. На Керченському півострові є грязьові гейзери. У Береговім – термальні гейзери, які використовують у бальнеологічних цілях та ін.

### 1. 3. Фізико-хімічні властивості води

Вода – це найпоширеніший на Землі мінерал. Реальна вода – водяний розчин багатьох речовин різного агрегатного стану і складу. До водяного розчину входять іони неорганічних сполук ( $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Fe}^{2+}$ ,  $\text{Fe}^{3+}$ ,  $\text{Al}^{3+}$ ,  $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{NO}_2^-$ ,  $\text{F}^-$ ,  $\text{SiO}_2^{2-}$ ,  $\text{HS}^-$ ,  $\text{CO}_3^{2-}$  та ін.), розчинені гази ( $\text{O}_2$ ,  $\text{CO}_2$ ,  $\text{N}_2$ ,  $\text{H}_2\text{S}$ ), дрібні частинки твердих домішок, органічні речовини природного і неприродного походження, мікроорганізми і продукти їхньої життєдіяльності. Розмір частинок коливається у великому інтервалі – від десятитисячних часток мікрметра до 100 і більше мікрон.

Вода, як окисел водню  $\text{H}_2\text{O}$ , є найпоширенішою стійкою сполукою водню і кисню. Співвідношення кисню і водню у воді є таким: 11,11 % – гідрогену і 88,89 % – оксигену, молекулярна маса – 18,0160. Вода – безколірна рідина без запаху і смаку.

Найпростішу формулу  $\text{H}_2\text{O}$  має водяна пара – гідроль. Молекула води як рідини складається із двох простих молекул  $(\text{H}_2\text{O})_2$  – дигідроль, молекула льоду – це об'єднання трьох молекул  $(\text{H}_2\text{O})_3$  – тригідроль.

Вода може бути у рівновазі у трьох станах – це пара, вода і лід за умов температури  $+0,01^\circ\text{C}$  і тиску  $6,03 \cdot 10^{-3}$  атм. Цей стан називається потрійною точкою води.

Багато фізичних властивостей води мають аномалії. Об'ємна густина в інтервалі температур від 100 – 4°C збільшується і досягає максимального значення (1,000 г/см<sup>3</sup>) при температурі 3,98°C, а потім починає зменшуватися і при замерзанні стрибкоподібно падає.

В'язкість води з підвищенням тиску зменшується, а не збільшується, як у інших рідин. Вода є практично нестискуваною речовиною, причому з ростом температури стискуваність зменшується.

Аномалії фізичних властивостей пов'язані зі структурою її молекули і особливо міжмолекулярної взаємодії води й льоду.

Структурну схему молекули води наведено на рис. 1. 2. Три ядра у молекулі води утворюють рівнобічний трикутник з двома ядрами водню в основі трикутника і киснем на вершині. З іншого боку молекула H<sub>2</sub>O за електричною полярністю являє собою магніт ультрамікроскопічних розмірів (рис. 1.3), який може бути зорієнтованим певним чином у полі постійного струму (1Å=10<sup>-10</sup>м=0,1нм 1нм=10<sup>-9</sup>м).

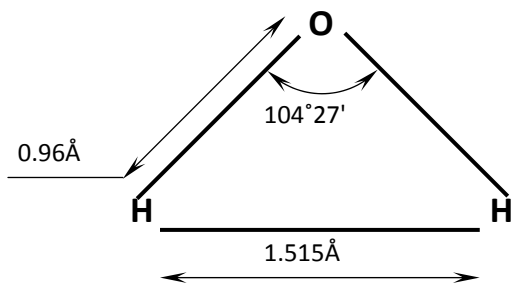


Рис. 1. 2. Структурна схема води

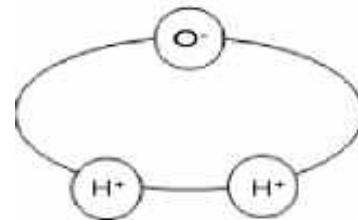


Рис. 1. 3. Електрична полярність молекули води

Дипольні молекули можуть орієнтуватися відносно розчинених у воді негативно заряджених іонів і позитивно заряджених катіонів, утворюючи навколо них гідратні оболонки. Молекули води можуть орієнтуватися відносно одна одної, повертаючись позитивними полюсами до негативних, і навпаки. Групи взаємно орієнтованих молекул H<sub>2</sub>O (водні кластери) є квазітривалими, але можуть розкладатися, з'єднуватися, утворюючи об'єднання різних форм і розмірів.

Таким чином, вода, за своїми фізико-хімічними властивостями, – це водно-сольовий розчин, який має певну структуру. Фізичними дослідженнями визначено, що кластери води об'єднуються у складні структури. Геометрія таких структур відображується в багатогранності форм сніжинок і кристалів льоду. Усі сніжинки шестигранні, але геометричні форми цих сніжинок різноманітні.

Вода з подібними кластерами має більш високі реактивні й розчинні властивості, краще просочується через біологічні мембрани, скоріше виводиться з організму через екскреторні органи. Така вода є найбільш активною за біофізичними і біологічними показниками. Як приклад, мало-



мінералізована вода (10 – 20 мг/л) атмосферних опадів, повенева вода є найбільш корисною для живих істот.

У природних умовах вода, в тому числі кисла і прісна, вміщує розчинені солі, органічні речовини і гази. Їхній кількісний склад змінюється залежно від походження води і оточуючого середовища. У прісних водах, як правило, переважають іони  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$  і  $\text{HCO}_3^-$ . Із збільшенням мінералізації зростає концентрація іонів  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ .

Макромолекулярна структура води з великою кількістю «пустот» дає їм змогу після розриву водневих зв'язків приєднувати молекули або частини молекул інших речовин, сприяючи тим самим їхньому розчиненню.

Найбільша здатність утворювати водневі зв'язки у воді у замерзлому стані виявляється тоді, коли істотно зменшене теплове коливання молекул. За допомогою водневих зв'язків молекули утворюються у складніші угруповання – асоціати (рис. 1. 4): кожна молекула знаходиться в оточенні чотирьох інших. У воді, в рідкому стані, найстійкіші асоціати можна подати у вигляді здвоєних молекул. Здатність утворювати у воді водневі зв'язки створює надзвичайно високий ступінь упорядкування у розміщенні молекул води.

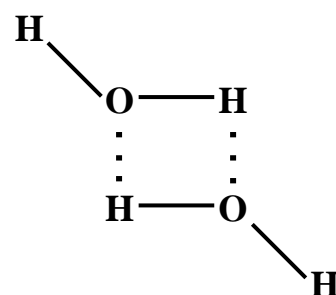


Рис.1. 4. Асоціати води

Особливості структури молекул води та їхніх асоціатів на основі водневих зв'язків є причиною того, що вода не підпорядковується багатьом фізико-хімічним закономірностям, які властиві іншим сполукам.

Вода має максимальну густину за температури  $4^\circ\text{C}$ . На відміну від більшості речовин, густина яких під час охолодження збільшується, густина води зменшується. Ця аномальна властивість води має велике біологічне значення. Завдяки їй, глибокі водойми взимку до дна не промерзають, і в них зберігається життя, оскільки щільність льоду менша за густину рідкої води. Лід спливає на поверхню й утворює теплонепроникний шар.

За звичайних умов вода замерзає за температури  $0^\circ\text{C}$  і закипає за температури  $100^\circ\text{C}$ , тобто крива піднімається стрімко вгору замість того, щоб опускатися. Що це? Можливо, вода – незвичний та унікальний виняток із правил. Причину цього явища поки що до кінця не з'ясовано, хоча передбачають, що це, очевидно, залежить від будови її молекул і міжмолекулярної структури. Таке різке відхилення від певної закономірності пояснюється тим, що вода є асоційованою рідиною. Сила взаємодії молекул води досить значна, і для того, щоб зруйнувалася її структура, потрібний інтенсивний тепловий імпульс. Отже, аномальність температур плавлення льоду та кипіння води пов'язана з тим, що існування води в умовах Землі у твердому і рідкому станах також

аномальне. Нормальним було б перебування води лише у газуватому (тобто пароподібному) стані.

Асоційованість води зумовлює дуже високу теплоту її пароутворення. Наприклад, для того щоб випарувати 1 г води, нагрітої до 100°C, потрібно у шість разів більше теплоти, ніж для нагрівання тієї самої кількості води від 0 до 80°C. Завдяки цьому вода є потужним енергоносієм на нашій планеті. У зв'язку з високою теплоємністю вода може сприймати значно більше теплоти, істотно при цьому не нагріваючись. Для порівняння зазначимо, що теплоємність піску становить 0,2, а заліза – 0,107 теплоємності води. Здатність води накопичувати великі запаси теплової енергії дає змогу нівелювати різкі температурні коливання на земній поверхні у різні пори року і доби, тобто вода є регулятором температури повітря.

Слід зазначити, що теплоємність води аномальна не лише за своєю величиною, а й за температурними змінами. Так, в інтервалі від 0 до 37°C вона зменшується і тільки після цього починає підвищуватися. Мінімум теплоємності води відповідає температурі 36,79°C, а це нормальна температура людського тіла. Біологічна доцільність підтримання температури тіла до мінімального значення теплоємності води може бути пов'язана з мікрофазовими перетвореннями в системі рідина–кристал, тобто вода–лід.

Особливо наочно виявляється поверхневий натяг у замочуванні – «прилипанні» води до багатьох поверхонь. Встановлено, що всі речовини, наприклад пісок, скло, глина, папір, тканини та інші, які легко змочуються водою, обов'язково мають у своєму складі молекули з атомами кисню. Ця особливість води дала змогу пояснити природу процесу змочування: енергетично незрівноважені молекули поверхневого шару води отримують здатність утворювати додаткові водневі зв'язки з атомами кисню зазначених вище речовин.

Змочування і поверхневий натяг є основою явища капілярності. Останнє полягає в тому, що у вузьких каналах (капілярах) вода може підніматися на висоту значно більшу, ніж та, яка допускається силою гравітації для стовпчика цього перетину. В аналогічних умовах ртуть не піднімається, а навпаки, опускається. Капілярність води має велике значення для еволюції життя на нашій планеті. Завдяки цьому явищу вода змочує товщу ґрунту, що знаходиться вище від ґрунтових вод, поставляючи таким чином кореневій системі рослин розчини поживних речовин із глибини в десятки метрів. Капілярністю у багатьох випадках зумовлюється рух крові та тканинних рідин.

Специфічно поводить себе вода у вузьких капілярах, що також пояснюється особливостями її структури. У природних умовах це можна спостерігати у поровій воді. У вигляді тоненької плівки вона покриває поверхню пор і порід і мінералів земної кори. Ця вода, що зв'язана

з поверхнею твердих тіл міжмолекулярними силами, можливо, має особливу структуру і тому замерзає за нижчих температур, ніж звичайна вільна вода. Дослідження, проведені у багатьох лабораторіях світу, свідчать про те, що після замерзання зв'язаної води іншими стають не лише її властивості, змінюються також властивості тих гірських порід, у яких вона міститься. Детальне вивчення порової води дасть змогу відповісти на багато питань, що мають практичне значення, а саме: формування підземних вод у товщі кристалічних масивів, набухання глинистих ґрунтів на дорожніх покриттях, у шахтах, під час меліоративних робіт, прогнозування осадження поверхні тощо. Вивчення порової води може бути корисним і для з'ясування таїн атмосфери. Адже у високих шарах атмосфери водяні краплі, так само як капілярна і порова вода, замерзають за температури значно нижчої  $0^{\circ}\text{C}$ , переохолоджуючись на десятки градусів. Причому, чим менші краплі, тим нижча температура, за якої вони залишаються в рідкому стані. Розміри найдрібніших краплин води в атмосфері порівняно з товщею шару капілярної або порової води.

Вода, яка зазнала дії електромагнітного поля, набуває певних властивостей. Так, вода, опромінена електромагнітним полем, краще знесолюється, що деякою мірою вирішує проблему запобігання утворенню накипу. При цьому також зменшується змочуваність різних матеріалів, прискорюється та збільшується адсорбція забрудників води, поліпшується розчинення твердих тіл, підвищується розчинність газів.

Нагріта до високої температури знесолена вода деякий час перебуває у метастабільному стані й має підвищену розчинну здатність щодо карбонатів, сульфатів, силікатів та інших хімічних сполук. Вода з цими сполуками може утворювати стійкі метастабільні перенасичені розчини. Тому знесолену воду називають *активованою*. Якщо таку воду нагріти до  $400^{\circ}\text{C}$ , її розчинні й фільтрувальні властивості на тривалий час підвищуються у чотири рази, тоді як нагрітої до  $200\text{--}300^{\circ}\text{C}$  – лише у 2–3 рази. Такі властивості води дають змогу певною мірою пояснити явища, що відбуваються у надрах Землі під дією високих тисків і температур, – просочування гарячих водних розчинів у порах порід.

Після додавання у воду невеликих домішок (частки відсотка) полімерних сполук з великою полімерною масою, наприклад поліакриламід, отримують «слизьку» воду. Скляна кулька, занурена в таку воду, падає у 2–2,5 рази швидше, ніж у звичайній, і швидко рухається по трубопроводах. Утворення асоціатів молекул води з макромолекулами полімерних домішок сприяє руйнуванню гідратних оболонок навколо зависей та прискорює випадання їх в осад.

Додання невеликих доз силіцієвмісних речовин надає воді гумоподібного стану. В цьому випадку вода із нахиленої посудини не виливається, а витягується у вигляді еластичного джгута. При введенні у воду невеликих доз (соті частки міліграма) металів, зокрема срібла, вона

набуває високих бактерицидних і лікувальних властивостей і є чудовим консервантом. «Срібна вода» зберігається впродовж тривалого часу, не втрачаючи властивостей питної води.

Отже, модифікуючи структуру води, можна досягти бажаних її властивостей. Це дає змогу ефективно використовувати воду в багатьох сферах техніки і господарської діяльності.

**Діаграма стану води.** Якщо вода замерзає, рухомість її молекул помітно зменшується, як і рухомість молекул будь-якої іншої речовини. При цьому вода виявляє незвичні властивості, взяти хоча б зміну її об'єму під час переходу з рідкого стану в твердий – замерзання води. Переважна більшість речовин (крім срібла, вісмуту та чавуну) у звичайному стані під час охолодження стискаються. У твердому стані їхній об'єм значно менший, ніж у рідкому. При цьому відповідно збільшується і щільність. Вода під час охолодження за нормальних умов нижче 0°C кристалізується, утворюючи лід, щільність якого менша, а об'єм майже на 10% більший, ніж об'єм вихідної води.

Як змінюється питомий об'єм води і льоду залежно від температури, показано на рис. 1. 5.

Охолоджуючись, вода спочатку поводить себе, як багато інших сполук: трохи ущільнюється і зменшує свій питомий опір. Однак близько 4°C (точніше, при 3,98°C) після подальшого зменшення температури об'єм її уже не зменшується, а навпаки, збільшується. Внаслідок схильності води до утворення асоціатів і зменшення температури послаблюються теплові перешкоди, спричинені вільним переміщенням молекул, що зумовлює структурну перебудову і впорядкування взаємного розміщення молекул.

У деяких місцях утворюється характерна для льоду геоксагональна кристалічна структура. Кожна молекула у структурі льоду, як зазначалося раніше, оточена чотирма молекулами, з якими вона сполучена водневими зв'язками. Це призводить до того, що у фазі льоду утворюється ажурна конструкція з «каналами» між фіксованими молекулами води. Отже, незважаючи на те, що лід порівняно легко може змінювати свою форму і навіть текти, не втрачаючи твердого стану (як це відбувається під час руху льодовиків), все-таки він є справжнім твердим тілом з відповідною кристалічною структурою.

Під час танення льоду руйнуються зв'язки не лише далекого, а й близького порядку. За температури 0°C від 9 до 15% молекул води втрачають зв'язки з сусідніми, внаслідок чого збільшується рухомість частини молекул і вони «занурюються» в ажурні пустоти льоду. Цим пояснюється стискання льоду під час танення і більша порівняно з ним густина утвореної води. У процесі переходу зі стану лід–вода густина її збільшується приблизно на 10%.

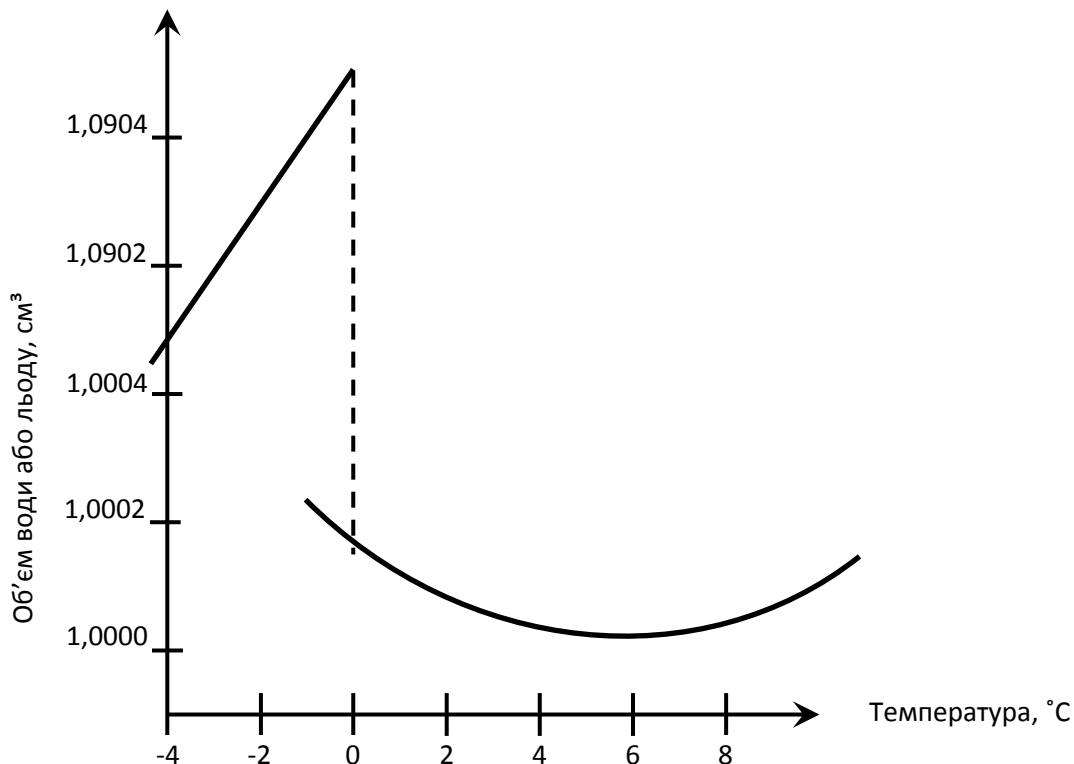


Рис. 1. 5. Зміна питомого об'єму води і льоду залежно від температури

За температури понад  $10^{\circ}\text{C}$  молекули води внаслідок теплового збурення втрачають здатність утворювати постійну жорстку ґратку, але тенденція до впорядкування зберігається. Вода перебуває у стані, який умовно характеризується як квазікристалічний. При температурі, за якої лід перетворюється на воду, зберігається ще багато водневих зв'язків й у воді є асоціати молекул із відкритою тетраедричною структурою. Підвищення температури льоду зумовлює руйнування просторових асоціатів, що приводить до збільшення густини води за температури  $4^{\circ}\text{C}$ . Після подальшого зростання температури відбувається розширення води, зумовлене посиленням молекулярного руху, що перевищує ефект структурної перебудови системи лід–вода, тобто густина води поступово зменшується.

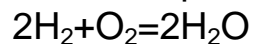
Завдяки особливостям структурних переходів системи лід–вода, що здійснюється в інтервалі  $0\text{--}4^{\circ}\text{C}$ , за сезонних змін температури ріки й озера не промерзають до дна. Верхній шар води, охолодившись до  $4^{\circ}\text{C}$  і досягнувши максимальної густини, опускається на дно водойми, постачаючи кисень її мешканцям і забезпечуючи рівномірний розподіл поживних речовин. Теплі шари води, що піднялися на поверхню, ущільнюються під час стикання з приповерхневим повітрям, охолоджуються до  $4^{\circ}\text{C}$  і знову опускаються на дно. Така циркуляція води відбувається доти, доки вона природно не припиниться і водойма не покриється льодом (кригою). Теплопровідність льоду набагато менша, ніж

води. Тому він надійно захищає глибини водойм від наскрізного промерзання.

Слід зазначити, що ці та подібні гіпотези пояснюють принципову можливість води бути структурованою та водночас залишатися рідкою і текучою. Вони намагаються пояснити багато аномалій, наприклад зменшення її в'язкості під час підвищення тиску, оскільки відомо, що для інших рідин з підвищенням тиску в'язкість збільшується. Ця властивість води забезпечує їй добру рухомість глибоко в надрах планети, де тиск досягає величезних значень.

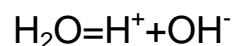
#### 1. 4. Хімічні властивості води

Взаємодія гідрогену з киснем у газоподібному стані за відсутності каталізатора повільно відбувається лише при 300°C за схемою

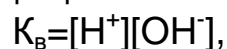


З підвищенням температури швидкість реакції зростає, і при 550°C ця реакція відбувається з вибухом. За наявності каталізаторів, зокрема платини, перебіг реакції прискорюється. У разі утворення водяної пари теплота утворення –  $\Delta H_{298} = -241,99$  кДж/моль і  $\Delta H_{298} = -239,03$  кДж/моль для рідкої води. Ця реакція є оберненою, і при зменшенні тиску або збільшенні температури, рівновага зміщується у бік термічної дисоціації. Крім термічної дисоціації, вода здатна також до електролітичної, фотохімічної й радіолітичної дисоціації.

Електролітична дисоціація води у рідкому стані відбувається самочинно за схемою



Мірою електролітичної дисоціації є іонний добуток води:



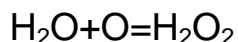
де  $[\text{H}^+]$  і  $[\text{OH}^-]$  – відповідно концентрація іонів, моль/1000 г води.

Іонний добуток води за температури 22°C становить  $10^{14}$  і характеризує кислотність середовища за шкалою рН (водневий показник).

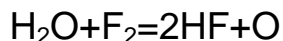
Після електролізів водних розчинів лугів і кислот вода розкладається на водень і кисень. Теоретично потенціал розкладання за 20°C і 0,101 МПа становить 1,23 В. Фотохімічна дисоціація води відбувається під дією ультрафіолетового випромінювання з довжиною хвилі 165 нм.

Під дією іонізуючого випромінювання (рентгенівське,  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$  та інші заряджені частинки) відбувається радіолітичне розкладання води. В результаті радіолізу утворюються водень, пероксид гідрогену та вільні радикали –  $\text{OH}^\cdot$ ,  $\text{H}^\cdot$  і  $\text{HO}_2^\cdot$ . Вихід радіолізу становить близько чотирьох молекул води, що розпалися, на 100 еВ поглиненої енергії випромінювання.

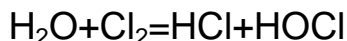
З інертними газами вода утворює гідрати, які є стійкими за дуже низьких температур. Вода окисляється киснем в атомарному стані за схемою



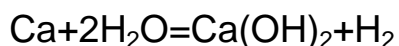
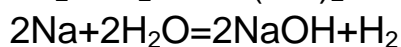
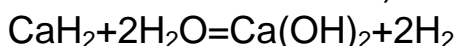
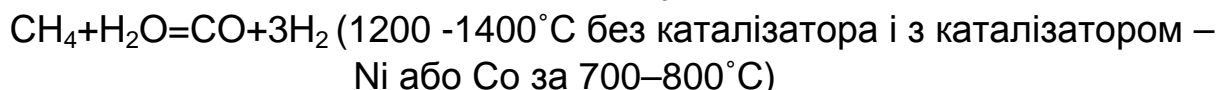
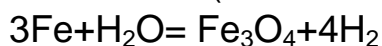
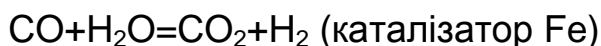
За звичайних температур вода реагує з фтором із виділенням атомарного кисню:



Під час розчинення у воді хлору відбувається реакція гідролізу хлору за схемою

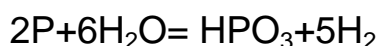


Вода має слабкі окисні властивості за рахунок атомів водню з вищим ступенем окиснення іонів H. За високих температур і наявності каталізаторів вода окиснює метан, оксид вуглецю (II), вуглець, залізо, фосфор, за звичайних умов – лужні й лужноземельні метали та їхні гідриди:

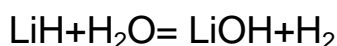


Реакції з вуглецем, оксидом вуглецю (II) і метаном використовують для промислового виробництва водню.

Фосфор при нагріванні з водою під тиском за наявності каталізатора окислюється до метафосфорної кислоти:



Натрій і кальцій розкладають воду вже за кімнатної температури. Аналогічно взаємодіють з водою гідриди лужних і лужноземельних металів:



Магній і цинк розкладають воду за температури 100°C:

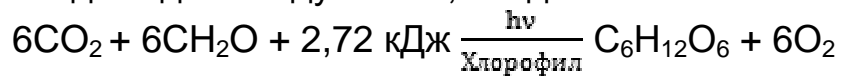


При розчиненні у воді кислотних і лужних оксидів утворюються відповідно кислоти та луки, а при розчиненні солей, кислот, основ відбувається їх гідратація, тобто приєднання молекул води до молекул розчиненої речовини.

## 1. 5. Біологічні властивості води

Вода бере участь у біологічному колообігу речовин, у процесі якого зазнає певних змін. Вона є однією з найважливіших складових живих організмів. Вода входить до складу різних тканин і органів. Так, 22 – 34 % її міститься в кістках, до 70 – 80 – у жировій тканині та до 82 – 94 – у нервових волокнах.

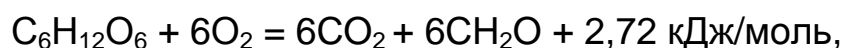
Автотрофи – зелені рослини – трансформують неорганічні сполуки, зокрема воду, оксид карбону (IV) і мінеральні солі на органічні речовини тіла клітини, молекулярна структура якої надзвичайно велика. Основою цього процесу є реакція фотосинтезу, в результаті якої з вуглекислого газу і води за участю хлорофілу та сонячної енергії утворюються органічні речовини, що входять до складу клітин, і виділяється кисень:



Гетеротрофні організми не здатні синтезувати всі речовини, які потрібні для їхнього існування. Вони використовують поживні речовини, що входять до складу організмів авто – і гетеротрофів. При цьому речовини екзотермічно розщеплюються й окислюються на простіші. Всі процеси відбуваються за безпосередньої участі живої речовини.

Ряд автотрофних організмів – продуцентів неспроможні використовувати сонячну енергію, оскільки не мають відповідних пігментів. Вони отримують енергію, необхідну для їхнього існування, в результаті окиснення мінеральних речовин. Так, бактерії *Nitrosomonas* окислюють аміак до нітритів, *Nitrobacter* трансформують нітрити в нітрати, залізобактерії окислюють ферум (II) до феруму (III), манганові бактерії – сірководень у колоїдну сірку, сульфатредуючі бактерії відновлюють сульфат до сірководню, а тіобацили окислюють сірководень до сульфатної кислоти.

Катаболізм, або процес внутрішньоклітинного руйнування поживних речовин, включає утворення води або участь її молекул в окисненні органічних речовин і здійснення відновних реакцій. Останні забезпечують використання хімічної енергії, яка міститься в усіх поживних речовинах. Рушійна сила руйнування (аеробного або анаеробного) органічної речовини забезпечується дією ферментів (ензимів). Найважливіші властивості останніх зумовлені їхньою структурою. Залежно від умов, за яких здійснюється процес біологічного окиснення глюкози в аеробних умовах, відбувається за рівнянням



в анаеробних –





Вихід енергії в анаеробних умовах становить усього 5,3 % кількості енергії, яка вивільнюється в аеробних умовах. Отже, в аеробних умовах процес отримання життєвої енергії економічніший, ніж в анаеробних. Тому клітинний поділ в аеробних умовах продуктивніший, і в наслідок цього, процеси руйнування органічних речовин до кінцевого стану здійснюються інтенсивніше.

Отже, у природі вода здійснює безперервний біологічний колообіг за участю зелених рослин, консументів і за допомогою мікроорганізмів-редуцентів, які трансформують органічні речовини на неорганічні (воду, метан, вуглекислий газ, аміак, водень та ін.), і вода знову повертається до зелених рослин – продуцентів. Мікроорганізми мають велике значення для підтримання біологічної активності та здійснення колообігу речовин, зокрема води, у природі.

У результаті техногенної діяльності людини, особливо в останні десятиріччя, практично вся прісна вода підземних і поверхневих вод Землі виявилася забрудненою речовинами – ксенобіотиками, які є непотрібними для організму людини (гербіциди, пестициди, нітрати, нітриди, продукти переробки нафти та інші). У процесі біотрансформації забруднені речовини можуть розпадатися на речовини, більш токсичні, ніж вихідні сполуки. Речовини-ксенобіотики негативно впливають на імунну систему людини, спричиняють їй різного роду органічні та функціональні розлади. Окрім цього, у воді збільшується вміст іонів, які виявляють токсичну дію на організм людини навіть у самих малих концентраціях ( $\text{Hg}^{2+}$ ,  $\text{Pb}^{2+}$ ,  $\text{Cd}^{2+}$ ), а також концентрація іонів корисних речовин у мікроскопічних дозах збільшується до шкідливих ( $\text{Fe}^{3+}$ ,  $\text{Fe}^{2+}$ ,  $\text{Cu}^{2+}$ ,  $\text{Zn}^{2+}$ ,  $\text{Ni}^{2+}$  та інші). Залежно від негативної дії на організм людини, метали розташовують у такій послідовності, яка називається рядом токсичності металів:  $\text{Hg} > \text{Ag} > \text{Cu} > \text{Zn} > \text{Ni} > \text{Pb} > \text{Cd} > \text{As} > \text{Cr} > \text{Sn} > \text{Fe} > \text{Mn} > \text{Al} > \text{Be} > \text{Li}$ . У наведеному ряду кожен елемент більш токсичний, ніж наступний.

Склад питної води відповідно до норм ВОЗ, США і України наведено у табл. 1. 4.

Таблиця 1. 4

Показники питної води за стандартами ВОЗ, США, України

Характеристики води	Допустимі концентрації за нормами, в мг/л		
	ВОЗ	США	Україна
Запах (бали)	–	не спостерігається	до 2
Мутність	10	5	до 2
pH	–	–	6,5–9,5
Хлориди	350	250	до 350
Фториди	1,5	0,5–1,7	0,5–1,5
Сульфати	250	250	до 500

## Показники питної води за стандартами ВОЗ, США, України

Характеристики води	Допустимі концентрації за нормами, в мг/л		
	ВОЗ	США	Україна
Нітрати	50	45	до 10
Кальцій	30–125	–	60
Магній	30–155	–	12,5
Жорсткість (мг-екв)/л	2–10	–	до 7
Детергенти	–	–	до 0,2
Вільний хлор	–	–	0,3–0,5
ДДТ	–	–	0,03
Озон	–	–	0,1
Ртуть	–	–	0,0005
Ціаніди (CN)	0,01	0,01–0,2	до 0,01
Феноли	0,001	0,001	до 0,01
Кадмій	0,05	0,01	до 0,01
Срібло	–	0,05	до 0,05
Барій	–	1,0	–
Сухий залишок	–	500–1000	до 1000
Залізо	0,1	0,3	до 0,3
Марганець	0,1	0,05	до 0,1
Мідь	0,05–3,0	1,0	до 1
Цинк	5,0	5,0	до 5,0
Свинець	0,1	0,05	до 0,03
Арсен	0,2	0,01–0,05	до 0,05
Селен	0,05	0,01	до 0,01
Хром	0,05	0,05	до 0,05

Намагаючись вживати якісну питну воду і розуміючи, що підземні джерела, які виходять на поверхню, можуть мати таку воду, в багатьох містах люди споживають воду з міських джерел. Такі джерела, особливо неглибокого залягання на міській території, можуть мати у своєму складі мутагенні речовини, небезпечні токсини. Окрім цього, такі джерела не мають захисту від патогенних мікроорганізмів і вірусів, їхні бювети неналежно обладнані.

У наш час у Харкові поширено розвезення і продаж води в автомобільних цистернах у тару споживачів.

## 2. ВОДНІ РЕСУРСИ

### 2. 1. Водні ресурси Землі

До складу Світового океану входять усі водні джерела (океани, моря, озера, річки, водоймища, льодовики, болота, атмосферні, ґрунтові, підземні води), які утворюють гідросферу планети Земля. 71% площі нашої планети вкрито водами Світового океану. Розподіл води за масою у гідросфері наведено у табл. 2. 1.

Таблиця 2. 1  
Розподіл води гідросфери

Складові гідросфери	Маса води, $10^{15}$ т	Відсоток сумарної маси, %
Світовий океан	1338 (1386)	91,363
Підземні та ґрунтові води	100 (4–200)	6,828
Снігольодовикові утвори	26 (24–30)	1,776
Озера, ставки	0,28 (0,18–0,17)	$1,9 \cdot 10^{-2}$
Ґрунтова волога	0,1 (0,06–0,1)	$6,8 \cdot 10^{-3}$
Болота	0,1 (0,01–0,1)	$6,8 \cdot 10^{-3}$
Атмосферна волога	0,0014	$9,55 \cdot 10^{-5}$
Річки, струмки	0,012 (0,002)	$8,2 \cdot 10^{-5}$
Усього	1464,4826	100

До поверхневих вод належать води океанів, морів, озер, річок, боліт, струмків, штучних озер, ставків та ін. Океани, моря та деякі озера мають солону воду. В річках, більшості озер, ставках, струмках, штучних водосховищах, болотах – вода прісна. Її використовують для житлового і господарського водопостачання.

Прісна вода становить незначну частину гідросфери (менш як 4%). Основна маса прісної води (до 77%) міститься в снігольодовиковому покритті Антарктиди, Гренландії та Арктики. Вода у льодовиках перебуває у твердому стані й має найменший вміст солей серед відомих водних джерел у природі. Максимальна мінералізація льодовикової води становить 3 мг/л. Людство, аналізуючи водний баланс майбутнього, покладає надію на ці величезні запаси, де зосереджено до 77% усіх запасів прісної води Землі. Вже існують проекти буксирування айсбергів з льодовиків Антарктиди до берегів Азії, Австралії. Вода з льодовиків за вартістю не перевищуватиме вартості підземних або прісних вод.

Вода у надрах землі може існувати у рідкому стані до глибини 5 км від поверхні, а в окремих випадках і до глибини до 10 км. На більшій глибині за високої температури і тиску вода перебуває у пароводяному стані. У надкритичних умовах – за температури 374°C для прісної води і 425°C і вище – для солоних насичених розчинів тиску 21,8 МПа – вона утворює своєрідну водяну плазму, тобто зникає відмінність між паром і рідкою водою. За цих умов молекули рідкої води набувають швидкості молекул газу, а її густина наближається до густини рідкої води.

Підземна вода може перебувати у вільному, пароподібному і фізично зв'язаному стані. До фізично-зв'язаної води належить міцнозв'язана гігроскопічна вода, яка утримується молекулярними силами на поверхні часточок породи. На великих глибинах за високого тиску, який досягає сотень мегапаскалів, вода витиснюється з породи і переходить у вільний стан. До фізично зв'язаної води належить також капілярна вода, яка під дією капілярних сил переміщується у тонких породах і шпаринах.

За інтенсивності обміну води з іншими складовими гідросфери у товщі земної кори розрізняють кілька зон. Зона активного водообміну – до глибини 0,3–0,5 км. Вода у цій зоні контактує з поверхневими водоймами – річками, озерами, водосховищами, ставками, болотами – і є прісною. Мінералізація її становить не більше 1 г/л з переважанням вмісту гідрогенкарбонат-іонів  $\text{HCO}_3^-$ . У зоні затрудненого водообміну (до глибини 1,5–2 км) вода солонувата або солонна з мінералізацією 1–3,5 г/л з переважанням сульфат-іонів  $\text{SO}_4^{2-}$ . На великих глибинах є зона пасивного водообміну. Тривалість поповнення води тут досягає мільйонів років, а їхня мінералізація становить понад 3,5 г/л. Це переважно холодні води, подібні до морської води. У світових запасах прісної води частка підземних і та ґрунтових вод – це близько 22,4%.

Підземні води заповнюють пори, тріщини й пустоти, тісно контактують з ґрунтом і породою земної кори. Для них характерне пошарове розміщення водоносних горизонтів (рис. 2.1), що відокремлені водонепроникними пластами породи, слабкий зв'язок з атмосферою, незначний розвиток біологічних процесів, бідність форм життя, підвищені температура і тиск. Усе це сприяє меншому забрудненню вод нечистотами та мікроорганізмами, завдяки чому вони за станом наближені до питних вод. Знаходячись на значних і різних глибинах, ці води характеризуються стабільним хімічним складом, містять більше корисних для здоров'я людини речовин (сполук кальцію, йоду, фтору та ін.). Проте й підземні води можуть забруднюватися, якщо фільтрувального шару порід недостатньо.

За глибиною залягання підземні води поділяють на три зони. Верхня зона, глибина якої здебільшого становить 2–6 м, але може досягти 20–60 (середня частина України) і навіть 300 м (південна частина України), має активний водообмін, зазнає дії фільтрування атмосферних опадів та

деякою мірою атмосферного повітря. Мінералізація води коливається в межах 0,1–1 мг/л. Середня зона розміщена на глибині 300–600, інколи – до 2000 м. Цю воду використовують для бальнеологічних цілей. Нижня зона залягає на глибині кількох кілометрів. У цій зоні практично немає водообміну і містяться високомінералізовані води хлорнатрієвокальцієвого складу, інколи зі значним умістом сірководню, броду та рідкісних елементів. Ці води використовують у промисловості для добування йоду, броду та рідкісних елементів.

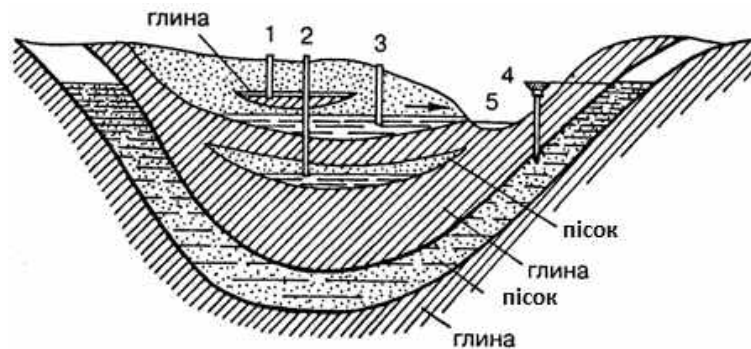


Рис. 2. 1. Пошарове розміщення водоносних горизонтів:  
 1 – верховодка; 2 – міжпластові безнапірні води; 3 – ґрунтові води;  
 4 – міжпластові напірні води

Із господарсько-питною метою використовують здебільшого воду верхньої зони. Якість води залежить від типів ґрунтів і порід, розміщених нижче. Ґрунти торф'яно-тундрової зони збагачують воду органічними речовинами рослинного походження. Це стосується також і болотних вод. Чорноземи, каштанові та солончакові ґрунти зумовлюють появу у воді переважно мінеральних речовин. Зі збільшенням глибини залягання води зменшується число мікроорганізмів, і на глибині 6 м і більше воно дорівнює нулю. Шар ґрунту завтовшки 3,5–4 м на полях фільтрації затримує до 90 % мікроорганізмів.

Господарська діяльність людей призводить до забруднення підземних вод. На хімічний склад цих вод найбільше впливають інтенсивний розвиток промисловості міст і хімізація сільського господарства, які супроводжуються появою значної кількості стічних вод і газових викидів. При цьому в атмосферу, ґрунти й поверхневі води потрапляють різні органічні та неорганічні речовини. Біологічне забруднення підземних вод зумовлюють різні мікроорганізми (бактерії, віруси та ін.). Найнебезпечнішим є забруднення води хвороботворними мікроорганізмами, що можуть надходити у ґрунтові води з полів, скотних дворів, вигрібних ям та інших забруднювачів.

У підземних водах розчиняється велика кількість газів: кисню, азоту, оксиду карбону, метану, сірководню, водню. Загальна маса розчинених у

підземних водах газів перевищує їхній вміст у Світовому океані (до 20 см<sup>3</sup>/л) і наближається до рівня всієї атмосфери Землі.

Вода – найпоширеніша речовина у природі. Вона перебуває у вільному стані (океани, моря, озера, ріки, льодовики), міститься у мінералах, гірських породах, ґрунті та входить до складу живих організмів (50–90 % їхньої маси, а в тілі медузи і огірка — близько 98 %).

Планета Земля містить близько 16 млрд км<sup>3</sup> води – це 0,25 % її маси. Основна частина води знаходиться в глибинних зонах (мантії) Землі. За місцем розміщення воду поділяють на атмосферну, поверхневу та підземну.

Усі водні джерела (океани, моря, ріки, озера, водоймища, льодовики, болота, атмосферні та підземні води) входять до складу Світового океану й утворюють гідросферу планети Земля. Більша частина поверхні планети (близько 71 %) вкрита водами Світового океану. Загальний об'єм води в ньому становить 1 370 323 тис. км<sup>3</sup> – близько 94 % усієї води планети. Верхня межа гідросфери проходить на висоті нижніх шарів стратосфери до висоти озонового екрана (приблизно на висоті 20 км). Вода в атмосфері перебуває в пароподібному стані й переміщується. Нижня межа біосфери проходить у літосфері на глибині 3 – 3,5 км від поверхні землі.

Крім вод Світового океану, найбільше води знаходиться у літосфері – це підземні води гідросфери (ґрунтові, підґрунтові, міжпластові безнапірні й напірні води, води тріщин карстових порожнин). Підземні води становлять 60 млн км<sup>3</sup>, або 4,12 % загального об'єму, і знаходяться на різних глибинах (до кількох сотень метрів). Проте у зоні активного водообміну їх міститься менш як 4 млн км<sup>3</sup>. У льодовиках знаходиться 24 млн км<sup>3</sup> води, в озерах і водосховищах – 280 тис. км<sup>3</sup>, у ґрунтах – 85 тис. км<sup>3</sup>, в атмосфері – 14 тис. км<sup>3</sup>. Вода, що заповнює русла річок, становить лише 1,2 тис. км<sup>3</sup>.

Озера різняться як за складом, так і за концентрацією розчинених у їхніх водах речовин. За своїм складом вони наближаються до підземних вод. У посушливих і пустельних зонах Землі переважають солоні й солонуваті озера. Наприклад, в озері Вікторія вміст солей в 11 разів більший, ніж в океанічних водах.

Болота є проміжною ланкою біосфери між озерами і підземними водами. Значна їх кількість знаходиться в помірних і високих широтах. У них нагромаджується болотний торф, до складу якого входить вуглець. До боліт належать і перезволожені ґрунти, які здебільшого поширені у тропічних районах. У них торф не нагромаджується, оскільки органічні речовини розкладаються повністю. Загальна площа боліт і перезволожених ґрунтів становить близько 3 млн км<sup>2</sup>. У прибережних морських районах вода в болотах буває солоною чи солонуватою.

Ґрунтові води за інтенсивністю обміну з поверхневими водами та атмосферою подібні до поверхневих вод, за дією капілярних сил – до

підземних вод, а за вмістом різних речовин (газів, органічних сполук і організмів) – це середовище, в якому інтенсивно відбуваються біогеохімічні процеси. Останні забезпечують родючість ґрунтів. Масу прісної озерної та болотної води оцінюють у 0,35 % загальної прісної води на Землі.

Річки і струмки – джерела прісної води, яка відтворюється в них найшвидше порівняно з іншими складовими біосфери. Маючи невелику миттєву масу (близько  $1,2 \cdot 10^{12}$  т), вони впродовж року доставляють води у 37 – 38 разів більше (близько  $4,5 \cdot 10^{13}$  т), ніж самі водойми. Середня мінералізація цих вод – 90 мг/л. Солоні річки трапляються дуже рідко. Це здебільшого річки, які живляться солоними підземними водами або мають у своїх руслах поклади солі. Хімічний склад річкових вод визначається переважно особливостями ґрунтів, рослинності, клімату територій, на яких вони течуть, і характеризується середніми показниками (табл. 2.2).

Таблиця 2. 2

Середній хімічний склад річкових вод, мг/л

$\text{HCO}_3^-$ , $\text{CO}_3^{2-}$	$\text{Cl}^-$	$\text{SO}_4^{2-}$	$\text{N}^+$ , $\text{K}^+$	$\text{Ca}^{2+}$	$\text{Mg}^{2+}$	Сума
47,6	6,4	11,9	6,1	13,3	3,3	88,6

Загальна маса води у живих організмах становить близько  $1,12 \cdot 10^{12}$  т.

Вода в біосфері перебуває у безперервному русі, бере участь у геологічному та біологічному колообігах речовин. Колообіг води у природі – це безперервний процес руху та обміну водою між складовими гідросфери під впливом тепла і гравітаційних сил. Під дією теплової радіації сонця вода випаровується з поверхні океанів, морів, річок, озер, водосховищ, ставків та суші й надходить до атмосфери. В атмосфері водяна пара конденсується з утворенням хмар. Крім того, водяна пара охолоджується, конденсується і під дією гравітаційних сил випадає у вигляді опадів – дощу, снігу, граду. Отже, вода переходить з одного агрегатного стану (газуватого) в інший (рідкий або твердий) і перерозподіляється на поверхні Землі, сприяючи руху поверхневих і підземних вод і навіть течіям в океанах і морях.

У колообігу беруть участь усі води гідросфери, які тісно пов'язані між собою. Однак швидкість переміщення окремих видів води (океанічної, атмосферної, льодовикової, ґрунтової, озерної, біологічної) неоднакова. Тому тривалість їхнього поновлення дуже різниться і коливається у широких межах (табл. 2.3) — від кількох годин для біологічної води до десятків тисячоліть для підземних вод.

Ґрунтова волога, що має приблизно річний цикл накопичення, витрачається переважно на випаровування і транспірацію та частково на стікання в русла річок. Води боліт здебільшого витрачаються на випаровування і меншою мірою на стік унаслідок фільтрації в русла річок.

Таблиця 2. 3  
Тривалість періодів поновлення запасів води на Землі

Вид води в біосфері	Тривалість періоду поновлення води
Світовий океан	2 500 років
Полярні льодовики і постійний сніговий покрив	9 700 років
Підземний лід у зоні багаторічної мерзлоти	10 000 років
Льодовики гірських районів	1 600 років
Підземні води	1 400 років
Ґрунтова волога	1 рік
Запаси води в озерах	17 років
Вода боліт	5 років
Вода русел річок	16 діб
Атмосферна волога	8 діб
Біологічна волога	Кілька годин

Поновлення вод озер коливається у широких межах: від одного року для малих озер посушливих районів і до кількох сотень років – для найбільших озер. Так, поновлення водних запасів Байкалу відбувається впродовж 380 років. Вільні води земної кори до глибин 2000 м поновлюються впродовж 1400 років. Підземні води витрачаються як унаслідок дренажу їх річками, так і завдяки безпосередньому потраплянню в океан. Активність водообміну підземних вод залежить від глибини залягання і зменшується зі збільшенням відстані від земної поверхні. Найшвидше поновлюються води верхніх горизонтів, що залягають на глибині не більше ніж 200 м від поверхні. Надзвичайно повільно поновлюються солонуваті води у глибоких горизонтах, що перетворюються на солоні води і ропу, які часто мають застійний характер.

Кількість вологи, що надходить з океанів на сушу, різна для окремих районів світу. Загальна величина річних опадів становить майже 119 тис. км<sup>3</sup>. Якби всі опади рівномірно розподілилися по всій площі суші, то товщина їхнього шару становила б 800 мм. Найменша кількість опадів випадає в Антарктиді й Австралії, де їхні середні річні величини відповідно дорівнюють 178 і 456 мм. Сумарна величина опадів тут становить 5,2 % загальної кількості опадів, що випадають на суші, тоді як площа цих



континентів дорівнює 13 % усієї площі суші. В Азії та Південній Америці, площа яких становить 41 % суші, випадає 50 % усієї суми опадів.

Середня величина стоку всіх річок світу – 46 800 км<sup>3</sup> за рік. Найбільший стік припадає на Азію – 31 %, Південну (26 %) і Північну (17 %) Америку, Африку – 10, Європу – 7, Антарктиду – 5, Океанію – 4 %.

Зі зростанням чисельності населення планети водозабезпеченість одного жителя весь час зменшується. Так, упродовж 1971 – 1994 рр. величина річкового стоку, яка припадає на одного мешканця протягом року, в Європі зменшилася на 8 %, у Північній Америці – на 27 %, в Австралії та Океанії – на 29 %, в Азії – на 38 %, у Південній Америці – на 42 %, в Африці – на 58 %. Водозабезпеченість одного мешканця Землі в 1971 р. становила 12,9 тис. м<sup>3</sup> на рік, у 1975 р. – 11,8 у 1994 р. – 8,27 тис. м<sup>3</sup> на рік, тобто за період з 1971-го по 1994-й рр. водозабезпеченість зменшилася на 36 %.

Розподіл водних ресурсів на земній поверхні нерівномірний як у межах континентів, так і у межах кожного з них. Так, у Європі величина стоку змінюється від 5000 мм на південно-західному узбережжі Норвегії до 15 мм у південно-східних районах європейської території Російської Федерації. На південному сході Азії стік становить понад 4000 мм і зменшується до 1 мм у посушливих районах Середньої та Центральної Азії. Африка, за винятком екваторіальних районів басейну Конго і північно-східних областей, є сухим континентом. Найсухішим материком є Австралія, на значній частині якої стік не перевищує 1 мм. Отже, в Європі та Азії, де зосереджено 73,5 % населення світу (на 1994 р.), припадає лише 38 % світових запасів прісних вод. У Південній Америці, де мешкає 5,6 % населення світу, водні ресурси становлять 25 % загального об'єму світового річного стоку.

Стік річок дуже нерівномірно розподілений упродовж року. Більша його частина (60 – 70 %) припадає на паводковий (повеневий) період, і для різних континентів він змінюється у різні місяці. Так, у Європі 48 % стоку відбувається у квітні–липні, в Азії 80 % стоку – у травні–жовтні, в Африці 74 % стоку – у січні–червні, у Північній Америці 54 % стоку – у травні–серпні. Отже, багатоводний сезон охоплює березень – вересень. Протягом цього періоду надходить до 70 % річного стоку, тому запаси води на континенті збільшуються на 28 %. Загалом для всього суходолу Землі багатоводний сезон триває з травня до жовтня. За цей час усі річки світу скидають 63 % річного стоку. Сумарні запаси прісних вод на усіх континентах збільшуються на 26 %. Нерівномірність розподілу впродовж року сумарного стоку річок окремих континентів і всього світу зумовлює необхідність його штучного регулювання створенням водосховищ різного призначення.

## 2. 2. Водні ресурси України

Водні ресурси України переважно складаються з річкового стоку і прісних підземних вод. Солоні води морів і підземних глибоких горизонтів мають поки що обмежене застосування для водопостачання. Річкові водні ресурси поділяють на дві частини: підземну і поверхневу. Підземна частина постійна, стабільна і, як правило, не потребує регулювання. Підземні води, що містяться нижче рівня дренування річками, є застійними і найчастіше мінералізованими. Поверхнева частина річкового стоку дуже мінлива і для використання здебільшого потребує регулювання.

На території України протікає 22,5 тис. річок завдовжки понад 4 км, зокрема 117 річок завдовжки 100 км і більше. Загальна протяжність цих річок – 170 тис. км.

Найбільші річки країни – Дніпро, Дністер, Сіверський Донець, Південний Буг – течуть на південь до Чорного моря. До великих річок належать також Західний Буг, який тече на північний захід у напрямі до Польщі та Балтійського моря; Тиса – притока Дунаю, яка тече у напрямі до Угорщини, та Прут – друга за величиною притока Дунаю, яка утворює за межами України кордон між Молдовою і Румунією. Найбільша притока Дунаю – Кілія, яка формує дельту Дунаю, і є кордоном між Україною та Румунією. Крім зазначених великих річок, до водних ресурсів нашої країни належить понад 63 тис. малих річок.

Розрізняють три типи річок. До першого типу належать річки рівнин, що займають більшу частину території країни. Це притоки Дніпра, Сіверського Дінця, Південного Бугу, лівобережні притоки Дністра, а також річки степової зони. Для них характерні широкі долини з пологими схилами, а поздовжні схили мають падіння 1 – 10 м / км, які зменшуються від витоків до гирла. Швидкість течії становить 0,2 – 0,5 м/с у межень, яка у паводок збільшується до 1 м / с і більше. Частина річок улітку пересихає.

До другого типу належать річки Поліської низовини. Для них характерні досить широкі й слабовиражені у рельєфі долини та незначні схили. Басейни цих річок заболочені.

Третій тип об'єднує гірські річки. Вони беруть початок у Карпатах або Кримських горах і характеризуються неширокими глибокими долинами з крутими схилами. Глибина долин у передгір'ях – 150 – 250 м, а у горах – 600 – 800 м. Перепад становить 60 – 70 м / км у верхів'ях і 5–10 м/км – у нижній течії. Швидкість течії досягає 1–2 м/с у межень і 3 – 5 м/с у паводок. Гірські річки Карпат мають постійну течію і майже не пересихають. У Криму річки пересихають надовго або переходять у підземні (карстові) потоки.

Крім того, в Україні є понад 7 тис. озер (площею від 0,1 км<sup>2</sup>) із загальною площею понад 2 тис. км<sup>2</sup>, 23 тис. штучних ставків і водосховищ (Кременчуцьке – площею 2250 км<sup>2</sup>, Каховське – 2155 км<sup>2</sup>, Київське –

922 км<sup>2</sup>, Дніпродзержинське – 567 км<sup>2</sup> та ін.). Загальні ресурси прісної води в Україні невеликі: 95 млрд м<sup>3</sup>, у тому числі 3,2 млрд м<sup>3</sup> підземних вод. Це становить близько 0,00003 % загальних світових запасів прісної води (31,2 · 10<sup>15</sup> т), або 0,009 % світових ресурсів річок, прісних озер і ставків.

Місцевий річковий стік, що формується в межах країни, у середній за водністю рік дорівнює 52,4 км<sup>3</sup>. З урахуванням притоку із сусідніх країн середній багаторічний річковий стік досягає 87,1 км<sup>3</sup>. З урахуванням стоку Дунаю Кілійським рукавом він зростає до 209,8 км<sup>3</sup>.

Прогнозні запаси підземних вод в Україні оцінюються у 21 км<sup>3</sup> / рік, або 57,4 млн м<sup>3</sup> / добу, з них гідравлічно не пов'язаних з річковим стоком — лише 7 км<sup>3</sup> / рік (19 млн м<sup>3</sup> / добу). Показники водних ресурсів річкового стоку України і ресурсів підземних вод наведено у табл. 2.4.

Таблиця 2. 4

### Водні ресурси України

Вид ресурсів	Ресурси за рік, км <sup>3</sup>			Водозабезпеченість території у дуже маловодний рік, тис. м <sup>3</sup> / км <sup>2</sup>
	Середній за водністю	Маловодний	Дуже маловодний	
Місцевий річковий стік	52,4	41,4	29,7	49,2
Приплив із суміжних територій	34,7	28,8	22,9	37,9
Підземні води, що гідравлічно не пов'язані	7,0	7,0	7,0	11,6
Сумарні ресурси	94,1	77,2	59,6	98,4

Середній багаторічний стік на 1 км<sup>2</sup> площі становить 86,8 тис. м<sup>3</sup> / рік, а із розрахунку на одного жителя — близько 1 тис. м<sup>3</sup>/рік. У дуже маловодні роки він відповідно зменшується до 49,2 і 0,57 тис. м<sup>3</sup>/рік.

На території України водні ресурси розподілені досить нерівномірно. Так, середній річний шар стоку коливається від 5 – 10 мм у Херсонській області до 625 мм на Закарпатті. Природна забезпеченість території водою характеризується величиною стоку місцевого формування впродовж року, яка припадає на 1 км площі. У найзабезпеченіших водними ресурсами областях (Закарпатська, Миколаївська, Одеська) забезпеченість водою становить 618 – 225 тис. м<sup>3</sup> / рік з 1 км<sup>2</sup>. Характерною ознакою для природного розподілу водних ресурсів на території України є те, що місцям розміщення найпотужніших споживачів

води відповідають найменші запаси водних ресурсів (Донбас, Кривбас, Автономна Республіка Крим та інші південні регіони).

Дуже нерівномірно на території України розподілені також запаси підземних вод. Найбільша кількість прогнозованих ресурсів підземних вод належить до басейнів Дніпра (61 %), Сіверського Дінця (12 %) і Дністра (9 %). Максимальна кількість (8402 тис. м<sup>3</sup> / добу) їх знаходиться у Чернігівській області. Великі експлуатаційні запаси підземних вод мають Київська, Полтавська, Херсонська, Харківська, Рівненська, Львівська, Сумська та Луганська області (4186 – 3046 тис. м<sup>3</sup> / добу). Підземні води забезпечують приблизно 17 % загального водоспоживання і 54 % господарсько-питного водопостачання (дані 1995 – 1999 рр.). До водних ресурсів належать також води озер і лиманів. Проте вони не можуть бути надійним джерелом водопостачання, оскільки ці озера здебільшого невеликі, а їхній рівневий режим нестійкий. Крім того, лимани мають переважно солону і солонувату води. Прісні озера можна використовувати як джерела водопостачання лише на території їхнього місцезнаходження.

Унаслідок обмеженості та нерівномірного розподілу водних ресурсів, для забезпечення населення і галузей народного господарства водою в Україні широко використовують регулювання річкового стоку. Найбільш зарегульований стік у басейні Дніпра. Для подолання дефіциту води в окремих регіонах було створено близько 1000 басейнів для регулювання річкового стоку та зберігання води у посушливі роки, а також систему внутрішнього подавання води. Нині водою Дніпра користуються понад 70 % населення і майже вся промисловість країни. Проте деякі регіони України відчувають гостру нестачу води (західні регіони та східна частина Кримського півострова). Дефіциту води зазнають Львів, Житомир, Бердичів та інші міста. Близько 33 % населення країни проживає в недостатньо забезпечених водою регіонах.

Найбільший водопостачальник – Дніпро, який є головною водною артерією України і третьою на європейському континенті річкою (після Дунаю і Волги) за площею басейну (509 тис. км<sup>2</sup>) і четвертою за довжиною (2200 км). У верхній течії Дніпро перетинає територію Росії і Білорусі. В Україні він протікає своєю середньою та нижньою течією. Площа басейну – 291,4 тис. км<sup>2</sup>. Води басейну Дніпра становлять близько 80 % усіх водних ресурсів України. Середній багаторічний об'єм стоку Дніпра у гирлі досягає 53 км<sup>3</sup>. У маловодні роки він зменшується до 43,5, а у надто маловодні – до 30 км<sup>3</sup>. Середньорічний стік Дніпра формується на території Росії (32 %) і Білорусі (31 %). Прогнозовані ресурси підземних вод у басейні Дніпра в межах України становлять 12,8 км<sup>3</sup>, з яких 4,7 км<sup>3</sup> гідравлічно не пов'язані з поверхневими водами. Об'єм розвіданих запасів оцінюється у 2,6 км<sup>3</sup> на рік, але нерівномірність їхнього розподілу зменшує можливість використання до 1,2 км<sup>3</sup>.

Розподіл водних ресурсів на території басейну Дніпра дуже нерівномірний. Найзабезпеченіша водою його верхня частина, в якій у середній за водністю рік на один квадратний кілометр площі припадає 219 тис. м<sup>3</sup> / рік води. У басейні Десни і Прип'яті питомі водні ресурси становлять 110–115 тис. м<sup>3</sup> / рік, а у нижній частині басейну водозабезпеченість зменшується до 36 тис. м / рік на 1 км<sup>2</sup>.

У формуванні водних ресурсів Дніпра велике значення мають водосховища і ставки на його притоках. Кількість останніх – 15 380 із загальною довжиною 67 156 км. На Дніпрі, як уже зазначалося, створено каскад із шести водосховищ загальною площею 6950 км<sup>3</sup>. Об'єм акумульованої в них води досягає 43,8 км<sup>3</sup>. Тому більшу частину водосховищ можна віднести до мілководних.

Дніпро – джерело водопостачання не лише для споживачів, які проживають у межах його басейну, але й для інших промислових центрів півдня і південного сходу країни. Системами каналів Дніпро–Донбас, Північно-Кримський і Каховський щороку переміщується за межі басейну близько 5 – 6 км<sup>3</sup> стоку. Загалом Дніпро забезпечує водою понад 65 % території України, на якій проживає близько 30 млн населення. На цій території розміщено 50 великих міст і промислових центрів, близько 10 тис. підприємств, 2,2 тис. сільських та понад 1 тис. комунальних господарств, 50 великих зрошувальних систем і 4 атомних електростанції.

У басейні Дніпра зосереджено також основний промисловий потенціал країни. Це призводить до величезного антропогенного навантаження на його води і впливає на формування якості води. Основні обсяги промислового виробництва металургійної, хімічної, коксохімічної та вугільної галузей промисловості, потужні енергетичні об'єкти і великі масиви зрошувальних земель сконцентровані на тій частині території Дніпра, де місцеві водні ресурси значно менші за потреби в них. Тому внаслідок інтенсивного забруднення різноманітними стоками більша частина водних ресурсів втратила здатність до самовідновлення і знаходиться в стадії деградації.

### **2. 3. Загальна характеристика природних вод**

**Показники якості природних вод.** Як уже зазначалося, вода є добрим розчинником, тому в природі в достатньо чистому вигляді вона майже відсутня, і без відповідного оброблення її не можна використовувати для пиття та інших господарських цілей.

Природна вода є багатокомпонентною гетерогенною системою. Вона містить різні домішки як у розчиненому, так і в нерозчиненому станах. Крім того, у ній як домішки можуть бути гази, мінеральні й органічні речовини, які знаходяться у розчиненому, колоїдному і дисперсному станах, а також

мікроорганізми. Чистота природних вод характеризується фізичними, хімічними, бактеріологічними й біологічними показниками: вмістом грубо-дисперсних домішок, забарвлювальних органічних речовин, наявністю смаку і запаху, легкоокислюваних домішок, лужністю, твердістю, сухим залишком, загальним солевмістом і бактеріальними і біологічними забрудненням.

До фізичних показників належать такі, що характеризують органолептичні властивості води, – температура, запах, смак, прозорість, каламутність, кольоровість. Під час хімічного аналізу води визначають активну реакцію (рН), кількість щільного залишку після випаровування, втрати після прожарювання, твердість, концентрацію азотовмісних речовин, гідрокарбонатів, хлоридів і галогенідів, сульфатів, сульфідів, силіцієвої кислоти, фосфатів, заліза, мангану та деяких отруйних речовин і радіонуклідів. За допомогою бактеріологічного аналізу визначають наявність кишкової палички (бактерії Колі) і загальне число бактерій у певному обсязі.

Біологічне дослідження полягає у вивченні водних організмів, що мешкають біля дна водойми та на поверхні підводних предметів (бентос) або які знаходяться в товщі води у завислому стані.

О. А. Алексін умовно поділив розчинені у природних водах речовини на п'ять груп: 1) головні іони, які містяться у найбільшій кількості ( $\text{Cl}^-$ ,  $\text{CO}_3^{2-}$ ,  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Mg}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$  та інші); 2) розчинені гази ( $\text{O}_2$ ,  $\text{N}_2$ ,  $\text{CO}_2$ ,  $\text{H}_2\text{S}$  та ін.); 3) біогенні речовини (сполуки нітрогену, фосфору, силіцію); 4) мікроелементи — сполуки решти хімічних елементів; 5) органічні речовини.

**Нерозчинні домішки.** У поверхневих водах у завислому стані (як у грубодисперсному, так і у колоїдному) перебувають нерозчинні та малорозчинні домішки – часточки глини, піску, лесу, мулистих речовин, карбонатних сполук, водних оксидів алюмінію, феруму, мангану, високомолекулярних органічних домішок гумусового походження у вигляді орґано-мінеральних комплексів. У цих водах міститься також зоо- і фітопланктон. Наявність цих домішок у воді визначає її прозорість і каламутність.

Зазвичай уміст нерозчинних домішок у поверхневих водах коливається у межах 100 – 1500 мг / дм<sup>3</sup>, досягаючи інколи великих значень – 3000 – 10 000 мг / дм<sup>3</sup>. Уміст цих домішок у різні пори року змінюється плавно та епізодично (стрибокподібно), збільшується під час атмосферних опадів і повеней. Лише в окремих річках і водоймах каламутність води у період повеней не перевищує 10 – 15 мг / дм<sup>3</sup>.

Дисперсність завислих речовин залежить від мінерального складу, тобто від вмісту піску, мулу, глини, лесу, карбонатів та інших мінералів. Фазовий склад нерозчинних домішок можна визначити, якщо використати властивість різних компонентів суспензій, які змінюють свою розчинність у дисперсійному середовищі залежно від його активної реакції (рН). Так,

карбонати лужно-земельних металів розчиняються за  $pH = 4...4,5$ , а гідроксиди заліза — за  $pH = 2...3$ .

**Високомолекулярні гумусові речовини.** Наявність у складі природних вод забарвлених органічних речовин (переважно розчинених гумінових) зумовлює їхню кольоровість. Високомолекулярні гумусові речовини забарвлюють поверхневі води у жовтувато-коричневі тони. Ці речовини вимиваються із ґрунтів, надходять з торф'яних боліт і утворюються внаслідок розвитку рослинності у водоймах. Інтенсивність кольору води та його спектральна характеристика залежать від концентрації і складу гумусу у воді.

Вміст забарвлювальних домішок у воді характеризується кольоровістю. Цей органолептичний показник визначають, порівнюючи центрифуговану або профільтровану воду з еталонними розчинами.

Наявність органічних речовин характеризує окиснення води, яка виражається у міліграмах кисню, що необхідно для окиснення органічних домішок від досліджуваної води. Іншим побічним критерієм є зменшення вмісту розчиненого у воді кисню після її 5-добового біохімічного окиснення — БСК<sub>5</sub>. Зазвичай окиснення води визначають титруванням її розчином перманганату калію (перманганатне окиснення, — ПО). При цьому окиснюється 50 % органічних речовин. Найповнішого окиснення (90 — 95 %) досягають у разі застосування дихромату калію (дихроматна окиснюваність — ДО). Цей показник називають хімічним споживанням кисню (ХСК). Кількість органічних домішок визначають, враховуючи втрати під час прожарювання маси сухого залишку, який утворюється після випаровування певного об'єму аналізованої води.

Кольоровість води, як правило, змінюється згідно з порами року і досягає найбільших значень під час повеней. При цьому в ній одночасно зменшується вміст солей та лужність внаслідок надходження вод, до складу яких входять органічні речовини.

Присмаки у природних водах з'являються внаслідок природного або штучного забруднення. Розрізняють чотири основних смаки води — солоний, гіркий, солодкий, кислий. Решта численних смакових відчуттів складається з основних і називається присмаками. Найпоширеніший солоний смак води здебільшого зумовлюється розчиненням у ній хлоридом натрію, гіркий — сульфатом магнію. Кислий смак має вода, в якій у надлишку розчинений оксид карбону (IV). Залізний присмак надають воді розчинені у ній солі феруму і мангану, лужний — сода, поташ і луги, в'язучий — сульфат кальцію. Поріг смакового сприйняття характеризується такими концентраціями, мг / л:  $NaCl - 165$ ,  $CaCl_2 - 470$ ,  $MgCl_2 - 135$ ,  $MgSO_4 - 250$ ,  $CaSO_4 - 70$ ,  $FeCl_2 - 0,35$ ,  $FeSO_4 - 1,6$ ,  $MgCl_2 - 1,8$ ,  $MnSO_4 - 15,7$ ,  $NaHCO_3 - 450$ . Крім того, погіршення смакових якостей води можуть спричинити наявні в ній органічні речовини.

Запахи води поділяють на дві групи: запахи природного походження, які зумовлені продуктами життєдіяльності та розкладання різних організмів, і штучного походження, які виникають після потрапляння до водойми стічних вод. Запахи характеризують описово: землястий, гнильний, рибний, аптечний, фенольний, хлорний, хлорфенольний, камфорний, запах нафтопродуктів та ін.

Найбільше погіршення органолептичних показників води спостерігається за масового розвитку в ній водоростей, які надають воді плісневого, землястого, рибного, затхлого та інших запахів. За наявності у воді бактерій вона набуває гнильного, землястого, ароматичного, кислого запахів, а також запахів, подібних до запаху спирту, аміаку, бензину та ін.

Для вилучення з води суміші органічних речовин природного й штучного походження застосовують екстракцію, дистиляцію або відгонку з водяною парою з наступною екстракцією, адсорбцією активованим вугіллям та елювання розчинниками, видування інертними газами з конденсацією летких сполук в уловлювачах з подальшим охолодженням твердим  $\text{CO}_2$  або рідким азотом.

Зі збільшенням температури та зменшенням тиску розчинність газів у воді зменшується. Для розбавлених розчинів за невисокого тиску і сталої температури розчинність газів, що не вступають у хімічну взаємодію з водою, підпорядковується закону Генрі:

$$S_r = k p_r, \quad (2.1)$$

де  $S_r$  — розчинність газу;  $p_r$  — його парціальний тиск у газовому середовищі;  $k$  — коефіцієнт Генрі, що є мірою розчинності газу і сталою величиною для певної температури.

Якщо асоціації або дисоціації розчинених молекул газу та хімічної взаємодії газу з водою не відбувається, то за невисокого тиску газу розчиняються з виділенням теплоти, і розчинність їхня зменшується з підвищенням температури. У водних розчинах солей розчинність газів, як правило, менша, ніж у чистій воді.

**Роль фотосинтезу у водних рослинах.** Завдяки останньому виділяється кисень і витрачається вуглекислий газ. На вміст кисню впливає також дихання організмів, що населяють водойму, — риб, планктону. У разі забруднення водойм легкоокислювальними речовинами вміст кисню у воді різко зменшується. У підземних водах уміст кисню незначний або зовсім відсутній.

У природних прісних поверхневих водах наявність оксиду карбону (IV) переважно зумовлена процесами окиснення органічних речовин, бродіння органічних решток, дихання водних організмів та ін. Концентрація цього газу у воді регулюється процесами десорбції в атмосферу і



споживанням під час фотосинтезу. В підземних водах унаслідок метаморфізації осадових порід уміст  $\text{CO}_2$  може досягати великих значень.

Залежно від рН середовища вуглекислий газ перебуває в рівновазі з гідрокарбонатними ( $\text{HCO}_3^-$ ) або карбонатними ( $\text{CO}_3^{2-}$ ) іонами.

Вугільна кислота є двохосновною і дисоціює відповідно до рівнянь



Динамічну рівновагу можна записати відповідно до реакції



З цього рівняння випливає, що для підтримання певної концентрації гідрокарбонат-іонів у розчині потрібна наявність у ньому деякої кількості вільного рівноважного оксиду карбону (IV). Надлишок його над необхідною рівноважною кількістю називають *агресивним оксидом карбону* (IV). Визначивши його концентрацію, можна оцінити стабільність складу води.

Сірководень у природних поверхневих водах може накопичуватися у природних шарах під час гниття органічних решіток. Він є продуктом розкладання сірковмісних білкових речовин. Наявність сірководню у морських і глибинних водах пов'язують з відновленням у анаеробних умовах іонів  $\text{S}^{2-}$ .

Види природних вод О. А. Алекін запропонував позначати за допомогою певних символів. Клас позначають хімічним символом відповідного аніона (С, S, Cl), а групу — хімічним символом катіона, зображеним у вигляді степеня до символу класу. Належність до типу позначають римською цифрою в нижньому індексі до символу класу. Наприклад,  $\text{S}_1^{\text{Mg}}$  — сульфатний клас, група магнію, тип перший. Для кількісної характеристики додають величини мінералізації (внизу з точністю до 0,1 г / кг) і загальної твердості (уверху з точністю до цілих одиниць—ммоль екв), наприклад,  $\text{Ca}^{\text{Ca}5}_{110.4}$ . У разі більш складного аніонного вмісту пропоставляють класи в порядку зменшення концентрації іонів. Наприклад, символ  $\text{S}^{\text{Ca}5}_{110}\text{Cl}$  читають так: сульфатно-хлоридно-кальцієва вода з твердістю 5 ммоль екв / л і вмістом солей 500 мг / л. Незважаючи на простоту і логічну послідовність цієї класифікації, вона не може відобразити всього різноманіття хімічного складу вод, особливо стічних.

Важливою характеристикою природних вод, як уже зазначалося, є їхня мінералізація. Під останньою розуміють уміст розчинених мінеральних речовин, виражений кількістю міліграмів (мг / л) або грамів у 1 кг (г / кг) води. Кількість цих речовин визначають за сухим залишком після випаровування 1 л води і висушування твердого залишку за 110 °С до

сталої маси. Під час прожарювання цього залишку за температури темно-червоного жару за різницею мас визначають уміст мінеральних і органічних речовин. Залежно від умісту солей природні води класифікують так:

- 1) прісні (до 1 г / л);
- 2) слабкосолонуваті (1–3 г / л);
- 3) солонуваті (3 – 5 г / л);
- 4) сильносолонуваті (5 – 10 г / л);
- 5) солоні (10 – 25 г / л);
- 6) сильносолоні, або морської солоності (25 – 50 г / л);
- 7) розсоли (понад 50 г / л).

У річкових водах міститься до 500 – 600 мг / л солей (основними катіонами є  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Na}^+$  та аніони  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{Cl}^-$ ). Мало-мінералізовані річкові води містять переважно іони  $\text{Ca}^{2+}$  і  $\text{HCO}_3^-$ . Гідрокарбонат-іони потрапляють у природні води внаслідок розчинення вапняків, які знаходяться в осадових породах. Уміст вуглекарбонатних іонів у поверхневих водах зазвичай рідко перевищує 250 мг / л, а у водах північних водойм і гірських річок досягає 50 мг/л.

Сульфати потрапляють у природні води внаслідок розчинення гіпсу ( $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ), окиснення саморідної сірки і сульфідних сполук до сульфатів. В анаеробних умовах сульфат-іони відновлюються сульфатредуючими бактеріями до сірководню, але такі явища спостерігаються переважно в морях і водах нафтових пластів.

Кислотність природних вод із  $\text{pH} > 4,5$  зумовлюється наявністю вільного оксиду карбону (IV), гумінових або інших органічних кислот, а кислотність з  $\text{pH} < 4,5$  – наявністю сильних кислот і солей сильних кислот і слабких основ. Залежно від величини  $\text{pH}$  розрізняють кислотність води загальну і вільну, а також кислотність, зумовлену слабкими нелеткими кислотами, вільним та агресивним оксидом карбону (IV) (останній має велике значення для характеристики підземних вод).

Із іонів лужних металів у природних, особливо морських, водах найбільше міститься іонів  $\text{Na}^+$ , у менших кількостях – іонів  $\text{K}^+$ , а також у невеликих кількостях – іонів  $\text{Rb}^+$  (0,2 мг / л) і  $\text{Li}^+$  (0,1 мг / л). У прісних водах концентрація іонів натрію і калію зазвичай не перевищує кількох міліграмів на літр. Зі збільшенням мінералізації їхній уміст різко зростає. Іони  $\text{Na}^+$  і  $\text{K}^+$  потрапляють у природні води внаслідок вилуговування їх під час вивітрювання корінних порід, які містять алюмосилікати натрію (нефелін, альбіт, олівін та ін.), і кислих порід вулканічного походження, до складу яких входить калій (ортоклаз, плагіоклаз, біотит, мусковіт та ін.). Іони  $\text{Na}^+$  потрапляють у природні води внаслідок розчинення  $\text{NaCl}$ , а також обмінної адсорбції із розчинів іонів  $\text{Ca}^{2+}$  у породах. Замість поглинених іонів кальцію у воду переходить еквівалентна кількість іонів  $\text{Na}^+$ .

У природних мінералізованих водах містяться також біогенні елементи – нітроген, фосфор і силіцій у вигляді їхніх сполук. Нітроген перебуває у вигляді неорганічних ( $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{NO}_2^-$ ,  $\text{NO}_3^-$ ) та органічних сполук у складі білка тканин організмів і продуктів його розкладання. Підвищений уміст  $\text{NH}_3$  спостерігається в анаеробних умовах, в яких процес нітрифікації не відбувається. Процес розкладання органічних речовин до  $\text{NH}_3$  відбувається значно швидше, ніж процес їх мінералізації до  $\text{NO}_2^-$   $\text{NO}_3^-$ . Слід зазначити, що найшвидше відбувається процес перетворення  $\text{NH}_4^+$  до  $\text{NO}_2^-$ . Наступний етап окиснення  $\text{NO}_2^-$  до  $\text{NO}_3^-$  відбувається значно повільніше. З підвищенням температури швидкість процесу нітрифікації збільшується, а нижче  $9^\circ\text{C}$  він сповільнюється. Оптимальне значення рН середовища для нітритних бактерій – 5,5–7,3, а для нітратних – 7,0–9,3.

Крім біологічних забруднень, сполуки нітрогену потрапляють до води ще й завдяки прямій фіксації нітрогену з атмосферного повітря бульбочковими бактеріями, а також унаслідок утворення оксидів нітрогену під час грозових розрядів і випадання їх разом з опадами.

Найменші кількості нітритів ( $\text{NO}_2^-$ ) містяться у поверхневих водах і становлять соті й тисячні частки, а в підземних водах — соті й десятки частки міліграма на літр. Концентрація нітратів ( $\text{NO}_3^-$ ) у поверхневих водах значно більша, а в ґрунтових водах верхніх горизонтів вона може сягати кілька десятків міліграмів у літрі.

Сполуки фосфору перебувають у воді у вигляді неорганічних (похідні ортофосфорної кислоти) та органічних сполук. Вони можуть бути у розчиненому стані або у вигляді завислих частинок. Концентрація іонів ортофосфорної кислоти ( $\text{H}_2\text{SO}_4^-$  і  $\text{PO}_4^{3-}$ ) у природних водах зазвичай становить соті й десятки частки міліграма у літрі й залежить від рН середовища.

Силіцій перебуває у природних водах як у розчиненому стані у вигляді силіцієвої і полісиліцієвих кислот, так і у вигляді колоїдів полісиліцієвої кислоти  $x\text{SiO}_2$  і  $y\text{H}_2\text{O}$  за зміни відношення  $x : y$  від 600 до 1500.

Солі силіцієвої кислоти поряд з нітратами і фосфатами потрібні для життєдіяльності водяних організмів. Багато з них, наприклад діатомові водорості, використовують силіцієву кислоту для побудови свого тіла. Після відмирання мікроорганізмів частина сполук силіцію мінералізується, а частина – осідає на дно водойми, утворюючи поклади трепелу чи інфузорної землі.

Концентрація силіцію в природних водах становить від кількох міліграмів до десятків міліграмів у літрі, а в гарячих термальних водах ще більше — кілька сотень міліграмів у літрі. Великий уміст сполук силіцію у підземних (термальних) водах пояснюється вилуговуванням із порід силіцієвої кислоти та її лужних солей. У стічних водах уміст силіцію може досягти кількох грамів у літрі.

Залізо у природних водах трапляється у вигляді іонів  $\text{Fe}^{2+}$  і  $\text{Fe}^{3+}$ , а також у вигляді органічних і неорганічних сполук. Вони можуть бути в колоїдному стані або у вигляді тонкодисперсних завислих частинок (органок комплекси феруму, гідроксиди феруму (II) і (III), сульфіді та ін.). У поверхневих водах залізо зазвичай перебуває в окисній формі у вигляді органок комплексів (гуматів), а також у вигляді колоїдних і тонкодисперсних завислих частинок. У підземних водах за відсутності розчиненого кисню залізо здебільшого перебуває у вигляді іонів  $\text{Fe}^{2+}$ . Вміст заліза у поверхневих водах інколи досягає 1 мг / л, а у підземних — до 10 мг / л і більше. Вода з великим умістом заліза має кислу реакцію. Залізо потрапляє у природні води в результаті вилуговування гірських порід під дією окисників (кисню) або карбонатної чи органічної кислот.

Манган у природних водах трапляється не так часто, як залізо, і міститься у значно менших концентраціях. У поверхневих висококольорових водах він перебуває у вигляді органічних сполук, у тому числі й у колоїдному стані. У підземних водах, які не містять кисню, він знаходиться у вигляді іонів  $\text{Mn}^{2+}$ .

Катіони  $\text{Pb}^{2+}$ ,  $\text{Zn}^{2+}$ ,  $\text{Cu}^{2+}$ ,  $\text{Sr}^{2+}$ ,  $\text{As}^{3+}$ ,  $\text{As}^{5+}$ ,  $\text{Se}^{6+}$  і багато інших, які належать до отруйних, у природних водах, як правило, містяться в невеликих кількостях. Збільшення їх кількості спостерігається у разі потрапляння до водойм неочищених побутових і промислових стічних вод.

Мікроелементи містяться у природних водах у невеликих кількостях — кілька мікрограмів в одному літрі. До них належить решта елементів Періодичної системи хімічних елементів Д. І. Менделєєва, за винятком розглянутих вище. О. А. Алексін умовно поділяє їх на п'ять груп:

- 1) типові катіони ( $\text{Li}^+$ ,  $\text{Rb}^+$ ,  $\text{Cs}^+$ ,  $\text{Be}^{2+}$ ,  $\text{Sr}^{2+}$ ,  $\text{Ba}^{2+}$  та ін.);
- 2) іони важких металів ( $\text{Cu}^{2+}$ ,  $\text{Ag}^+$ ,  $\text{Au}^+$ ,  $\text{Pb}^{2+}$ ,  $\text{Fe}^{2+}$ ,  $\text{Ni}^{2+}$ ,  $\text{Co}^{2+}$  та ін.);
- 3) амфотерні комплексоутворювачі (Cr, Mo, V, Mn);
- 4) типові аніони ( $\text{I}^-$ ,  $\text{F}^-$ , B (III));
- 5) радіонукліди.

Радіонукліди перебувають у досить розсіяному стані майже в усіх водах. Це зумовлено їхнім поширенням у гірських та осадових породах. У водах річок міститься близько  $2 \cdot 10^{-8}$  мг / л урану та близько  $10^{-9}$  мг / л радію. Радіонуклідні води поділяють на радонові, які містять лише радій, радієві, що мають підвищену концентрацію радію з рівноважною кількістю радону. Відповідно до вмісту радію розрізняють такі води, мг / л:

- 1) слабкорадієві — до  $10^{-7}$ ;
- 2) середньорадієві — від  $10^{-7}$  до  $10^{-6}$ ;
- 3) сильнорадієві — понад  $10^{-6}$ .

Останнім часом, особливо після техногенної катастрофи на Чорнобильській АЕС, спостерігається підвищений уміст радіонуклідів у поверхневих водоймах поблизу міст Прип'яті та Чорнобиля. Слід

зазначити, що переважна кількість радіонуклідів осіла у донних намулах водойм.

Залежно від величини водного показника розрізняють води: кислі ( $\text{pH} < 7$ ), нейтральні ( $\text{pH} = 7$ ) і лужні ( $\text{pH} > 7$ ). Для більшості природних вод величина  $\text{pH}$  зазвичай змінюється у межах 6,5 – 8,5. На  $\text{pH}$  природної води значно впливають розчинені солі, кислоти та основи. Тому  $\text{pH}$  може змінюватися у дуже широких межах – у бік зменшення (кислі води) або у бік збільшення (лужні води). Величина  $\text{pH}$  для більшості природних вод залежить від дисоціації гідрокарбонатів  $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$  і  $\text{Mg}(\text{HCO}_3)_2$ . На величину концентрації іонів водню також впливає вміст гумусових кислот і гідроліз солей. У природних мінералізованих водах величина  $\text{pH}$  змінюється від 4 до 9. Бактеріальне й біологічне забруднення природних вод зумовлюється надходженням до них продуктів гниття водних організмів, деревини, інших органічних речовин і мікроорганізмів, які можуть потрапляти до водойм зі стічними водами. Внаслідок цього виникають сприятливі умови для розвитку бактерій та інших мікроорганізмів, у тому числі й патогенних. Наявність у воді бактерій групи кишкових паличок і бактерій колі свідчить про фекальне забруднення води.

## 2. 4. Характеристика природних вод України

**Поверхневі води.** Завдяки наявності у воді домішок у різному агрегатному стані, поверхневі води є багатоконпонентними системами. Склад води у водних джерелах формується під впливом фізико-географічних умов і антропогенної діяльності та є непостійним. Майже всі природні явища впливають на хімічний склад води у водоймах, унаслідок чого там відбуваються різні хімічні та біологічні процеси: окиснення–відновлення, гідроліз, комплексоутворення, осадження, деструкція та інші, які в кінцевому підсумку й визначають склад води та її властивості в певному місці. Будь-яка побічна речовина, яка потрапила у водойму, призводить до порушення рівноваги зазначених вище процесів, а отже, і до зміни складу води. Тому вода, навіть з однієї річки, за якісною характеристикою і кількісним складом може різнитися у верхній і нижній течії.

В наш час якість води оцінюють не за екологічними показниками, а за наявністю в ній мінеральних та органічних речовин. Забруднення водойм поділяють на біологічне й антропогенне. *Біологічне забруднення* відбувається внаслідок природних процесів росту біомаси гідробіонтів, переважно гідрофітів, з подальшим їхнім відмиранням і розкладанням, а також органічних речовин, які утворюються на суходолі (лісах, полях і луках). Тому розрізняють органічні речовини автохтонного (від гр. *autochtōn* — місцевий, корінний) походження, які утворюються у водоймі, та алохтонного (від гр. *alloschtōn* — не місцевий, не корінний), принесеного

ззовні. *Антропогенне забруднення* водою зазвичай пов'язане з господарською діяльністю людини.

На формування хімічного складу природних вод значно впливають атмосферні опади, в яких міститься велика кількість різних речовин. Загалом на територію України щороку випадає 7,3 млн т розчинених мінеральних речовин.

Річки України переносять велику кількість твердих речовин (наносів). Склад і кількість останніх залежать від фізико-географічних умов та умов формування й зарегульованості стоку, інтенсивності процесів ерозії ґрунту. Майже до 90 % наносів річок рівнинної частини України переносяться в завислому стані.

У гірських річках до 90 % наносів переміщується по дну. Між частинками, які знаходяться у товщі потоку і на дні русла, відбувається постійний обмін. Швидкість цього процесу та кількість завислих речовин залежать від розміру частинок і швидкості течії, оскільки турбулентність потоку зумовлює зависання частинок у потоці.

У південних регіонах країни, де водна ерозія ґрунтів незначна, середня каламутність води не перевищує 20–50 мг / л. У лісостеповій зоні, де верхній шар ґрунту складається з лісових порід, відбуваються досить значні ерозійні процеси. Останнім сприяють також кліматичні особливості регіону — літні зливи й тривалі зимові відлиги. Тому каламутність води у річках цієї зони зростає до 100 мг / л і більше. У степових районах унаслідок відсутності дерну на ґрунті та інтенсивних злив середня каламутність води в річках збільшується до 100 – 200 мг/ л. Так, на Донецькому кряжі та в Карпатах вона досягає 200 – 500 мг / л, в Гірському Криму — 500–1000 мг / л. Найбільша каламутність води спостерігається в рівнинних річках — 1000 мг / л, а у передгірних і гірських — 1000–4500 мг/л.

Основна маса наносів (до 50 % і більше) для більшості річок рівнинної частини країни припадає на весняну повінь, а для річок Карпат — на паводки. У Криму під час зимових паводків переноситься до 20 % річної кількості наносів.

Поверхневі води України мають надзвичайно мінливий хімічний склад, який залежить від сезону року. Для річок центральної частини країни умовно можна виділити три сезони: холодний, коли всі хімічні й біохімічні процеси загальмовуються і якість води у водоймах стабілізується; весняний, коли тане сніг і починається паводок, та літньо-осінній, коли розпочинається і закінчується «біологічне життя» водою. Саме у ці періоди спостерігаються найбільші зміни якості поверхневих вод північних районів України. На формування хімічного складу природних вод значно впливають болота, оскільки з останніх до водою надходить велика кількість органічних речовин, зокрема гумусових (гумінові- та фульвокислоти). Ці домішки спричиняють забарвлення води, її

інтенсивність і спектральна характеристика залежать від концентрації та складу гумусу. Гумінові й особливо фульвокислоти є активними комплексоутворювачами. Вони утворюють з різними металами, у тому числі й з токсичними, стійкі комплексні сполуки, які переносяться водою на великі відстані та забруднюють природні води. Саме кольоровість є характерною ознакою багатьох природних поверхневих вод України, які використовуються у системах водопостачання.

Мінералізація природних вод України невелика, особливо на півдні Полісся, де вона становить 35 — 250 мг / л. У зоні неглибокого розміщення карбонатних порід вона збільшується до 350 — 400 мг / л. У межах лісостепової зони мінералізація річкових вод досягає 600 — 1000 мг / л. На відміну від вод Полісся хімічний склад цих вод порівняно з природними умовами значно змінився: зросла загальна мінералізація та збільшилася концентрація іонів натрію, магнію, хлору, сульфатів.

У степових районах склад річкових вод пов'язаний з накопиченням у ґрунті легкорозчинних солей, зокрема сульфатів і хлоридів магнію та натрію. Загальна мінералізація цих вод досягає 2000 мг / л і більше. Хімічний склад річкових вод степової зони порівняно з природними умовами дуже змінився, навіть на рівні класів або груп. Наприклад, гідрокарбонатно-сульфатні води в басейні Сіверського Дінця змінилися на хлоридно-сульфатні, а їхня мінералізація збільшилася вдвічі.

Характерною ознакою поверхневих вод України є інтенсивне цвітіння внаслідок масового розвитку фітопланктону. У літній період з'являється велика кількість переважно зелених, синьо-зелених і діатомових водоростей (300 — 400 млн клітин / л). Цьому сприяють повільна течія, збільшення площ обмілини, яка добре прогрівається сонцем, прозорість води та накопичення у ній біогенних й органічних речовин, як за рахунок їх утворення під час розкладання рослин, так і внаслідок надходження із затопленого ґрунту, що інтенсифікує розвиток фітопланктону. Фітопланктон, з одного боку, сприяє біологічному самоочищенню поверхневих вод завдяки кисню, який утворюється в процесі фотосинтезу, та поглинає біогенні елементи, що надходять до водойми безпосередньо або утворюються внаслідок розкладання органічних речовин. З іншого боку, нові органічні речовини або продукти їхньої деструкції та трансформації, що утворюються внаслідок життєдіяльності водоростей, є джерелом вторинного забруднення води. Внаслідок цього вода набуває неприємних запахів і присмаків, підвищуються її кольоровість і каламутність, збільшується вміст органічних і неорганічних речовин. Під час бродіння відмерлих клітин водоростей різко зменшується вміст кисню у воді, що призводить до забруднення води токсикантами та до замору риби.

**Підземні води.** Підземні прісні води є набагато чистішими, ніж поверхневі, оскільки вони мають стабільний стік, а їхня якість (за винятком

інфільтраційних) практично не залежить від погодних (сезонних) змін. Отже, підземні води є найціннішими для водопостачання, але вони розміщені на території країни нерівномірно. Тому воду підземних джерел споживає близько 15 % населення (переважно сільське і селищ міського типу). Однак велика кількість підземних вод унаслідок незадовільних геохімічних умов формування є некондиційною для питних потреб.

Найпоширенішими компонентами, які потребують коригування, є сполуки феруму, мангану, амонію, флуору, а також мінеральні солі, зокрема солі твердості. Підземні води з підвищеною твердістю характерні для південних і південно-східних регіонів країни. Загальна мінералізація вод тут досягає до 2 мг / л, а твердість – понад 20 ммоль-екв / л.

Залізовмісні підземні води, в яких майже завжди міститься манган, поширені по всій території країни. Концентрація заліза і мангану в них відповідно становить 0,5 – 20 мг / л і більше та 0,2 – 4 мг / л. Підземні води з підвищеним умістом фтору зосереджені в районі Українського кристалічного щита. Це переважно Полтавська область і прилеглі до неї райони. Вміст флуору у цих водах коливається від 2 до 12 мг / л, що значно перевищує санітарну норму. Наявність сполук амонію та його окисних форм – нітритів та нітратів – є наслідком забруднення залишками азотних добрив і стічними водами тваринницьких ферм.

Підземні води, так само як і поверхневі джерела, постійно зазнають впливу господарської діяльності, інтенсивність якої з кожним роком зростає. В екологічно розвинених регіонах з високим рівнем промислового або сільськогосподарського виробництва спостерігаються найбільші порушення у природній гідрогеохімічній системі. Якщо в цілому в Україні забрудненими вважаються близько 4 % підземних вод, то в зазначених регіонах — до 20 %. Забруднення підземних вод спостерігається у Донецькому, Луганському, Дніпропетровському та інших промислових центрах країни, а також у районах видобування залізної руди та виробництва кольорових і чорних металів тощо.

Основними забрудниками є накопичувачі промислових і побутових рідких і твердих відходів, агресивні шахтні та рудникові води, залишки мінеральних добрив і пестицидів. Так, у межах басейну Дніпра знаходиться близько 1000 фільтрівних накопичувачів, 80 % з яких припадає на південну частину басейну. Загальний об'єм накопичених забруднених вод у них досягає близько 1 км<sup>3</sup> (77 % припадає лише на Дніпропетровську область). Наявність у цьому басейні накопичувачів токсичних відходів, 40 % з яких належить до небезпечних і 15 % – до особливо небезпечних, призводить до постійного забруднення вод підземних горизонтів сполуками важких металів, нафтопродуктами, органічними речовинами, створює загрозу глобальної катастрофи. Велике забруднення підземних вод нафтопродуктами спостерігається в районах розташування військових частин, аеродромів та інших аналогічних об'єктів.



### 3. ВОДОПОСТАЧАННЯ

#### 3. 1. Системи і схеми водопостачання

Система водопостачання – це комплекс інженерних споруд, які призначені забирати воду із джерела водопостачання, очищувати її, знезаражувати, зберігати і розподіляти споживачам.

Об'єкти, які обслуговуються системами водопостачання, поділяються на міські, селищні, промислові, сільськогосподарські та інші.

Системи водопостачання розподіляються: на господарсько-питні, які призначені для постачання води на господарські та питні потреби населення і робітників промислових підприємств; промислові, що постачають воду до технологічних цехів; протипожежні системи, що забезпечують подачу води для гасіння пожеж.

Водопроводи різняться за способом подачі води – на гравітаційні (самопливні) та водопроводи з механічною подачею води.

За видом використовуваних природних джерел водопроводи розподіляють на такі, що забирають воду з поверхневих джерел (рік, озер, морів, водосховищ), і такі, що забирають воду з підземних джерел (артезіанських свердловин, джерел). Існують водопроводи змішаного водопостачання.

На основі техніко-економічних розрахунків споруджують такі системи водопостачання: господарсько-протипожежні, промислово-протипожежні, господарсько-промислово-протипожежні. На промислових підприємствах будують окремо такі водопроводи, як виробничий і господарсько-протипожежний. Об'єднаний водопровід споруджують тоді, коли для технологічних потреб виробництва використовують велику кількість питної води.

Водопровідні системи можуть обслуговувати як один об'єкт, наприклад місто чи промислове підприємство, так і декілька об'єктів. Такі водопровідні системи називають груповими.

Системи водопостачання, які обслуговують декілька великих об'єктів, розташованих на значних відстанях один від одного, називають районною системою водопостачання, або районним водопроводом.

Водопроводи, які із найближчого джерела обслуговують одну будівлю або декілька компактно розташованих будівель, називають місцевими водопроводами.

У випадках, коли на місцевості є великий перепад висот (гірська місцевість, пагорби та ін.) облаштовують зонні системи водопроводу. Для водопроводу, що розташований на висотах, насоси мають підтримувати тиск у водопровідній системі для нормального водопостачання споруд на пагорбах. У цей час у низинних районах виникає тиск, який не може витримати водопровід цих районів. Тиск у водопровідних системах

підтримується на рівні 0,6 МПа. У зв'язку з цим водопровід поділяють на зони, для яких установлюють необхідний тиск.

Схема водопроводу населеного пункту залежить від виду джерела водозабезпечення.

На рис. 3.1 наведено найбільш поширену схему водозабезпечення населеного пункту із забором води із річки.

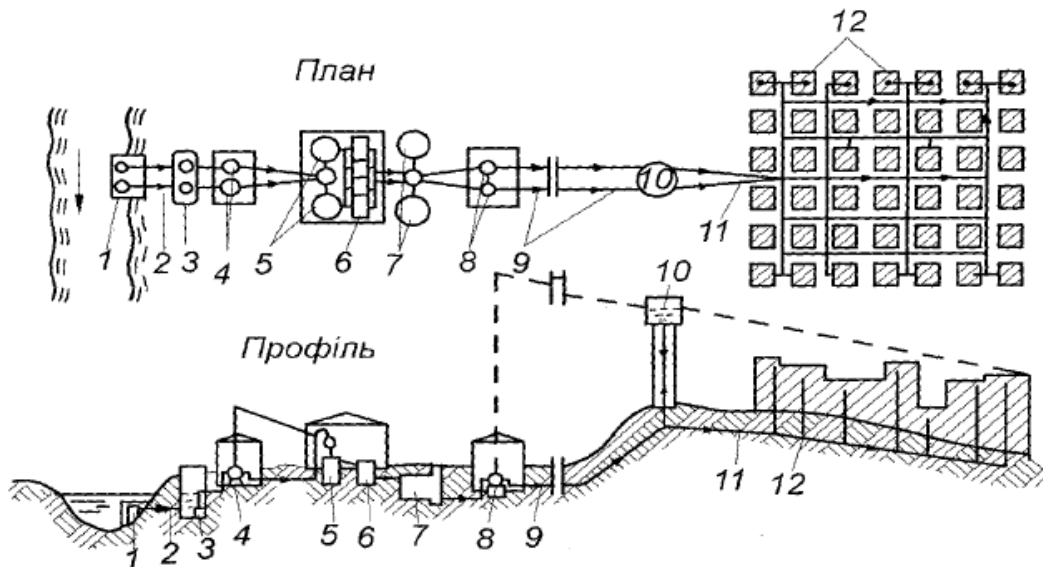


Рис. 3. 1. Схема водопостачання населеного пункту:

- 1 – водоприймач; 2 – самотічна труба; 3 – береговий колодязь; 4 – насоси станції першого підйому; 5 – відстійники; 6 – фільтри; 7 – запасні резервуари чистої води; 8 – насоси станції другого підйому; 9 – водоводи; 10 – водонапірна башта; 11 – магістральні трубопроводи; 12 – розподільчі трубопроводи

Річна вода поступає на водозабір, із нього насосами станції першого підйому вона подається на очисні споруди. Очищена і знезаражена, вода подається у резервуари з чистою водою, звідки насосами станції другого підйому – у магістральний водопровід. З магістрального водопроводу вода надходить у водопровідну систему населеного пункту, окремих районів, кварталів, будинків.

На території населеного пункту (зазвичай на пагорбі) будується водонапірна башта, яка, як і резервуари чистої води, зберігає і акумулює запаси води. Необхідність спорудження башти пояснюється такими обставинами. Витрати води із водопровідної системи протягом доби значною мірою коливаються, у той час як подача води у водопровід станцією другого підйому постійна. У ті години, коли витрати води з водопроводу найменші, вода подається у водонапірну башту, а коли найбільші (не достатньо напору насосів другого підйому), різниця води

компенсується з водонапірної башти. Водонапірна башта розташована в протилежній стороні від насосної станції, в іншому кінці міста, і називається контррезервуаром. За наявності біля населеного пункту, що розташований на пагорбі, замість водонапірної башти будують надземний водонапірний резервуар.

При використанні як джерела водопостачання підземних вод схема водопостачання значно спрощується. У цьому разі очисні споруди не потрібні, оскільки підземні води не потребують очищення. У деяких випадках не споруджують резервуарів чистої води і насосні станції другого підйому, оскільки у водопровідну систему вода може подаватися прямо насосами із свердловин.

Іноді населений пункт може забезпечуватися водою із двох або більше джерел. Тоді використовується система з двостороннім або багатостороннім споживанням.

Якщо джерело водозабезпечення знаходиться на значній висоті відносно населеного пункту, то можлива подача води гравітаційним методом (самопливом).

Промислові підприємства відрізняються значною кількістю технологічних операцій, кількістю і якістю води, що споживають; мають складні системи споживання води. При розташуванні промислового підприємства поблизу населеного пункту воно може використовувати господарсько-протипожежний водопровід.

Водопостачання промислових підприємств може бути прямоточним (рис. 3.2), зворотним і послідовним використанням води.

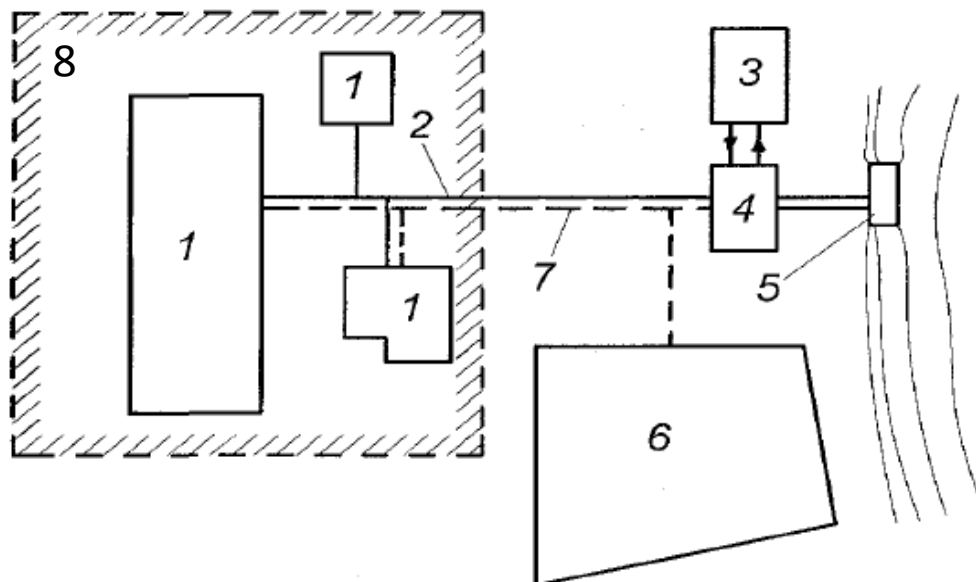


Рис. 3. 2. Схема прямоточного водопостачання промислових підприємств

Насосна станція 4, що розташована поблизу водонапірної споруди 5, подає для забезпечення виробництва воду по трубопроводу 2, на

промислове підприємство 8, до виробничих цехів 1. Для господарсько-протипожежних потреб насосна станція 4 через очисні споруди 3 подає воду в самостійний трубопровід 7 для споживання населеними пунктами 6 і виробничими цехами 1 заводу 8.

Якщо для виробничих потреб необхідна вода різної якості та напору, то облаштовують дві або декілька гілок водопроводу.

Воду, яку використали у технологічному процесі, зливають у заводську каналізацію, очищують в умовах підприємства і зливають у водойму нижче за течією, ніж водозбір.

На деяких промислових підприємствах (хімічні, нафтопереробні, металургійні, теплоелектроцентралі та ін.) воду використовують для охолодження, і вона не забруднюється. Таку воду використовують знову, але для цього її попередньо охолоджують.

На рис. 3. 3 наведено схему оборотного водозабезпечення промислового підприємства.

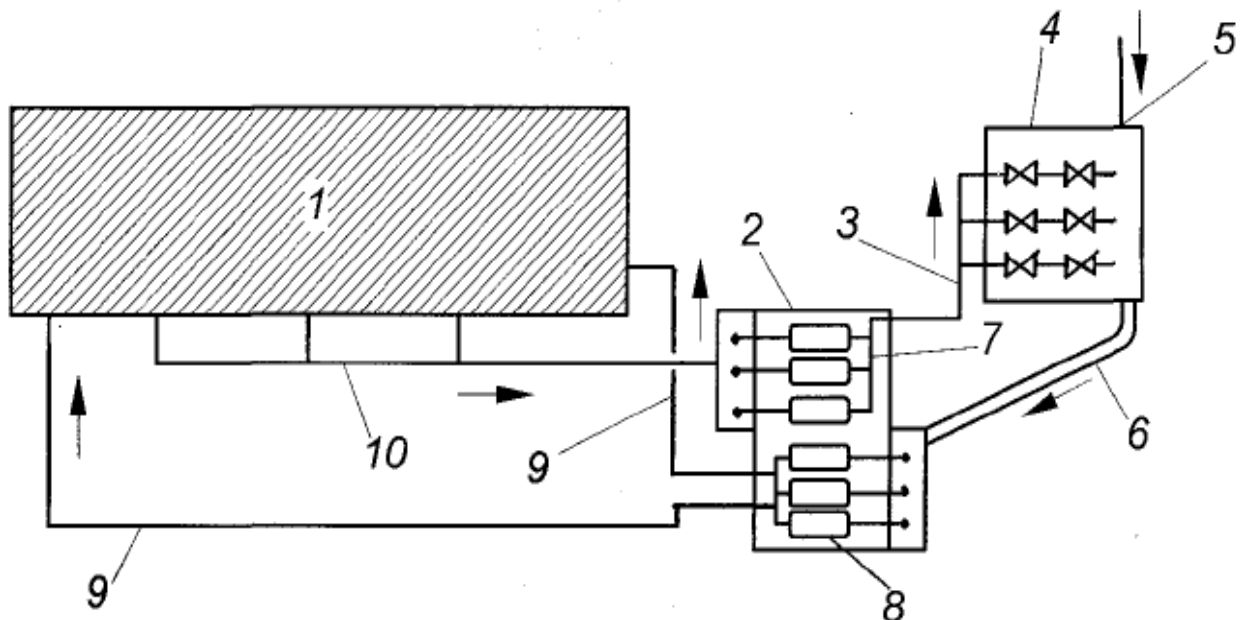


Рис. 3. 3. Схема зворотного водозабезпечення промислового підприємства

Нагріту воду в цехах підприємства 1 по самопливному трубопроводу 10 подають на насосну станію 2, звідти по трубопроводу 3 наносамами 7 – на спеціальні споруди 4, які призначені для охолодження води (бризкальні басейни, градирні). Охолоджену воду по самопливному трубопроводу 6 повертають на насосну станцію 2, звідки за допомогою насосів 8 по напірному трубопроводу 9 направляють у цехи підприємства 1. При оборотному водопостачанні частина води (до 3–5 %) загальної потреби втрачається. Для поповнення води в систему подають свіжу воду по трубопроводу 5.

Оборотне водозабезпечення економічно вигідне, оскільки споживається менше води.

Схема водопостачання з повторним використанням води необхідна у тих випадках, коли воду, що використана в одному технологічному циклі, можна використовувати у другому і третьому циклах промислового підприємства. Така схема водопостачання економічно вигідна, оскільки промислове підприємство вживає менше свіжої води.

### 3. 2. Норми споживання води

Нормою водоспоживання називають кількість води, що використовується на які-небудь потреби в одиницю часу, або на одиницю продукції, що вироблюється.

**Норми господарсько-питного водоспоживання.** Необхідно розрізнати норми господарсько-питного водоспоживання в населених пунктах і на промислових підприємствах.

Норми господарсько-питного водоспоживання у населених пунктах визначають за табл. 1.1.

На промислових підприємствах, в установах, лікарнях, навчальних закладах тощо вода витрачається працівниками і службовцями на господарсько-питні потреби і для прийняття душу.

**Норми споживання води для промислових потреб.** Багато галузей промисловості (металургія, хімічна, текстильна та ін.) використовують значну кількість води. Для них установлюють норми споживання води на одиницю виробленої продукції, які розроблюються на основі прийнятої технології споживання.

**Норми споживання води на гасіння пожеж.** Такі норми встановлюють за розрахунками і витратами води для гасіння пожеж у населених пунктах відповідно до табл. 3.1, а на промислових підприємствах згідно табл. 3.2. Для промислових підприємств визначають витрати води для гасіння пожеж окремих споруд.

Розрахункове число одночасних пожеж для об'єднаного протипожежного водопроводу населеного пункту і промислового підприємства або сільськогосподарського комплексу приймають залежно від площі території підприємства і числа жителів у населеному пункті.

Під час пожежі повинна бути забезпечена розрахункова витрата води. Для цього облаштовують стаціонарні резервуари недоторканого трьохгодинного запасу води. Недоторканий запас, що використано, має бути відновлений за 1–2 доби.

Таблиця 3. 1

Розрахункові витрати води на зовнішнє гасіння пожеж у населених пунктах

Число жителів у населеному пункті або районі населеного пункту	Розрахункове число одночасних пожеж	Розрахункові витрати води (на одну пожежу незалежно від вогнестійкості будови) при висоті забудови, л/с	
		до двох поверхів включно	три поверхи і більше
5	1	10	10
10	1	10	15
25	2	10	15
50	2	20	25
100	2	25	25
200	3	–	40
300	3	–	55
400	3	–	70
500	3	–	80
600	3	–	85
700	3	–	90
800	3	–	95
1000	3	–	100

Таблиця 3. 2

Розрахункові витрати води на зовнішнє гасіння пожеж у промислових підприємств

Ступінь вогнестійкості споруд	Категорія виробництва пожежної безпеки	Розрахункові витрати води, л/с (на одну пожежу), при обсязі споруди, тис. м <sup>3</sup>						
		<3	3–5	5–20	20–50	50–200	200–400	>400
I–II	А, Б, В,	10	10	15	20	30	35	40
	Г, Д	10	10	10	10	15	20	25
III	В	10	15	20	30	–	–	–
	Г, Д	10	10	15	25	–	–	–
IV–V	В	15	20	25	40	–	–	–
	Г, Д	10	15	20	30	–	–	–

### 3. 3. Режими водопостачання

Споживання води населенням упродовж року нерівномірне. У літні місяці воду споживають більше, ніж зимою, а у передвихідні дні більше, ніж в інші дні неділі. Відношення добового споживання води у дні найбільшого використання до середньодобового називають коефіцієнтом нерівномірності споживання:

$$K_{\text{доб}} = Q_{\text{мах доб}} / Q_{\text{ср.доб.}} \quad (3. 1)$$

Величина  $K_{\text{доб}}$  залежить від ступеню комфорту в будівлях. З підвищенням ступеню комфорту коефіцієнт добової нерівномірності споживання зменшується.

На промислових підприємствах коефіцієнт добової нерівномірності господарсько-питного споживання приймають таким, що дорівнює одиниці, вважаючи, що водоспоживання рівномірне.

Нерівномірність споживання промислової води залежить від прийнятого технологічного процесу, кількості продукції, що виробляється, а також від пори року. Коефіцієнт добової нерівномірності споживання промислової води установлюють технологи відповідного виробництва.

Споживання води упродовж доби нерівномірне: вдень – більше, ніж вночі. Коливання використання води залежить від кількості жителів. Чим менше населений пункт, тим нерівномірність споживання більша. Для надійності розрахунків умовно вважають, що упродовж години споживання води залишається постійним.

Відношення годинного використання води у часи найбільшого споживання  $Q_{\text{мах год}}$  до середнього годинного споживання  $Q_{\text{ср.год}}$  називають коефіцієнтом годинної нерівномірності споживання води:

$$K_{\text{год}} = Q_{\text{мах год}} / Q_{\text{ср.год.}} \quad (3. 2)$$

Коефіцієнт годинної нерівномірності споживання для населених пунктів установлюють залежно від норми водоспоживання. Коефіцієнт нерівномірності годинного споживання на промислових підприємствах з господарсько-питного водопроводу приймають таким, що дорівнює 2,5–3. Коефіцієнт годинної нерівномірності для промислових потреб визначається залежно від технології виробництва.

Погодинне споживання води впродовж доби прийнято зображати у вигляді таблиць або графіків. Графіки добового водоспоживання можуть бути ступінчатими або інтегральними. На рис. 3.4 наведено добовий графік водоспоживання.

Як видно із рис. 3.4, упродовж доби споживання води нерівномірне. На інтегральному графіку по осі ординат відкладають кількість витрати

води (у відсотках) до добового споживання, з наростанням за всі години від початку доби.

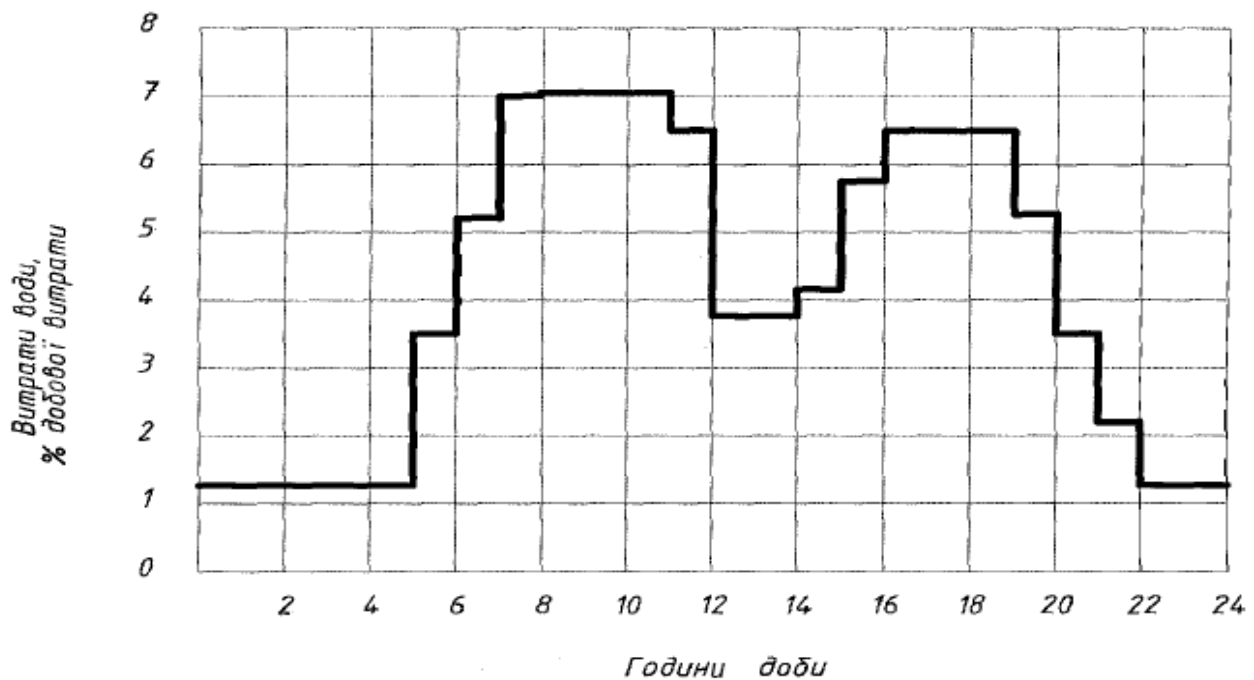


Рис. 3. 4. Добовий графік водоспоживання

### 3. 4. Визначення розрахункових витрат і вільного напору

**Розрахункові витрати.** Споруди водопроводу повинні мати пропускну спроможність, достатню для всього розрахованого терміну її дії. За розрахункове значення приймають витрати, які бувають у години максимального добового водозабору з найбільшим водоспоживанням.

Розрахункові добові (середні за рік) витрати води, м<sup>3</sup>/доб, на господарсько-побутові потреби у населеному пункті визначають за формулою

$$Q_{\text{сер.доб}} = q_{\text{ж}} \cdot N / 1000, \quad (3. 3)$$

де  $q_{\text{ж}}$  – норма водоспоживання (див. табл. 1.1);

$N$  – розрахункове число жителів.

Розрахункові витрати води за добу найбільшого і найменшого водоспоживання, м<sup>3</sup>/доб, визначають за формулами:

$$Q_{\text{мах доб}} = K_{\text{мах доб}} \cdot Q_{\text{сер.доб}}, \quad (3. 4)$$

$$Q_{\text{мін доб}} = K_{\text{мін доб}} \cdot Q_{\text{сер.доб}}, \quad (3. 5)$$

де  $K_{\text{мах доб}}$  і  $K_{\text{мін доб}}$  – максимальний і мінімальний коефіцієнти добової нерівномірності споживання, які залежать від режиму роботи підприємства, ступеню благоустрою будівель, режиму водоспоживання упродовж сезонів року і днів тижня;  $K_{\text{мах доб}} = 1.1 \dots 1.3$ ;  $K_{\text{мін доб}} = 0.7 \dots 0.9$ .

Розрахункові погодинні витрати води, м<sup>3</sup>/доб, визначаються за формулами:



$$q_{\max \text{ год}} = K_{\max \text{ год}} \cdot Q_{\max \text{ доб}} / 24, \quad (3.6)$$

$$q_{\min \text{ год}} = K_{\min \text{ год}} \cdot Q_{\min \text{ доб}} / 24, \quad (3.7)$$

де  $K_{\max \text{ год}}$  і  $K_{\min \text{ год}}$  – максимальний і мінімальний коефіцієнти годинної нерівномірності споживання води, які визначаються за формулами:

$$K_{\max \text{ год}} = \alpha_{\max} \cdot \beta_{\max}, \quad (3.8)$$

$$K_{\min \text{ год}} = \alpha_{\min} \cdot \beta_{\min}, \quad (3.9)$$

де  $\alpha$  – коефіцієнт, який залежить від ступеню благоустрою будівель і режиму роботи підприємства:  $\alpha_{\max} = 1,2 \dots 1,4$ ,  $\alpha_{\min} = 0,4 \dots 0,6$ ;  $\beta$  – коефіцієнт, який залежить від числа жителів у населеному пункті:  $\beta_{\max} = 1 \dots 4,5$ ;  $\beta_{\min} = 0,01 \dots 1$ .

Розрахункові витрати води на промислові цілі визначають за даними технологічних служб.

**Вільний напір.** Напір у зовнішньому трубопроводі водопровідної системи повинен забезпечувати подачу води з деяким запасом у саму високу і найбільш віддалену від зовнішнього водопроводу точку у середині будівлі (рис. 3.5). Цей напір називається вільним  $H_{\text{необх}}$ , або необхідним:

$$H_{\text{необх}} = H_r + h_{\text{втр.нап}} + h_{\text{зал}}, \quad (3.10)$$

де  $H_r$  – геометрична висота подачі води від поверхні землі до самої високої водозабірної точки, м;  $h_{\text{втр.нап}}$  – втрати напору внутрішнього водопроводу у водомірному вузлі, м;  $h_{\text{зал}}$  – залишковий напір, м.

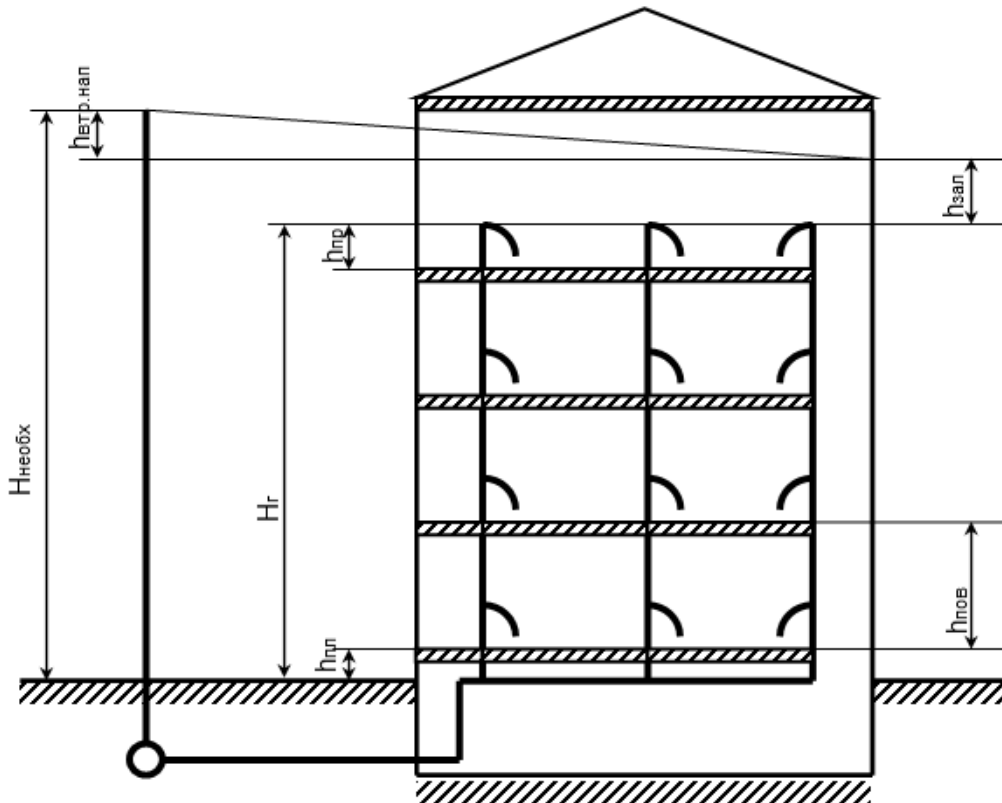


Рис 3. 5. Схема подачі води із зовнішнього водопроводу в будівлю

Геометричну висоту подачі води, м, визначають за формулою

$$H_r = h_{пл} + (n-1)h_{пов} + h_{перевищ} , \quad (3. 11)$$

де  $h_{пл}$  – планувальна висота перевищення підлоги першого поверху над поверхнею землі, м;  $n$  – кількість поверхів у будівлі;  $h_{пов}$  – висота поверху будівлі, м;  $h_{перевищ}$  – висота розміщення водопровідних приладів над підлогою останнього поверху, м.

При одноповерховій забудові необхідний напір у зовнішньому водопроводі населених пунктів для попередніх розрахунків приймають таким, що дорівнює 10 м, а при більшій поверховості забудови додають 4 м на кожний додатковий поверх. Необхідний напір у зовнішньому водопроводі для промислового водопостачання призначають відповідно до технології виробництва.

Тиск (напір) у зовнішньому водопроводі дають насоси другого підйому. Коли насоси не працюють, тиск у водопроводі підтримується за рахунок запасу води у водонапірній башті.

Для оцінювання забезпеченості необхідного напору в зовнішньому водопроводі будують п'єзометричну лінію, яка характеризує п'єзометричний напір у різних точках водопроводу. Наявний напір (у будь-якій точці водопроводу), як різниця відміток п'єзометричної лінії й поверхні землі, повинен бути не менше необхідного напору. При цій умові забезпечується подача води у найвищу точку всередині будови.

У протипожежному водопроводі необхідний напір залежить від способу пожежогасіння.

У зовнішньому трубопроводі, на якому встановлено пожежні гідранти, необхідний напір залежить від способу пожежогасіння. Водопровід, на який встановлюють безпосередньо пожежні гідранти для гасіння пожеж, називають протипожежним водопроводом високого тиску.

## **4. ПОВЕРХНЕВІ ТА ПІДЗЕМНІ ДЖЕРЕЛА ПОСТАЧАННЯ ВОДИ**

### **4. 1. Водозабірні споруди для прийому води із поверхневих джерел**

Споруди для прийому води із поверхневих джерел повинні забезпечувати безперебійне водопостачання водоспоживачів водою кращої якості у будь-який час року. Вирішення цього завдання залежить від правильного вибору місця водозабору, його розташування і конструктивного виконання.

Місце розташування водозабірної споруди на плані необхідно вибирати якомога ближче до споживача, на стійкій частині водойми (на річках – вище населених пунктів, промислових підприємств, місць скидання стічних вод), поза місцями можливого утворення шугозаторів і

льодяних заторів, поза місцями інтенсивного руху донних наносів, а також з можливістю організації зони санітарної охорони. При виборі місця розташування водозабору необхідно враховувати характер зміни русла ріки.

Глибинне положення місця забору води на річці треба визначати за умови, що відстань від низу льодового покриву (у зимовий період) до верхньої частини приймальних вікон водозабору повинна бути не менше 0,2 м, а поріг між дном річки і низом приймальних вікон, необхідний для запобігання попадання у водозабірну споруду разом з водою донних наносів, повинен становити не менше 0,5 м.

У передльодоставний період вода, переохолоджена до температури  $-0,02-0,05^{\circ}\text{C}$ , кристалізується на завислих частинках ґрунту, утворюючи глибинний лід, який переноситься течією на значні відстані. Такі насичені льодом потоки утворюють аварійні ситуації на водозабірних спорудах, повністю закупорюючи їхні приймальні отвори. Для захисту водозабірних споруд від глибинного льоду треба вживати необхідні заходи: розташовувати водозабірні споруди у таких місцях, де не скупчується шуга (шугозатори); зменшувати швидкість току води через водоприймальні отвори; обігрівати решітки водоприймальних отворів теплою водою; облаштовувати плавучі запані та короби, що огороджують водоприймальні отвори; облаштовувати водоприймальні ковші та ін. Ліквідувати закупорювання водоприймальних отворів можна шляхом очищення скребковими механізмами або промиванням зворотним током води.

Річкові водозабірні споруди за конструктивними ознаками підрозділяють на: берегові (роздільні або сумісні з насосною станцією); руслові (з самопливними лініями); спеціальні (ковшові, інфільтраційні, передвижні, плавучі та ін.)

Водозабірні споруди берегового типу розміщують на відносно крутих берегах річок. Принципову схему споруди берегового типу з роздільним розташуванням насосної станції та водозабору наведено на рис. 4. 1.

Водозабірна споруда складається з водозабірної берегової колодезя і насосної станції. По фронту водозабірної колодезя розділяють на секції, число яких повинно дорівнювати двом або числу всмоктувальних ліній. Кожна із секцій водозабірної колодезя перегороджена на дві камери: приймальну і всмоктувальну, з якої через водозабірний трубопровід вода за допомогою насосів подається у магістральні трубопроводи.

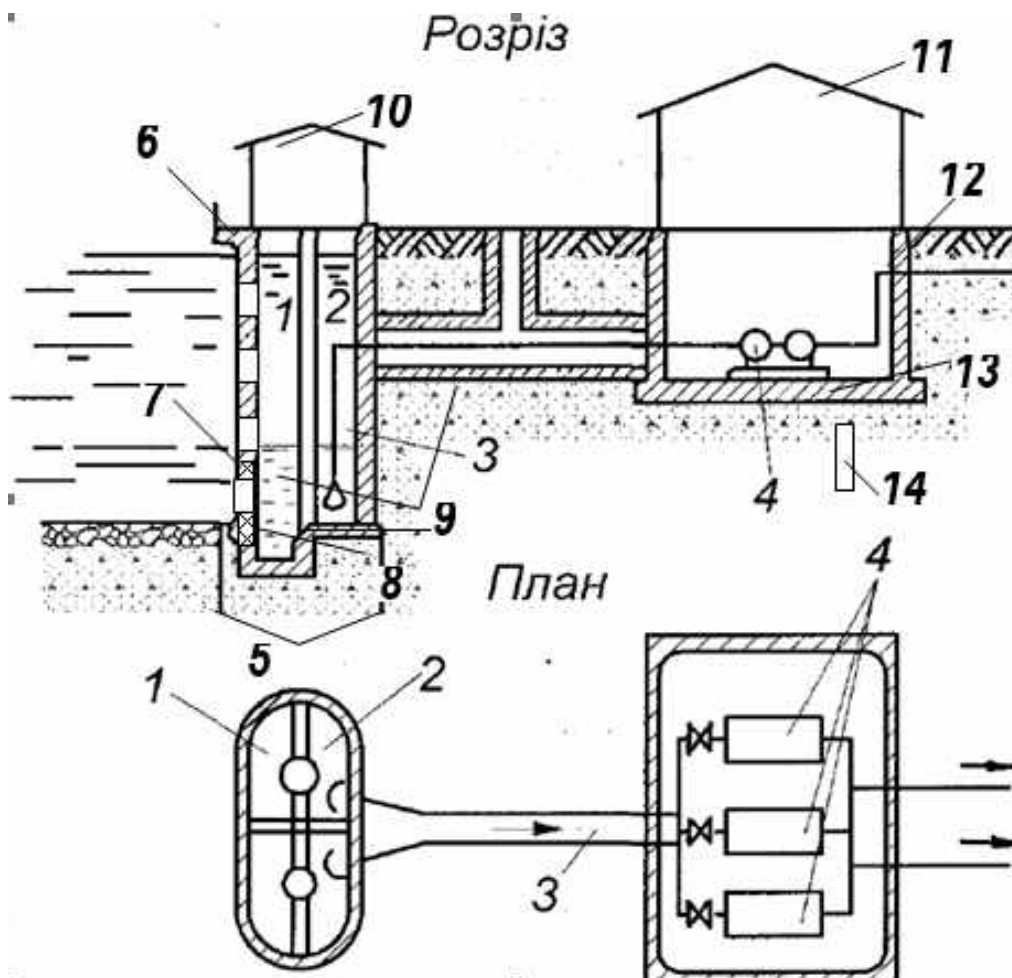


Рис. 4. 1. Водозабірні споруди берегового типу:

- 1 – приймальна камера; 2 – всмоктувальна камера; 3 – трубопровід;
- 4 – насоси; 5 – сваї; 6 – залізобетонний каркас водозабірної споруди;
- 7 – отвори для заходу води; 8 – сітка; 9 – водозабірний трубопровід;
- 10 – навіс; 11 – навіс над насосами; 12 – каркас насосної станції;
- 13 – підставки під насоси; 14 – каналізація

Вода з річки надходить до приймальної камери через отвори, які облаштовані з внутрішньої сторони затворами дросельного або шиферного типу. Решітки виконують із вертикальних сталевих стержнів з поперечним перетином прямокутної або круглої форми. Зазор між стержнями решітки приймають таким, що дорівнює 40–50 мм. Розміри решіток визначають із умови проходження води у проміжках між стержнями при найбільших витратах зі швидкістю 0,1–0,6 м/с. При сильному забрудненні води і присутності шуги вибирають менші швидкості. При великому коливанні рівнів води в річці приймальні отвори виконують у два або три яруси. Верхні отвори служать для забору верхніх, відносно чистих шарів води, під час прибувної води. В отворі перегородки між приймальною і всмоктувальною камерою встановлюють сітку із дроту товщиною 1–1,5 мм з коміркою (вічком) розміром від 2х2 до 5х5 мм. Великі

водозабірні споруди облаштовують поворотними сітками з бездушовим промиванням. Проціджування води через решітки і сітки забезпечує її попереднє очищення і запобігає ушкодженню обладнання.

Верхня частина водоприймального колодезя повинна бути вище самого високого рівня води (СВРВ) не менше ніж 0,5 м. Над приймальним колодезем зводять павільйон, де розташовують пульт керування обладнанням.

Роздільні водозабірні споруди берегового типу будуть значно рідше, ніж водозабірні споруди, поєднані з насосними станціями (рис. 4. 2).

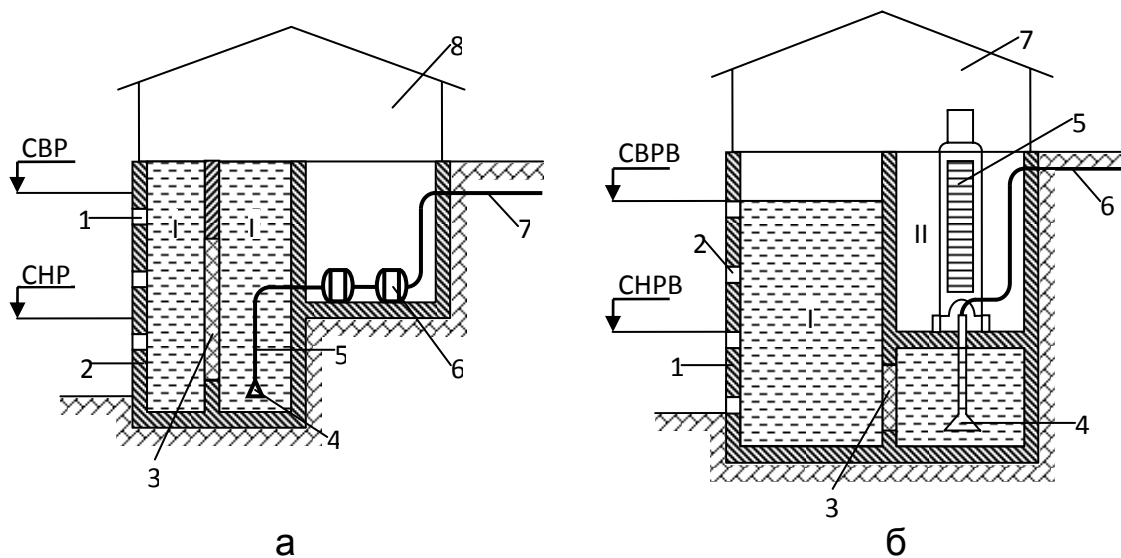


Рис. 4. 2. Поєднані водозабірні споруди берегового типу:  
 а: I – приймальна камера; II – насосний зал; 1 – отвори для заходу води;  
 2 – залізобетонний каркас; 3 – сітка; 4 – водозабірний трубопровід;  
 5 – трубопровід; 6 – насоси; 7 – магістральний трубопровід; 8 – павільйон (навіс);  
 б: I – приймальна камера; II – насосний зал; 1 – бетонний каркас;  
 2 – отвори для заходу води; 3 – сітка; 4 – водозабірний трубопровід;  
 5 – насоси; 6 – водопровід магістральний; 7 – павільйон (навіс)

**Схеми водозабірних споруд поєданого типу.** Оскільки у більшості випадків водозабірні споруди поєданого типу будують на нещільних ґрунтах, то їх споруджують із спільним дном для водоприймального колодезя і насосної станції.

Водозабірні споруди руслового типу будують на пологих берегах річок, на слабких ґрунтах і малих глибинах води в річці (рис. 4. 3).

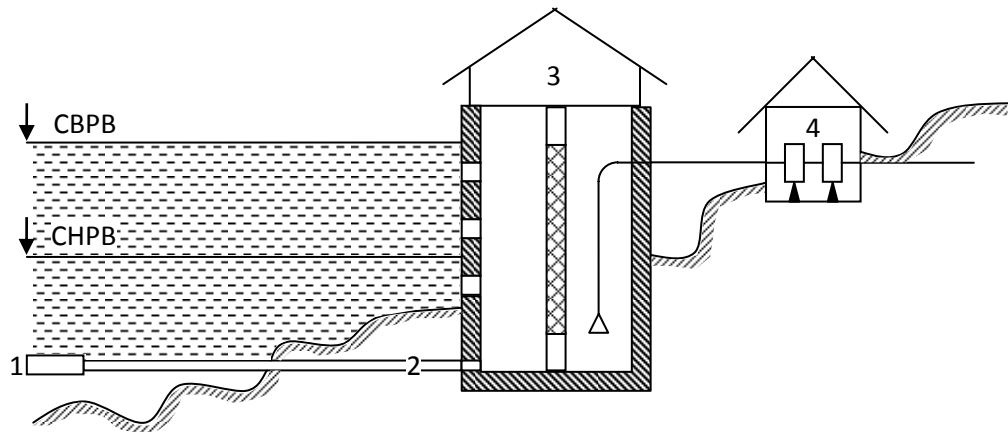


Рис. 4. 3. Схема водозабірної споруди руслового типу:  
 1 – оголовок; 2 – самопливні трубопроводи; 3 – береговий колодязь;  
 4 – насосна станція

Вода по самопливному трубопроводу надходить до берегового колодязя. Подальший рух води такий самий, як і рух води у водозаборах руслового типу.

Оголовки служать для закріплення кінців самопливних труб для забору води із річки. Вони можуть бути затопленими у товщу води або тільки у прибувну воду (повінь) або незатопленими.

Самопливні лінії виконують із сталевих, залізобетонних, асбестоцементних труб, або у вигляді залізобетонних галерей. Число ниток має бути не менше двох. Самопливні лінії необхідно укласти з похилом у бік берегового колодязя або в зворотному напрямку, залежно від прийнятого способу промивання цих ліній. Швидкість потоку води у самопливних лініях необхідно приймати як 0,7–2 м/с для запобігання їх засмічення, а також залежно від діаметра труби і категорії водозабору. Очищення самопливних ліній доцільно виконувати шляхом прямого або зворотного току води у цих лініях. Для цього водозабірні споруди повинні бути облаштовані необхідним обладнанням.

При рівнях води, значно вищих, ніж СНРВ, і при відповідному похилу берега ріки забір води може відбуватись через вікна водозабірної споруди.

#### 4. 2. Спеціальні водозабірні споруди

При утворенні на річці глибинного льоду або при високій каламутності води доцільно забирати воду не прямо з річки, а із спеціально створеної затоки, так званого ковша. Розміри ковшів визначають із умови спливання глибинного льоду або випадання в осад водяних зависей. Проточну швидкість води в них приймають 0,05–0,2 м/с.

Затоки можуть бути з нижньою течією входу води – гирло за течією, і з верхнім током води – гирло проти течії (рис. 4. 4, а, б).

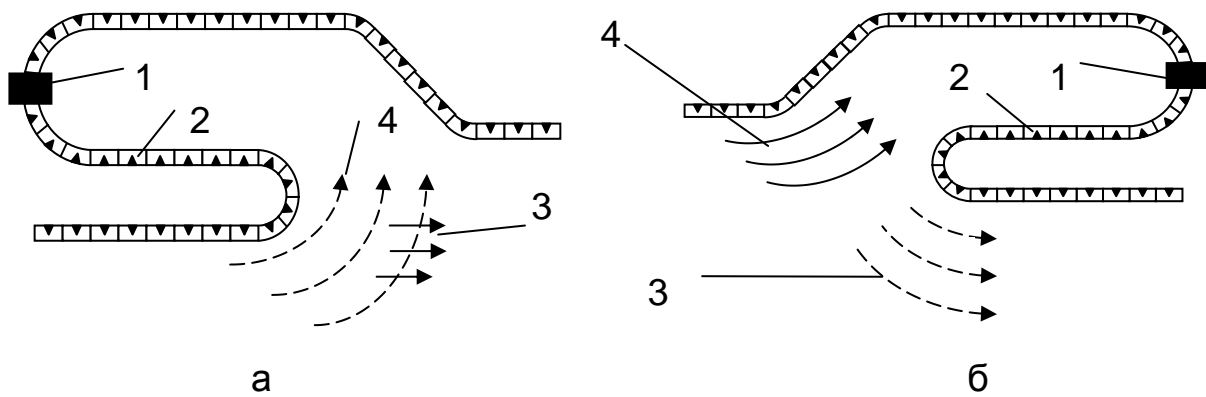


Рис. 4. 4. Схеми водоприймальних заток (ковшів)

Спарені затоки (рис. 4. 5) використовують для боротьби з глибинним льодом і для прояснення води в різний час року. Ковші можуть бути збудовані на березі річки або винесені в її русло. У другому випадку затоку відгороджують дамбами. Конструкція водозабірних споруд із ковшів не відрізняється від водозабірних споруд берегового типу.

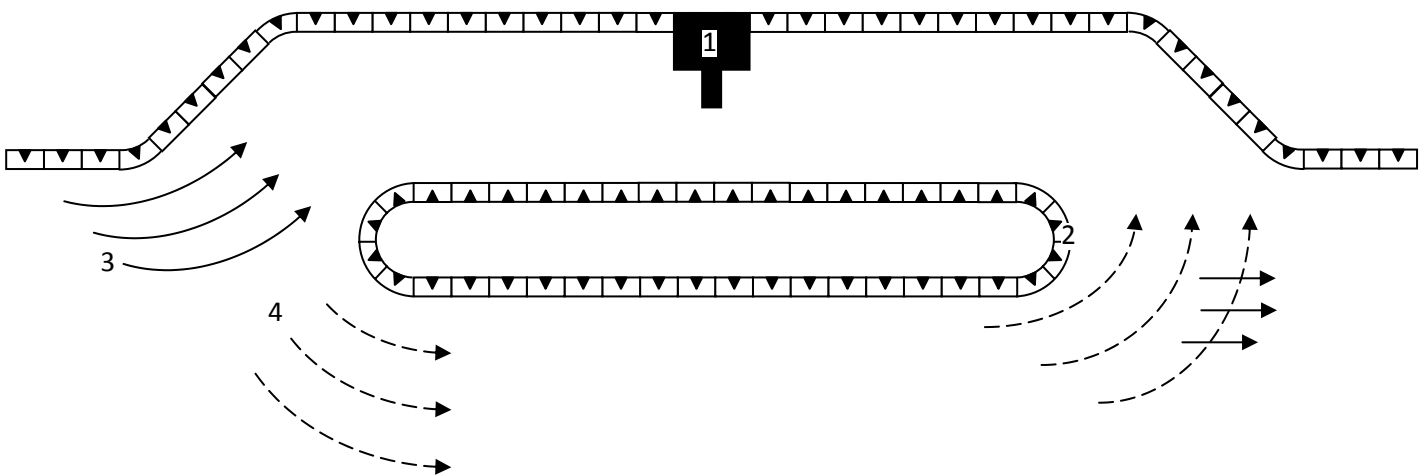


Рис. 4. 5. Спарені затоки (ковші):

1 – водозабірна споруда; 2 – дамба; 3 – поверхневі токи; 4 – низинні токи води

**Інфільтраційні водозабірні споруди** – це свердловини, шахтні колодязі, горизонтальні водозабори, які розташовують уздовж річки з піщаними або піщано-гравійними берегами. Такі водозабори беруть воду з річки, що інфільтрується через товщу ґрунту. Інфільтраційні водозабірні споруди доцільно використовувати за необхідності одержання добре проясненої води і на річках з інтенсивним утворенням глибинного льоду .

Для тимчасових водопроводів облаштовують рухомі або плавучі водозабори. Рухомий водозабір – це насосна станція, яка може рухатись згідно зі зміною рівня води у річці, по похилій рейковій колії, прокладеній уздовж узбережжя. При використанні плавучих водозаборів насосні агрегати розташовують на плавучих засобах: понтонах, баржах та ін. Перевагою рухомих і плавучих водозаборів є приймання води незалежно від коливання рівня води у річці та можливість їх швидкого облаштування. Проте, ці водозабори мають і суттєві недоліки: необхідно мати гнучкі з'єднання трубопроводів, які зможуть працювати в тяжких умовах зими і в період повеней.

#### 4. 3. Підземні та поверхневі джерела водопостачання

До підземних джерел водопостачання відносять підземні води, які утворюються завдяки просочуванню через ґрунт у товщу землі атмосферних і поверхневих вод. Підземні води можуть бути безнапірними і напірними (артезіанськими).

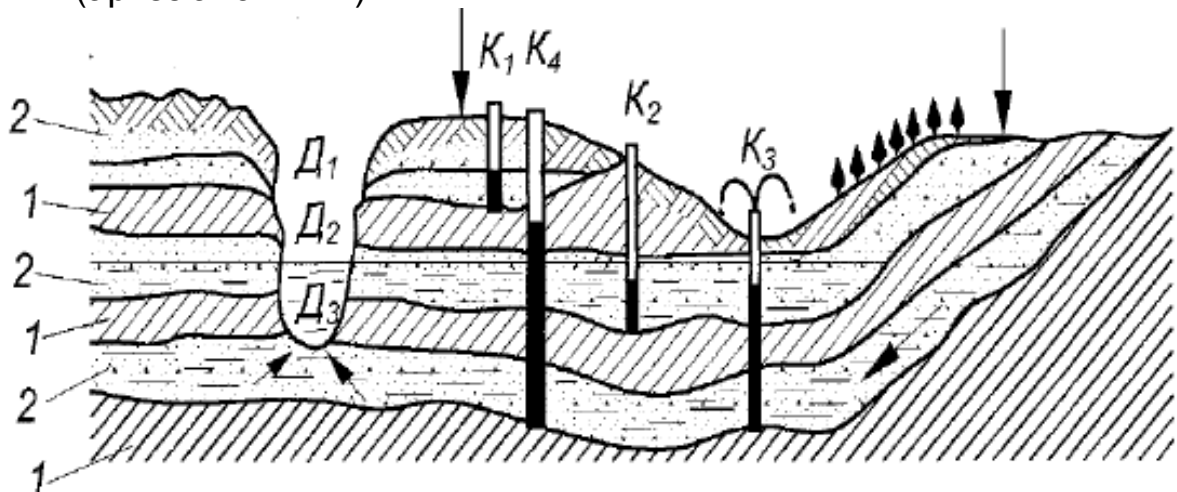


Рис. 4. 6. Схема утворення і залягання підземних вод:  
1 – водоупорні породи; 2 – водоносні горизонти; Д<sub>1</sub>, Д<sub>2</sub>, Д<sub>3</sub> – джерела води;  
К<sub>1</sub>, К<sub>2</sub>, К<sub>3</sub>, К<sub>4</sub> – колодязі

**Безнапірні води** заповнюють водоносні горизонти неповністю і мають вільну поверхню. Прикладом безнапірних вод може бути вода водоносних горизонтів відкритих колодязями К<sub>1</sub>, К<sub>2</sub> (рис. 4. 6). Вода в цих колодязях установлюється на рівнях, які збігаються з рівнями підземних вод. Безнапірні підземні води першого водоносного горизонту від поверхні (шар, відкритий колодязем К<sub>1</sub>, рис. 4. 6) називають ґрунтовими. Ґрунтові води характеризуються підвищеною забрудненістю, тому при використанні для питного водопостачання потребують очищення.

Напірні (артезіанські) води заповнюють водоносні горизонти повністю. Прикладом напірних вод може бути вода у водоносному горизонті, відкритому колодязями К<sub>3</sub>, К<sub>4</sub> (рис. 4. 6). Артезіанські води, як



правило, характеризуються високою якістю води і в більшості випадків можуть використовуватися для господарсько-питного споживання без очищення.

У колодязі, що відкриває напірний водоносний горизонт, вода підіймається до п'єзометричної лінії. Якщо п'єзометрична лінія проходить вище поверхні землі, вода виливається із колодязя (колодязь  $K_3$ , рис. 4. 6). Такі колодязі називаються самовиливними.

Рівень води, який установлюється в колодязі за відсутності водозабору, називають статичним. Статичний рівень безнапірних вод збігається з рівнем підземних вод, а статичний рівень напірних вод – з п'єзометричною лінією (рис. 4. 7).

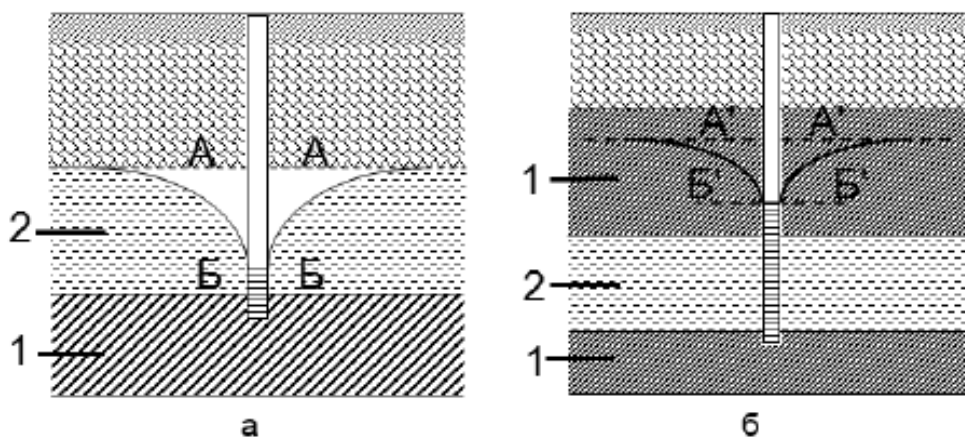


Рис. 4. 7. Депресійні воронки:

а – безнапірні води; б – напірні води; 1 – водоупорні породи; 2 – водоносні породи (горизонти); А-А – статичний рівень води; А'-А' – п'єзометрична лінія за відсутності відпompування води; Б-Б і Б'-Б' – динамічні рівні води

При відпompуванні води із колодязя її рівень зменшується, і чим більше, тим інтенсивніше відпompування. Такий рівень називають динамічним.

Рівень води і п'єзометричні лінії, які установлюються навколо колодязів при відпompуванні із них води (у поперечному перетині вони мають випуклу до верху форму), називають кривими депресії.

Область, що обмежена кривими депресії, називають депресійною воронкою.

Безнапірні та напірні води можуть виходити на поверхню землі (джерела). Вихід безнапірних вод називають нисхідним джерелом, а вихід напірних вод – висхідним. Джерельна вода відрізняється високою якістю і може використовуватися для господарсько-питного водопостачання без очищення.

До поверхневих джерел водопостачання відносять водосховища і озера. Для промислових цілей може використовуватися і морська вода. За відсутності у приморських районах прісної води морська вода після

опріснення може використовуватися і для господарсько-питного водоспоживання.

При виборі джерела водопостачання необхідно зважати на якість води і його потужність, вимоги до якості води споживачами, а також техніко-економічне обґрунтування та інші фактори.

Для господарсько-питного водопостачання найбільш придатними є підземні води, оскільки вони мають порівняно високу якість і не потребують очищення.

Воду із поверхневих джерел необхідно використовувати для водопостачання при недостатньому дебіті або при неможливості використовувати воду із підземних джерел. Воду із поверхневих джерел перед використанням у господарсько-питних цілях слід очищати, а при використанні для водопостачання промислових підприємств, для яких непотрібне високе очищення води, її піддають тільки найпростішому очищенню або зовсім не очищують.

#### **4. 4. Водозабірні споруди для прийому води із підземних джерел**

Вибір типу споруди для прийому підземних вод залежить від глибини їх залягання і потужності водоносного горизонту. Такі споруди для прийому підземних вод можна поділити на п'ять видів:

- водозабірні свердловини;
- шахтні колодязі;
- горизонтальні водозабори;
- променеві водозабори;
- каптажні камери.

Водозабірні свердловини використовують для підйому напірних і безнапірних підземних вод, що залягають на глибині більше 10 м. Водозабірні свердловини – це найпоширеніший вид водозабірних споруд, що використовуються для систем водозабезпечення міст, селищ і промислових підприємств.

Шахтні колодязі використовують для підйому підземних вод, що залягають на глибині не більше 30 м.

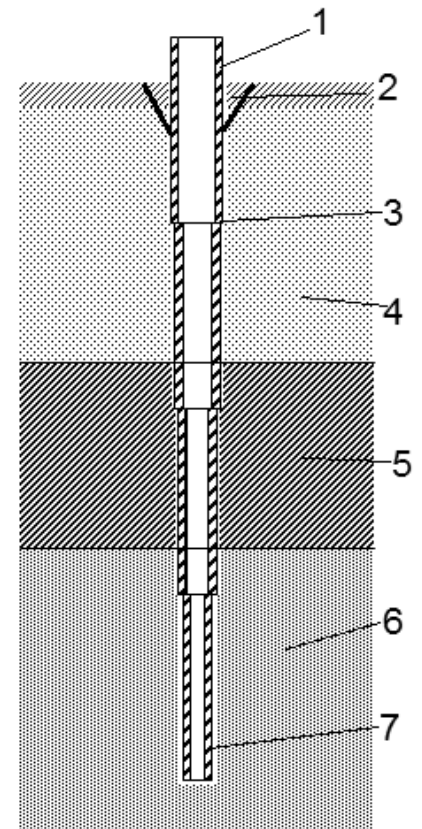
Горизонтальні водозабори облаштовують для прийому ґрунтових вод, що залягають на невеликій глибині (до 8 м), при малій потужності відносно горизонту.

Променеві водозабори призначені для забору підземних вод, що залягають на глибині від 10 до 40 м.

Каптажні камери використовують за необхідності водоспоживання джерельної води.

Водозабірні свердловини облаштовують шляхом буріння в землі свердловин, стінки яких укріплюють обсадними трубами. Із заглибленням свердловин діаметр обсадних труб зменшують. Свердловина має вигляд телескопічної форми (рис. 4. 8). Концентричні зазори між окремими обсадними трубами замазують (тампонують) цементним розчином. У шальних ґрунтах стінки свердловин обсадними трубами не укріплюють.

Над верхом водозабірної свердловини споруджують цегляну, бетонну або залізобетонну камеру, в якій облаштовують трубопровідні



системи, системи автоматики та інші системи, що необхідні для функціонування роботи свердловини. У нижній частині свердловини

установлюють фільтр, який складається з надфільтрової, водоприймальної (фільтрувальної) і відстійної частин. Водозабірні свердловини можна облаштувати такими фільтрами – дірчатими, щільовими, сітчатими, дротяними, гравійними.

Залежно від необхідної витрати і потужності водоносного горизонту облаштовують одну або декілька водозабірних свердловин, розташованих перпендикулярно до напрямку потоку підземних вод (рис. 4. 9).

Рис. 4. 8. Водозабірна свердловина: 1 - обсадні труби; 2- глиняний замок; 3 - цементний розчин; 4 - ґрунт; 5 - водоупорні породи(глини, суглинки); 6 - пісок(водоносний горизонт); 7 - фільтр

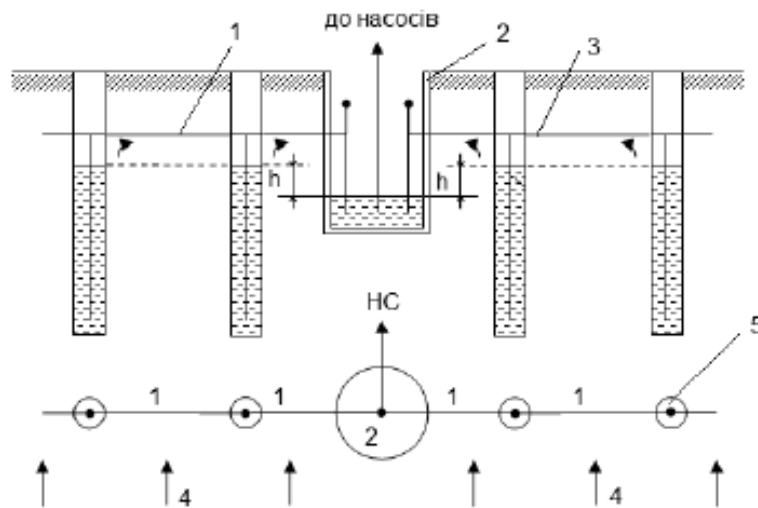


Рис. 4. 9. Схема розташування водозабірних свердловин:  
 1 – самоточний або сифонний трубопровід; 2 – збірний колодезь;  
 3 – динамічний рівень води; 4 – напрям потоку підземних вод;  
 5 – водозабірні свердловини

Шахтні колодезяні будують із бетону, залізобетону, цегли, бутового каменю і дерева (рис. 4. 10). Найчастіше шахтні колодезяні будують спускним методом, тому вони, як правило, мають круглу форму в плані. Дерев'яні колодезяні, які роблять у вигляді зрубу із деревини, мають квадратну форму в плані.

Для прийому води дно шахтних колодезяні виконують у вигляді зворотних фільтрів, шляхом пошарового засипання великозернистими матеріалами з поступовим збільшенням величини зерен знизу доверху.

У бокових стінках бетонних і залізобетонних колодезяні роблять водоприймальні отвори шляхом розкладки у них труб при бетонуванні.

У цегляних і бутових колодезяні водоприймальними отворами слугують незаповнені розчином наскрізні шви. При дрібнозернистих ґрунтах водоприймальні отвори у стінках шахтних колодезяні доречно виконувати V-образної або похилої форми (гравітаційні фільтри), заповнюючи їх піском або щебенем подібно до зворотних фільтрів. Такий фільтр не вимивається в колодезь.

Для дебіту шахтних колодезяні збільшують площу донного фільтра шляхом збільшення площі дна. Значного збільшення дебіту можна досягнути, облаштувавши радіально розташовані горизонтальні трубчасті фільтри. Такі водозабори називають променевими.

Навкруги шахти колодезяні необхідно робити глиняний замок і відмоктуку із булижнику на піщаній основі. Стінки шахти колодезяні рекомендовано виводити вище поверхні землі на висоту 800 мм. Це дає

змогу запобігти засмічуванню колодязя і надходженню до нього поверхневих вод.

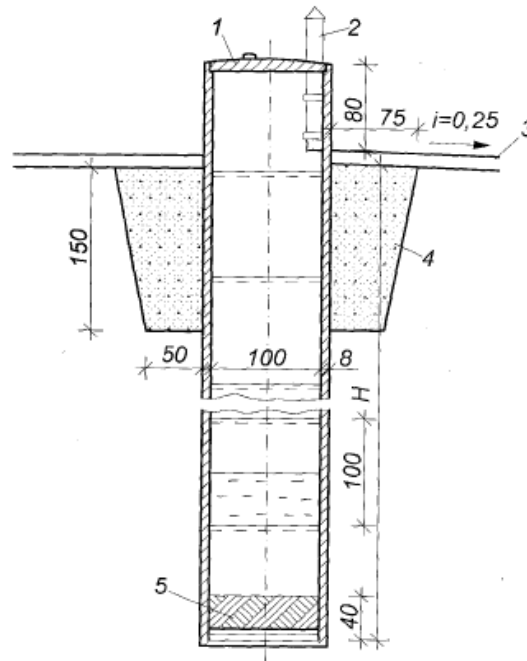


Рис. 4. 10. Шахтний колодязь із залізобетонних кілець:  
 1 – залізобетонна кришка; 2 – вентиляційна труба діаметром 150 мм;  
 3 – відмостка щебенем; 4 – глина; 5 – зворотний фільтр

Горизонтальні водозабори виконують із залізобетонних, бетонних або керамічних труб із круглими або щілиноподібними отворами. Для горизонтальних водозаборів доцільно використовувати труби овоїдальної перетину, в яких більше площа водоприймальної поверхні (рис. 4. 11).

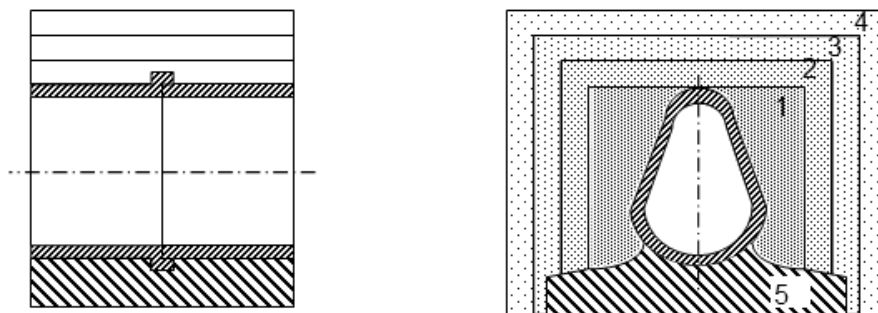


Рис. 4. 11. Горизонтальний водозабір із залізобетонних труб овоїдальної перетину:  
 1 – шар із зерном 12–15 мм; 2 – шар із зерном 5–7 мм; 3 – шар із зерном 1,5–2мм; 4 – шар із зерном 0,4–0,6 мм; 5 – бетон

Щоб запобігти вимиванню водою частинок ґрунту, водозабори обсіпають фільтрувальним піщано-гравійним завантаженням. Для

запобігання просочування у водозабори забруднених поверхневих стоків на поверхні землі над ними облаштовують глиняну подушку.

Променеві водозабори – це вертикальні шахти (колодязі), до яких приєднані горизонтальні свердловини, що розходяться у вигляді променів від шахти. Розташовані у товщі водоносного шару горизонтальні свердловини є приймачами води.

Залежно від місця розташування променеві водозабори розподіляються на: берегові – розташовані на березі річки; підруслові – знаходяться під дном річки; комбіновані – з шахтою, розташованою на березі річки, і променевими свердловинами, прокладеними на березі та під руслом ріки.

Для забору вод висхідних джерел облаштовують каптажні камери (за подобою шахтних колодязів), розташовуючи їх над місцями виходу води, а для забору води із низхідних джерел – каптажні камери з прийманням води через бокові отвори у стінках.

## **5. ВИМОГИ СПОЖИВАЧІВ ДО ЯКОСТІ ВОДИ**

Вимоги споживачів до якості води можуть бути різними залежно від її цільового призначення:

- господарсько-питних цілей та харчової промисловості;
- сільськогосподарських цілей (зрошення, тваринництво);
- паросилового господарства;
- технологічних потреб промисловості (виконання технологічних процесів виробництва).

### **5. 1. Нормативи якості питної води**

Відповідно до вимог стандарту ГОСТ 2874-82 «Вода питьевая. Гигиенические требования и контроль за качеством» вода має бути безпечною в епідеміологічному відношенні, нешкідливою за хімічним складом і мати високі органолептичні властивості. Якість води визначають за її складом і властивостями під час надходження до водопровідної мережі, у місцях водозабору зовнішньої та внутрішньої водопровідної мережі та моніторингу джерел постачання води.

Нормативні якості питної води:

- I. Органолептичні показники (5 показників):
  - 1) зовнішній вигляд,
  - 2) запах (бали),
  - 3) смак і присмак (бали),
  - 4) кольоровість (градус),
  - 5) каламутність (мг/дм<sup>3</sup>).
- II. Токсикологічні показники:

- 1) алюміній,
  - 2) барій,
  - 3) берилій,
  - 4) бор,
  - 5) молібден,
  - 6) ціаніди,
  - 7) бенз(а)пірен.
- III. Показники, що впливають на органічні властивості води (17 показників):
- 1) водневий показник (рН),
  - 2) твердість загальна (ммоль/л),
  - 3) нафтопродукти,
  - 4) ПАР,
  - 5) загальна мінералізація (сухий залишок),
  - 6) залізо,
  - 7) нітрати,
  - 8) нітриди,
  - 9) лужність загальна.
- IV. Хімічні речовини, що надходять у процесі оброблення води (8 показників):
- 1) сумарний залишковий активний хлор,
  - 2) озон залишковий,
  - 3) срібло.
- V. Інтегральні показники (2 показники):
- 1) окиснюваність,
  - 2) загальний органічний карбон.
- VI. Показники радіаційної безпеки (4 показники):
- 1) стронцій-90,
  - 2) цезій-137.

Епідеміологічну безпечність води визначають числом мікроорганізмів і числом бактерій групи кишкових паличок.

Токсикологічні показники якості води характеризують нешкідливість її хімічного складу і включають нормативи для речовин, які:

- 1) трапляються у природних водах;
- 2) додають у воду або які утворюються в процесі її оброблення;
- 3) з'являються внаслідок промислового, сільськогосподарського, побутового та іншого забруднення джерел водозабезпечення.

До води, яку використовують у харчовій і бродильній промисловості, ставлять такі самі вимоги, як і до питної води. У деяких харчових виробництвах до якості води ставлять додаткові вимоги. Так, вода, яку використовують у винокурінні, не повинна містити хлоридів кальцію та магнію, оскільки вони негативно впливають на життєдіяльність дріжджів. Вода, яку використовують в пивоварінні, не повинна містити гіпсу, який

гальмує процес бродіння солоду; а у виробництві цукру вона повинна мати низьку мінералізацію, оскільки підвищений вміст солей заважає варінню та кристалізації цукру.

## 5. 2. Використання води в охолоджувальних системах

Досить великі об'єми води використовують у теплообмінному апараті для охолодження технологічного обладнання – металургійних печей, двигунів внутрішнього згорання, компресорів, конденсаторів парових турбін, сушильних агрегатів, хімічної апаратури та ін. Важливим являється те, що для високого коефіцієнта теплопередачі поверхні теплообміну повинні бути вільними від наростів і відкладень.

Причиною наростів і відкладень є наявність у природній воді гідрокарбонату кальцію. За багаторазового підвищення температури води утворюється і випадає в осад малорозчинний карбонат кальцію:



Осад відкладається на стінках водопровідної арматури та апаратури, яка нагрівається. Швидкість біологічного обростання, що допускається у теплообмінних апаратах і охолоджувачах, має бути не більше 0,7 г/(м<sup>2</sup>·год) за сухою масою. Крім того, вода не повинна спричиняти корозію металу більше ніж 0,09 г/( м<sup>2</sup>·год), тобто бути корозійно нейтральною.

В обробленій воді обмежується вміст завислих речовин (піску, глини, намулу). Завислі речовини осідають в пазухах холодильних апаратів, засмічують труби конденсаторів, відкладаються на окремих ділянках трубопроводів, регулюючої і забірної арматури, а невеликі частинки завислих речовин потрапляють до складу осадів карбонату та сульфату кальцію.

## 5. 3. Використання води в технологічних цілях промисловості

До води, яку використовують для технологічних цілей, ставляться відповідні вимоги, що зумовлені специфікою виробництва. Згідно з призначенням розрізняють воду, яка використовується для супроводження технологічного процесу, і воду, що входить до складу продуктів реалізації технологічного процесу, де зберігає свої властивості, або вступає з ними в хімічну реакцію.

**Вода для паросилових котлів.** Норми якості води для сучасних парових котлів залежать від типу, тиску, потужності та інших параметрів паросилового господарства. Вода має бути звільнена від солей твердості, завислих речовин і кисню. Прозорість води має бути нижче 50 см, тобто більше за прозорість питної води.

**Вода для використання у сільському господарстві.** Вода, яка використовується для напування тварин, птиці, при готуванні їжі для



тварин, має відповідати вимогам якості води для господарсько-питних цілей. Проте, деякі показники води, такі як кольоровість, прозорість і запах, можуть бути дещо нижчими.

Мінералізація води, яку використовують в іригаційних системах для зрошування сільськогосподарських угідь, не повинна перевищувати 1,5 г/дм<sup>3</sup>. Підвищена мінералізація зумовлює засолювання ґрунтів і зменшення врожаю.

#### 5. 4. Обґрунтування технології підготовки води

**Прояснення води.** Прояснення – це видалення з води завислих домішок. Залежно від кінцевого потрібного вмісту завислих домішок у воді прояснення здійснюють відстоюванням води у відстійниках, гідроциклонах, центрифугуванням, флотацією, фільтруванням, пропускання через шар раніше утвореного завислого осаду в прояснювачах та з використанням інших технологічних апаратів.

Для інтенсифікації процесу осадження завислих речовин застосовують їх коагулювання. Для цього у воду добавляють хімічні речовини – коагулянти. У результаті коагуляції утворюються великі агрегати, на поверхні яких адсорбуються домішки і завислі частинки, що швидко осідають під дією сил гравітації. Процес коагулювання здійснюється у прояснювачах із шаром завислих пластівців або у контактних прояснювачах зі статичним зернистим шаром.

Процес прояснення після центрифуг, гідроциклонів виконується на швидких фільтрах (фільтруванням через сітки) і мікрофільтрах (через тканини). Прояснення води одночасно з її знебарвленням відбувається у флотаторах.

**Знебарвлення води** – процес видалення з води забарвлених колоїдів або розчинених домішок, які зумовлюють кольоровість води. Вода знебарвлюється під час коагулювання або флотації із застосуванням окисників або сорбентів. Для цього проводять хлорування, фільтрування через гранульоване активоване вугілля або напірну флотацію з обов'язковим попереднім коагулюванням домішок.

**Знезалізнення води** – процес зменшення вмісту солей феруму до вимог державного стандарту на питну воду або технічних умов споживача. Залежно від форм сполук феруму, наявних у воді, застосовують безреагентні або реагентні способи видалення сполук ферума. Широко використовують аерування води з наступним її фільтруванням на швидкісних фільтрах.

**Фторування води** – здійснюють введенням до її складу сполук фтору для запобігання захворювання зубів у карієсу.

**Знезараження води** – здійснюють для знищення в ній патогенних бактерій і вірусів, проводячи хлорування, озонування або вводячи

перманганат калію. Також застосовують фізичні методи – ультрафіолетове та інше опромінення.

## **5. 5. Характеристика основних технологічних схем підготовки води**

Технологічна схема підготовки води – розміщення технологічних процесів і споруд у певній послідовності з метою отримання води заданої кількості та якості, що відповідають вимогам споживача або стандарту.

Здійснення окремих технологічних процесів за певних умов для отримання найбільшого виходу продукту (чистої води заданої якості) за мінімальних витрат сировини (природної води), енергії та інших допоміжних матеріалів і реагентів є параметрами технології (тривалість процесу, температура, інтенсивність перемішування, доза реагенту та її концентрація).

Технологічні схеми, які використовують у практиці підготовки води, можна класифікувати за такими основними ознаками: участь реагентів (реагентні чи безреагентні), ефект прояснення (глибоке і неповне), кількість технологічних процесів (одно-, дво-, багатопроеесні) і число ступенів кожного з них (напірні чи безнапірні).

Реагентні та безреагентні технологічні схеми застосовують у процесі підготовки води для господарсько-питних потреб і потреб промисловості. Вони відрізняються як за складом процесів, так і за розмірами водоочисних споруд і умовами їх експлуатації.

Технологічні схеми для підготовки води із застосуванням реагентів порівняно із безреагентними схемами значно менші за обсягом, компактніші і дешевші, але складні в експлуатації. Процеси підготовки води із застосуванням реагентів відбувається інтенсивніше і значно ефективніше.

За кількістю технологічних процесів і числом ступенів кожного з них технологічні схеми підготовки води поділяють на одно-, дво- і багатопроеесні. На рис. 5. 1, а, б, в наведено безреагентні технологічні схеми поліпшення якості води з гідроциклоном, акустичним фільтром і повільним фільтром. Ці ж схеми можна розглядати як однопроеесні, де відбувається одне прояснення за допомогою гідроциклону, акустичного і повільного фільтрів.

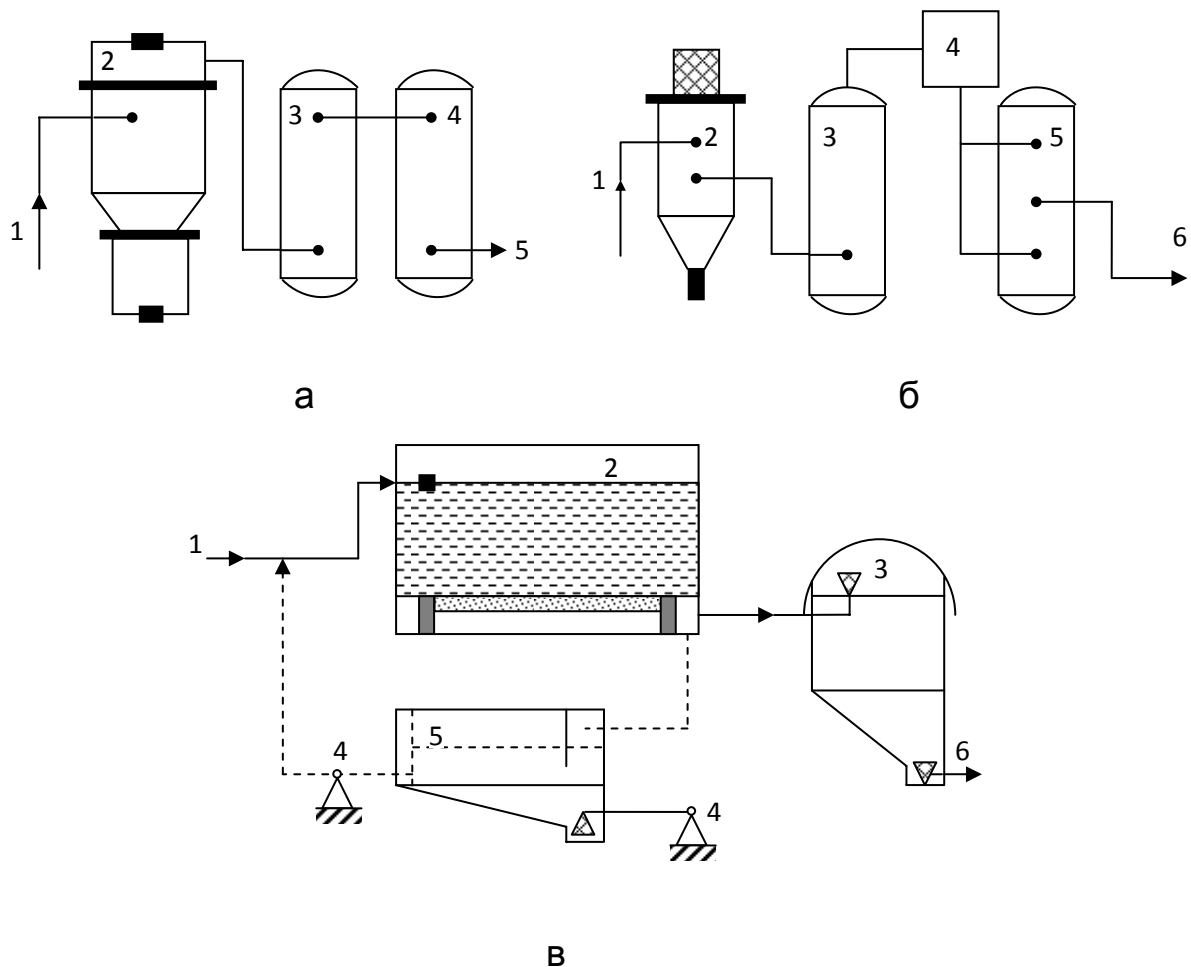


Рис. 5. 1. Безреагентні технологічні схеми поліпшення якості води:  
 а – з гідроциклоном: 1 – подача вихідної води; 2 – гідроциклон;  
 3 – швидкісний фільтр 1-го ступеня; 4 – швидкісний фільтр 2-го ступеня;  
 5 – відведення фільтрата;  
 б – з акустичним фільтром: 1 – подача води; 2 – акустичний фільтр;  
 3 – швидкісний фільтр 1-го ступеня; 4 – розподільча магістраль;  
 5 – двопотоковий двошаровий швидкісний фільтр 2-го ступеня;  
 6 – відведення фільтрата;  
 в – з повільним фільтром: 1 – подача вихідної води; 2 – повільний фільтр;  
 3 – резервуар чистої води; 4 – насоси; 5 – споруди обороту промивної  
 води; 6 – відведення фільтрата

На рис. 5. 2 показано двопроектну технологічну схему, де два технологічних процеси (оброблення води у шарі завислого осаду і фільтрування) здійснюються послідовно й одноразово за один ступінь. Аналогічну схему з флотатором зображено на рис. 5. 3. Якщо один із основних технологічних процесів здійснюється двічі або більше, технологічну схему називають дво-, три- і багатоступінчастою.

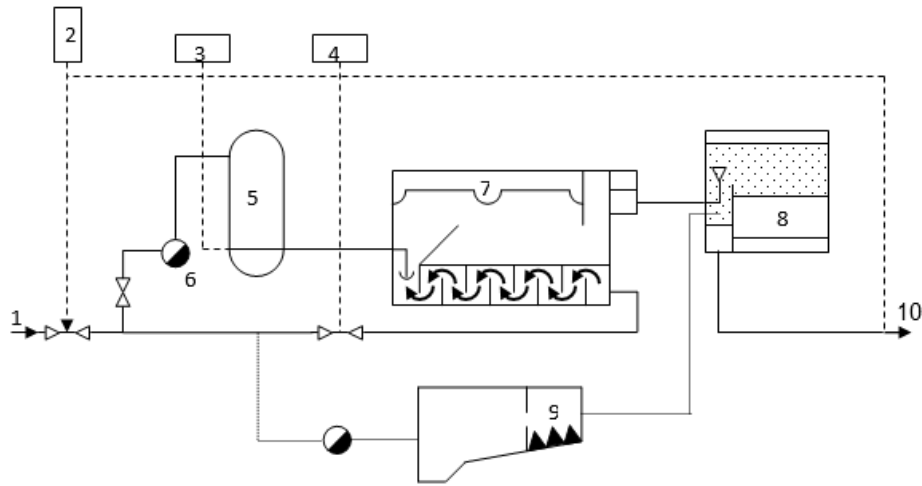


Рис. 5. 2. Реагентна технологічна схема поліпшення якості води з флотаторами:

- 1 – подача вихідної води; 2 – хлораторна; 3 – компресор; 4 – баки коагулянту;  
 5 – напірний бак; 6 – насоси; 7 – флотатор; 8 – швидкісний фільтр; 9 – резервуари-усереднювачі з пісколовками; 10 – відведення очищеної води

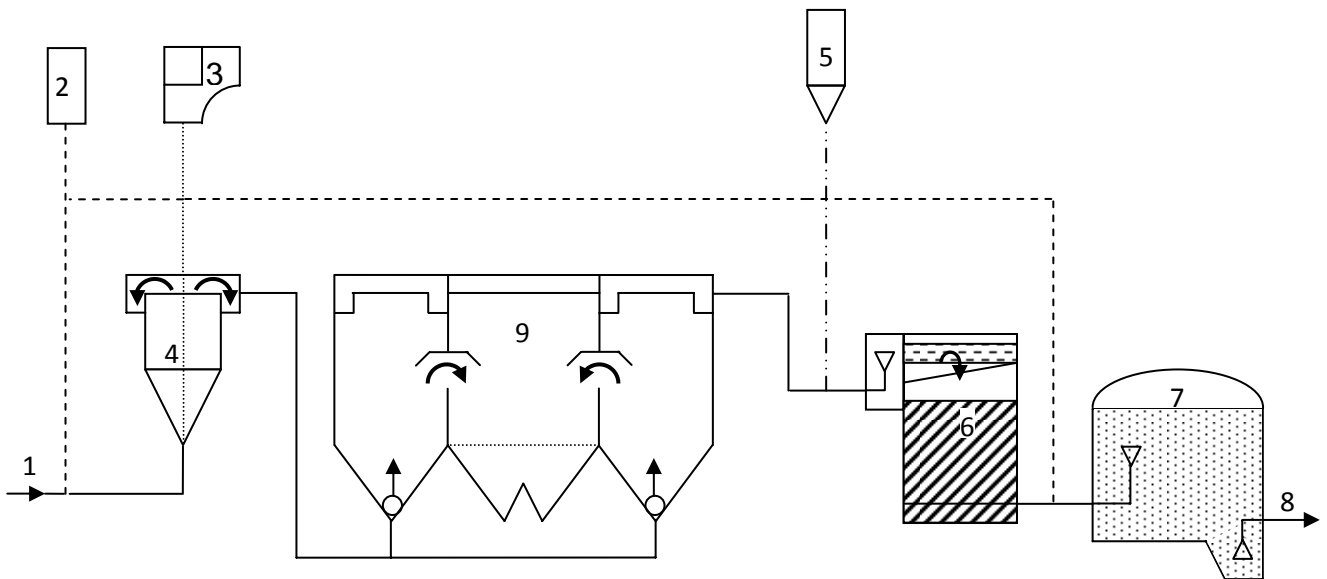


Рис. 5. 3. Реагентна технологічна схема поліпшення якості води з прояснювачами із шаром завислого осаду:

- 1 – подача вихідної води; 2 – хлораторна; 3 – баки коагулянту;  
 4 – вертикальний змішувач; 5 – установка для фторування;  
 6 – швидкісний фільтр; 7 – резервуар чистої води; 8 – відведення очищеної води;  
 9 – прояснювач із шаром завислого осаду

Кількість технологічних процесів і число ступенів у технологічній схемі залежать від якості природної води та вимог споживача до якості очищеної води. Під час підготовки висококаламутних вод для господарсько-питних цілей застосовують двоступінчасте осадження з

подальшим фільтруванням в один ступінь або використовують технологічну схему, яка передбачає попереднє прояснення води в гідроциклонах з подальшим доочищенням.

За ефектом прояснення розрізняють технологічні схеми повного (глибокого) прояснення. Після глибокого прояснення очищена вода відповідає вимогам якості питної води, тоді як після грубого прояснення вміст завислих речовин в очищеній воді набагато більший (до 50–100 мг/л і більше).

За характером руху обробленої води технологічні схеми водопідготовки поділяють на самопливні (безнапірні) і напірні. На міських і великих промислових водоочисних спорудах рух вихідної води у технологічному процесі здійснюється самопливно. При цьому рівень води в кожній наступній споруді нижче рівня, ніж у попередній. Різниця рівнів визначає напір, потрібний для подолання гідравлічного опору в очисних спорудах і комунікаціях від однієї споруди до іншої.

У напірній технологічній схемі рух води від одного апарата до іншого відбувається під тиском, який вище, ніж атмосферний. Тому апарати різних процесів можна розмістити на одній відмітці. Напірні очисні споруди мають бути герметичними і розрахованими на тиск, який створюється насосами. У напірних технологічних схемах можна не влаштовувати резервуари чистої води і насосну станцію другого підйому. В окремих випадках очищена вода під тиском насосів першого підйому подається безпосередньо в мережу споживача. Напірні технологічні схеми характеризуються значною металоємністю, що пов'язана з обмеженням продуктивності очисних станцій.

## **5. 6. Сучасні технологічні схеми підготовки питної води**

Останнім часом розроблені та впроваджені у практику водопідготовки нові технологічні схеми. У цих схемах використовують електрокоагулятори, гідроциклони, тонкошарові відстійники, напірну флотацію, акустичні фільтри, контактні прояснювачі та контактні фільтри, повільні фільтри з механічним розгалужуванням піску і гідрозмиванням забруднень після промивання. Розглянемо деякі технологічні схеми.

Найпоширенішою, як у нашій країні, так і за кордоном, є універсальна технологічна схема, зображена на рис. 5. 4. Її можна застосовувати для очищення природної води будь-якої якості. Очищена вода під тиском насосів першого підйому подається на барабанні стійки для вилучення великих деталей. Потім вона надходить до змішувача, в який додають хлор (первинне хлорування), коагулянт і, за потреби, лужні реагенти (підлужування води). Після змішування з реагентами вода надходить до камери пластівцеутворення, вмонтованої у відстійнику. Утворені великі агрегати пластівців випадають в осад у вертикальних або горизонтальних

відстійниках. Вибір останніх залежить від продуктивності станції. За великої продуктивності застосовують горизонтальні відстійники. Потім вода надходить до швидкісного фільтра, перед яким, за потреби, до неї додають реагенти для дезодорації, фторування чи інтенсифікації процесу фільтрування. Профільтровану воду знезаражують і відправляють до резервуару чистої води, звідки насосами другого підйому вона подається до мережі водоспоживання. Якщо вода використовується як технічна, то потреба в її дезодорації, фторуванні та знезараженні відпадає.

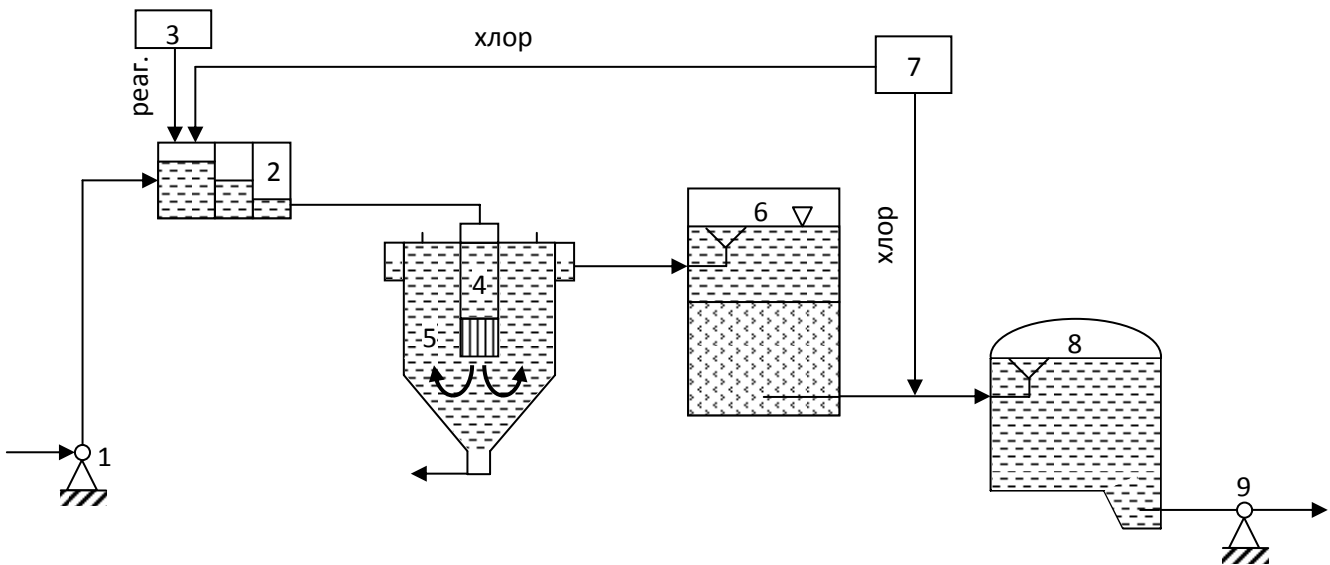


Рис. 5. 4. Висотні схеми технологічних споруд водоочисних станцій з вертикальним відстійником і швидкими фільтрами:

- 1 – насосна станція 1-го підйому; 2 – змішувачі; 3 – реагентний цех;
- 4 – коловоротна камера пластівцеутворення; 5 – вертикальний відстійник; 6 – швидкі фільтри; 7 – хлораторна; 8 – резервуар чистої води; 9 – насосна станція 2-го підйому

Удосконалена технологічна схема (рис. 5. 5) передбачає реагентне оброблення води, її прояснення і знебарвлення у шарі завислого осаду та фільтрування на швидкісних фільтрах. Тут камери пластівцеутворення і відстійника поєднуються в одному апараті-прояснювачі із завислим шаром осаду, що дає змогу інтегрувати процеси прояснення та знебарвлення. У цій технологічній схемі одночасно застосовують двошарові або двопотокові фільтри і фільтри з великозернистим завантаженням. Крім того, в цій схемі передбачається вилучення великих зависей на барабанних сітках, дезодорація фільтрування і знезараження. Споруди, що входять до складу цієї технологічної схеми, менші за об'ємом, як конструктивно складніші, і це, у свою чергу, ускладнює їх експлуатацію.

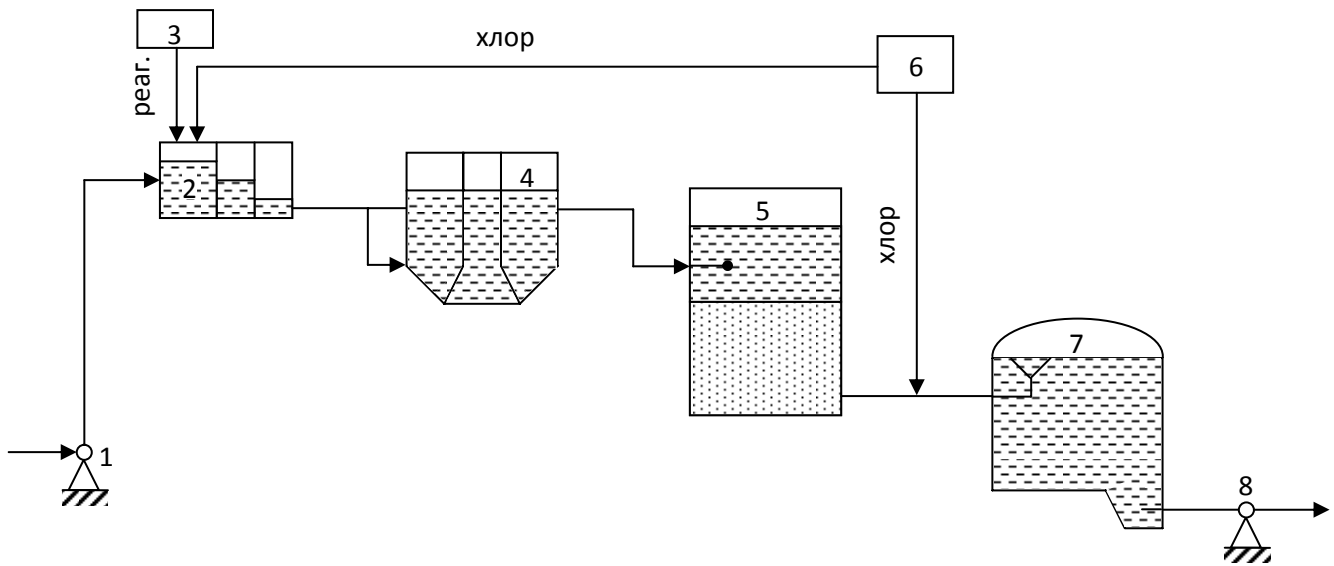


Рис. 5. 5. Висотні схеми технологічних споруд водоочисних станцій з прояснювачами і фільтрами:

- 1 – насосна станція 1-го підйому; 2 – змішувачі; 3 – реагентний цех;
- 4 – прояснювачі із завислим осадом; 5 – швидкі фільтри;
- 6 – хлораторна; 7 – резервуари чистої води; 8 – насосна станція 2-го підйому

Технологічна схема з флотатором і швидким фільтром (рис. 5. 6) передбачає підготовку малокаламутних і дуже забарвлених природних вод. Природну воду спочатку фільтрують на барабанних фільтрах, а потім подають для змішування з реагентами у вертикальний змішувач. Після цього вода надходить у камеру пластівцеутворення, в якій відбувається коагулювання дрібнодисперсних домішок з утворенням великих пластівців. Останні в процесі флотації перетворюються на піну флотатора.

Процес прояснення і знебарвлення води завершується на швидких фільтрах, але перед початком цього процесу до неї вводять вугільну культуру або окисник для дезодорації та фторовмісний реагент для фторування. Знезаражують очищену воду хлором. Ця технологічна схема компактна, ефективна в роботі, але має конструктивні ускладнення деяких технологічних процесів.

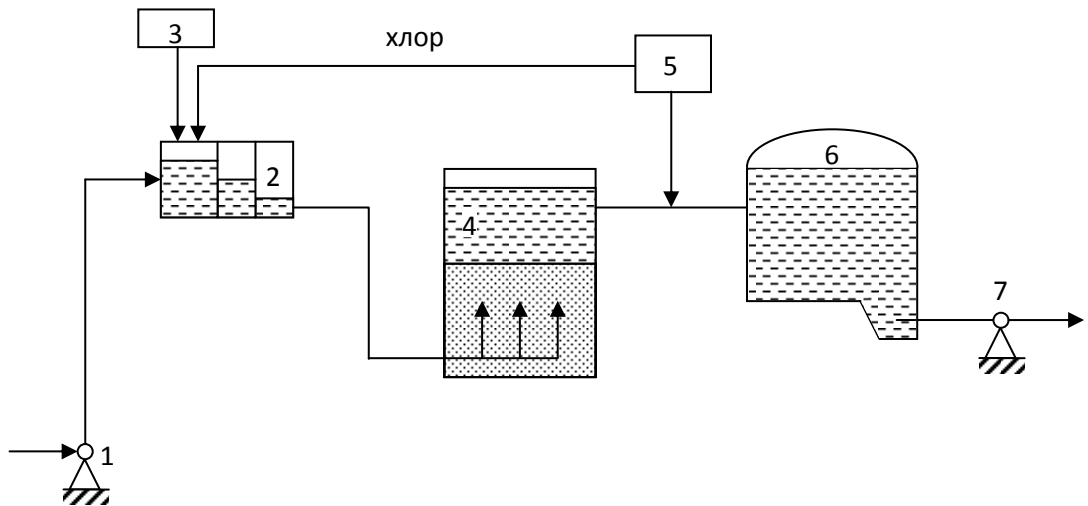


Рис. 5. 6. Висотні схеми технологічних споруд водоочисних станцій з контактними прояснювачами:

- 1 – насосна станція 1-го підйому; 2 – змішувачі; 3 – реагентний цех;  
 4 – камера пластівцеутворення; 5 – хлораторна; 6 – резервуар чистої води; 7 – насосна станція 2-го підйому

### 5. 6. 1. Прояснення природних вод від грубодисперсних завислих речовин

**Суспензії та емульсії.** Неоднорідні системи, що складаються з рідини і завислих у ній твердих частинок, називають суспензією. Залежно від розмірів твердих частинок суспензії поділяють на грубі (понад 100 мкм), тонкі (0,5–100 мкм) і каламутні (0,1–0,5 мкм).

Системи, що складаються з рідини і розподілених у ній крапель іншої рідини, яка не змішується з основною рідиною, називають емульсіями. За розмірів крапель, менших ніж 0,4–0,5 мкм, або у разі добавляння стабілізаторів, емульсії стійкі та тривалий час не розшаровуються.

Характерними фізичними властивостями суспензій та емульсій є густина і в'язкість, за якими можна визначити об'ємні співвідношення фаз. Середню густину суспензії та емульсії  $\rho_c$  розраховують за рівнянням

$$\rho_c = \rho_{д.ф} \varphi + \rho_{д.с} (1 - \varphi),$$

де  $\rho_{д.ф}$  і  $\rho_{д.с}$  – відповідно густина дисперсної фази і дисперсійного середовища, г/см<sup>3</sup>;  $\varphi$  – об'ємна частка дисперсної фази.

В'язкість суспензії  $\mu_{сус.}$  (м<sup>2</sup>/с) залежить від концентрації твердої фази і не залежить від розмірів часточок. За об'ємної концентрації твердої фази

до 10 % в'язкість суспензії визначають за рівнянням

$$\mu_{сус.} = \mu_{д.с} (1 + 2,5\varphi),$$

а за об'ємної концентрації твердих часточок понад 10 % –



$$\mu_{\text{сус}} = \mu_{\text{д.с}}(1 + 4,5\varphi),$$

де  $\mu_{\text{д.с}}$  – в'язкість дисперсійного середовища, м<sup>2</sup>/с.

В'язкість суспензії  $\mu_{\text{ем}}$  за об'ємної концентрації крапель дисперсної фази, що не перевищує 50 %, визначають за рівнянням

$$\mu_{\text{ем}} = \mu_{\text{с.ф}} \left[ 1 + 2,5\varphi \left( \frac{\mu_{\text{д.ф}} + \frac{2}{5\mu_{\text{с.ф}}}}{\mu_{\text{д.ф}} + \mu_{\text{с.ф}}} \right) \right],$$

а у разі концентрації крапель понад 50 % –

$$\mu_{\text{ем}} = \mu_{\text{с.ф}} \frac{\sqrt{\frac{1}{\varphi}}}{\sqrt{\frac{1}{\varphi} - 1}},$$

де  $\mu_{\text{с.ф}}$  і  $\mu_{\text{д.ф}}$  – відповідно в'язкість суцільної і дисперсної фаз, м<sup>2</sup>/с.

Вибір способу розділення суспензії зумовлюється розмірами завислих частинок, в'язкістю дисперсного середовища і різницею густини дисперсної фази та дисперсійного середовища. Природні води прояснюють від грубодисперсних завислих речовин у гідроциклонах, відстоюванням, фільтруванням, а від тонкодисперсних – відстоюванням, фільтруванням, флотацією.

**Прояснення в гідроциклонах.** Принцип дії гідроциклонів ґрунтується на сепарації частинок твердої фази в обертовому потоці рідини. Швидкість сепарування частинок у відцентровому полі гідроциклону в сотні разів перевищує швидкість їх осідання під дією сил гравітації.

Застосування гідроциклонів має такі переваги: висока питома продуктивність розділення суспензій і відносно невеликі витрати на будівництво та експлуатацію установок; відсутність обертових механізмів; утворення відцентрового поля за рахунок тангенційного вводу очищеної води; можливість створення компактних автоматичних установок.

Для очищення води від завислих твердих частинок можна використовувати відкриті та напірні гідроциклони.

## 5. 7. Знезараження води

Вибір способу знезараження води залежить від витрат води та її якості, ефективності й надійності процесу, умов постачання і зберігання реагентів, можливості механізації складних робіт, автоматизації процесу та техно-еколого-економічного обґрунтування. Найчастіше знезараження води здійснюють, застосовуючи такі окисники, як хлор, озон, гіпохлорит натрію; випромінюванням – ультрафіолетовим, ультразвуком; термічними методами.

### 5. 7. 1. Знезараження води хлором

У практиці водопідготовки найбільшого поширення набуло хлорування води. Для цього застосовують рідкий хлор та його сполуки, що містять активний хлор (гіпохлорит натрію, хлорне вапно, діоксид хлору). Під дією хлору окислюються речовини, що входять до складу протоплазми клітин бактерій, внаслідок чого бактерії гинуть. Хлор окислює також органічні речовини, які знаходяться у воді.

Залежно від мети хлорування, всі способи оброблення води хлором або його солями поділяють на дві основні групи – попереднє хлорування (поп-хлорування) і хлорування на заключній стадії (пост-хлорування).

Звичайне хлорування, яке застосовують за невеликого забруднення води, в технології підготовки води є завершеним процесом. Нерідко його використовують як самостійний процес, коли вода достатньо чиста, а знезараження здійснюється у профілактичних цілях. Дозу хлору визначають під час технологічних вимірювань якості води, дотримуючись збереження її смакової якості. Кількість залишкового хлору після 30-хвилинного контактування з водою не повинна перевищувати 0,5 мг/дм<sup>3</sup>. Така вимога забезпечується за умови, що доза хлору в процесі хлорування має бути 2–3 мг/дм<sup>3</sup> для поверхневих вод і 0,7–1 мг/дм<sup>3</sup> – для підземних з наступним ретельним перемішуванням.

Поп-хлорування застосовують у разі значного забруднення води мікроорганізмами та шкідливими органічними речовинами. Його проводять на початку технологічного процесу підготовки води. Крім того, воно може сприяти процесу перебігу процесів коагуляції, відстоювання, фільтрування, знебарвлення, дегазації. Зазвичай поп-хлорування здійснюється великими дозами хлору і не потребує дохлорування, оскільки надлишковий хлор видаляється в наступних технологічних процесах водопідготовки. Надлишковий хлор витрачається на окислення домішок, сорбується на поверхні коагулянту та окислює організми, які розвиваються на поверхні очисних споруд і завантажених фільтрів.

У практиці водопідготовки часто використовують подвійне хлорування (поп- і пост-хлорування) і хлорування підвищеними дозами хлору (суперхлорування). У разі подвійного хлорування здійснюють попереднє хлорування для підготовки води до наступних етапів її очищення і пост-хлорування – для забезпечення потрібної концентрації залишкового хлору у воді, яка проходить до водопровідної мережі. В останньому випадку тривалість контактування хлору з водою від моменту змішування її з реагентами до надходження найближчому споживачеві має бути не менше ніж 30 хвилин у разі хлорування рідким хлором або гіпохлоритом. Для підземних вод, які не зазнають попереднього оброблення, хлорні реагенти подають у резервуари чистої води. Для розрахунків (попередніх), необхідних для знезараження фільтрувальної

води, дозу хлору приймають 2–3 мг/дм<sup>3</sup>, а для підземних вод – 1,7–1 мг/дм<sup>3</sup>.

Під час хлорування підвищеними дозами вміст залишкового хлору має становити 1–10 мг/дм<sup>3</sup>. Надлишок хлору, що перевищує допустиму норму, видаляють дехлоруванням за допомогою оксиду сульфуру, сульфїту та ін., а також фільтруванням через активоване вугілля.

З метою посилення дії хлору або фіксації хлору у воді на тривалий термін застосовують комбіновані способи хлорування. До них належать: хлорування з мангануванням, яке використовують для дезодорації води; хлоросрібний і хлоромідний способи, які застосовують для зменшення дози хлору у воді; сумісне хлорування з амонізацією. Останній спосіб є найпоширенішим у технології водопідготовки і ґрунтується на утворенні моно- і дихлорамінів під час хлорування води, у яку введено аміак, або введенням цих речовин у воду, призначену для очищення.

Хлорування здійснюється рідким (газоподібним) хлором. Хлорне господарство влаштовують в окремому приміщенні, де розміщують витратний склад хлору, випарник і дозатор хлору. Витратний склад можна розміщувати в окремій будівлі або впритул до хлораторної, яку відокремлено від нього глухою стіною.

Хлор гідролізує з утворенням хлорноватистої кислоти, яка розкладається на соляну кислоту і атомарний кисень, що є сильним окисником і призводить до загибелі більшості патогенних бактерій (бацили туберкульозу, дизентерії, черевного тифу, вібріони холери, віруси поліомієліту та енцефаліту). Хлор не знижує спороутворення бактерій, що є недоліком.

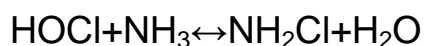
Ефект хлорування залежить від дози введеного хлору і тривалості контактування його з водою. Тому хлоропоглинальність води змінюється залежно від дози введеного хлору, значення рН, температури води, тривалості контактування та інших факторів. Потрібну кількість хлору (г/год) для знезараження газоподібним хлором розраховують за формулами:

$$q_{\max} = D_{\max} \cdot Q_{\max}, \quad (5.1)$$

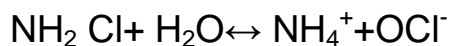
$$q_{\min} = D_{\min} \cdot Q_{\min}, \quad (5.2)$$

де  $D_{\max}$  і  $D_{\min}$  – відповідно максимальна і мінімальна потреба хлору для знезараження води, г/м<sup>3</sup> (визначають лабораторними дослідженнями);  $Q_{\max}$  і  $Q_{\min}$  – відповідно максимальна і мінімальна витрати води, м<sup>3</sup>/год.

Доза введеного хлору має бути більшою, ніж поглинальна здатність води, на величину залишкового хлору, який гарантує завершеність процесу знезараження. Знезараження завершується утворенням монохлораміну за реакцією (за наявності у воді аміаку):



Монохлорамін гідролізує з утворенням сильного окисника гіпохлоритіонів за реакцією



Бактерицидна дія хлорамінів значно вища, ніж хлору. Тому амонізацію води переважно проводять після тривалого перебування її в резервуарі, водопроводах і мережі. Оптимальна доза аміаку в 5 разів менша, ніж доза хлору.

Одним із перспективних напрямів хлорування на водоочисних спорудах з добовою витратою хлору до 50 кг є використання гіпохлориту натрію, який отримують на місці споживання внаслідок електролізу розчинів хлориду натрію.

### 5. 7. 2. Знезараження води озоном

Озон – сильний окисник, здатний убивати бактерії, віруси, спори. Під час озонування води одночасно із знезараженням її відбувається знебарвлення, дезодорація та поліпшення смаку, що є беззаперечною перевагою цього способу. Озон не змінює природної якості води, оскільки його надлишкова кількість через деякий час переформується на кисень. Останнім часом у практиці водопідготовки озонування води набуває дедалі більшого поширення. До його переваг належать: компактність установок; відсутність громіздського реагентного господарства; можливість автоматизації процесу. Озон належить до пожежонебезпечних і токсичних речовин. Він здатний під час розкладання (розпаду) вибухати, якщо його концентрація в атмосферному повітрі перевищує 10 % (140 г/м<sup>3</sup>), та вражати органи дихання, якщо його вміст в повітрі перевищує ГДК (не більше 0,0001 мг/дм<sup>3</sup>).

Доза озону, що необхідна для знезараження води, визначається вмістом органічних речовин, значенням рН і температури. Рекомендовані дози озону для фільтрованої води коливаються від 1 до 3, а для води з підземних джерел – від 0,75 до 1 мг/дм<sup>3</sup>. У кожному конкретному випадку ці величини уточнюють на підставі лабораторних досліджень.

Озон синтезують на озонаторних станціях з атмосферного повітря під дією тихого електричного розряду. Перед подаванням повітря в озонатор з нього ретельно видаляють пил, масло, вологу. Для глибокого осушування використовують адсорбери, заповнені силікагеном або амомогеном. У цьому разі досягають залишкової вологості 0,05 г/м<sup>3</sup>.

Для озонування води застосовують барботування, інжекцію або механічне перемішування. Найпоширенішими є барботажні контактні камери, на дні яких укладені пористі керамічні або металокерамічні труби. Висота барботажних камер становить 5 м, тривалість перебування води в камері – 5–7 хвилин.

Озоноповітряну суміш можна вводити у воду до очисних споруд (поп-озонування), після очисних споруд (пост-озонування) та до і після очисних споруд (подвійне озонування). Поп-озонування доцільно проводити за таких умов:

- якщо запахи і присмаки води, яку очищують під час її дезодорації, не видаляються або підсилюються в процесі її подальшого оброблення;
- за одночасного знебарвлення води;
- під час проведення лише знебарвлення;
- якщо всі процеси оброблення води замінені озонуванням.

Пост-озонування рекомендується проводити тоді, коли присмаки і запахи частково видаляються під час попереднього оброблення та у процесі знезараження води озоном. Подвійне озонування доцільно здійснювати, якщо на очисних спорудах вода прояснюється або хлор разом з коагулянтном застосовують для уникнення бактеріального забруднення очисних вод.

### 5. 7. 3. Знезараження води випромінюванням або іншими способами

Наприкінці XIX ст. А. М. Маклаков установив бактерицидну дію ультрафіолетового випромінювання з довжиною хвилі 200 нм. Було доведено, що всі види бактерій і спор гинуть після кількох хвилин опромінювання.

Для розрахунку установки В. Ф. Соколов запропонував, з метою знезараження води, використовувати формулу

$$F_p = Q\alpha \cdot K \lg(p/p_0) / (1563,4 \cdot \eta_0 \eta), \quad (5. 3)$$

де  $F_p$  – розрахунковий потік енергії, Вт;  $Q$  – витрата води, яку знезаражують,  $\text{мг/м}^3$ ;  $\alpha$  – коефіцієнт поглинання,  $\text{см}^{-1}$ ;  $K$  – коефіцієнт опору бактерій, який приймають –  $2500 \text{ мк}\cdot\text{Вт}\cdot\text{с/см}^2$ ;  $p_0$  – ком-індекс води до опромінювання;  $p$  – ком-індекс води після опромінювання, згідно з ДГСТ 2874-82 не більше 3;  $\eta_0$  – коефіцієнт використання бактерицидного потоку, який враховує поглинання променів відбивачами (в апаратах із зануреним джерелом) або у кварцових чохлах (в апаратах із зануреними джерелами). Для попередніх розрахунків його можна прийняти – 0,9.

Потрібну кількість бактерицидних ламп визначають за формулою

$$N = F_p / F_{\text{л}}, \quad (5. 4)$$

де  $F_{\text{л}}$  – розрахунковий бактерицидний потік однієї лампи, який приймають відповідно до табл. 5. 1.

Витрати електричної енергії ( $\text{Вт}\cdot\text{год/м}^3$ ) для знезараження води визначають за формулою

$$Q_e = N \cdot n / Q, \quad (5. 5)$$

де  $N$  – потужність лампи, Вт.

Таблиця 5. 1

Величина розрахункового бактерицидного потоку залежно від типу лампи

Тип лампи	Бактерицидний потік, Вт	Потужність лампи, Вт
УВ-30	2	30
БУВ-60П	6,5	60
ПРК-7	35	1000
РКС-2,5	–	6000

Як джерело бактерицидного випромінювання використовують ртутно-кварцеві лампи високого тиску (ПРК і РКС), ртутно-аргонові лампи низького тиску (БУВ).

Особливо ефективно застосовують бактерицидне знезараження УФ випромінюванням на водогонях підземних, джерельних або підруслоних вод. Таке знезараження води у 2–3 рази дешевше порівняно з хлоруванням. Витрати електричної енергії на знезараження води з підземних джерел водопостачання опроміненням не перевищують 10–15, а з поверхневих джерел – 30 Вт·год/м<sup>3</sup>.

Бактерицидний ефект має також ультразвук. Під дією ультразвуку відбувається механічне руйнування бактерій в результаті ультразвукової кавітації. Ультразвук на 95 % вбиває дизентерійні палички, висипнотифозний вірус та інші через 1–2 хвилини після оброблення. Ефективність дії ультразвукових коливань залежить від природи мікроорганізмів, частоти ультразвукових коливань, тривалості та інтенсивності оброблення ультразвуком. Під дією ультразвуку гинуть як грам-позитивні, так і грам-негативні аеробні бактерії, паличкоподібні, кокові та інші форми мікроорганізмів. Особливо чутливі нитчаті форми мікроорганізмів, а найменше – кулясті. Основна маса бактерій гине під дією ультразвукових коливань частотою 20–30 кГц впродовж 2–5 секунд.

Бактерицидний ефект ультразвуку не залежить від каламутності (до 50 мг/дм<sup>3</sup>) і кольоровості води, яку обробляють. Ультразвукові коливання однаково впливають на вегетативні та спорові форми мікроорганізмів.

До інших способів знезараження води можна віднести термічний та обробку іонами срібла. Термічний спосіб використовують для знезараження невеликої кількості води переважно в лікарнях, санаторіях, на транспорті. Під час кип'ятіння впродовж 5–10 хв гинуть практично всі патогенні бактерії. Витрачається велика кількість енергії, тому на водогонях цей спосіб не використовується.

На особливу увагу заслуговує спосіб знезараження води іонами срібла. Оброблення води, в якій міститься 0,05–0,2 мг/дм<sup>3</sup> срібла, впродовж 30–60 хв дає змогу досягти санітарних норм.

## 6. КАНАЛІЗАЦІЯ

### 6. 1. Системи та схеми каналізації

#### 6. 1. 1. Види стічних вод

Вода, що була використана для різних потреб у побуті або на виробництві та отримала при цьому додаткові домішки (забруднення), які змінили її хімічний склад або фізичні властивості, називають стічною водою. До стічних вод належать також атмосферні води, води для поливу доріг, які відводяться з території населених пунктів і промислових підприємств.

**Побутові стічні води** – це води, які утворюються в житлових, адміністративних і комунальних будинках, а також у побутових приміщеннях промислових підприємств. Це стічні води, які надходять у каналізаційну мережу від санітарно-технічних приладів (умивальники, раковини, унітази, трапи, бані, пункти прання білизни та побутові прилади).

**Виробничі стічні води** – це води, які утворюються в процесі виробничої діяльності при виготовленні товарів, виробів, продуктів, матеріалів та іншої діяльності, де в технологічних процесах використовується, як правило, прісна вода. До них потрібно віднести відпрацьовані технологічні розчини, кубові залишки, маточники, технологічні промислові води, води барометричних конденсаторів, вакуумних насосів та охолоджуючих систем; шахтні та кар'єрні води; води від миття обладнання та виробничих приміщень; охолодження газоподібних відходів і викидів, очищення твердих відходів і їх транспортування.

**Атмосферні стічні води** – це води, які утворюються при випаданні дощів, таненні снігу, від поливу та миття твердого покриття доріг, тротуарів як на території населених пунктів, так і на території промислових підприємств. Дощові води іноді називають зливовими, внаслідок того, що максимальні розрахункові витрати води утворюються в результаті випадання зливових дощів. Води для поливу і миття твердого покриття доріг, тротуарів, а також автозаправних станцій, стоянок автомобілів, пунктів миття автомобілів, мають значні витрати, а також суттєві забруднення, особливо ПАР і СПАР.

Основні характеристики стічних вод: кількість стічних вод, що зумовлюється витратами (л/с, м<sup>3</sup>/с, м<sup>3</sup>/год, м<sup>3</sup>/зміну, м<sup>3</sup>/добу); питомі витрати, види (компоненти) забруднень та їхня кількість у стічних водах, які характеризуються концентрацією забруднень (мг/л чи г/м<sup>3</sup>). Важливою характеристикою стічних вод є ступінь рівномірності (нерівномірності) їх утворення і надходження у водовідвідні каналізаційні мережі. Вона вимірюється характеристикою нерівномірності скидання стічних вод (за

годинами доби у рік). Ці характеристики враховуються при проектуванні каналізаційних систем.

У побутових стічних водах містяться забруднення мінерального і органічного походження, які знаходяться у нерозчиненому і розчиненому колоїдному стані. Частина нерозчинених забруднень називають зависями. Найбільшу санітарну небезпеку становлять забруднення органічного походження. У стічних водах знаходиться 100–300 мг/л завислих речовин органічного походження. Вміст органічних забруднень, що містяться в стічних водах в розчиненому стані, оцінюється значеннями біохімічного споживання кисню (БСК) і хімічного споживання кисню (ХСК). Побутові стічні води мають БСК = 100...400 мг/л, а ХСК = 150...600 мг/л, що свідчить про те, що вони дуже забруднені.

За концентрацією забруднень виробничі стічні води можна поділити на три основні групи:

- чисті води (після охолодження поверхонь устаткування, компресорів, двигунів. Однак і ці води іноді містять незначну кількість забрудників, тому їх іноді відносять до умовно чистих);
- малозабруднені води (умовно чисті, головним чином це води після промивання готової продукції);
- брудні води (рівень їхнього забруднення визначається багатьма чинниками).

Стічні води першої та другої групи використовують як оборотні або для розбавлення брудних вод у разі недопустимих високих концентрацій у них забрудників.

## **6. 2. Методи і принципи каналізування**

Під час вибору принципових методів і схем каналізування певного району необхідно, насамперед, розглянути можливість сумісного відведення та очищення стічних вод населених пунктів і промислових підприємств, які знаходяться в межах міста чи певного району. Сумісна каналізація такого комплексу є економічно доцільною за деякими показниками, насамперед, більш надійною в санітарному та екологічному відношенні впливу на довкілля. Питання відносно доцільності приєднання до централізованої системи каналізації підприємств, розташованих далеко від каналізаційних систем, чи створення системи автономної каналізації вирішується техніко-економічним порівнянням варіантів.

У деяких випадках виробничі стічні води неможливо очистити на підприємстві через особливості їхнього складу. Очищення таких вод значно спрощується, якщо у разі змішування їх з побутовими стічними водами за певних умов і вимог вони можуть скидатися в каналізаційні мережі.



Відповідно до цих умов виробничі стічні води піддають обробці, що відповідає умовам і вимогам скидання цих вод у каналізацію. Спосіб обробки вибирають з урахуванням характерних особливостей домішок, які необхідно видалити.

Якщо в каналізацію скидають виробничі стічні води, що насичені вмістом сильних кислот або лугів, які можуть негативно вплинути на каналізаційні споруди або на процес біохімічного очищення суміші побутових і виробничих стічних вод, то їх необхідно обов'язково нейтралізувати відповідними реагентами.

Для забезпечення нормальних умов роботи очисних споруд необхідно, окрім зазначених, дотримуватись таких необхідних умов:

- температура суміші, яка очищується, не повинна виходити за межі 6–30 °С;

- загальна концентрація розчинених солей у суміші не повинна перевищувати 10 г/л, біологічне споживання кисню (БСК<sub>20</sub>) суміші не має бути більшим за 500 мг/л (для звичайних біологічних фільтрів і аеротенків) і 1000 мг/л (для аеротенків з системами розбризкуванням стічної рідини);

- вміст біогенних елементів повинен становити: при БСК<sub>20</sub><500 мг/л – мінімум 15 мг/л амонійного азоту і 3 мг/л P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, при БСК<sub>20</sub>=500...1000 мг/л – мінімум 25 мг/л амонійного азоту і 8 мг/л P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>;

У тих випадках, коли концентрація суміші виробничих і побутових стічних вод перевищує наведені вище норми, то для забезпечення регламентного процесу очищення на міських очисних спорудах необхідно знизити концентрації шляхом оброблення стічних вод безпосередньо на самому підприємстві або ввести у стічну суміш необхідну кількість біогенних елементів на самих очисних спорудах.

Під час вибору методів і принципів положень каналізування стічних вод промислових підприємств слід брати до уваги:

- кількість, склад, властивості стічних вод окремих виробничих цехів і режим їх відведення;

- можливість зменшення кількості забруднених виробничих стічних вод підприємства за рахунок раціоналізації технологічних процесів;

- можливість повторного використання виробничих стічних вод у системі оборотного водопостачання, або використання їх в інших цехах, де менш жорсткі вимоги до якості води;

- доцільність вилучення і використання цінних речовин, що містяться у виробничих стічних водах підприємства;

- можливість і доцільність сумісного каналізування кількох поряд розташованих промислових підприємств та інших об'єктів, а також можливість приєднання їх до міської або районної каналізації;

- умови скидання виробничих стічних вод у водойми і потрібний ступінь їх очищення;

- можливі способи очищення стічних вод;

– техніко-економічні показники кожного варіанта вирішення.

На промислових підприємствах багатьох галузей періодично виникає необхідність разового скидання збільшеної кількості стічних вод, а також аварійних скидань стоків. У зв'язку з цим споруди каналізації та очищення стічних вод обладнують приймальними резервуарами відповідної місткості, які дають змогу регулювати надходження стічних вод до каналізаційної мережі та на очисні споруди.

Несталість складу виробничих стічних вод зумовлює необхідність в усереднювальних резервуарах, які повинні забезпечувати надійне вирівнювання складу стоків за допомогою їх механічного перемішування чи за рахунок хімічної взаємодії.

У разі каналізування декількох поряд розташованих промислових підприємств, у тому числі підприємств, які скидають дуже різні за складом стічні води, комплексність вирішення питань каналізування стоків набуває особливого значення. Взаємодія різних стоків може значно змінити фізичні властивості та хімічний склад виробничих стічних вод і полегшити як умови їх транспортування по трубах, так і здійснення очищення об'єднаного стоку. Спільне каналізування промислових підприємств зменшує вартість будівництва очисних споруд та їх експлуатацію.

### 6. 3. Системи каналізації

Система водовідведення – це технологічний метод об'єднання або роз'єднання потоків стічних вод різного походження. У практичному використанні були розповсюджені загально сплавні та комбіновані системи каналізації. Роздільні системи підрозділяються на повні, неповні та напівроздільні.

**Загальносплавна система водовідведення** має єдину водовідвідну систему для відведення стічних вод усіх видів: побутових, виробничих, дощових, а також вод для миття і поливу доріг і тротуарів і інших територій. Ці системи використовують за наявності біля об'єкту каналізації великого проточного водоймища, яке має значні самоочищувальні властивості. Особливістю цієї системи є те, що головний колектор обладнується зливовим випуском безпосередньо у водойму без очищення стічних вод.

Загальносплавна система водовідведення забезпечує задовільний санітарний стан житлової забудови і промислової зони об'єктів каналізації. Але при експлуатації такої системи відзначається відсутність біологічної рівноваги у водоймі. Якщо при загальносплавній системі каналізації (рис. 6. 1) стічні води, що мають мінералізацію, яка допускає біологічне очищення стічних вод, а загальна кількість мінеральних солей у стоках не змінює вмісту солей у водоймі – приймаючи більше, ніж на величину, що визначається ГДК, то допускається скидання стічних вод без очищення.

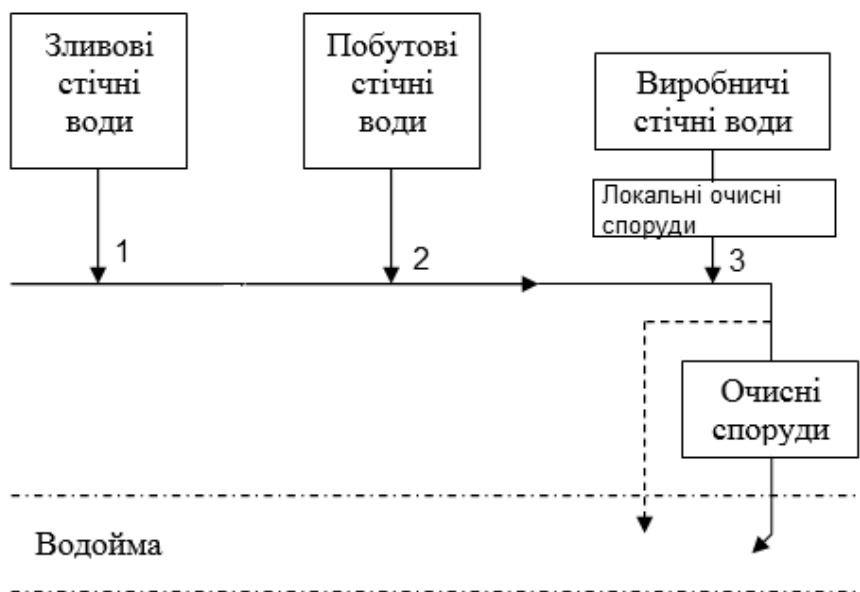


Рис. 6. 1. Загальносплавна система каналізації

**Повна роздільна система каналізації** (рис. 6. 2) передбачає збирання і транспортування з міських територій і територій виробничих підприємств зливових, побутових і виробничих стічних вод окремими каналізаційними мережами. У неповній роздільній системі каналізування деякі види стічних вод згруповують і використовують об'єднану каналізаційну мережу.

Повна роздільна система каналізування стоків (що найменше з трьома роздільними каналізаційними мережами – зливовою, побутовою і виробничою) обов'язково застосовується в тих районах, де неможливе використання об'єднаної системи за умови неможливості очищення побутових, виробничих і дощових стічних вод. Недоцільність змішування виробничих, побутових і зливових стічних вод виникає тоді, коли виробничі стічні води містять велику кількість механічних домішок мінерального походження або домішок, наявність яких значно ускладнює очищення суміші, обробку та утилізацію осаду, що утворюється в результаті очищення. У цьому випадку на підприємстві встановлюють очисні споруди, де використовують фізичні, фізико-хімічні процеси локального очищення виробничих стічних вод. Якщо територія не забруднена токсичними продуктами виробництва, зливові води можна безпосередньо скидати у водойму або після їхнього відстоювання у контрольному басейні використовувати для виробничого водопостачання, зокрема для підживлення системи оборотного водопостачання.

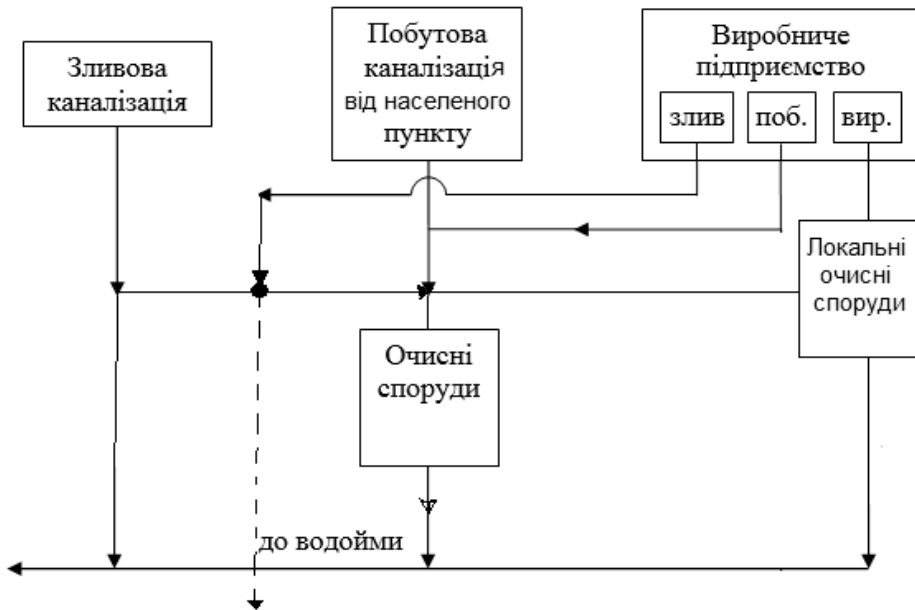


Рис. 6. 2. Повна роздільна система з трьома мережами каналізації

#### 6. 4. Методи очищення стічних вод

Методи очищення стічних вод можна розподілити на такі групи: механічні, фізико-хімічні, хімічні, біохімічні.

**Механічне очищення** застосовують для стічних вод, що містять переважно завислі, плаваючі та грубемульговані тверді й рідкі нерозчинні забруднюючі речовини. Здійснюють його методами, що ґрунтуються на використанні гравітаційних і відцентрових сил, а також методами проціджування та фільтрування.

Для очищення виробничих стічних вод від таких неорганічних забруднень, як іони важких металів, отрути та інші токсичні речовини, застосовують хімічне або фізико-хімічне очищення.

**Хімічне очищення** – виконують у випадку, коли виділення забруднень із стічних вод можливе тільки внаслідок хімічних реакцій між забруднюючими речовинами і реагентами, які вносять у стічні води. Очищення ґрунтується на використанні хімічних (електрохімічних), окисно-відновних процесів, в результаті яких забруднення перетворюється на нові нешкідливі сполуки, що частково чи повністю випадають в осад, або виділяються у вигляді газів. У разі хімічного очищення часто застосовують і просту нейтралізацію, яка супроводжується коагуляцією з властивими їй фізичними процесами.

**Фізико-хімічне очищення.** Основними методами фізико-хімічного очищення стічних вод є сорбція, екстракція, коагуляція, електрокоагуляція, флотація, іонний обмін, кристалізація, електродіаліз, випаровування, ректифікація, мембранні технології осмосу і зворотного осмосу. Ці ж

методи передбачають видалення із каналізаційних стічних вод цінних речовин і відносяться до регенеративних і рекупераційних технологій.

**Біохімічне очищення** застосовують тоді, коли стічні води містять переважно органічні забрудники або слабokonцентровані забрудники, які видаляються (нейтралізуються) шляхом їхнього окиснення.

**Біологічні методи** очищення промислових і побутових стічних вод ґрунтуються на використанні мікроорганізмів, які вживають органічні речовини як джерело енергії та їжі. При цьому органічні сполуки розкладаються на продукти окиснення при аеробному та анаеробному очищенні. Анаеробний метод передбачає одержання твердого осаду (пластівців) і метану, аеробний метод – вирощування біологічної плівки на відповідній загрузці (щєбінь, біологічні фільтри та ін.).

Очищення стічних вод здійснюється на очисних установках, спорудах і станціях. За місцем розташування вони розподіляються на локальні (які використовуються для окремих об'єктів); загальнозаводські (для окремого підприємства або групи споріднених за технологією підприємств) і районні та міські очисні споруди (міста, населеного пункту, району).

## 6. 5. Умови скидання стічних вод у водойми

Скидання стічних вод після очищення у водойми відноситься до спеціального водовикористання і здійснюється на основі дозволу міського органу екологічної безпеки. Відведення стічних вод у водойми регламентується значущістю останніх для водокористування, особливо господарсько-питного.

Нормативи якості води встановлюють для водойм двох типів: господарсько-питного і культурно-побутового та рибогосподарського призначення.

Дія нормативів якості води поширюється на акваторію для проточних водойм – на 1 км вище від найближчого за течією населеного пункту, водозабору; а для непроточних водойм на 1 км по обидва боки від місця водокористування. Водозабори – це особлива охоронна зона, яка охороняється.

Скидання стічних вод у водойми регламентується нормативами ГДК шкідливих речовин у воді водойм. Практично із стічними водами у водойми можуть потрапляти багато видів забрудників, що спричиняє комплексну дію на якість води у водоймі. Комплексну дію багатьох речовин неможливо встановити, тому використовують метод оцінки сумарного ефекту впливу на санітарний стан водойми кількох шкідливих речовин за формулою

$$C_1/\text{ГДК}_1 + C_2/\text{ГДК}_2 + \dots + C_i/\text{ГДК}_i \leq 1,$$

де  $C_1, C_2, C_i$  – концентрації шкідливих речовин у воді водойми;  $\text{ГДК}_1, \text{ГДК}_2, \text{ГДК}_i$  – їхні гранично допустимі концентрації.

Ще одна методика відведення стічних вод у водоймища базується на нормах гранично допустимих скидань шкідливих речовин. ГДС – це максимально допустима маса речовини, яка відводиться зі стічними водоймами в одиницю часу і яка дозволяє забезпечити виконання норм якості води в контрольному створі водного об'єкта для найгірших умов водокористування. ГДС встановлюють для кожного випуску стічних вод у водойму. ГДС для кожного показника якості води визначається як добуток максимального добового скидання стічних вод на його гранично допустиму концентрацію:

$$\text{ГДС} = Q_{\text{год}} \cdot \text{ГДК}_{\text{ГДС}}$$

де  $Q_{\text{год}}$  – максимальне годинне скидання стічних вод у водойму, м<sup>3</sup>/год;  
 $\text{ГДК}_{\text{ГДС}}$  – гранично допустима концентрація збудника, г/м<sup>3</sup>.

В основу розрахунку покладено такі методологічні положення:

1.  $\text{ГДК}_{\text{ГДС}}$  розраховується для найгірших умов використання. Вони характеризуються такими параметрами:

– розрахункова витрата водотоку відповідає максимальній середньомісячній витраті року 95 % водної забезпеченості для незарегульованих водотоків або мінімальній гарантованій витраті через греблю – для зарегульованих водотоків;

– значення показника у фоновому створі (фонова концентрація) визначається розрахунком як статично обґрунтована верхня межа можливих середніх значень;

– норми якості води у контрольному створі слід виконувати в найбільш забрудненій частині потоку.

2.  $\text{ГДК}_{\text{ГДС}}$  встановлюється для визначення необхідного ступеню очищення стічних вод, які скидаються у водні об'єкти при додержанні нормативів екологічної безпеки водоспоживання.

3. Якщо фонова концентрація за якимись показниками не відповідає нормам якості води, то  $\text{ГДК}_{\text{ГДС}}$  має забезпечуватись безпосередньо у стічній воді.

4. Розрахункова величина  $\text{ГДК}_{\text{ГДС}}$  не повинна бути більшою за фактично досягнуто (проектну) величину концентрації.

5. Випуск стічних вод у межах населеного пункту дозволяється за виняткових обставин; у такому випадку екологічні норми якості води повинні виконуватися у стічних водах.

6. Для міських стічних вод, що пройшли повне біологічне очищення, встановлюються такі  $\text{ГДК}_{\text{ГДС}}$ : БСК<sub>5</sub> – не більше 15 г/м<sup>3</sup>, ХСК – не більше 80 г/м<sup>3</sup>, завислих речовин – не більше 15 г/м<sup>3</sup>; скидання решти забруднюючих речовин нормується на підставі умов виконання досягнутої категорії якості води водного об'єкта.

7. Якщо скидання стічних вод відбувається в межах населеного пункту, але здійснюється через ефективний розсіювальний випуск, то ГДС

повинне забезпечувати виконання норм якості води в зоні початкового розбавлення розсіювального випуску.

8. Якщо природна якість водного об'єкта (природний фон) за окремими показниками перевищує ГДС, то величина ГДС повинна забезпечувати збереження фонового стану водного об'єкта.

Вихідними даними для розрахунку ГДС є: тип водного об'єкта, який приймає стічні води; розрахункові значення фонові концентрації; кратність розбавлення стічних вод, яке відповідає найгіршим гідрологічним умовам; тип випуску стічних вод; місце розташування випуску; фактичні (проектні) значення концентрацій у стічній воді; затверджена максимальна погодинна витрата стічних вод.

### 6. 5. 1. Класифікація випусків стічних вод у водойми

Випуски стічних вод у водні об'єкти можна класифікувати:

- 1) за типом водойми: річні, озерні, морські;
- 2) за місцем розташування: берегові, руслові, глибинні;
- 3) за конструктивним виконанням: затоплені, незатоплені, зосереджені, розсіювальні, інжекторні.

Берегові зосереджені випуски проектується у вигляді відкритих каналів. При цьому відбувається незначне розбавлення скидальних стічних вод з водою водойми. Тому використання самоочисних спроможностей водойми дуже низьке. Такі випуски використовують для скидання дощових або малозабруднених стічних вод. Берегові випуски можуть бути затопленими і незатопленими (рис. 6. 3). Затоплені випуски – це берегові колодязі з виходом стоків під рівень води у водоймі.

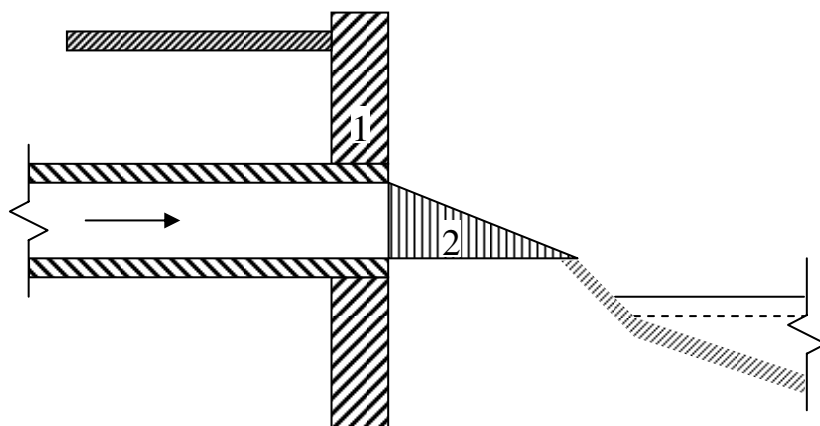


Рис. 6. 3. Незатоплений береговий випуск:  
1 – бетонна стіна; 2 – лоток

Русловий випуск – це трубопровід, висунутий у русло ріки (рис. 6. 4). Випуски цього типу розподіляються на зосереджені, розсіювальні та

інжекторні. Зосереджений русловий випуск закінчується оголовком у вигляді бетонного блока.

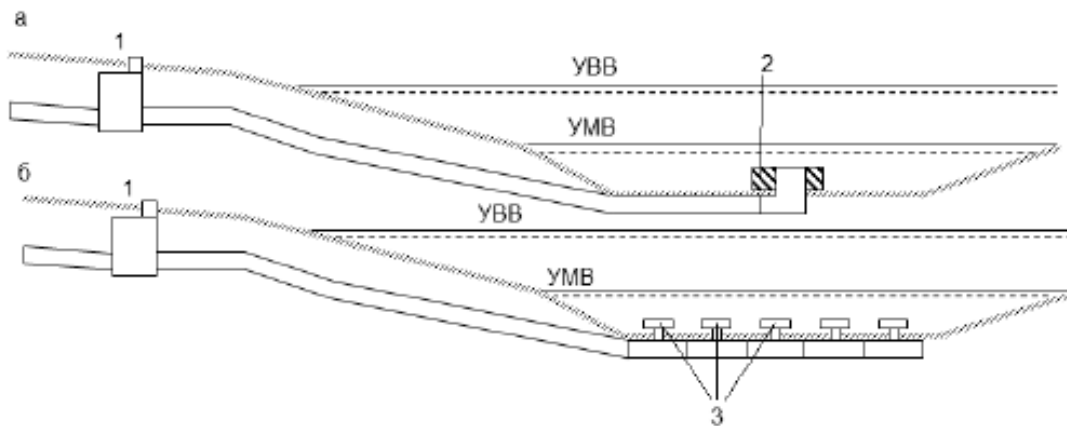


Рис. 6. 4. Схема руслових випусків:  
а – зосереджений, б – розсіювальний:

1 – береговий колодязь, 2 – бетонний оголовок, 3 – оголовки з насадками

Розсіювальні випуски мають горизонтальну ділянку трубопроводу, вздовж якого розміщено декілька оголовків або зроблено прорізи. Така ділянка може бути розташована в канаві з засипкою або трохи піднята над дном ріки. Інжекторні випуски мають декілька інжектувальних насадок на трубопроводі. Оголовки можуть бути найрізноманітніших конструкцій (рис. 6. 5), які споруджені для збільшення швидкості рідини.

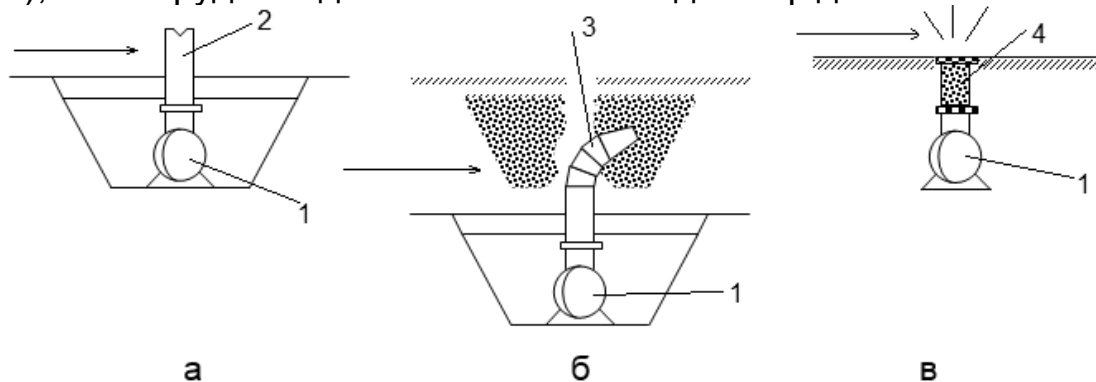


Рис. 6. 5. Оголовки розсіювальних випусків:

а – з конусним розтікачем, б – з відведенням і соплом, в – без насадки:  
1 – розподільний трубопровід, 2 – розтікач, 3 – сопло, 4 – гравійна засипка

Глибинні випуски аналогічні русловим. Вони застосовуються при видаленні стоків у озера, водосховища і моря. Ці випуски відрізняються великим заглибленим оголовком.

Трубопроводи для руслових випусків виготовляються із сталевих або пластмасових труб.



## 6. 6. Обладнання механічного очищення стічних вод

### 6. 6. 1. Решітки

Решітки застосовують для вилучення із стічних вод великих домішок. Їх встановлюють на каналах насосних станцій перепомпування стічних вод на очисні споруди. Найефективніше встановлювати решітки у приймальному резервуарі та в каналах, по яких підводять стічну воду. Решітки є першим елементом технологічних схем очищення стічних вод.

У більшості конструкцій решітки виконують із розташованих паралельно один одному сталевих стержнів різного поперечного перерізу, закріплених у спеціальних рамах для забезпечення необхідної жорсткості. Забруднення, які затримуються на стержнях при проціджуванні стічної води, знімають механічним граблями, які можуть бути розташовані як перед стержнями, так і після них. Стержні та арматура для їх обв'язування виконуються із високоякісної неіржавіючої сталі. Клиновидні стержні в перетині мають розміри 4 x 10 мм. Стержні жорстко закріплюють у донній частині каналу і вільно у його верхній частині. На нескінченно гнучкому приводі закріплюють граблі, які знімають забруднення зі стержнів і скидають на транспортер, що розташований за решітками. Окрім транспортерів використовують шнекові механізми і гідротранспорт. Решітки виготовляють з шириною просвіту між стержнями від 1 до 50 мм і робочою шириною від 340 до 1200 мм (рис. 6. 6).

Розмір решіток визначається за умови забезпечення у просвітах швидкості руху стічної води  $V_p=0,8...1,0$  м/с при максимальному припливі води на очисні споруди. При швидкості води, більшій 1 м/с, зависі, що затримались на решітках, можуть продавлюватися течією води через просвіти між стержнями, а при швидкості, меншій ніж 0,8 м/с, перед решітками у каналі може випадати осад з піску та інших фракцій, що потребує додаткового видалення з каналу.

Для решіток з просвітом у метрах справедливе співвідношення

$$q=\omega \cdot V_p = b \cdot h \cdot n \cdot V_p,$$

де  $q$  – максимальні витрати стічних вод, м<sup>3</sup>/с;  $\omega$  – площа поперечного перетину просвіту всієї решітки, м<sup>2</sup>;  $h$  – глибина води перед решіткою, м;  $n$  – число просвітів у решітці.

Число просвітів у решітках, необхідних для проходження стічних вод:

$$n=q \cdot K_{ст} / b \cdot h \cdot V_p,$$

де  $K_{ст} = 1,05...1,1$  – коефіцієнт, що враховує затримку швидкості потоку стічної води граблями.

Загальна ширина решіток (м) дорівнюватиме

$$B=S(n-1)+b \cdot n,$$

де  $S$  – товщина стержнів.

Враховуючи загальну ширину решіток, підбирають їх необхідну кількість (проектують). Додатково встановлюють решітки на обводних каналах для роботи системи в аварійному режимі.

Поміж решіток, для їх обслуговування, передбачають проходи шириною 1,2 м. Підлогу будівлі розташовують не менше ніж 0,5 м вище рівня води в каналі.

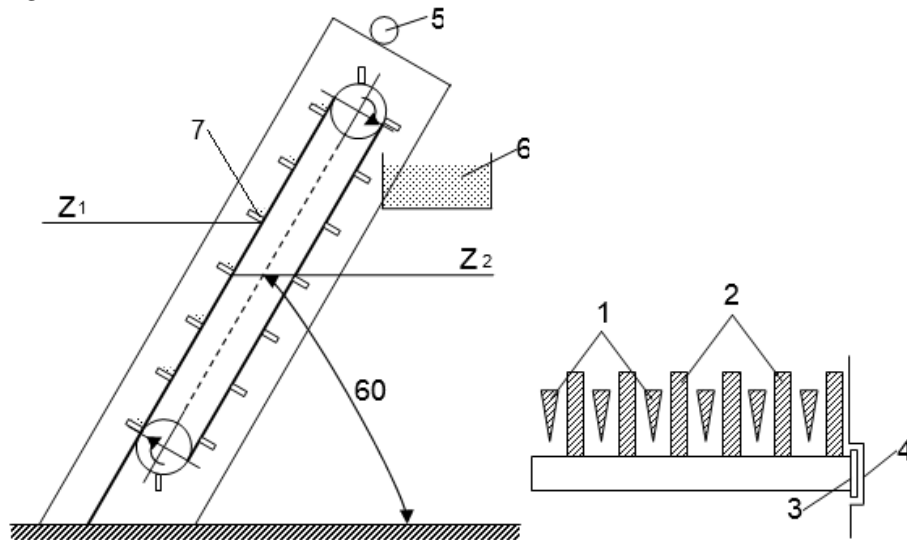


Рис. 6. 6. Схема решітки:

1 – стержні (профіль); 2 – граблі; 3 – опора грабелів; 4 – направляючі опори грабелів; 5 – привід грабелів; 6 – транспортер; 7 – забруднення, що зняте з решіток;  $Z_1$ ,  $Z_2$  – рівень води до і після решіток

### 6. 6. 2. Пісколовки

У стічних водах міститься значна кількість нерозчинених мінеральних домішок (пісок, шлак, склянки від розбитого посуду та ін.). При спільному видаленні мінеральних і органічних речовин (домішок) у відстійниках стає на заваді видалення осаду і зменшується його текучість. При цьому може відбуватися процес розділення осаду на важку (пісок великої густини (щільності)) і легку (органічні домішки невеликої щільності) фракції і накопичення його у відстійниках. Для видалення такого осаду необхідні мідні скребки. Осад, до складу якого входять пісок, погано транспортується по трубопроводах, особливо самотьоком. Пісок може накопичуватись у метантенках, виводячи з дії корисний об'єм, що призначається для бродіння органічного осаду. Продуктивність метантенків знижується, а вивантаження піску пов'язане з великими труднощами. Можливі труднощі в роботі цих споруд у разі попадання до них піску. Таким чином, у складі очисних споруд за решітками встановлюють пісколовки. Основною ціллю пісколовок є видалення із

стічних вод нерозчинених мінеральних домішок (піску, шлаку, склянок та ін.). Видалення домішок з них відбувається під дією сил гравітації.

Залежно від напрямку руху води пісколовки розподіляють на горизонтальні, вертикальні та з круговим рухом рідини; останні – на тангенціальні та з аерацією.

Горизонтальні пісколовки – це подовжні прямокутні призми з прямокутником у поперечному перетині. Вхідна частина пісколовки нагадує канал, ширина якого дорівнює самій пісколовці, а вихідний канал звужений на ширину відвідного каналу. На початку пісколовки є бункер, розташований під її дном. Для збирання осаду встановлюють спеціальне обладнання: механізми транспортування осаду з бункера на піскові майданчики або майданчики зневоднення; гідроелеватори і насоси для видалення осаду із пісколовки. Використовуються механізми двох видів: ланцюгові зі скребками і візкового типу. Скребки, що закріплені на ланцюгах нескінченного типу, встановлених на краях пісколовки, рухаються по днищу пісколовки проти течії, а над пісколовкою – за течією. Механізми візкового типу складаються із візка, який рухається над пісколовкою по рейках або по монорейці вперед і назад. При зворотному русі скребок підіймається. Механізми для переміщення осаду складні й ненадійні, оскільки експлуатуються в агресивному середовищі (рис. 6. 7).

Осад з бункера може переміщуватись гідроелеваторним методом.

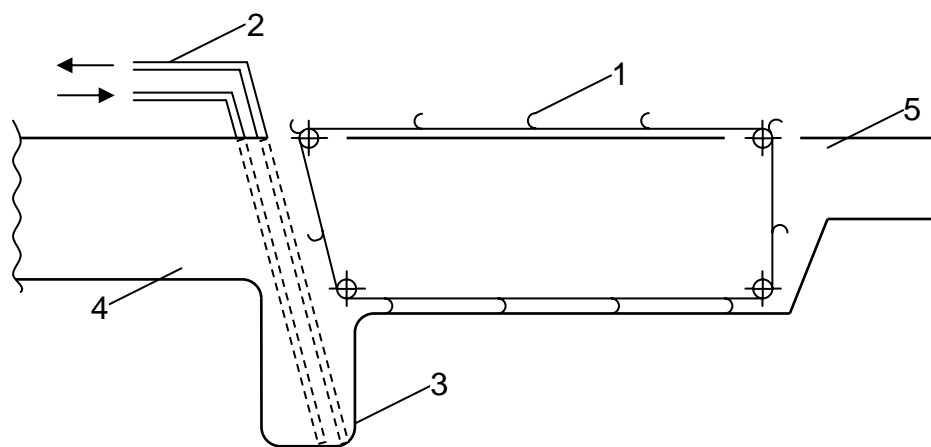


Рис. 6. 7. Схема горизонтальної пісколовки (прокольний переріз):

1 – ланцюговий скребковий механізм; 2 – гідроелеватор; 3 – бункер для збору осаду; 4 – вхідна частина пісколовки; 5 – вихідна частина пісколовки

Прагнення до спрощення схеми видалення осаду з пісколовок сприяло розробці та створенню пісколовок з гідромеханічною системою видалення осаду і тангенціальних пісколовок з вихровою водяною лійкою; пісколовок з аерацією та ін.

**Вертикальні пісколовки** мають циліндричну форму, а підведення води виконується по дотичній з двох боків у нижній частині пісколовки. Конусна частина збирає осад. При вертикальному русі води уверх пісок осідає вниз. Швидкість води уверх має бути меншою за гідравлічну величину руху піщинок у стічній воді ( $V_b=V_n$ ). Вертикальні пісколовки призначені для збирання великих обсягів осаду. Їх доречно використовувати у напівроздільних системах і на станціях очищення поверхневих вод. На рис. 6. 8 зображено вертикальну пісколовку з круговим рухом стічної води.

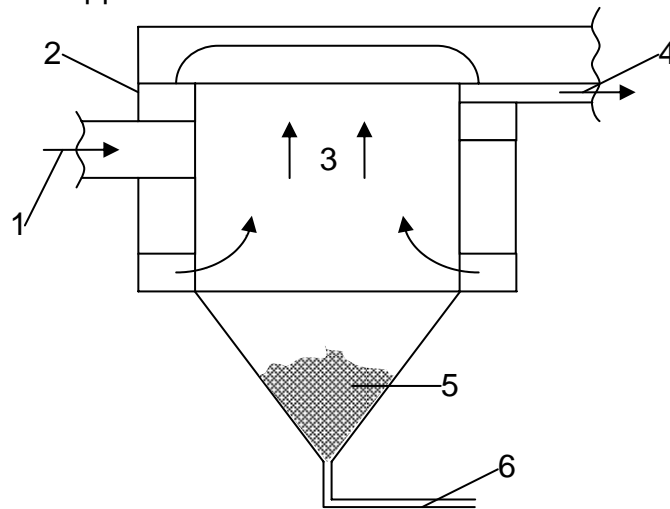


Рис. 6. 8. Вертикальна пісколовка з круговим рухом стічної води:  
 1 – канал підведення стічної рідини; 2 – кільцевий лоток; 3 – введення води в робочу зону; 4 – вихідний канал; 5 – осад; 6 – канал відведення осаду

Пісколовки з аерацією можна одночасно використовувати для збирання забруднень, які можуть спливати уверх (нафтопродукти, жири, нетонучі частинки та ін.). При цьому доцільно вздовж всієї пісколовки встановити спеціальні відділення для накопичення на поверхні води спливаючих забруднень. Ці відділення відокремлюються від пісковловлювального відділення напівзаглибленою решітчастою перегородкою. В цьому відділенні із спокійного потоку ефективно відділяються забруднення, що спливають і видаляються на очисні споруди. Для їх видалення відділення обладнують періодично затоплюваним бункером і відповідним трубопроводом (рис. 6. 9). Пісколовки з аерацією можна використовувати і як преаератори.

Пісок, що вивантажується з пісколовок, насичений значною кількістю органіки; він є небезпечним з санітарної точки зору і потребує спеціальної обробки. Технологічна схема включає промивання осаду висхідним потоком води з подальшим розділенням піску і органічних включень на барабанному сітчастому сепараторі з одночасним промиванням осаду водою (рис. 6. 10).

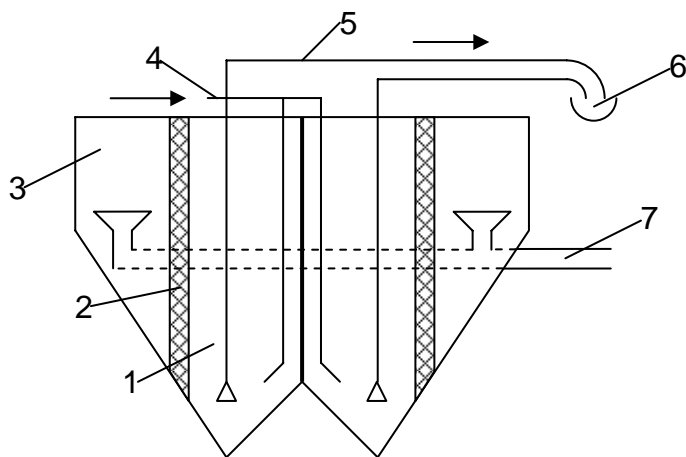


Рис. 6. 9. Поперечний розріз пісколовки з аерацією з насосом для видалення осаду з пісковловлювального лотка:

1 – зона уловлювання піску; 2 – щілиновидна перегородка; 3 – зона спливання та уловлювання легких забруднень; 4 – система подачі повітря; 5 – відпомповування піску насосом з пісковловлювального лотка; 6 – лоток скидання піскової пульпи; 7 – трубопровід відводу легких забруднень (продукти, жири)

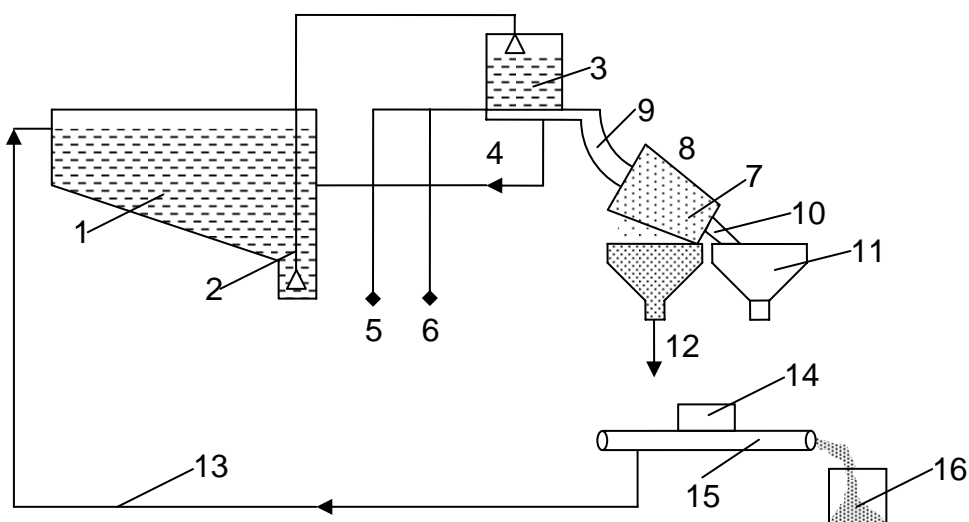


Рис. 6. 10. Технологічна схема оброблення осаду з пісколовки:

1 – пісколовка; 2 – гідроелеватор; 3 – піскопромивач; 4 – повернення води у пісколовку; 5 – промивна вода; 6 – повітря; 7 – осад у барабанному сепараторі; 8 – барабанний сепаратор; 9 – промивна вода; 10 – органіка із сепаратора; 11 – бункер для органіки; 12 – пісок; 13 – фільтрат; 14 – пропарювальна камера для дезинфекції; 15 – стрічковий фільтр; 16 – обезводнений пісок

## 6. 7. Технологічні схеми очищення стічних вод

Якщо при розрахунках необхідного ступеню очищення стічних вод концентрація завислих, плаваючих і грубодисперсних твердих речовин має бути знижена на 40–50 %, а величина БСК<sub>пов</sub> – на 20–30 %, то можна обмежитися механічним очищенням. Склад споруд технологічної станції можна прийняти за такою схемою (рис. 6. 11 ):

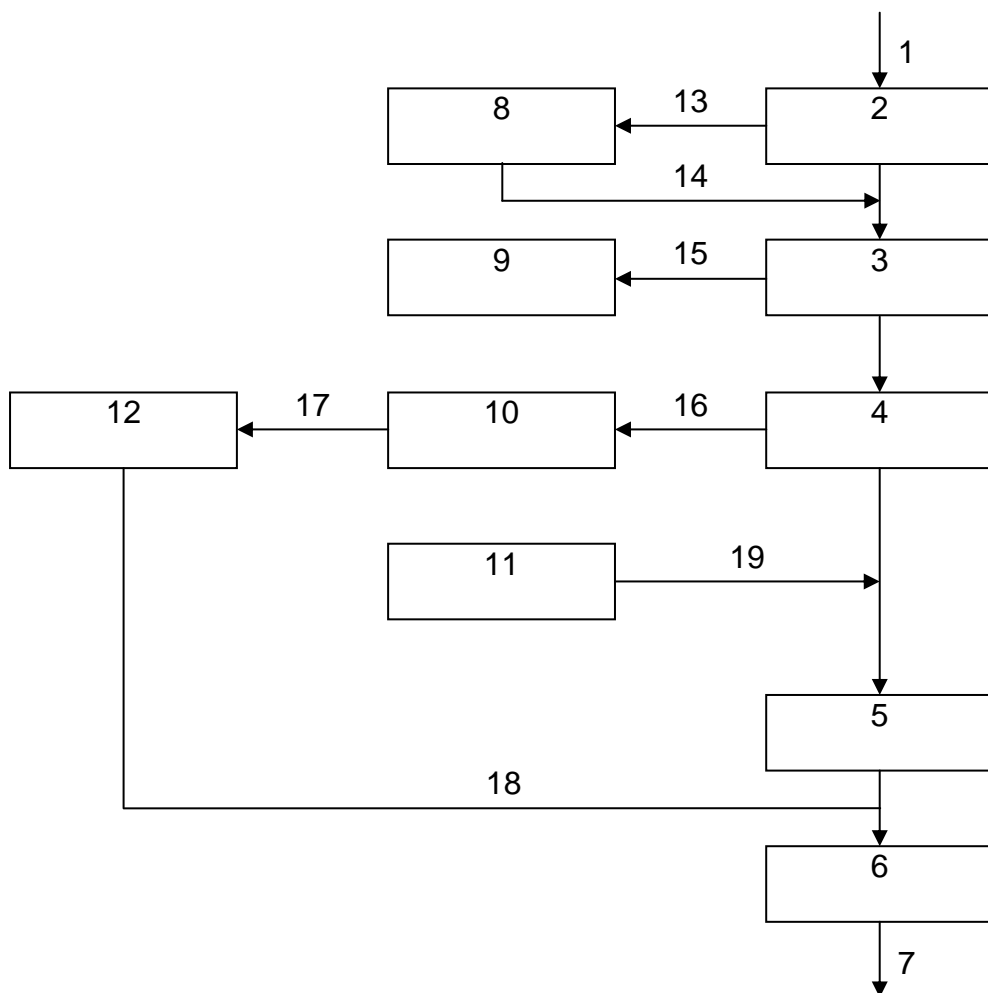


Рис. 6. 11. Технологічна схема станції механічного очищення стічних вод:

- 1 – стічна вода; 2 – решітки; 3 – пісковловлювачі; 4 – відстійники;  
5 – змішувачі; 6 – контактний резервуар; 7 – випуск очищеної води;  
8 – подрібнювачі; 9 – піскові майданчики; 10 – метантенки;  
11 – хлораторна; 12 – мулові майданчики; 13 – відходи;  
14 – пульпа; 15 – піщана пульпа;  
16 – сирий осад; 17 – збрижений осад; 18 – дренажна вода;  
19 – хлораторна вода

Стічна вода надходить на станцію очищення, проходить через решітки, пісковловлювачі, відстійники і знезаражується хлором.

На рис. 6. 12 наведено технологічну схему біологічного очищення стічних вод на біофільтрах. Такі схеми використовуються для очищення 10–20 тис. м<sup>3</sup>/добу стічних вод.

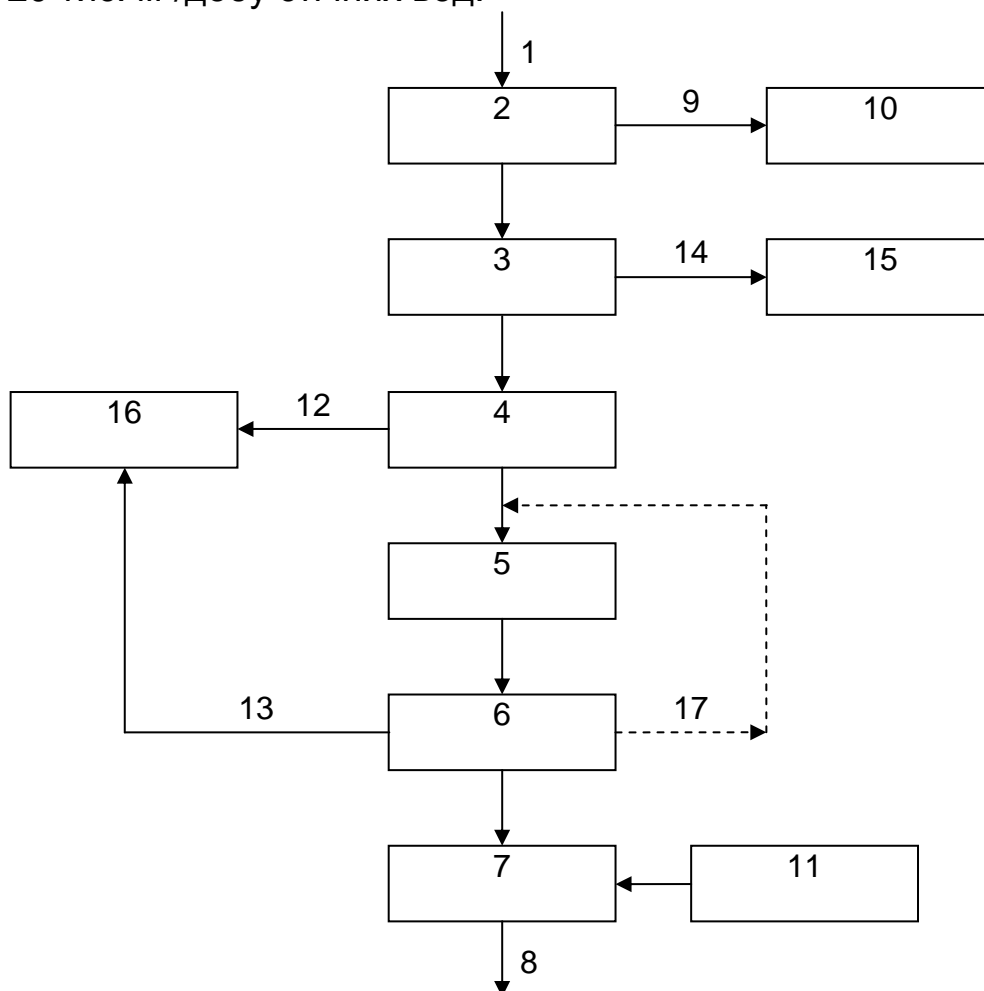


Рис. 6. 12. Технологічна схема станції з біологічним очищенням стічних вод на біофільтрах:

- 1 – стічна вода; 2 – решітки; 3 – пісковловлювачі; 4 – первинні відстійники;  
 5 – біофільтри; 6 – вторинні відстійники; 7 – контактний резервуар;  
 8 – випуск очищеної води; 9 – відходи; 10 – подрібнювачі; 11 – хлораторна установка;  
 12 – осад з первинних відстійників; 13 – біоплівка з вторинних відстійників;  
 14 – пісок; 15 – бункер для піску; 16 – мулові майданчики;  
 17 – рециркуляція

Після споруд механічного очищення (решітки, пісколовки, первинні відстійники) вода потрапляє на біофільтри, вторинні відстійники, де затримується біоплівка, яка виноситься водою з біофільтрів. Далі стічна вода подається до контактного резервуару, де знезаражується і після дезинфекції хлором скидається у водойму.

Проходячи через фільтраційну загрузку (щебінь, керамзит та ін.), стічна вода залишає в ній колоїдні та завислі органічні речовини, що створюють біоплівку, яка густо заселена мікроорганізмами. Мікроорганізми

біоплівки окислюють речовини, одержуючи для своєї діяльності енергію. Таким чином, із стічної води видаляються органічні речовини, а в тілі бофільтра зростає маса біологічної плівки. Відпрацьована і відмерла плівка змивається стічною водою і виноситься з біофільтра.

Іноді для нормального ходу біологічного очищення стічної води використовують процес рециркуляції – це подача проясненої води з вторинних відстійників перед біофільтрами і змішування з водою первинних відстійників. Необхідність рециркуляції визначається розрахунками.

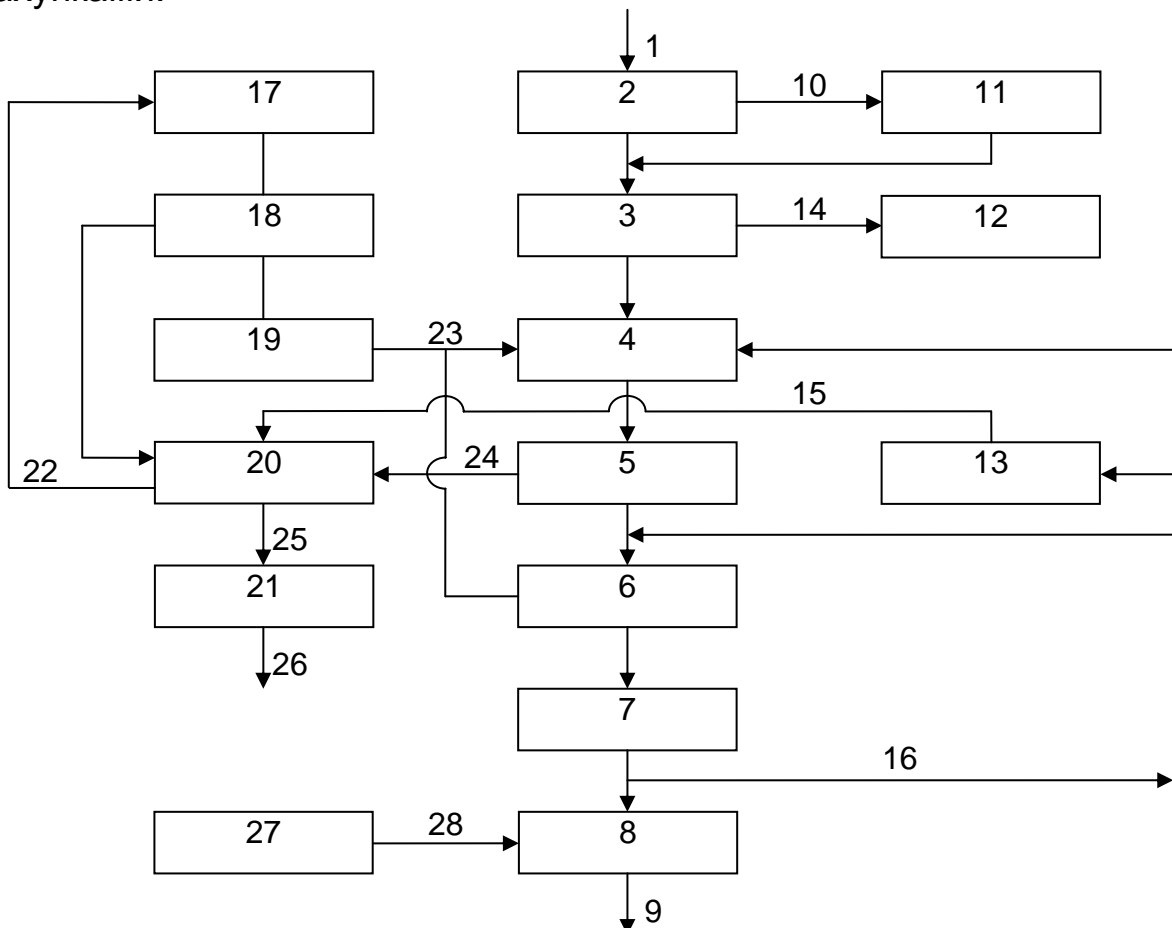


Рис. 6. 13. Технологічна схема станції з біологічним очищенням стічних вод в аеротенках:

- 1 – стічна вода; 2 – решітки; 3 – пісколовки; 4 – преаератори; 5 – первинні відстійники; 6 – аеротенки; 7 – вторинні відстійники; 8 – контактний резервуар; 9 – випуск; 10 – відходи; 11 – подрібнювачі; 12 – піскові майданчики; 13 – осадующільнювачі; 14 – пісок; 15 – надлишковий активний мул; 16 – циркуляційний активний мул; 17 – газгольдери; 18 – котельня; 19 – машинне відділення; 20 – метантенк; 21 – цех механічного обезводнення зброженого осаду; 22 – газ; 23 – зтиснене повітря; 24 – сирий осад; 25 – зброжений осад; 26 – добриво; 27 – хлораторна установка; 28 – хлораторна вода



При великих об'ємах очищення стічних вод – від 50 тис. м<sup>3</sup>/добу до 2–3 млн м<sup>3</sup>/добу і більше доцільно використовувати технологічну схему, станції очищення стічних вод з біологічним очищенням в аеротенках (див. рис. 6. 12). Механічне очищення стічних вод виконується на решітках, пісколовках і відстійниках.

Для інтенсифікації утворення осаду з завислих речовин перед первинними відстійниками використовують преаератори, в які подається визначена кількість надлишкового активного мулу (як біофлокулятори). Сирий осад з первинних відстійників направляють у метантенки.

Біологічне очищення стічних вод за цією схемою відбувається в аеротенках. Аеротенк – це відкритий резервуар, в якому знаходиться суміш активного мулу і проясненої стічної води.

Для нормальної життєдіяльності мікроорганізмів активного мулу в аеротенк повинно поступати повітря, яке подається спеціальними установками машинного залу. Суміш очищеної стічної води і активного мулу з аеротенка подається на вторинний відстійник, де активний мул осаджується, і основна його маса повертається в аеротенк.

У системі «аеротенк – вторинний відстійник» маса активного мулу збільшується за рахунок його приросту. Частина його (надлишковий активний мул) видалається із вторинного відстійника і подається в мулоущільнювач, при цьому його об'єм у метантенку зменшується. Очищена стічна вода знезаражується у контактному резервуарі та скидається у водойму.

Скинутий осад із метантенків направляється для механічного зневоднення на вакуумних фільтрах або фільтрах–пресах. Зневоднений осад може бути підданий термічному сушінню; його використовують як добриво.

На міських станціях очищення стічних вод продуктивністю 10–20 тис. м<sup>3</sup>/добу можна використовувати технологічну схему фізико-хімічного очищення. На рис. 6. 13 зображено технологічну схему станції фізико-хімічного очищення стічних вод.

Вода, яка пройшла решітки і пісколовки, потрапляє у змішувач, куди у визначених концентраціях подаються розчини реагентів – мінеральних коагулянтів і органічних флокулянтів. При введенні в стічну воду мінеральних коагулянтів утворюються оксигідрати металів, на яких

збираються завислі, колоїдні та частково розчинені речовини. Флокулянти збільшують пластівці та покращують їхні структурно-механічні властивості.

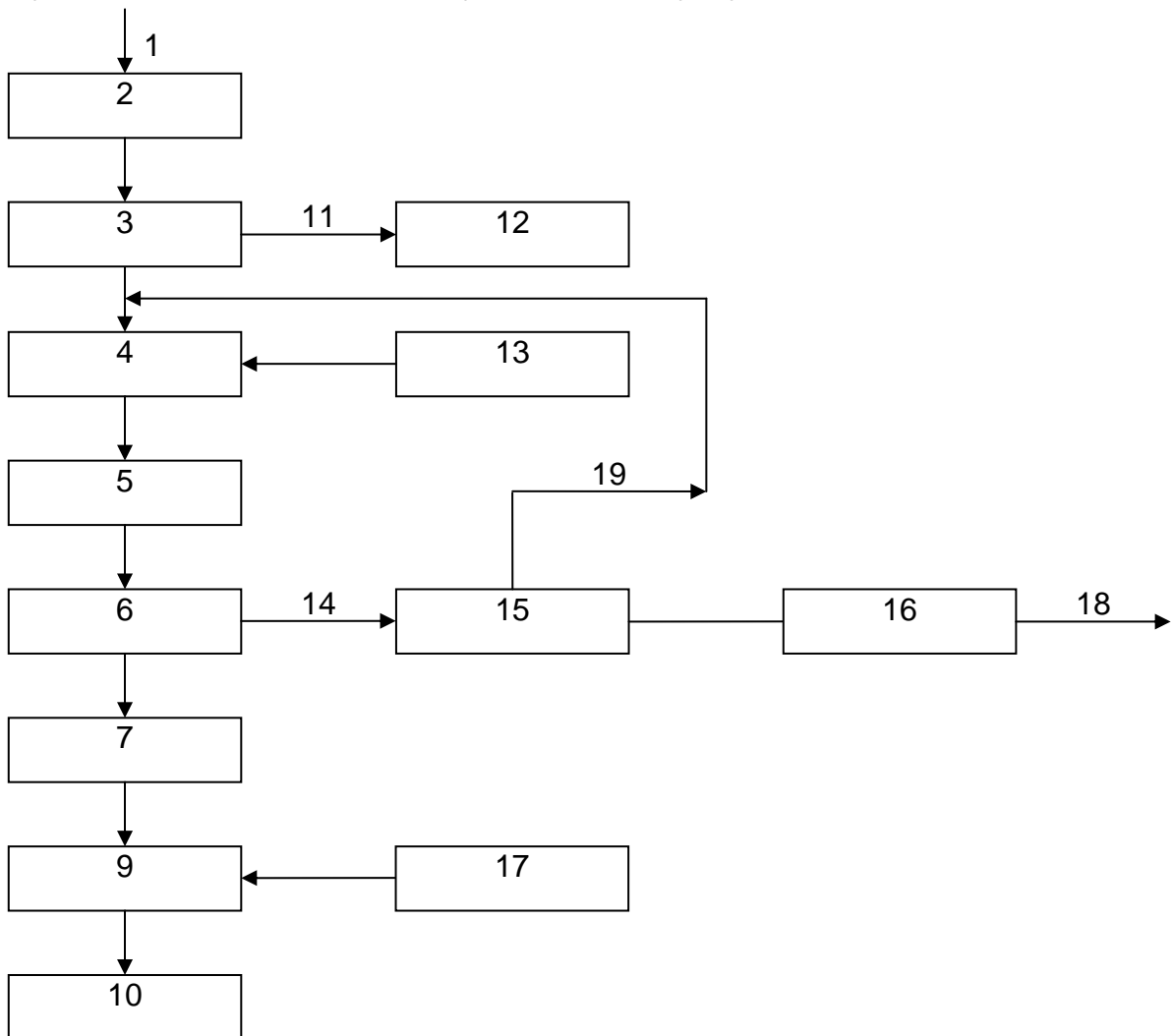


Рис. 6. 14. Технологічна схема станції фізико-хімічного очищення стічних вод:

1 – стічна вода, 2 – решітки, 3 – пісколовки, 4 – змішувачі, 5 – камера пластівцеутворення, 6 – горизонтальні відстійники, 7 – барабанні сітки, 8 – фільтри, 9 – контактний резервуар, 10 – відведення очищеної води, 11 – пісок із пісколовок, 12 – бункери води, 13 – реагентний цех, 14 – осад, 15 – осадощільнювачі, 16 – центрифуги, 17 – хлораторна, 18 – відведення шламу, 19 – відстояна вода

Після камер пластівцеутворення осад відокремлюється від стічної води в горизонтальних відстійниках. Для грубого очищення від зависей використовують барабанні сітки і двошарові фільтри або фільтри з висхідним потоком води. Знезаражена хлором вода скидається у водойму. Осад у відстійниках ущільнюється і зневоднюється на центрифугах; його можна використовувати як добриво.

Наведені технологічні схеми широко використовуються як у вітчизняній, так і в закордонній практиці. Технологічні схеми можна змінювати, доповнюючи новітнім обладнанням.

Технологічні схеми очищення виробничих стічних вод складають за допомогою різноманітних методів очищення. Вибір методів залежить від виду забруднюючих речовин, їхньої концентрації та ГДК скидання у міську каналізацію. При проектуванні технологічних схем очищення виробничих стічних вод необхідно максимально використовувати оборотні, поворотно-оборотні та інші зберігаючі технології використання води.

Зливові стічні води з територій міст, виробничих підприємств можна очищати на очисних спорудах з використанням механічних методів очищення, а також апаратів збирання нафтопродуктів.

## 6. 8. Споруди для біологічного очищення стічних вод методом біофільтрації

### 6. 8. 1. Теоретичні основи методу біофільтрації

Біологічний фільтр (біофільтр) – це споруда, в якій стічна вода фільтрується через завантажувальний матеріал, покритий біологічною плівкою (біоплівкою), яка утворюється колоніями мікроорганізмів (рис. 6. 15).

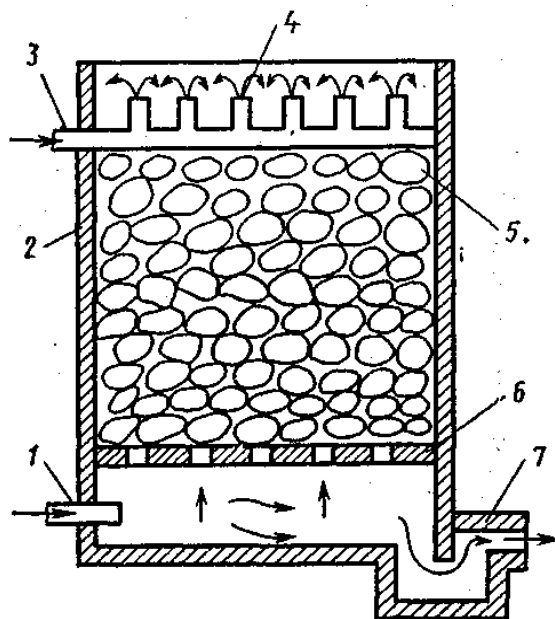


Рис. 6. 15. Схема біологічного фільтра:

- 1 – надходження повітря через трубопровід;
- 2 – фільтр;
- 3 – надходження стічної води по трубопроводу;
- 4 – водорозподільні пристрої;
- 5 – загрузка (щебін, пісок, кокс, керамзит та ін.) фільтрувальна;
- 6 – опорні решітки;
- 7 – збирання очищеної води

Біофільтр складається з основних частин:

- 1) фільтрувальної загрузки, яка розташована в круглому або прямокутному резервуарі (в плані);
- 2) водорозподільного механізму, який забезпечує рівномірне зрошення стічною водою всієї поверхні загрузки біофільтра;
- 3) дренажу для відведення стічної води, яка пройшла через загрузку;
- 4) вентиляційного пристрою для продування загрузки та організації окисного процесу (аеробного).

Товщина біоплівки, яка знаходиться на елементах загрузки, залежить від гідравлічної загрузки, концентрації органічних речовин, пористості та питомої поверхні загрузочного матеріалу, впливу зовнішнього середовища (температура, кліматичні фактори) та інші до цього часу не розкриті процеси, які протікають у різних шарах біоплівки. Але відомо, що товщина анаеробного шару значно більше аеробного. Товщина біоплівки може становити від мікрон у верхніх шарах до 3–6 мм у нижніх.

Стічна вода залишає на загрузці нерозчинні домішки, колоїдні та розчинні органічні речовини, які адсорбуються біологічною плівкою. Біофільтр – це не фільтрувальний пристрій, а споруда біологічного очищення, перероблення забруднень із стічних вод. Мікроорганізми біоплівки в процесі ферментативних реакцій окиснюють речовини, одержуючи їжу і енергію, що необхідні для їхньої життєдіяльності. Частину органічних речовин мікроорганізми плівки використовують для зростання біомаси. Таким чином, у процесі метаболічних реакцій відбувається процес забруднення від складних до простих сполук (вода, мінеральні сполуки, газ). Внаслідок цього із стічної води видаляються органічні забруднення, протікають процеси денітрифікації, зростає маса біоплівки.

Відпрацьована і відмерла біоплівка зливається і виноситься з біофільтра стічною водою. Необхідний для біохімічного окиснення кисень надходить у загрузку шляхом природної чи примусової вентиляції (рис. 6. 16).

Біофільтр – це відкрита екологічна система, що обмежена в просторі. Екосистема біофільтра складається з двох середовищ: живого (біоценоз, біоплівки) і неживого (конструктивна частина біофільтра, рухомі компоненти рідкої та газової фаз). Біологічна плівка, як живе середовище екосистеми біофільтра, забезпечується їжею та енергією шляхом вилучення і перероблення забруднень із стічних вод.

Екосистема біофільтра відрізняється стійкою рівновагою і саморегуляцією, можливістю повертатися у вихідне положення після відхилення від стабільного стану в результаті дії зовнішнього середовища і умов функціонування.

Ефективність і пропускна спроможність біофільтрів залежать від багатьох факторів: дії зовнішнього середовища; складу і режиму надходження стічних вод; експлуатаційних особливостей; конструкції біофільтра; видового складу біоплівки.

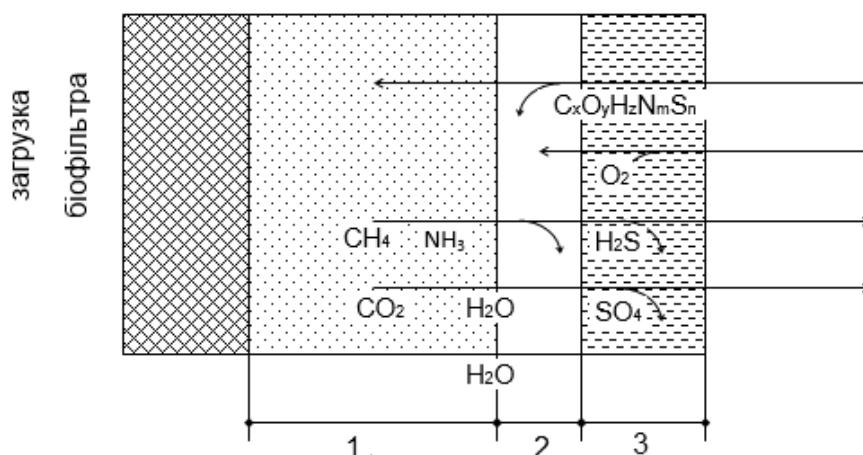


Рис. 6. 16. Схема обміну речовин в елементарному шарі біофільтра:  
 1 – анаеробний шар біоплівки; 2 – аеробний шар біоплівки;  
 3 – шар стічної води

### 6. 8. 2. Класифікація біофільтрів

Біофільтри можуть працювати на повне і неповне біологічне очищення стічних вод. Їх класифікують за різними признаками. Основними признаками класифікації є конструктивні особливості та вид матеріалу загрузки.

За видом матеріалу загрузки біофільтри розподіляються на: біофільтри з об'ємною загрузкою (гравій, шлак, керамзит, щебінь та ін.) і біофільтри з плоскою загрузкою (пластмаси, кераміка, тканини та ін.).

Біофільтри з об'ємною фільтрацією розподіляються на:

- крапельні, які мають величину фракції загрузочного матеріалу 20–30 мм і висоту шару загрузки – 1,5–2 м;
- високонавантажені, які мають величину завантаження і висоту шару завантаження 2–4 м;
- біофільтри великої фільтрації, які мають величину фракцій завантаження 60–80 мм і висоту завантаження 8–16 м.

Матеріал об'ємного завантаження має щільність (густину) 500–1500 кг/м<sup>3</sup> і пористість 40–50 %.

Біофільтри з плоским завантаженням розподіляються на види:

- з жорстким засипним завантаженням. Як завантаження використовують керамічні, пластмасові, металічні засипні матеріали. Залежно від виду матеріалу завантаження щільність становить 100–600 кг/м<sup>3</sup>, пористість – 70–90 %, а шар завантаження – 1–6 м;

– з жорстким блочним завантаженням, що виготовлене з різних видів пластмас. Щільність пластмасового завантаження становить 40–100 кг/м<sup>3</sup>, а пористість – 90–97 %, висота шару – 2–16 м.;

– з м'яким або рулонним завантаженням, що виготовлене з синтетичних тканин (нейлон, капрон), яке закріплюється на металевих каркасах або закладається рулонами. Щільність завантаження – 5–60 кг/м<sup>3</sup>, пористість – 94–99 %, висота шару завантаження – 3–8 м.

Продуктивність біофільтрів залежить від конструктивних особливостей того чи іншого типу та складу активної біомаси на одиницю об'єму біофільтра.

### 6. 8. 3. Технологічна схема роботи біофільтрів

У класичній схемі процес очищення стічних вод на біофільтрах виконується в проточному режимі, з періодичним або безперервним зрошенням поверхні загрузочного матеріалу і містить споруди біофільтрації та вторинного відстоювання, обладнання і комунікації для подачі та розподілення стічної води, відведення і рециркуляція очищеної води, вентиляції біофільтра.

За технологічною схемою роботи біофільтри бувають одно- і двоступінчатими, при цьому режим роботи може бути з рециркуляцією та без неї. У деяких випадках біофільтри використовують як споруди першого чи другого ступеню біологічного очищення разом з іншими біоокиснювачами.

На рис. 6. 17 наведено класичну схему очищення стічних вод при концентрації органічних забрудників за БСК<sub>пов</sub> < 300 мг/л. За цією схемою стічна вода, після первинного відстоювання, подається на біофільтр, а далі біологічно очищена вода прояснюється на вторинному відстійнику.

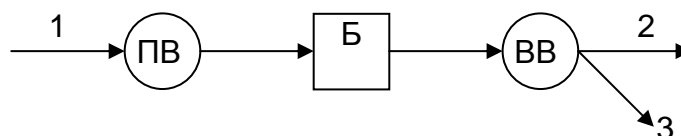


Рис. 6. 17. Технологічна схема роботи біофільтра:

1 – прояснені стічні води після споруд механічного очищення;

2 – біологічно очищені стічні води; 3 – надлишкова біоплівка;

ПВ – первинний відстійник; Б – біофільтр; ВВ – вторинний відстійник

Технологічна схема, яку зображено на рис. 6. 18, призначена для очищення стічних вод, якщо концентрація забруднень за БСК<sub>пов</sub> > 300 мг/л. За цією схемою частина біологічно очищеної води відбирається після вторинного відстійника і знову подається перед біофільтром. Цією

технологічною схемою досягається необхідне розбавлення стічної води, яка надходить на біологічне очищення. Використання технологічної схеми з рециркуляцією стічної води збільшує ефективність роботи очисних споруд за БСК і дозволяє знизити концентрацію азоту.

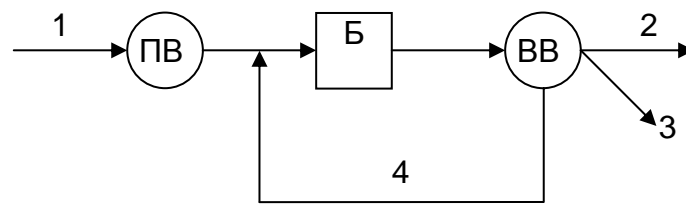


Рис. 6. 18. Технологічна схема очищення стічних вод на біофільтрі з рециркуляцією:  
 1 – прояснені стічні води після споруд механічного очищення;  
 2 – біологічно очищені стічні води; 3 – надлишкова біоплівка;  
 4 – рециркуляційна лінія; ПВ – первинні відстійники; Б – біофільтр;  
 ВВ – вторинний відстійник

Для очищення стічних вод з високою концентрацією органічних забруднень за БСК або речовин, важко окиснюваних забрудненням, необхідно використовувати двоступеневі технологічні схеми. При цьому в якості першого ступеню використовують біофільтри, а другого – інші види біологічних окисників, наприклад аеротенки (рис. 6. 19).

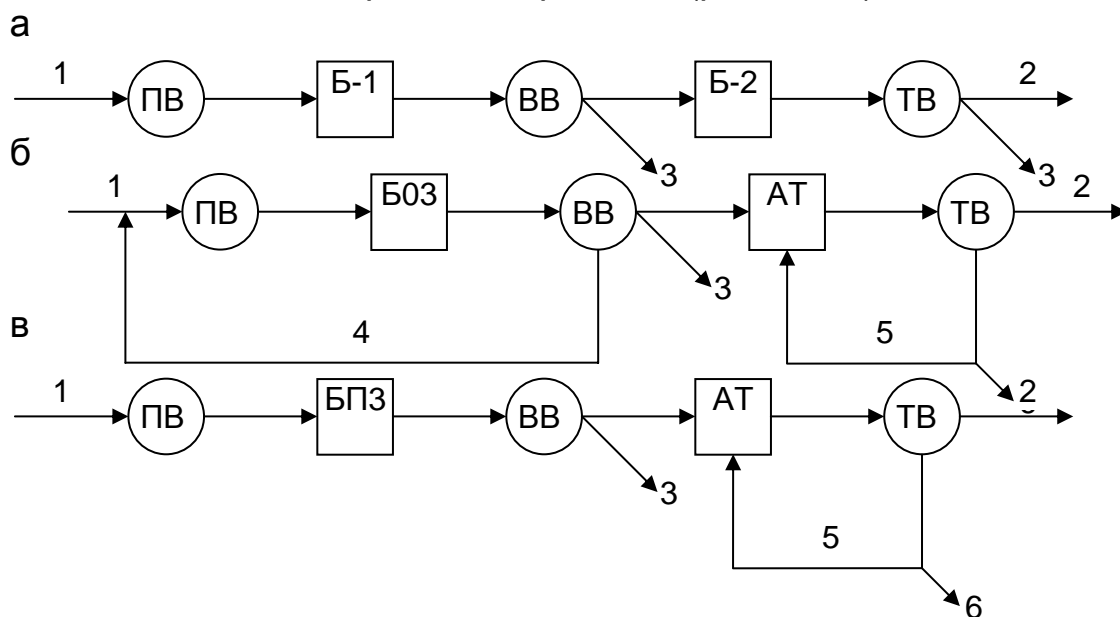


Рис. 6. 19. Технологічні схеми для очищення важкоокиснюваних стічних вод:  
 а – двоступенева схема очищення; б – двоступенева схема з біофільтрами об'ємного завантаження на першому ступені та аеротенком на другому ступені;  
 в – двоступенева схема з біофільтром з плоским завантаженням на першому ступені та аеротенком на другому ступені; 1 – прояснені стічні води після механічного очищення;  
 2 – біологічно очищені стічні води; 3 – надлишкова біоплівка; 4 – рециркуляція стічних вод; 5 – рециркуляційний активний мул; 6 – надлишковий активний мул

Система розподілення стічних вод по поверхні біофільтрів:

- 1) спринклерне зрошення;
- 2) водоструйна система зрошення;
- 3) реактивні поворотні системи зрошення.

**Система вентиляції біофільтрів.** Залежно від типу і конструктивного виконання біофільтрів розрізняють два типи вентиляції: природну і штучну. Необхідність використання природної чи штучної вентиляції визначається типом біофільтра і кліматичними умовами розташування споруд очищення стічних вод.

Штучна вентиляція використовується у високонавантажених біофільтрах (аерофільтрах). Для інших типів фільтрів штучна вентиляція (аерація) застосовується тільки для забезпечення необхідного ступеню повітрообміну всередині приміщення, де розміщується біофільтр, або підтримання необхідної температури.

## **6. 9. Споруди фізико-хімічного очищення стічних вод**

### **6. 9. 1. Область застосування і класифікація споруд фізико-хімічного очищення стічних вод**

Методи очищення стічних вод, в основі яких лежать процеси, що описуються фізико-хімічними законами, називаються фізико-хімічними.

Стічні води, як термодинамічні системи, мають запаси внутрішньої енергії (енергія зв'язку молекул і атомів у структурі речовин забруднювачів, енергія зв'язку речовини з водою) і зовнішньої енергії (механічна, спричинена рухом потоку води). Цей енергетичний запас забезпечує динамічну стійкість забруднень у стічних водах. Зменшення кінетичної енергії потоку стічної води сприяє видаленню спливаючих або осідаючих забруднень. У процесах біохімічного очищення стічних вод використовується частина внутрішньої енергії, яку поставляють біоценози.

Структура забруднень стічних вод, обумовлена внутрішньою енергією, що не доступна до біоценозів і не може бути зруйнована біологічними і механічними методами очищення стічних вод, відноситься до категорії важкоокиснюваних або стабільних. Як правило, це стоки промислових підприємств. Очищення таких стічних вод можливо при порушенні їхньої стабільності шляхом використання зовнішньої енергії. Ефективним енергетичним впливом на структуру забруднень стічних вод можуть бути фізико-хімічні процеси. Найбільше використання фізико-хімічні процеси знайшли в системах очищення промислових стічних вод. На міських очисних спорудах фізико-хімічні методи застосовуються для доочищення стічних вод, а також для швидкого вводу очисних споруд в дію після великих перерв постачання стічних вод на очищення, відсутності або



нестабільності енергопостачання, присутності в стічних водах токсичних для біоценозів речовин та ін.

Очисні споруди, де використовуються фізико-хімічні методи очищення стічних вод, можна визначити як розподільні та деструктивні. На спорудах першої групи забруднення вилучають із стічної води у вигляді концентрованих розчинів, шламів і осаду. У деструктивних спорудах забруднення руйнуються безпосередньо у стічній воді, а продукти деструкції залишаються в самій воді.

У схемах станцій очищення стічних вод населених пунктів застосовують такі методи як флотація, коагуляція, адсорбція, які використовують на різних етапах оброблення води.

### 6. 9. 2. Очищення стічних вод флотацією

Флотація – один із видів адсорбційно-бульбашкового розділення, що ґрунтується на формуванні спливаючих агломератів (флотокомплексів) забруднень з дисперсною газовою фазою (рис. 6. 20). Всі наявні способи можна розподілити на такі групи:

- подрібнення газової фази в товщі рідини;
- безпосереднє виділення із оброблюваної води.



Рис. 6. 20. Способи одержання дисперсних газових фаз

**Барботажні системи одержання дисперсного газового середовища** є найбільш застосованими. Диспергуючий газ проходить через отвори газорозподільного пристрою, зануреного у стічну воду, і утворює потік бульбашок.

**Механічні системи одержання дисперсного газового середовища.** Чисто механічні системи для одержання дисперсного газового середовища використовуються не часто. Частіше – комбіновані системи, де застосовують барботажні з наступним диспергуванням турбіною. При цьому газова фаза утворюється при витіканні газу із барботера, розташованого нижче мішалки, або газ подається безпосередньо в мішалку, яка обладнана отворами для витікання газу.

Розмір часточок газової дисперсії залежить від інтенсивності перемішування, часу і температури.

**Одержання дисперсного газового середовища із пересичених газових розчинів.** Пересичений розчин газу в воді можна одержувати при попередньому насиченні або в результаті хімічних, електрохімічних, мікробіологічних та інших процесів, що супроводжуються утворенням газоподібних продуктів реакцій.

**Формування дисперсно-газового середовища під час протікання реакцій, що супроводжуються виділенням газів.** За протікання в очищувальній воді хімічних, біохімічних та інших реакцій, що супроводжуються виділенням газів, одержують пересичені газові розчини, із яких виділяються бульбашки газу. Відмінність цього метода від попереднього залежить від термінів одержання перенасичених розчинів. На початку реакції потрібен час для появи стану перенасичення рідкої фази газовим компонентом.

Якщо для реакцій використовуються тверді продукти, то газ виділяється на їхній поверхні, й такі реакції називаються саморегульовальними.

Для електрохімічних процесів швидкість одержання дисперсного газового середовища залежить від густини струму та електрохімічного виходу реакції. Розмір бульбашок залежить від поверхневих властивостей межі розподілу «газ-рідина-тіло».

Розміри бульбашок газової дисперсії непостійні за висотою флотаторів за будь-яких способів їх одержання. Окрім умов утворення, дисперсний склад бульбашок суттєво залежить від гідродинамічного режиму флотаційної споруди.

Ефективність флотаційного очищення залежить від виду флотаційної споруди та умови формування в очищувальній воді флотаційного комплексу (рис. 6. 21).

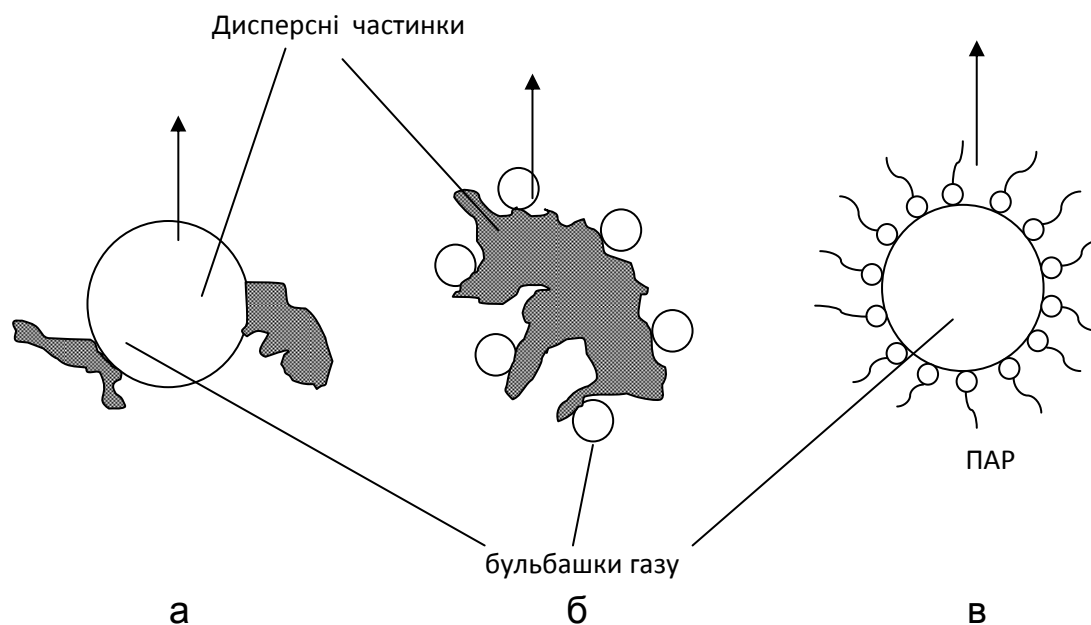


Рис. 6. 21. Основні типи елементарних флотокомплексів:  
 а – газово-дисперсний; б – дисперсно-газовий; в – газово-молекулярний

Тип «а» утворюється в результаті зіткнення дисперсних частинок забруднень (твердих або рідких) зі спливаючими бульбашками повітря або іншого газу. Структура такого флотокомплексу складається з невеликого числа відносно великих бульбашок. Умовно такий комплекс можна назвати газово-дисперсним. Він характерний для флотаційних споруд з пневматичною, гідромеханічною системою одержання дисперсно-газової фази.

Тип «б» утворюється при діленні газу із обробленої води в умовах зменшення його розчинності, де дисперсні частинки забруднень стають центрами формування флотокомплексів. У подальшому, в результаті формування коалесценції газової фази, тип «б» може трансформуватися в тип «а». Але за присутності у воді поверхнево активних речовин (ПАВ), тип «б» достатньо стійкий. Флотокомплекси цього типу характерні для компресійних, вакуумних та інших споруд з одержанням дисперсно-газового середовища, видалення його із води. Структурно він визначається як дисперсно-газовий.

Багато органічних речовин, що входять до системи забруднень стічних вод, проявляють сорбційні якості на поверхні розподілу фаз «вода-газ». Контакт спливаючих бульбашок з такими речовинами сприяє появі на їхній поверхні адсорбційного шару, що формує флотоком комплексу тип

«в» – газово-молекулярний. Прикладом є флотокомплекс, який виникає при контакті бульбашок з молекулами ПАР.

### 6. 9. 3. Технологічні схеми флотаційних споруд

Основні технологічні схеми використання флотаційних методів очищення стічних вод наведено на рис. 6. 22.

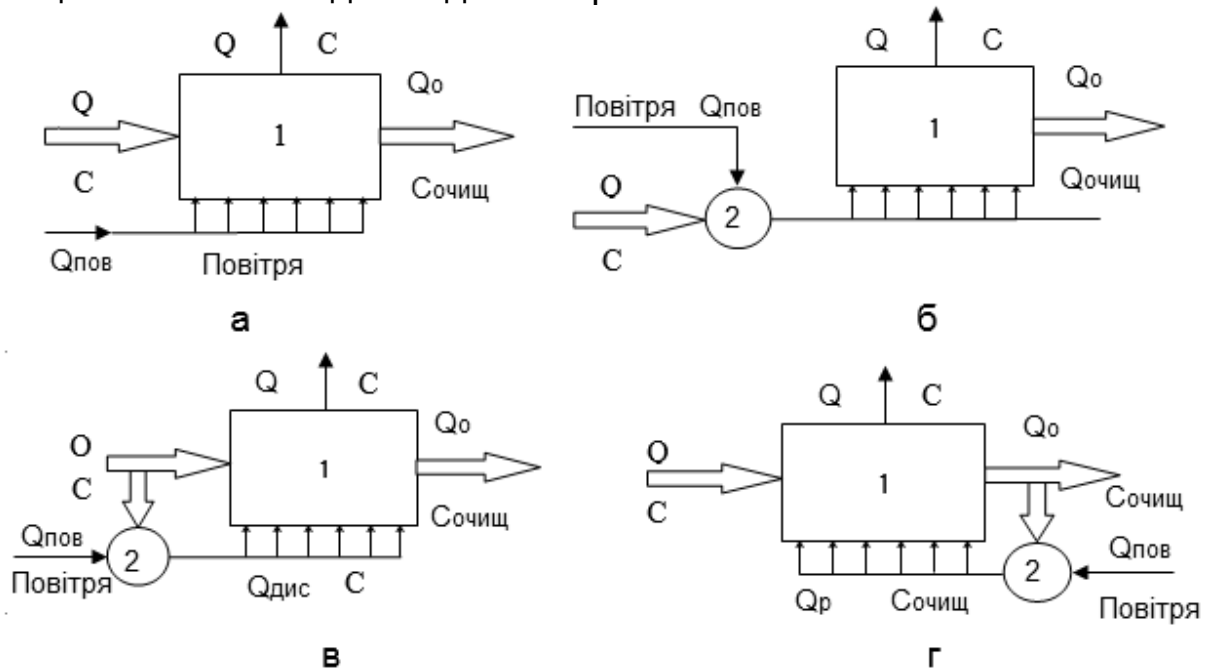


Рис. 6. 22. Технологічні схеми флотаційних установок:  
1 – камера флотації; 2 – сатуратор (апарат для насичення рідини газом)

На схемах зазначено:  $Q_o$  – витрата стічної води на камеру флотації;  $Q_{пов}$  – витрата повітря на створення дисперсно-газового середовища в камері;  $Q_k$  – видалення із стічної води в камері забруднень;  $C_o$  – концентрація забруднень до камери флотації;  $C_k$  – концентрація забруднень у флотошлямі;  $C_{очищ}$  – концентрація забруднень в очищеній воді;  $Q_{дис}$  – дисперсна фаза;  $Q_p$  – рециркуляційні витрати;  $Q_k$  – витрати флотошляму.

За схемою «а» виконуються флотаційні процеси, в яких використовують барботажний, пневмомеханічний, електрохімічний та інші способи одержання дисперсно-газового середовища у флотаційній камері. Схеми «б» і «в» використовують для одержання дисперсно-газового середовища в компресійному і вакуумних способах, «г» – при компресійному і гідромеханічному методах.

Матеріальний баланс потоків флотатора в загальному вигляді можна записати:

$$C_o \cdot Q_o - C_k \cdot Q_k = C_{очищ} (Q_o - Q_k).$$

З технологічних схем флотаційних методів видно, що в усіх цих схемах використовується флотаційна камера (рис. 6. 23), яка є одно- і багатосекційною.

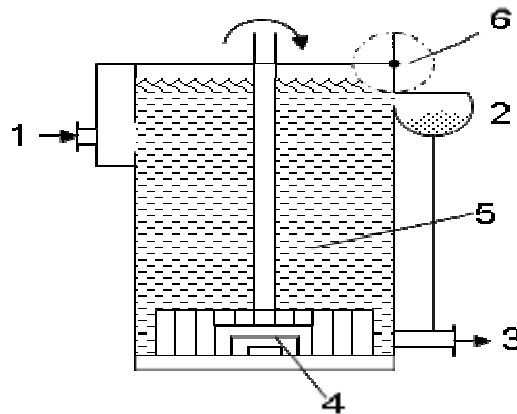


Рис. 6. 23. Імпелерна система:

- 1-3 – подача стічних вод і відведення очищеної води; 2 – відведення флотошламу;  
 4 – система отримання газової дисперсії; 5 – камера флотації;  
 6 – пристрій, що виділяє піну

Конструктивною особливістю різних типів флотаційних споруд є склад допоміжного обладнання, що значною мірою зумовлюється способом одержання дисперсного газового середовища; системою розподілення стічних вод, які подаються на очищення пристрою для збирання і видалення флотошламу; системи випуску очищеної води, що забезпечує гідравлічний рівень у флотаторі.

На рис. 6. 24 наведено схему флотатора. Його конструкція – це барботажна споруда, що відрізняється простотою і малими витратами енергоспоживання.

Для зменшення негативного впливу поздовжнього перемішування в камері флотації встановлюють дві (або більше) послідовні секції. Повітря у флотаційну камеру подається через фільтроносні пластини, труби, насадки розташовані на дні камери. Розмір пор становить 50–200 мкм, тиск повітря – 0,1–2 МПа, термін флотації – 20–40 хвилин. Робоча глибина камери флотації – 1,5–3 м.

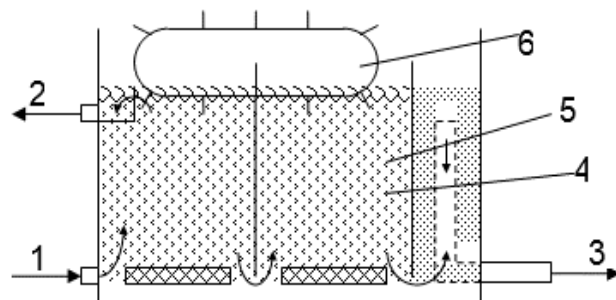


Рис. 6. 24. Барботажний флотатор:

- 1– подача стічної води; 2 – відведення флотошламу;  
 3 – відведення стічної води; 4 – система одержання газової дисперсії; 5 – камера флотації;  
 6 – пристрій, що виділяє піну

Недоліки: значна інтенсивність змішування; заростання пор фільтроносних елементів; важкість підбору пористих матеріалів для одержання близьких за розмірами бульбашок.

#### 6. 9. 4. Очищення стічних вод коагулянтами

Як коагулянти використовують сульфат амонію  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$ ; амолінат натрію  $\text{NaAlO}_2$  та ін., а також залізовмісні коагулянти:  $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ;  $\text{Fe}(\text{SO})_4 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ ;  $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ ;  $\text{FeCl}_3$  – хлорне залізо.

**Технологічні схеми методу коагуляції.** Для ефективного проведення процесу коагуляції необхідно забезпечити найбільш сприятливі умови протікання гідролізу коагулянтів та утворення міцних пластівців достатніх розмірів для їх швидкого осадження або доброго флотокомплексу. Змішування коагулянту з водою повинно проходити таким чином, щоб одразу утворювалась велика кількість малих агрегатів, які в подальшому стануть центрами кристалізації гідроксидів, забезпечуючи формування великих пластівців.

У технологічних схемах коагуляції використовуються різні схеми, які забезпечують надшвидкісні результати очищення стічних вод у конкретних умовах. Схеми коагуляції наведено на рис. 6. 25.

За схемою «а» розчин коагулянту безперервно подають в очищувану воду до змішувача. Ефективність коагуляції залежить від системи керування процесом, яка має швидко реагувати на зміну кількості надходження води.

Інтенсифікації процесу коагуляції можна досягти шляхом повернення частини раніше зкоагульованих і відокремлених домішок (схема «б»). Рециркуляція прискорює процес утворення найбільш міцних пластівців. Розчиняють рециркуляцію по внутрішньому і зовнішньому контурах. При рециркуляції по внутрішньому контуру пластівці, що утворились, повертають у місце подачі коагулянту без виходу із рециркуляційної ємності. У випадку рециркуляції по зовнішньому контуру передбачається відведення шламу із камер пластівцеутворення, прояснювачів, відстійників, фільтрів і флотаторів і повернення його у змішувач.

Введення реагентів у відносно невеликий об'єм очищуваної води, а потім швидке змішування з рештою її частиною, інтенсифікує і стабілізує процес коагуляції (схема «в»). Це відбувається внаслідок найбільш швидкого початку формування пластівців при збільшених концентраціях коагулянту в відокремленій частині потоку стічних вод. У результаті такого оброблення утворюються великі пластівці, що збільшує ступінь прояснення води.

Ефективним способом коагуляції є дробова (порційна) подача коагулянту декількома порціями або послідовна подача різних коагулянтів (схема «г»). У цьому випадку одержують полідисперсні агрегати коагулянту; також збільшується період існування позитивно заряджених поліядерних гідрокомплексів, у результаті чого інтенсифікується процес коагуляції.



### 6. 9. 5. Споруди для коагулювання стічних вод

Коагулянти змішують зі стічною водою, що обробляється у змішувачах. Використовують перегородчасті, шайбові, дірчасті та вертикальні змішувачі, а також механічні з поперечним очищенням і лопаточним змішуванням.

За видом руху потоку очищеної рідини камери пластівцеутворення можуть бути водовертні, перегородчасті, вихрові, а також з механічним змішуванням.

**Перегородчасті камери** можуть бути горизонтальними і ветрикальними. У горизонтальних камерах стічна вода протікає по декількох послідовно з'єднаних коридорах. Змішування здійснюється за рахунок декількох поворотів стічної води.

**Водовертна камера** пластівцеутворення – це циліндр, у верхню частину якого із змішувача подається стічна вода через діаметрально розташовані сопла з протилежним напрямом виходу води з них. У камері підтримується круговий рух води. В нижній частині камери перед виходом у відстійник знаходиться гаситель обертового руху стічної води.

**Вихрова камера** пластівцеутворення – це конічний або циліндричний з розширенням до верху резервуар, з нижнім випуском стічної води. Кут похилу стінок камери до лінії горизонту становить  $70^\circ$ .

У камерах пластівцеутворення, обладнаних лопатними змішувачами, термін перебування стічної води 20–30 хвилин, а швидкість руху води 0,15–0,2 м/с.

Подальше прояснення стічної води відбувається у горизонтальних, радіальних і вертикальних відстійниках, прояснювачах з завислим осадом або у флотаторах. Для очищення міських стічних вод доцільною є двоступенева схема відстоювання стічних вод. На першому ступені використовують просте відстоювання у відстійниках без коагулянту, а на другому ступені стічні води оброблюють коагулянтами і флокулянтами з подальшим відстоюванням у відстійниках.

### 6. 9. 6. Сорбційне очищення стічних вод

Сорбція – це рівноважний динамічний процес поглинання речовини із оточуючого середовища твердим тілом, рідиною або газом. Поглинаюче тіло називають сорбентом, а поглинене – сорбатом. Розрізняють поглинання речовини всією масою рідкого або газоподібного сорбенту (абсорбція) і поверхневим шаром твердого або рідкого сорбенту (адсорбція). Сорбцію, що супроводжується хімічною взаємодією сорбенту з поглинаючою речовиною, називають хемосорбцією.

В технології очищення стічних вод найчастіше використовують сорбційний процес на твердій поверхні сорбентів.



Адсорбція розчинених речовин – це результат переходу молекул розчиненої речовини на поверхню твердого тіла сорбенту під дією силового поля поверхні. При цьому спостерігають два види міжмолекулярної взаємодії: молекул розчиненої речовини з молекулами (або атомами) поверхні сорбенту і молекул розчиненої речовини з молекулами води у розчині (гідратація). Різниця цих двох сил міжмолекулярної взаємодії і є та сила, яка утримує вилучену із розчину речовину на поверхні сорбенту.

Чим більше енергія гідратації молекул розчиненої речовини, тим більшу протидію відчувають ці молекули при переході на поверхню сорбенту і тим слабше адсорбується речовина із розчину. Сорбційне очищення стічних вод умісне тоді, коли в цих водах є речовини, енергія зв'язку яких з твердою поверхнею сорбенту значно переважає енергію гідратації.

Сорбційні методи застосовують для глибокого очищення стічних вод від розчинених органічних речовин. Ці методи можна використовувати як самостійні очисні споруди, так і спільно з іншими методами попереднього і глибокого очищення.

Перевагою сорбційних методів є вилучення забруднень із багатоконпонентних стічних вод і висока ефективність при малих концентраціях забруднень, а також вилучення цінних розчинених речовин з подальшою утилізацією цих речовин.

Як сорбенти застосовують природні матеріали, відходи виробництв, активоване вугілля і синтетичні сорбенти. Природні пористі матеріали (торф, глина), виробничі відходи (попіл, дрібний кокс, силікагелі, амомогелі) мають малу сорбційну ємність, яка характеризується кількістю поглинаючої речовини на одиницю об'єму або маси сорбенту ( $\text{кг}/\text{м}^3$ ,  $\text{кг}/\text{кг}$ ).

Ефективним сорбентом є активоване вугілля різних марок. Пористість вугілля становить 60–75 %, а питома поверхня 400–900  $\text{м}^2/\text{г}$  (950–1050). Адсорбційні властивості активованого вугілля залежать від структури пор, їхньої величини. За розмірами пори розподіляють на три види: макропори розміром 0,1–2  $\mu\text{м}$ ; перехідні пори – 0,004–0,1  $\mu\text{м}$ ; мікропори розміром менше 0,004  $\mu\text{м}$ . Деякі автори виділяють четвертий вид – супермікропори розміром менше 1,5 нм.

### **6. 9. 7. Технологічні схеми методів адсорбції**

Процес сорбції може здійснюватися при інтенсивному змішування адсорбенту зі стічною водою, при фільтруванні через нерухомий шар на спорудах періодичної або неперервної дії. Основні схеми адсорбційного процесу очищення стічних вод наведено на рис. 6. 26.

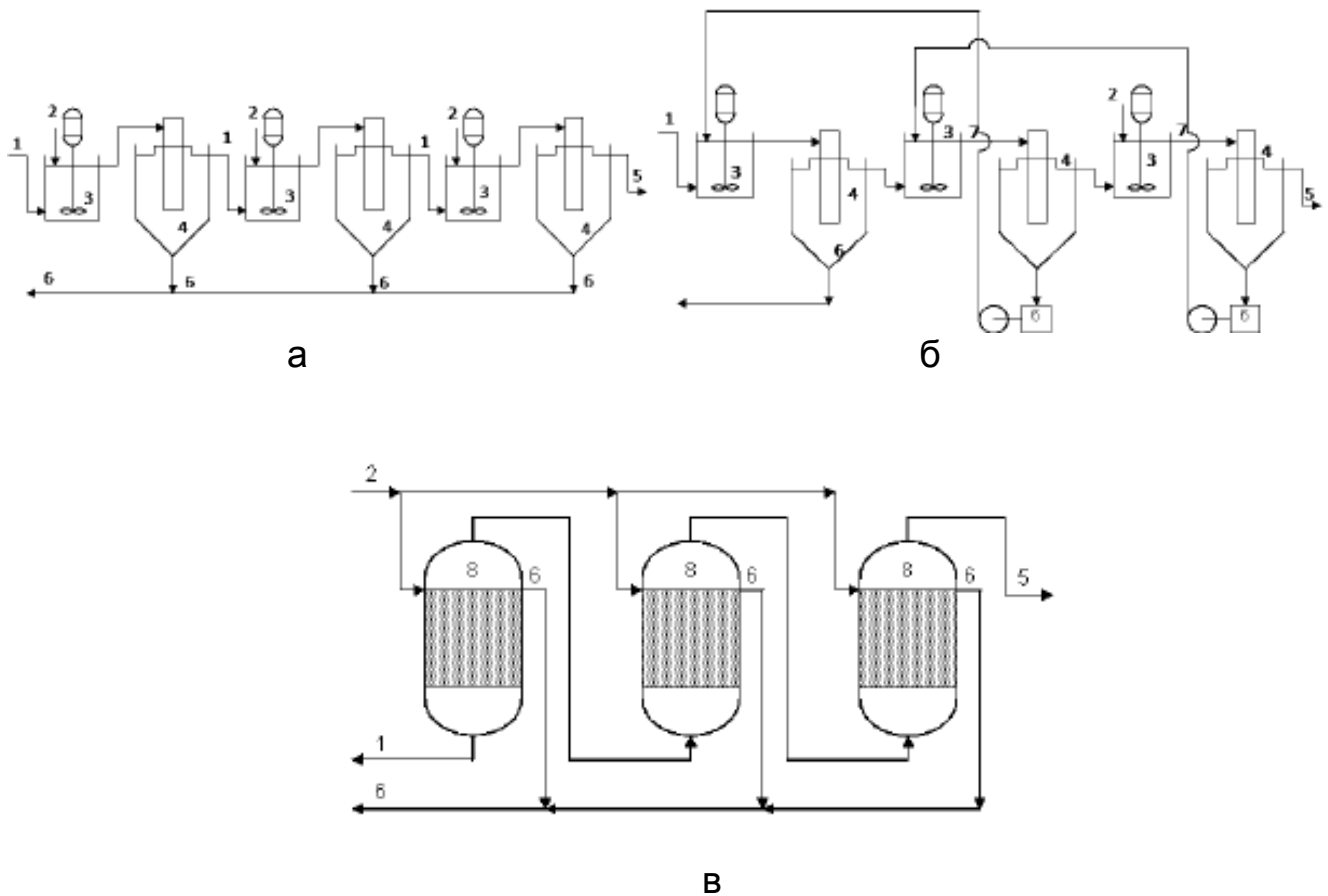


Рис. 6. 26. Схеми споруд для сорбційного очищення стічних вод:  
 а – сорбційна установка з послідовним введенням сорбенту; б – сорбційна установка з протитечійним введенням сорбенту; в – сорбційна установка з нерухомим шаром сорбенту:  
 1 – надходження очищеної води; 2 – подача сорбенту; 3 – резервуари зі змішувальним пристроєм; 4 – відстійники для відділення сорбенту від очищеної води; 5 – відведення очищеної води; 6 – випуск відпрацьованого сорбенту; 7 – система подавання сорбенту на попередній ступінь; 8 – адсорбційний фільтр

Процес сорбції в статичних умовах (рис. 6. 26, а) здійснюється шляхом інтенсивного змішування стічної води з сорбентом протягом визначеного часу і подальшим відокремленням сорбенту від води фільтруванням, відстоюванням та іншими методами. При послідовному введенні нових доз сорбенту в очищувану воду теоретично її можна очистити до будь-якої концентрації, але кількість ступенів при цьому може бути значною.

У протитечійній схемі використання сорбенту його вводять тільки на останньому ступені. Після відділення сорбенту від очищеної води на цьому етапі очищення він послідовно подається на попередні ступені. Ця схема (рис. 6. 26, б) дозволяє вести процес очищення безперервно при значно менших витратах сорбенту внаслідок найбільш повного використання його сорбційних властивостей. Сорбційні процеси за такими схемами знайшли значно більше застосування. Недоліком такої схеми є труднощі в експлуатації, а також великі енергетичні затрати.

Процес сорбції в динамічному режимі виконують шляхом фільтрування стічних вод через шар щільно укладеного сорбенту (рис. 6. 26, в). Швидкість фільтрування залежить від концентрації розчинених у стічних водах речовин і становить 1–12 м/год; величина зерен сорбенту – 0,8–5 мм. У цьому випадку найбільш раціональний напрямок руху рідини знизу вгору здійснюється рівномірно послідовним заповненням об'єму колони з витісненням бульбашок повітря і газу, що потрапляють у шар сорбенту разом зі стічною водою.

Зазвичай сорбційна установка – це декілька паралельно працюючих секцій, що складаються з трьох–п'яти послідовно розташованих фільтрів. При досягненні граничного насичення головний фільтр відключається на регенерацію, а оброблювана вода подається до наступного фільтра. Після регенерації головний фільтр включається в схему очищення уже як останній ступінь.

Фільтри з нерухомим шаром сорбенту використовують при регенеративному очищенні цехових стічних вод з метою утилізації видалених із води цінних речовин.

При очищенні стічної води із високим вмістом дрібнодисперсних завислих часточок, що не відділяються механічними методами очищення, доцільно використовувати процеси з псевдозрідженим шаром сорбенту.

Псевдозрідження шару сорбенту відбувається при підвищенні швидкості потоку стічної води, яка проходить знизу вгору через поперечний перетин споруди до величини, яка дорівнює гідравлічній величині зерен завантаження. Важливим показником роботи установки є показник зрідження  $\varepsilon$ :

$$\varepsilon = H_{п.з} / H_{щ},$$

де  $H_{п.з}$  – висота псевдозрідженого шару;  $H_{щ}$  – висота щільного шару сорбенту.

### **6. 9. 8. Споруди для сорбційного очищення стічних вод**

Апарати з нерухомим шаром адсорбенту, подібно до фільтрів з зернистою загрузкою, конструктивно виконують напірними (закритими), що розраховані на роботу під тиском, і безнапірними (відкритими) – у вигляді резервуарів прямокутного або круглого перетину. Адсорбери обладнують

необхідною кількістю вентилів для керування їх роботою, відбору проб і випуску повітря або газу, що потрапляють у споруду разом із очищувальною водою.

Відпрацьований сорбент вивантажують із адсорбера насосом, гідроелеватором, ерліфтом, шнеком, якщо відносне розширення загрузки – 20–25 %. Металічні конструкції, трубопроводи, арматури і ємності сорбційних споруд, що контактують з вологим сорбентом, повинні бути захищені від корозії.

Апарати з рухомим шаром адсорбенту застосовують у вигляді циліндричних одноярусних адсорберів з псевдозрідженим шаром сорбенту. Такі апарати мають вигляд колони висотою до 4 м, у верхній частині якої виконане розширення, що у 1,5–2 рази більше діаметра нижньої частини. Нижній конус колони днища має центральний кут 30–60°. Над конусним днищем встановлюється решітка (з отворами 5–10 мм і відстанню між ними до 5–10 мм), на яку завантажують активоване вугілля. Висота нерухомого шару вугілля може досягати 2,5–2,7 м. Циліндричний одноярусний адсорбер наведено на рис. 6. 27.

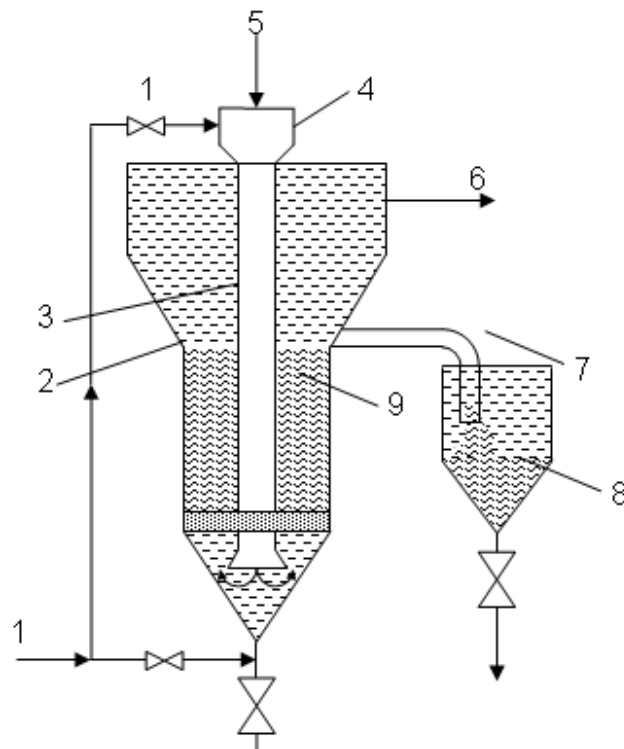


Рис. 6. 27. Циліндричний одноярусний адсорбер:  
1 – подача стічних вод; 2 – колона; 3 – центральна труба з дифуззором;  
4 – завантажувальний конус; 5 – трубопровід для подачі сорбенту;  
6 – відведення очищеної води; 7 – збирання відпрацьованого сорбенту;  
8 – випуск відпрацьованого сорбенту; 9 – решітка

На практиці для очищення води використовують й інші схеми адсорберів, а саме – схеми адсорберів безперервної дії з псевдозрідженим шаром активованого вугілля, які можуть бути багатоярусними з перетічними трубами і з секційним розташуванням шару адсорбенту (рис. 6. 28).

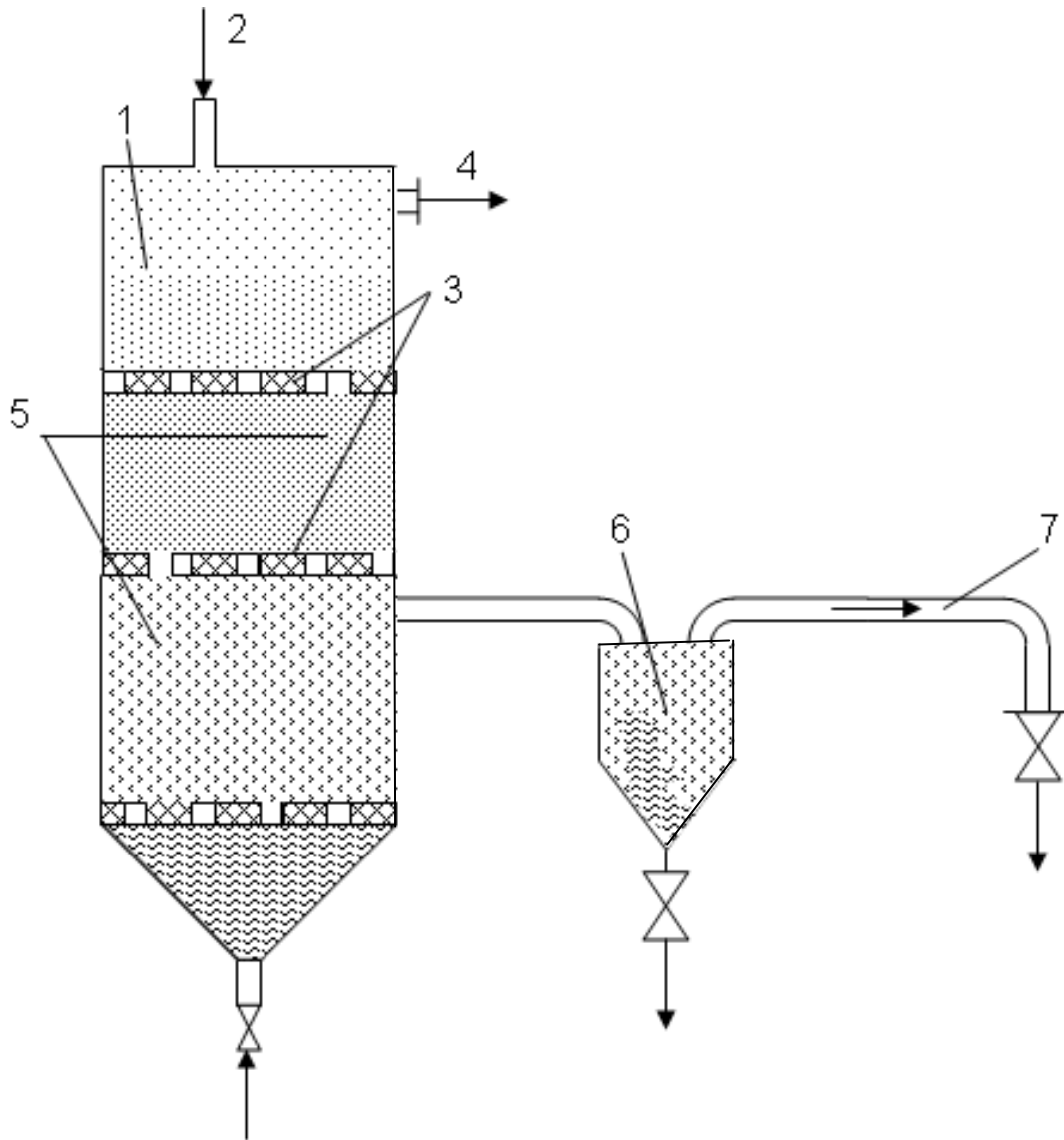


Рис. 6. 28. Схема багатоярусного адсорбенту з перетічними трубами:  
 1 – адсорбент; 2 – стічна вода; 3 – решітка; 4 – очищена вода;  
 5 – перетічні труби; 6 – відпрацьований сорбент; 7 – вода

## 7. ОРГАНІЗАЦІЯ КОНТРОЛЮ ЯКОСТІ СТІЧНИХ ВОД

### 7. 1. Фізико-хімічні методи і засоби контролю стічних вод

Фізико-хімічні методи аналізу є найбільш поширеними методами визначення складу речовини в лабораторних і промислових умовах. У наш час, у зв'язку з впровадженням засобів автоматизації, перш за все обчислювальної техніки, в практику проведення масових хімічних аналізів, удосконалюються методологія аналітичної хімії та технологія приладобудування, традиційні методи (колориметрія, потенціометрія, полярографія), а також перспективні високоінформативні методи – газової та рідинної хроматографії, рентгено-флуоресцентного аналізу, мас-спектрометрії. Ці методи характеризуються багатоконпонентною можливістю ідентифікації компонента з використанням попередньої інформації про властивості речовин у складі контрольованого середовища. Це має особливе значення для контролю стічних вод з нестабільним, часто мінливим складом. Переваги перспективних методів можуть бути реалізовані тільки при використанні засобів обчислювальної техніки, що забезпечують оперативну обробку вимірювальної інформації. Разом з тим, традиційні методи не тільки не втрачають значення, але й набувають подальшого розвитку, пов'язаного з використанням нових технологічних принципів побудови пристроїв пробопідготовки. Перевагою використання традиційних методів аналізу є наявність добре розробленої методичної основи для визначення більшості речовин, насамперед, фотоколориметричним методом. При виборі методів визначення компонентів стічних вод необхідно враховувати не тільки метрологічні характеристики порівняльних методів, але й такі фактори, як витрати та стійкість реактивів, вартість визначення, надійність аналізаторів (побудованих на конкретних методах), наявність методичного забезпечення, трудомісткість обслуговування приладів і підготовки проби. До методів, які використовують для лабораторного та автоматичного контролю, пред'являються різні вимоги:

1) для лабораторного контролю: висока чутливість, селективність, багатоконпонентність, низька трудомісткість пробопідготовки;

2) для автоматичного контролю: надійність, простота обслуговування приладів, чутливість (що достатня для контролю складу в конкретному випадку), низька вартість устаткування.

Зараз не існує методу, який би повною мірою задовольняв наведені вище вимоги, тому необхідно комплектувати аналітичну лабораторію і автоматизовані пункти контролю приладами, заснованими на використанні різних інструментальних методів, кожен з яких доцільно застосовувати для контролю певних груп компонентів, що мають деякі загальні фізико-хімічні властивості.

## **7. 2. Призначення аналітичної лабораторії**

До складу автоматизованої системи контролю може входити аналітична лабораторія. Аналітична лабораторія – це спеціалізовані аналітичні прилади, призначені для аналізу води, та персонал, підготовлений для проведення цього аналізу. Ця лабораторія призначена для проведення аналізу, який взятий на пунктах контролю, а також, за необхідності, в інших місцях проб стічних вод, і розміщується в спеціально підготовленому приміщенні. На аналітичну лабораторію покладається вирішення таких завдань:

- аналіз проб стічних вод, взятих на АПК і в інших місцях;
- контроль правильності результатів, що одержують на пунктах контролю за допомогою автоматичних приладів;
- забезпечення автоматичних приладів на пунктах контролю визначається реактивами;
- введення результатів аналізу в ЕОМ центрального диспетчерського пункту.

## **7. 3. Призначення автоматизованого поста спостережень**

Автоматизований пост спостережень (АПС) призначений для оперативного виявлення випадків високого забруднення водних об'єктів у зоні впливу очисних споруд промислового об'єкта (або міста) за допомогою сучасних засобів вимірювальної техніки (ЗВТ), відбору проб і видачі сигналів про порушення встановлених норм якості води. АПС є складовою частиною мережі пунктів спостережень СКМД.

Завдання АПС:

- періодичний (оперативний) пороговий контроль заданих параметрів спостереження (рН,  $O_2$ , електропровідність, аміак, нітрати, хлор, температура, залізо загальне);
- відбір проб для лабораторного аналізу при перевищенні порогів рівня параметрів, які спостерігаються, та за командами відповідного АРМ системи СКМД;
- збирання, накопичення та передача інформації з датчиків ЗВТ АПС;
- видача сигналів „небезпека” про порушення встановлених порогів нормативних показників води щодо кожного параметра, який спостерігається.

Функції, які виконуються в автоматичному режимі:

- отримання первинної інформації щодо стану водних об'єктів

- (заданих параметрів води), які спостерігаються за допомогою ЗВТ;
- збір та короточасне накопичення первинної інформації;
  - відбір проб для лабораторного аналізу при перевищенні порогів значення параметра води, що контролюється;
  - передача накопиченої інформації на комунікаційний сервер АРМ СКМД;
  - оцінка працездатності апаратури АПС і видача на АРМ СКМД даних щодо працездатності ЗВТ, пробовідбірника, гідросистеми, системи електроживлення, температури та вологості в приміщенні АПС;
  - підтримання в приміщенні АПС необхідної температури та вологості;
  - формування сигналів „небезпека” при порушенні встановлених порогів якості води щодо кожного параметра, який спостерігається.

**Структурна схема АПС.** Згідно з призначенням та завданням АПС повинен мати у своєму складі такі блоки (системи) ( рис. 7. 1): вимірювальний блок; блок керування; пробовідбірник; гідравлічна система; блок електропостачання; блок контролю працездатності АПС; будівля (приміщення) поста.

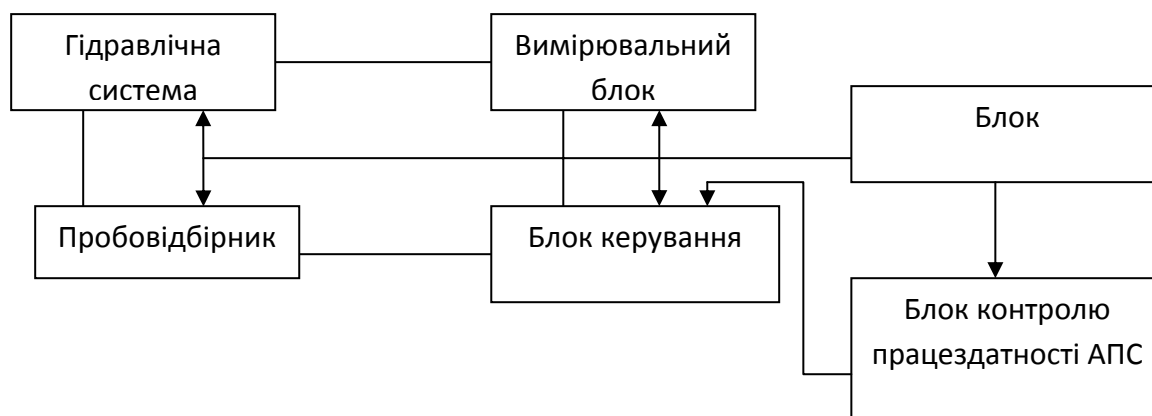


Рис. 7. 1. Структурна схема АПС

Вимірювальний блок призначений для періодичного (за дискретністю  $\Delta t$ ) автоматизованого контролю заданих параметрів води – отримання первинної інформації щодо об’єктів, які контролюються.

Блок керування призначений для керування процесом вимірювання параметрів води, визначення надзвичайної ситуації та збору, накопичення і видачі інформації з АПС до автоматизованого робочого місця (АРМ) СКМД. Крім того, блок керування приймає та реалізує команди з АРМ СКМД.

Гідравлічна система призначена для забору води у водоймищі та подачі її до вимірювального блока та пробовідбірника, а також зливання використаної води у каналізацію.

Пробовідбірник використовують для відбору проб за командами, які надходять з блока керування при перевищенні значення порогів



параметра, що контролюється.

Блок електропостачання призначений для постійного живлення всіх блоків АПС від мережі та забезпечення роботи поста у безперервному режимі у випадку відключення електропостачання в мережі на одну годину.

Блок контролю працездатності призначений для оцінювання працездатності основних елементів АПС і формування аварійних сигналів при їхній відмові.

Будівля (приміщення) АПС призначена для розміщення усіх блоків і систем, підведення для елементів АПС електропостачання, води з водоймища та підтримки необхідних умов функціонування апаратури АПС.

Режим функціонування АПС:

- основний режим – режим періодичного (  $\Delta t = 12$  годин ) виміру параметрів води, короткочасного накопичення даних і передачі інформації на АРМ СКМД;

- надзвичайний режим – режим незапланованого відбору проб і позачергової передачі накопичених результатів контролю на АРМ СКМД при виявленні перевищення заданого порогу значення показника, який контролюється, а також періодичного ( $\Delta t = 2$  години ) виміру параметрів води;

- аварійний режим – режим позачергової видачі накопичених результатів контролю за останній період спостережень при вимкненні зовнішнього електропостачання, відказі ЗВТ гідравлічної системи та за умов функціонування апаратури в приміщенні АПС. Аварійний режим передбачає перехід на електропостачання апаратури АПС за допомогою УПСА (потужність 1 чи 2 кВт).

**Загальний алгоритм функціонування АПС.** При функціонуванні за основним режимом АПС проводить періодичні вимірювання (період  $\Delta t = 12$  годин ) та накопичує дані за проміжок часу  $T$  ( $T=24$  години). По закінченню вимірювань за період  $T$  формується та видається на АРМ СКМД до технолога очисних споруд повідомлення, яке містить усі дані вимірювань за добу.

При виявленні перевищення заданого порогу значення якогось параметра води  $i^*$  ( $C_{i_n}^* > C_i^0$ ) АПС функціонують за надзвичайним режимом. При цьому режимі функціонування формується сигнал „небезпека”, який видається на АРМ, і включається в роботу пробовідбірник, який відбирає пробу.

При цьому формується та видається на АРМ повідомлення, яке містить дані про надзвичайну ситуацію (дата, час, параметр  $i^*$ ) і результати вимірювань за період від  $t^0$  до моменту  $t^* = t_0 + n^* \Delta t$ . АПС починає вимірювати параметри води з періодом  $\Delta t = 2$  г.

До складу АПС мають входити елементи, які забезпечують виконання завдань і функцій пункту в основному, надзвичайному та аварійному режимах.

До складу АПС (рис. 7. 2) повинні входити: вимірювальний блок; блок керування; пробовідбірник; гідравлічна система; блок електропостачання; блок контролю працездатності АПС; будівля (приміщення) поста, які пов'язані між собою.

Вимірювальний блок включає: засоби вимірювальної техніки (автоматичні аналізатори або сигналізатори складу та властивостей води); пристрої пробопідготовки (за необхідності).

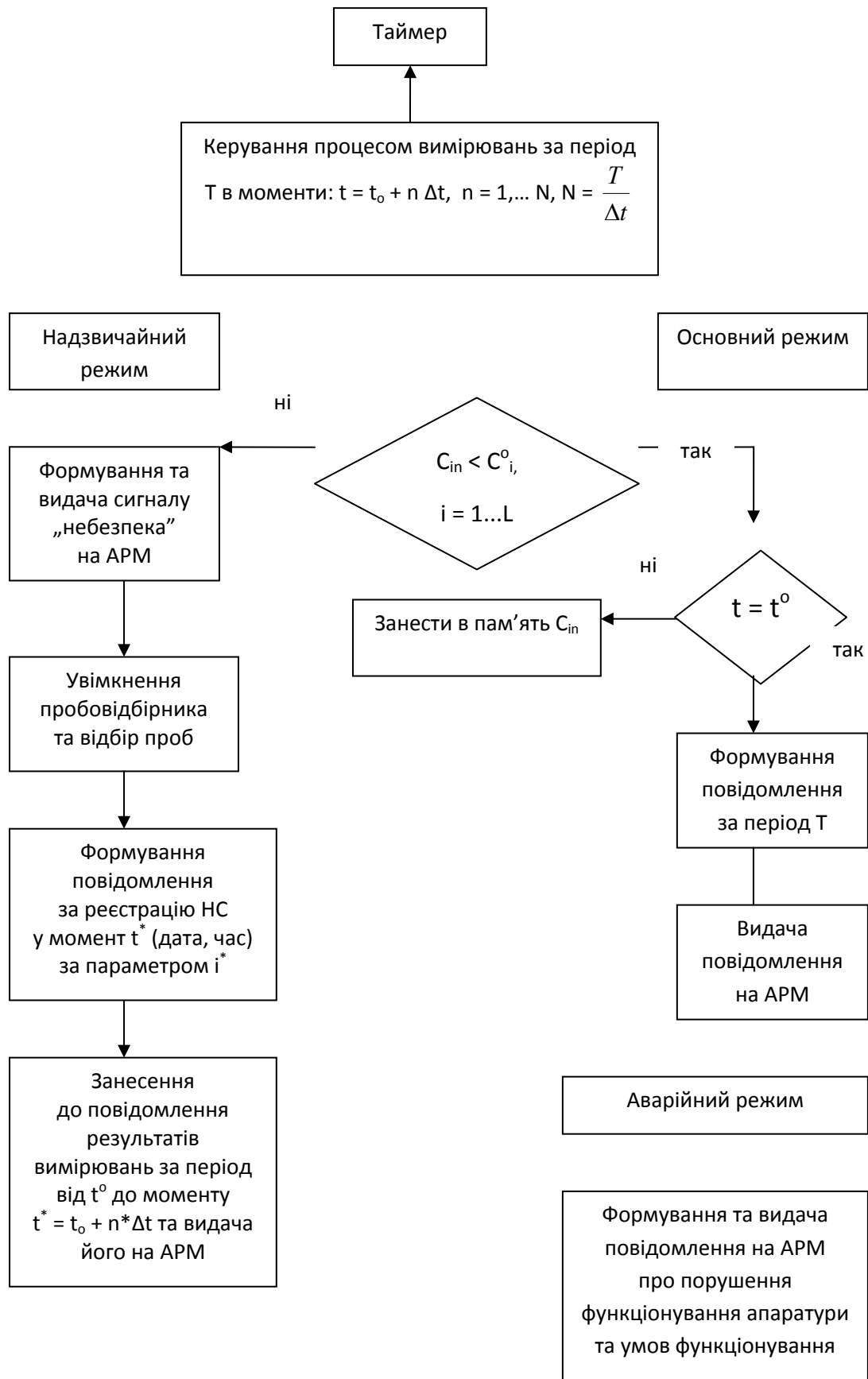


Рис. 7. 2. Загальний алгоритм функціонування АПС

**Засоби виміральної техніки (ЗВТ).** Задача визначення переліку ЗВТ для контролю рекомендованих показників якості вод (табл. 7.1) має неоднозначне вирішення.

Таблиця 7.1

### Визначення переліку ЗВТ

Найменування показника, одиниці вимірювання	Діапазон вимірювання ЗВТ	Точність вимірювання
Температура, °С	2 - 40	± 10 %
Мутність, мг/л	10 - 250	± 10 %
рН	6 - 14	0,2 од. рН
Кисень розчинний, мгО <sub>2</sub> /дм <sup>3</sup>	2 - 20	± 10 %
Мінералізація, мг/дм <sup>3</sup>	200 - 10 <sup>4</sup>	± 20 %
Амоній, мг/дм <sup>3</sup>	0,1 - 10	± 25 %
Нітрати, мг/дм <sup>3</sup>	0,1 - 50	± 20 %
Хлориди, мг/дм <sup>3</sup>	0 - 500	± 10 %
Залізо загальне, мг/дм <sup>3</sup>		

У табл. 7. 2 наведено мінімальні та максимальні значення показників якості води, які рекомендовано для здійснення контролю в автоматизованому режимі, в точках, де планується встановити АПС.

Таблиця 7. 2

### Значення показників якості води

	Точки контролю	Прозорість	рН	О <sub>2</sub> , мг/дм <sup>3</sup>	Сухий залишок, мг/дм <sup>3</sup>	NH <sub>4</sub> , мг/дм <sup>3</sup>	Cl, мг/дм <sup>3</sup>	NO <sub>2+3</sub> , мг/дм <sup>3</sup>	БСК
Min/ max	1	10/29	8,0/ 8,4	8,3/14,4	442/692	0,25/ 1,39	37/60	2,26/ 11	2,4/4,3
Min/ max	2	21/31	8,6/ 8,8	8,3/12,7	1504/ 1940	0,1/0,48	66/87	1/6,2	2,9/4,0
Min/ max	3	19/32	8,5/ 9,8	7,0/9,6	1500/ 1939	0,1/0,58	190/280	1/6,2	2,7/4,3
Min/ max	4	11/31	8,1/ 8,5	8,2/14,1	453/694	0,20/ 1,37	38/62	2,3/ 11,3	2,3/4,4

Усі прилади, які запропоновано для використання на посту, повинні мати допуск до використання або бути атестованими метрологічною службою Держспоживстандарту.

#### 7. 4. Серійні прилади та засоби контролю якості стічних вод

У системі спостережень за роботою очисних споруд та якістю води, що скидається з очисних споруд, застосовують обладнання, яке сертифіковане та серійно випускається. Зразки такого обладнання наведено нижче.

Контроль показника рН у воді проводиться малогабаритним промисловим рН-метром типу BL 981411 HANNA (рис 7. 3). Завдяки малим розмірам рН-метр BL 981411 може бути встановлений у безпосередній близькості від резервуара або труби з контрольованим середовищем. Прилад повністю автоматичний. Результати вимірювання відображаються великими цифрами на РК-дисплеї у точках між 0 та 14 рН.



Рис 7. 3. Малогабаритний промисловий рН-метр BL 981411 HANNA



Рис. 7. 4. Прилад визначення жорсткості SP-510

Вміст кисню у воді контролюється киснеміром типу К - 215. Прилад призначений для вимірювання концентрації кисню, розчиненого в стічних водах. Для вимірювання концентрації розчиненого у воді кисню використовується амперометричний метод. Киснемір складається з чутливого елемента (електрода), вимірювального пристрою і перетворювача, виконаного у вигляді автоматичного безперервно діючого приладу.

Контроль жорсткості води проводиться приладом SP-510 (рис. 7. 4). Цей прилад фірми HACH-Lange відноситься до класу аналізаторів, що застосовуються для постійного контролю одного заданого рівня жорсткості. Прилад простий в експлуатації: необхідно лише раз на два місяці замінювати реактиви та здійснювати калібрування.

Вміст нітратів (нітритів) у воді контролюють на базі датчика Nitratex clear sc фірми HACH LANGE, що підключається до автоматизованих систем контролю.

Контроль вмісту амонію у воді проводиться аналізатором фірми HACH LANGE серії AMTAX, який підключається до автоматизованих

систем і може працювати в самостійному режимі.

Контроль вмісту фосфатів у воді здійснюється промисловим аналізатором серії PHOSPAX sc. Аналізатор простий в обслуговуванні: його двопроменевий світлодіодний фотометр автоматично визначає колір стоків і концентрацію фосфатів.

Для відбору проб застосовується автоматичний пробовідбірник ISCO-3700 (рис. 7. 5). Призначений для: відбору окремих і змішаних проб пропорційно часу, об'єму, витратам; відбору проби із залпових викидів з перемінним інтервалом часу; відбору проб за сигналом перевищення заданих показників.

Область застосування: промислові підприємства, очисні споруди.

Суть цього способу полягає у фазоводисперсному перетворенні концентрованого розчину полімеру у вигляді гелевої плівки чи волокна на жорстку пористу структуру. Цей процес є багатостадійним і складається з: розчинення полімеру в органічному розчиннику; очищення розчину від домішок; дегазації і коригування складу; часткового випаровування розчинника з поверхні плівки розчину, налитого на підкладку; осадження мембрани і промивання її водою; гідротермічного оброблення за 80–90 °С; дефектоскопії та змотування в рулони.

Сухий спосіб виготовлення мембран полягає у повному випаровуванні розчину полімеру.



Рис. 7. 5. Автоматичний пробовідбірник ISCO – 3700

## 8. СПЕЦІАЛЬНІ ПРОЦЕДУРИ ПІДГОТОВКИ ВОДИ

### 8. 1. Іонообмінні процеси в технології водопідготовки

Іонообмінні процеси, які застосовують у водопідготовці та водоочищенні, ґрунтуються на вибіркового поглинанні одного або кількох компонентів з водних розчинів за допомогою іонітів. Іоніти – це тверді, майже нерозчинні у воді та органічних розчинниках матеріали, що мають іонообмінні властивості.

До складу іонітів входять функціональні групи, здатні до іонізування та обміну з електролітами. В результаті іонізації функціональних груп утворюються фіксовані іони, які закріплені на каркасі та не переходять у розчин, та протиіонні (обмінні іони), кількість яких еквівалентна кількості фіксованих іонів. Останні здатні переходити у розчин, де обмінюються на еквівалентну кількість інших іонів, що мають заряд з тим самим знаком.

Обмін між іонітами і водним розчином здійснюється з перебігом хімічних реакцій між іонітами та хімічними сполуками, розчиненими у воді:



де [R] – каркас фіксованих іонів іоніту;  $K_1$  – обмінний катіон іоніту;  $K_2A$  – розчинена у воді сполука з катіоном  $K_2$  і аніоном А.

До складу іоніту входять матриця, фіксовані іони та протиіони.

Іоніти за типом іоногенних груп поділяються на нерозчинні кислоти – катіони і нерозчинні основи – аніоніти. Згідно зі ступенем іонізації, іоніти поділяються на: сильно- і слабокислотні катіоніти та сильно- і слабоосновні аніоніти. До сильнокислотних належать катіоніти, які містять сульфогрупи, до слабокислотних – катіоніти, що містять карбоксильні, сульфгідрильні та інші групи. До складу сильноосновних аніонітів входять групи амонієвих або сульфонієвих основ, а до слабоосновних – аміногрупи з різним ступенем заміщення. Іоніти одночасно можуть містити різні кислотні та різні основні групи.

Іонообмінну здатність іонітів характеризують статичною і динамічною обмінною ємністю іоніту (відповідно СОЄ і ДОЄ).

**Статична обмінна ємність** – це кількість функціональних іоногенних груп, що припадають на одиницю маси його об'єму іоніту. За динамічних умов, тобто при фільтруванні розчину, крізь шар іоніту до проскакування у фільтрат іонітів, які вилучаються, використовується лише частина статичної ємності іоніту – так звана динамічна обмінна ємність до проскакування (ДОЄ<sub>пр</sub>). Після проскакування іонів у розчин їх концентрація у фільтраті поступово підвищується і досягає вихідної концентрації. Ємність іоніту досягає певної динамічної ємності (ПДЕ). Оскільки динамічна ємність залежить від концентрації іонів у воді та швидкості

фільтрування води, коефіцієнта і довжини зони масообміну, вона не дорівнює статичній ємності.

За природою матриці іони поділяються на неорганічні (мінеральні), органічні, природні та штучні (синтетичні).

Природні мінеральні катіоніти – цеоліти, глини, глауконіти та ін.; аніоніти – апатити  $[\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3]\text{F}$ , гідроксоапати  $[\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3]\text{OH}$ . Обмінна ємність цих іонітів невелика.

Природними іонітами органічного походження є гумінові кислоти ґрунтів, вугілля (особливо бурого).

Найбільше значення мають синтетичні полімерні іоніти (іонообмінні смоли), яким властиві висока поглинальна здатність, механічна міцність і хімічна стійкість.

За дисперсністю й зовнішнім виглядом іоніти бувають порошкоподібні, зернисті, гранульовані, формовані, волокнисті, рідкі; за ступенем пористості – гелеві, ізопористі, макропористі; за типом і знаком протиіонів – катіоніти, аніоніти, амфоліти (обмінюються як катіони, так і аніони).

Іонообмінні процеси застосовують для пом'якшення, опріснення і знесолення води, очищення стічних вод та різних розчинів, вловлювання і концентрування цінних металів із розбавлених водних розчинів, розділення суміші речовин у розчині, вловлювання і концентрування радіоактивних іонів, корегування мінерального складу очищених стічних вод.

**Регенерація іонітів.** Процес регенерації іонообмінних смол є оберненим до процесу сорбції іонів з очищеної води і полягає у відновленні початкової іонної форми смоли. Регенерацію іонітів здійснюють хімічним (реагентним), термохімічним і електрохімічним способами. Найуніверсальнішим і найефективнішим є хімічний спосіб регенерації, для здійснення якого застосовують розчин мінеральних кислот, солей, лугів та органічні розчинники.

Регенерацію катіонітів проводять промиванням кислотою (якщо Н-катіон) або розчинником хлориду натрія (якщо Na-катіоніт).

Регенерація слабкоосновних аніонітів здійснюється фільтруванням крізь шар аніоніту 2–4 %-х водних розчинів NaOH,  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ,  $\text{NH}_4\text{OH}$ .

Іоніти маркують так: КУ – катіоніт універсальний, сильнокислотний; КБ – катіоніт буферний, слабокислотний; КФ – катіоніт фосфатний; АВ – аніоніт високоосновний; АН – аніоніт слабоосновний; АНКБ – аніоніт слабоосновний, катіоніт буферний; АНКФ – поліамфоліт, що містить слабоосновні та фосфатні групи.

Цифра, яка стоїть після літер і відокремлена рисою, означає вміст (у відсотках) агента, що змиває полімер. Для макропористих іонітів додають літеру П (або цифру 1). За літерою П стоїть цифра, відокремлена вертикальною рисою, це вміст пороутворювача (у відсотках або



частинах). Наприклад, марка КБ-2-1-П означає: катіоніт буферний макропористий із 10%-м вмістом зливного агента. Іноді марки іонітів маркують за основною сировиною: ЕДЕ (етилендіамін), ПАН (поліакрил натрія), ВП (вінілпіридин).

Регенераційні розчини можуть використовуватися як сировина для виробництва (наприклад, виробництво відбілювача).

**Технологія іонообмінної підготовки води.** Іонообмінне очищення води здійснюється в апаратах (фільтрах) періодичної або безперервної дії.

Апарат іонообмінної підготовки води – це закритий циліндричний резервуар з розміщеним біля днища щільним дренажним пристроєм, який сприяє рівномірному розподілу води по всьому перетину фільтра. Висота шару завантаження іоніту – 1,5–2,5 м. Фільтр може працювати за паралельно-течійною схемою (у разі подавання очищуваної води і регенерувального розчину зверху) і за протитечійною схемою (очищувана вода подається знизу, а регенераційний розчин – зверху) (рис. 8. 1).

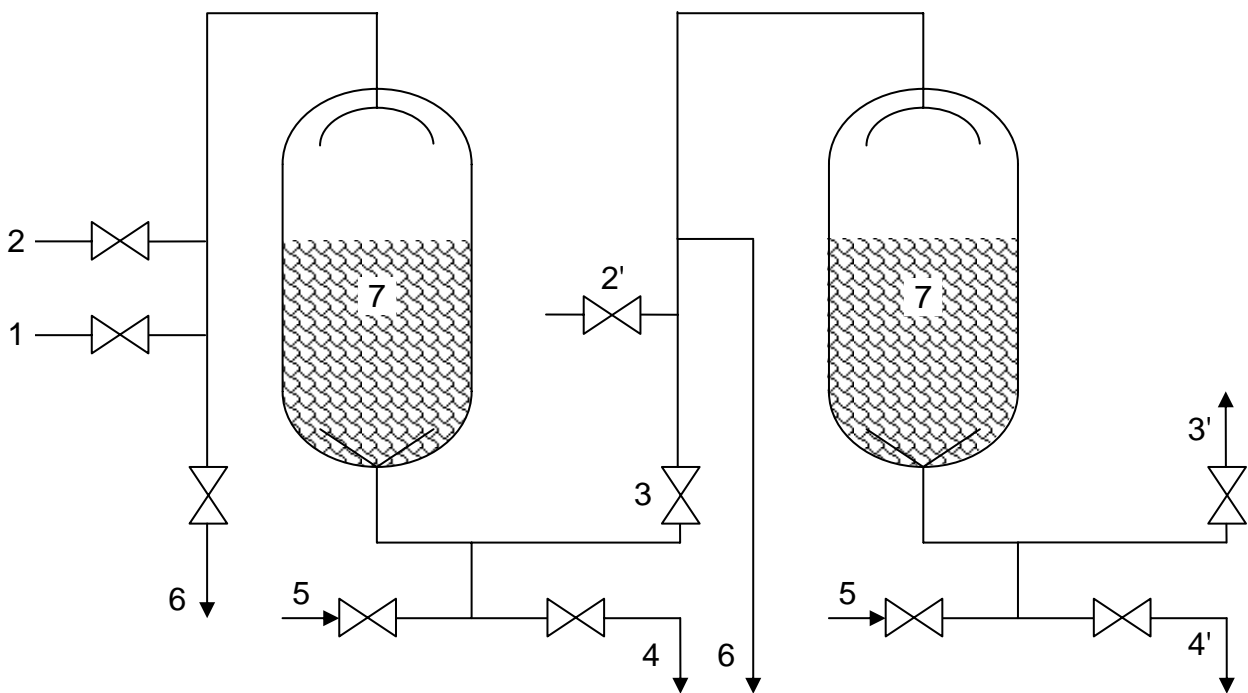


Рис. 8. 1. Принципова схема роботи іонітового фільтра:  
 1 – вихідна і промивна вода; 2, 2' – регенераційний розчин; 3, 3' – очищена вода; 4, 4' – відведення відпрацьованого розчину і промивної води;  
 5 – подавання води на розпушування; 6 – відведення води після розпушування

## 8. 2. Зворотний осмос

Спосіб зворотного осмосу полягає у фільтруванні розчинів під тиском крізь напівпроникні мембрани, які пропускають розчинник (воду) і повністю

або частково затримують молекули або іони розчинених речовин. Цей спосіб ґрунтується на явищі осмосу – спонтанного проникнення розчинника (води) крізь напівпроникну мембрану в розчин (рис. 8. 2).

На рис. 8. 2 зображено: а – тиск, за якого встановлюється рівновага; б – осмотичний тиск; в – тиск, що перевищує осмотичний, де розчинник переноситься у зворотному напрямку. Цей процес називають зворотним осмосом.

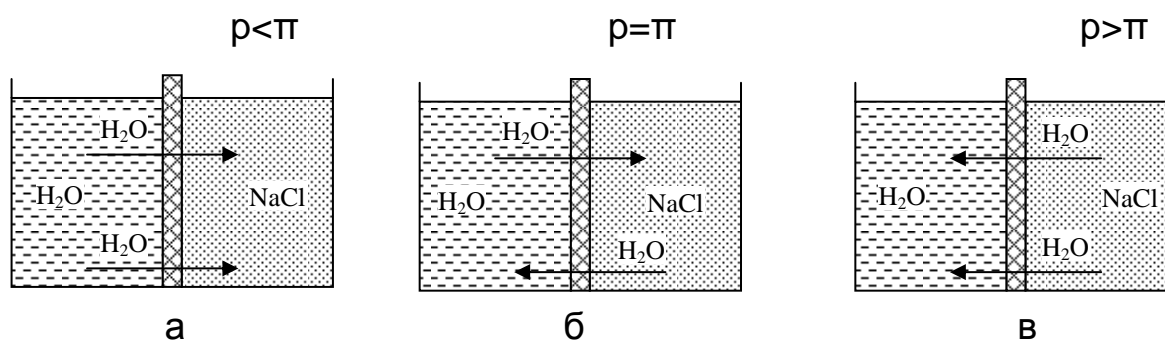


Рис. 8. 2. Схема виникнення зворотного осмосу

Рушійну силу процесу зворотного осмосу у разі ідеальної напівпроникної мембрани визначають за формулою

$$\Delta p = p - \pi_1,$$

де  $p$  – надлишковий (робочий) тиск над вихідним розчином;  $\pi_1$  – осмотичний тиск розчину.

Однак на практиці напівпроникні мембрани не мають ідеальної напівпроникності, і тому крізь мембрану проникає деяка кількість розчиненої речовини. В цьому випадку рушійна сила процесу:

$$\Delta p = p - (\pi_1 - \pi_2) = p \Delta \pi,$$

де  $\pi_2$  – осмотичний тиск фільтрату, який проник крізь мембрану.

Для розрахунку осмотичного тиску Вант-Гофф запропонував рівняння стану ідеального газу:

$$\pi = cRT,$$

де  $c$  – молярна частка розчиненої речовини;  $R$  – універсальна газова стала;  $T$  – абсолютна температура розчину, К.

Робочий тиск у зворотноосмотичному процесі значно перевищує осмотичний, оскільки потужність процесу визначається різницею тисків. Так, для опріснення морської води за вмісту солей 3,5% робочий тиск у зворотноосмотичному апараті становить 7–8 МПа. Потреба застосування високих робочих тисків, які можуть досягати 10–25 МПа для очищення та опріснення концентрованих розчинів, є значним обмеженням використання зворотного осмосу, незважаючи на низькі питомі витрати енергії.

Істотним недоліком зворотного осмосу є також явище концентраційної поляризації, яке полягає у значному збільшенні концентрації розчиненої речовини в тонкому промембранному шарі порівняно з її концентрацією в об'ємі розчину. Недоліком цього процесу є також потреба попереднього багатостадійного очищення розчинів від завислих, колоїдних частинок, мікроорганізмів, солей твердості та малорозчинних сполук.

Незважаючи на певні недоліки, спосіб зворотного осмосу широко застосовують для опріснення мінералізованих природних і стічних вод. Перевагою зворотного осмосу є те, що він відбувається без фазових перетворень і енергія здебільшого витрачається на створення підвищеного тиску над розчином та його продавлювання крізь мембрану. При цьому витрата енергії мінімальна і наближається до мінімальної термодинамічної роботи опріснення води. Важлива перевага зворотного осмосу та інших барометричних процесів – простота конструкції установок, які складаються з мембранних модулів, насосного обладнання та вузла попереднього очищення води.

Установки зворотного осмосу бувають періодичної і безперервної дії. В установках періодичної дії опріснювана вода циркулює у замкнутому контурі (із місткості вихідної води за допомогою насоса через мембранний апарат і знову в місткість вихідної води) до досягнення заданої концентрації солей у воді. В установках безперервної дії опріснювана вода проходить крізь мембранний апарат один раз і виходить з установки з певною концентрацією розчиненої речовини. Іноді застосовують комбіновані установки, так звані приливно-циркуляційні, в яких одна частина опрісненої води з відповідним вмістом солей подається споживачеві, а інша – повертається у вихідний розчин.

Застосовують одно- і багатоступінчаті розділення з послідовним, паралельним та паралельно-послідовним сполученням мембранних елементів. Для очищення висококонцентрованих розчинів використовують багатоступінчаті очищення, а для очищення та опріснення способом зворотного осмосу – рулонні та порожнинно-волокнисті елементи, інколи – плоскокамерні та трубчаті.

## **8. 2. 1. Ультрафільтрування**

Процес ультрафільтрування відбувається під дією різниці тиску 0,05–0,5 МПа з обох боків мембрани. Ультрафільтрування застосовують для розділення систем, в яких молекулярна маса розчинених компонентів набагато більша за молекулярну масу розчинника (води). На практиці цей процес використовують тоді, коли один із компонентів розчину має молекулярну масу понад 500 D (D – коефіцієнт дифузії).

Під час ультрафільтрування застосовують дрібно-, середньо- і великопористі мембрани. Проникність і затримування речовин залежать від структури та складу ультрафільтрувальних мембран. Ці характеристики є важливими для їх практичного використання, але недостатніми. Тому потрібно враховувати ще й механічну, хімічну і гідротермічну стійкість та інші фактори.

З метою оптимізації більшості характеристик мембран створюють композиційні дво- і багат шарові мембрани. Кожний із шарів виконє певну функцію. Високу механічну, термічну, хімічну і біологічну стійкість мають плоскі або трубчаті неорганічні (керамічні) мембрани. Їх можна регенерувати термічним, хімічним або фізико-хімічним способами. Ці мембрани характеризуються нижчою продуктивністю та високою вартістю.

### **8. 2. 2. Нанофільтрування**

Нанофільтрування – процес розділення речовин за робочих тисків 1–2 МПа з молекулярною масою 300–500 D. В процесі нанофільтрування можуть частково до (40–60%) затримуватися низькомолекулярні електроліти. Солі з двозарядними іонами затримуються на 80–98% і практично повністю (до 98–99,9%) органічні сполуки (спирти, цукри, пестициди, барвники та ін.). Дослідження довели, що цей процес за механізмом є зворотноосмотичним. Мембрани мають пори діаметром 1–3 нм.

Нанофільтрування застосовують для очищення природних і стічних вод. Цей процес можна використовувати замість коагуляції та фільтрування для зм'якшення води, зменшення кольоровості, а також для підготовки питної води з поверхневих водойм без традиційного фізико-хімічного оброблення.

### **8. 2. 3. Мікрофільтрування**

Мікрофільтрування – процес, який застосовують для відокремлення з води завислих та колоїдних часточок розмірами 0,1–10 мкм. Рухлива сила процесу – різниця тисків 0,01–0,05 МПа з обох боків мембрани.

Для мікрофільтрування застосовують мембрани з розмірами пор 0,05–10 мкм. Їх виготовляють у вигляді полімерних плівок, трубок або порожнинних волокон із розчинів гідрофільних і гідрофобних полімерів. Зараз користуються керамічними мікрофільтрами у вигляді пластин і трубок. Одержують їх стіканням дисперсних порошоків оксидів алюмінію, титану, цирконію. Неорганічні мікрофільтри виготовляють способом золь-гель-технології з нанесенням утворених золів на пористу керамічну підкладку з подальшою термообробкою за температури 400–800 °С.

## 8. 2. 4. Мембрани

Мембрана (від грецького «перегородка») – пристрій у вигляді тонкої розділювальної перегородки, яка здатна пропускати одні компоненти розчинів (чи сумішей) і затримувати інші. Вони належать до основних елементів конструкції установок, які визначають ефективність і надійність їхніх експлуатаційних можливостей та відповідати таким вимогам:

- висока роздільна здатність (селективність);
- висока питома продуктивність (проникність);
- хімічна стійкість проти дії середовища розділювальної системи;
- сталість характеристик у процесі експлуатації;
- достатня механічна міцність, що задовольняє вимоги монтажу, транспортування, зберігання мембран;
- низька вартість.

Коефіцієнт селективності (затримування) розчиненої речовини визначається так:

$$R_c = 1 - C_{\phi} / C_o,$$

$$\text{або } R_c = (1 - C_{\phi} / C_o) \cdot 100\%,$$

а продуктивність (об'ємний потік) крізь мембрану:

$$\gamma_0 = \Delta q / S \Delta t,$$

де  $C_{\phi}$  і  $C_o$  – відповідно концентрації розчиненої речовини в початковому розчині та у фільтрі;  $\Delta q$  – об'єм фільтрату, що пройшов крізь мембрану площею  $S$  за проміжок часу  $\Delta t$ .

Селективність та продуктивність не є константами напівпроникних мембран і залежать від технологічних параметрів процесу (температури, тиску, концентрації забруднюючих речовин, гідродинамічних умов та ін.). Для характеристики їхніх функціональних властивостей використовують такі показники, як коефіцієнт фільтрування ( $I_{\phi}$ ) та коефіцієнт відбиття мембрани ( $\sigma$ ):

$$I_{\phi} = \gamma_0 / \Delta p = \Delta q / S \Delta t \cdot \Delta p;$$

$$\sigma = (\Delta p / \Delta \Pi)_{\gamma \rightarrow 0},$$

де  $\Delta \Pi$  – різниця осмотичних токів розчину з обох боків мембрани.

Коефіцієнт  $\sigma$  дорівнює нулю для повністю проникної (для певної розчиненої речовини) мембрани та одиниці – для ідеально напівпроникної мембрани. Цей коефіцієнт характеризує властивість мембрани без урахування умов здійснення процесу.

За природою матеріалу, з якого виготовляють мембрани, їх поділяють на полімерні та неорганічні. Полімерні мембрани залежно від хімічного складу полімеру бувають: ацетатцелюлозні, целюлозні, поліамідні, полісульфонові, полісульфоамідні, полівінілхлоридні, а неорганічні мембрани – металеві, керамічні, скляні, графітові та ін.

За пористою структурою мембрани поділяють на пористі та непористі (дифузійні). Непористі полімерні мембрани є квазігомогенними гелями, крізь які розчинник і розчинені речовини проникають під дією градієнта концентрацій (молекулярна дифузія). Пористі мембрани бувають ізотропними та анізотропними. Ізотропні мембрани мають однаковий діаметр пор у всьому об'ємі, тоді як у анізотропних мембран діаметр пор поступово зменшується у поперечному перерізі. Асиметричні анізотропні мембрани характеризуються також збільшенням діаметра пор робочої та підстелювальної поверхні. У цьому випадку вирізняють шари мембрани з приблизно однаковим діаметром пор.

За геометричною формою мембрани виготовляють у вигляді пластин, плівок, трубок і порожнистих волокон. Плівки і пластини мають товщу 100–150 мкм, пластини – 2–3 мм, трубки – внутрішній діаметр 5–25 мм, порожністі волокна – внутрішній діаметр 20–100 мкм і товщину стінки 10–50 мкм.

Мембрани за функціональними ознаками бувають діалізні, електродіалізні (іоннообмінні), зворотноосмотичні, ультра-, мікро-, нано-, мікрофільтрувальні.

За способом отримання і станом мембрани бувають сухі, мокрі (набряклі в розчиннику), динамічні, мембрани з жорсткою структурою, які виготовляють способом осадження, стікання, просочування, напилення тощо.

Відомо три основних способи виготовлення напівпроникних мембран: сухий (спонтанний), мокрий (коагуляційний), термічний. Найпоширенішим способом виготовлення полімерних мембран є коагуляційний. Його застосовують для виготовлення практично всіх типів мембран, за винятком іоннообмінних.

## 9. ЗАВДАННЯ ДЛЯ ВИКОНАННЯ РОЗРАХУНКОВОЇ РОБОТИ

### *Порядок виконання роботи*

1. Визначення добових, погодинних і розрахункових витрат води
  1. 1. Визначення середньодобових витрат води
  1. 2. Визначення максимальних добових витрат води
  1. 3. Визначення розрахункових погодинних витрат води
2. Побудова графіка водоспоживання по годинах доби для населеного пункту
3. Визначення режиму роботи насосних станцій
4. Визначення об'єму резервуарів чистої води іβ обсягу баку водонапірної башти
  - 4.1. Визначення об'єму резервуарів чистої води
  - 4.2. Визначення числа й розмірів резервуарів чистої води
  - 4.3. Визначення об'єму баку водонапірної башти
  - 4.4. Визначення розмірів баку водонапірної башти
5. Трасування магістральної водогінної мережі.  
Визначення місця розташування водопровідних споруд
6. Розрахунок водогонів
7. Гідравлічний розрахунок магістральної водогінної мережі
  - 7.1. Підготовка до гідравлічного розрахунку
  7. 2. Гідравлічний розрахунок
8. Побудова ліній п'єзометричних висот

### ***Потрібно:***

- 1) визначити добові, погодинні й розрахункові витрати води;
- 2) побудувати графіки водоспоживання по годинах доби для населеного пункту;
- 3) визначити режим роботи насосних станцій;
- 4) визначити місткість резервуарів чистої води та об'єм баку водонапірної башти;
- 5) позначити в плані водогінну мережу, місце розташування насосних станцій, очисних споруд і водонапірної башти;
- 6) зробити розрахунок водогонів;
- 7) виконати гідравлічний розрахунок водогінної мережі;
- 8) побудувати лінії п'єзометричних висот, визначити висоту водонапірної башти;
- 9) оформити виконану розрахунково-графічну роботу у вигляді пояснювальної записки.

Вихідні дані	ВАРІАНТИ ЗАВДАНЬ														
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1. Кількість жителів у населеному пункті	9000	9500	9300	9700	9800	10000	10100	10200	10500	10700	11000	11500	12000	12200	12500
2. Ступінь санітарно-технічного благоустрою споруд: внутрішній водопровід і каналізація з централізованим гарячим водопостачанням	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
3. Поверховість будівель (поверхи)	5	4	5	4	5	4	5	4	5	4	3	5	4	5	4
4. Джерело водопостачання: - артезіанська свердловина, - річковий водозабір	+		+		+		+		+		+		+		+
5. Суспільно-побутові приміщення: - школа, - дитячий садок, - гуртожиток, - готель, - басейн, - технікум, - ПТУ, - інститут	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
6. Промислове підприємство: - норма витрат води на одиницю продукції, - кількість випущеної продукції по змінах: 1-ша зміна, 2-га зміна, 3-тя зміна	105 600 600 500	110 500 500 400	106 600 600 500	107 500 600 400	108 600 500 500	120 500 500 400	115 600 600 500	110 500 500 400	115 600 600 500	100 500 500 400	115 600 600 500	120 500 600 400	100 600 600 500	115 500 500 400	120 600 600 500
7. Кількість робітників на підприємстві:															
- 1-ша зміна,  із них у гарячих цехах; - 2-га зміна,  із них у гарячих цехах;	1100 400 1100	1200 300 1200	1000 300 1000	1300 400 1300	1200 350 1200	1000 320 1000	1200 400 1200	1100 350 1100	1000 300 1000	1100 300 1100	1300 400 1300	1200 400 1200	1100 300 1100	1000 300 1000	1100 300 1100



Вихідні дані	ВАРІАНТИ ЗАВДАНЬ														
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
- 3-тя зміна,  із них у гарячих цехах; - відсоток робітників, які користуються душем	1000 400 25	1200 300 27	900 300 30	1000 400 31	1000 350 32	900 320 35	1000 400 37	1000 350 40	900 300 28	1000 300 36	1200 400 38	1000 400 39	1000 300 26	900 300 28	1000 300 30
8. Допустиме зниження подачі води на промислове підприємство при аварії, %	25	30	25	30	25	30	25	30	25	30	25	30	25	30	25
9. Географічне положення населеного пункту	Харківська обл.	Чугуїв	Харківська обл.	Харківська обл.	Чугуїв	Черкаська обл.	Харківська обл.	Харківська обл.	Харківська обл.	Харківська обл.	Харківська обл.	Чугуїв	Черкаська обл.	Черкаська обл.	Черкаська обл.

### **Приклад виконання розрахунково–графічної роботи**

Усі розрахунки, що наведено нижче, виконані з використанням таких вихідних даних:

1. Розрахункове число жителів у населеному пункті, чол. – 10000.
2. Ступінь санітарно-технічного благоустрою будинків: внутрішній водопровід і каналізація із централізованим гарячим водопостачанням.
3. Поверховість будинків – 5 поверхів.
4. Джерело водопостачання – артезіанська свердловина.
5. Суспільно-побутові будинки:
  - а) готель на 300 чол.;
  - б) дитячий садок на 100 чол.;
  - в) гуртожиток на 200 чол.
6. Промислове підприємство:
  6. 1. Норма споживання води на одиницю виробленої продукції – 100 л.
  6. 2. Кількість виробленої продукції по змінах, в одиницях:
    - а) 1-ша зміна – 500;
    - б) 2-га зміна – 500;
    - в) 3-тя зміна – 400.
  6. 3. Кількість робітників і службовців на промисловому підприємстві, чол.:

- а) 1-ша зміна 1000, з них у гарячих цехах – 300;
- б) 2-га зміна 1000, з них у гарячих цехах – 300;
- в) 3-тя зміна 900, з них у гарячих цехах – 300;
- г) кількість робітників, що користуються душем, – 30 %.

6. 4. Припустиме зниження подачі води на промислове підприємство при аварії на одному з водогонів – 30 %.

7. Географічне положення населеного пункту – Ростовська обл.

## **9. 1. Визначення добових, погодинних і розрахункових витрат води**

Розрахункові витрати води визначаємо для режиму максимального водоспоживання. Вибрані нормативні й отримані розрахункові значення будемо вносити у відповідні таблиці.

### **9. 1. 1. Визначення середньодобових витрат води**

Середньодобові витрати води на господарсько-питні та комунальні потреби населеного пункту визначимо за формулою

$$Q_{\text{доб.сер}} = q_n \times N \times 10^{-3}, \quad (9. 1)$$

де  $q_n$  – середньодобове питоме господарсько-питне водоспоживання на одного жителя, л/доб (додаток 1);  $N$  – число жителів у населеному пункті на розрахунковий період.

Для споруд (див. завдання), обладнаних внутрішнім водопроводом і каналізацією і які мають централізовану систему гарячого водопостачання (див. додаток 1), норма споживання води на господарсько-питні й комунальні потреби населеного пункту становить 230–350 л/доб на одного жителя. Приймаємо для Харківської області 300 л/доб на жителя (на півдні водоспоживання більше, ніж на півночі). Згідно з додатком 1 (примітка 4) до 40% води подається по мережах тепlopостачання. Тоді норма витрат холодної води становить 60% від 300 л/доб, тобто 180 л/доб на людину.

За завданням число жителів становить 10000 чоловік.

Середньодобову витрату води на суспільні будинки визначають за формулою (9. 1):

$$Q_{\text{доб.порівн}}^{\text{к.с}} = q_n \times N \times 10^{-3} = 180 \times 1000 \times 10^{-3} = 1800 \text{ м}^3/\text{доб},$$

де  $q_n$  – норма витрати холодної води, л/доб, на одного відвідувача (мешканця, учня), (додаток 2);  $N$  – розрахункове за добу число відвідувачів (мешканців, учнів).

У нашому випадку обмежимося трьома суспільними будинками (див. завдання), хоча в реальних умовах їхня кількість досягає десятків і сотень одиниць.

Середньодобова витрата води на готель:

$$Q_{\text{доб.порівн}}^{\text{гот}} = q_n \times N \times 10^{-3} = 90 \times 300 \times 10^{-3} = 27 \text{ м}^3/\text{доб}.$$

Середньодобова витрата води на дитячий садок:

$$Q_{\text{дит.сад}}^{\text{доб.порівн}} = q_n \times N \times 10^{-3} = 70 \times 100 \times 10^{-3} = 7 \text{ м}^3/\text{доб.}$$

Середньодобова витрата води на гуртожиток:

$$Q_{\text{гур}}^{\text{доб.порівн}} = q_n \times N \times 10^{-3} = 70 \times 200 \times 10^{-3} = 14 \text{ м}^3/\text{доб.}$$

Середньодобову витрату води житлового сектора розраховуємо, як різницю між витратою на господарсько-питні потреби населеного пункту й на суспільні будинки:

$$Q_{\text{жит.с}}^{\text{доб.порівн}} = Q_{\text{к.с}}^{\text{доб.порівн}} - \sum Q_{\text{сус.буд}}^{\text{доб.порівн}} = 1800 - (27 + 7 + 14) = 1752 \text{ м}^3/\text{доб.}$$

Середньодобову витрату води на господарсько-питні потреби промислового підприємства в цехах знаходимо, як суму витрат води, споживаних у кожну зміну, за формулою (9. 1):

$$Q_{\text{див}} = q_n \times N_{\text{см}} \times 10^{-3},$$

де  $q_n$  – норми витрати холодної води, л/ доб, на одного працюючого в цехах (додаток 3);  $N_{\text{см}}$  – число людей, що працюють на підприємстві в кожну зміну в цехах (див. завдання).

Гарячі цехи:

$$\text{1-ша зміна} \quad Q_{1 \text{ див}}^{\text{х.п}} = 21 \times 300 \times 10^{-3} = 6,3 \text{ м}^3/\text{доб};$$

$$\text{2-га зміна} \quad Q_{2 \text{ див}}^{\text{х.п}} = 21 \times 300 \times 10^{-3} = 6,3 \text{ м}^3/\text{доб};$$

$$\text{3-тя зміна} \quad Q_{3 \text{ див}}^{\text{х.п}} = 21 \times 300 \times 10^{-3} = 6,3 \text{ м}^3/\text{доб};$$

$$Q_{\text{гор.ц}}^{\text{доб.ср}} = \sum Q_{\text{див}}^{\text{х.п}} = 6,3 + 6,3 + 6,3 = 18,9 \text{ м}^3/\text{доб.}$$

Інші цехи:

$$\text{1-ша зміна} \quad Q_{1 \text{ див}}^{\text{х.п}} = 14 \times 700 \times 10^{-3} = 9,8 \text{ м}^3/\text{доб};$$

$$\text{2-га зміна} \quad Q_{2 \text{ див}}^{\text{х.п}} = 14 \times 700 \times 10^{-3} = 9,8 \text{ м}^3/\text{доб};$$

$$\text{3-тя зміна} \quad Q_{3 \text{ див}}^{\text{х.п}} = 14 \times 600 \times 10^{-3} = 8,4 \text{ м}^3/\text{доб};$$

$$Q_{\text{ост.ц}}^{\text{доб.ср}} = \sum Q_{\text{див}}^{\text{х.п}} = 9,8 + 9,8 + 8,4 = 28 \text{ м}^3/\text{доб.}$$

Середньодобову витрату води на виробничі (технологічні) потреби промислового підприємства також визначаємо, як суму витрат води, споживаних у кожну зміну й обумовлених за формулою (9. 1), де  $q_n$  – норма витрати води, л, на одиницю продукції, що випускається (див. завдання);  $N_{\text{см}}$  - кількість продукції, що випускається підприємством, по змінах (див. завдання);

$$\text{1-ша зміна} \quad Q_{1 \text{ див}}^{\text{техн.}} = 100 \times 500 \times 10^{-3} = 50 \text{ м}^3/\text{доб};$$

$$\text{2-га зміна} \quad Q_{2 \text{ див}}^{\text{техн.}} = 100 \times 500 \times 10^{-3} = 50 \text{ м}^3/\text{доб};$$

$$\text{3-тя зміна} \quad Q_{3 \text{ див}}^{\text{техн.}} = 100 \times 400 \times 10^{-3} = 40 \text{ м}^3/\text{доб};$$

$$Q_{\text{техн.}}^{\text{доб.порівн}} = \sum Q_{\text{див}}^{\text{техн.}} = 50 + 50 + 40 = 140 \text{ м}^3/\text{доб.}$$

Середньодобову витрату води на користування душем визначаємо, враховуючи кількість робітників, що користуються душем у максимальну зміну, й виробничого процесу. Розрахункове число людей на одну душову сітку визначають згідно із санітарними характеристиками виробничого

процесу (додаток 4). У нашому випадку в максимальну зміну працює 1000 чоловік, з них 30% користується душем. Приймаємо на одну душову сітку 7 чоловік (див. додаток 4). Тоді потрібна кількість душових сіток:

$$n_{\text{душ}} = N_{\text{макс}} / N_{\text{н}} = 300 / 7 = 43, \quad (9.2)$$

де  $N_{\text{макс}}$  – кількість робітників, що користуються душем у максимальну зміну;  $N_{\text{н}}$  – розрахункове число людей на одну душову сітку.

Середньодобова витрата води на душ:

$$Q_{\text{душ. доб порівн}} = 0,75 \times q_{\text{н}} \times n_{\text{душ}} \times n_{\text{зм}} \times 10^{-3}, \quad (9.3)$$

де  $q_{\text{н}}$  – норма витрати холодної води на одну душову сітку – 230 л/год;  $n_{\text{зм}}$  – кількість змін роботи у добу; 0,75 – коефіцієнт, що враховує час користування душем (45 хвилин після закінчення зміни).

$$Q_{\text{душ доб порівн}} = 0,75 \times q_{\text{н}} \times n_{\text{душ}} \times n_{\text{зм}} \times 10^{-3} = 0,75 \times 230 \times 43 \times 3 \times 10^{-3} = 22,2 \text{ м}^3 / \text{доб.}$$

### 9. 1. 2. Визначення максимальних і мінімальних добових витрат води

Розрахункові витрати води на добу найбільшого водоспоживання на господарсько-питні й комунальні потреби слід визначати за формулою

$$Q_{\text{доб.макс}} = K_{\text{доб.макс}} \times Q_{\text{доб.ср}}, \quad (9.4)$$

де  $K_{\text{доб}}$  – коефіцієнт добової нерівномірності водоспоживання, що враховує уклад життя населення, режим роботи підприємств, ступінь благоустрою будинків, зміни водоспоживання по сезонах року й днях тижня. Згідно з СНІП 2.04. 01–85,  $K_{\text{доб.макс}} = 1,1 \dots 1,3$ .

Приймаємо  $K_{\text{доб.макс}} = 1,1$ , оскільки заданий ступінь благоустрою споруд є найвищим, а чим вище ступінь благоустрою, тим рівномірніше споживання води протягом доби.

Для всіх інших категорій водоспоживачів максимальне й мінімальне добове споживання води можна прийняти таким, що дорівнює середньому.

Результати розрахунку зводимо в табл. 9. 1.

### 9. 1. 3. Визначення розрахункових погодинних витрат

Розподіл витрат води по годинах доби в населеному пункті, на промисловому підприємстві, а також у суспільних спорудах приймаємо на підставі розрахункових графіків водоспоживання. При цьому подбаємо про те, щоб уникнути збігу за часом максимальних відборів води з мережі на різні потреби. Наприклад, об'єм води, що необхідний для користування душем на промисловому підприємстві, будемо запасати у спеціальних баках, що акумулюють. Розрахункові графіки водоспоживання приймемо на підставі досвіду експлуатації аналогічних об'єктів (населених пунктів, промислових підприємств, суспільних споруд). Так, наприклад,

розрахункові графіки погодинного водоспоживання на господарсько-питні потреби населення (житловий сектор) виберемо за величиною максимального коефіцієнта погодинної нерівномірності водоспоживання.

Таблиця 9. 1

Визначення розрахункових добових витрат води

Найменування водоспоживачів	Вимірник	Норма споживання	Кількість споживачів	Q <sub>доб.ср</sub>	Q <sub>доб. макс</sub>
				м <sup>3</sup> /доб	
А. Житловий та комунальний сектори	Один житель	180	10000	1800	1980
Готель	Один житель	90	300	27	29,7
Дитячий садок	Одна дитина	70	100	7	7,7
Гуртожиток	Один житель	70	200	14	15,4
Житловий сектор				1752	1927,2
Б. Промисловий сектор				209,1	209,1
Господарчо-питні потреби					
Гарячі цехи:	Один працюючий				
1-ша зміна,		21	300	6,3	6,3
2-га зміна,		21	300	6,3	6,3
3-тя зміна		21	300	6,3	6,3
Інші цехи:					
1-ша зміна,		14	700	9,8	9,8
2-га зміна,	14	700	9,8	9,8	
3-тя зміна	14	600	8,4	8,4	
Технологічні потреби					
1-ша зміна,	Одиниця продукції	100	500	50	50
2-га зміна,		100	500	50	50
3-тя зміна		100	400	40	40
Витрата води на душ	Одна душева сітка	230	43	22,2	22,2
Усього по населеному пункту	А + Б			2009,1	2189,1

Максимальний коефіцієнт погодинної нерівномірності водоспоживання:

$$K_{\text{год.макс}} = \alpha_{\text{макс}} \times \beta_{\text{макс}}, \quad (9.5)$$

де  $\alpha_{\text{макс}}$  – коефіцієнт, що враховує ступінь благоустрою споруд, режим роботи підприємств та інші місцеві умови. Згідно з [1]  $\alpha_{\text{макс}} = 1,2 \dots 1,4$ . Для заданого ступеню благоустрою споруд (централізоване гаряче водопостачання) приймаємо  $\alpha_{\text{макс}} = 1,2$ .  $\beta_{\text{макс}}$  – коефіцієнт, що враховує кількість жителів у населеному пункті (додаток 5). У нашому випадку, для населеного пункту із числом жителів 10 тисяч чоловік коефіцієнт  $\beta_{\text{макс}} = 1,3$ .

$$K_{\text{год.макс}} = \alpha_{\text{макс}} \times \beta_{\text{макс}} = 1,2 \times 1,3 = 1,56.$$

Для інших водоспоживачів, відповідно до норм, величину  $K_{\text{год.макс}}$  вважають постійною і не розраховують.

Режими водоспоживання для різних категорій водоспоживачів наведено у додатках 6 – 8. В них показано розподіл води по годинах доби від максимальної добової витрати у відсотках. Тоді погодинна витрата води за добу:

$$Q_{\text{год}} = Q_{\text{доб.макс}} \times p / 100, \quad (9.6)$$

де  $p$  - відсоток добового споживання для конкретної години доби.

Режим споживання води на технологічні потреби підприємства вважаємо рівномірним протягом зміни. Візьмемо до уваги, що перша зміна починається о 8-й годині ранку.

Запас води на душ створюється за рахунок накопичення води в баку-акумуляторі. Час заповнення баку-акумулятора приймаємо таким, що дорівнює 4 годинам протягом кожної зміни (додаток 9). Тоді погодинна витрата води на поповнення запасу води на душ:

$$Q_{\text{душ год}} = Q_{\text{душ доб макс}} / (n_{\text{см.}} \times t) = 22,2 / (3 \times 4) = 1,85 \text{ м}^3/\text{год}. \quad (9.7)$$

Заповнення баків-акумуляторів будемо проводити в години, що не збігаються за часом з максимальними відборами води з мережі.

Усі результати розрахунків зводимо в табл. 9. 2. У графі 19 надано обчислені об'єми води, що витрачаються населеним пунктом, за наростаючим підсумком. Ці дані нам будуть потрібні при визначенні регульовального об'єму баку водонапірної башти.

Підсумовуючи по горизонталі витрати всіх водоспоживачів, одержимо розподіл максимальної добової витрати населеного пункту по годинах доби. Виділимо рядок, у якому погодинна витрата води населеним пунктом максимальна. Година, якій відповідає цей рядок (з 21-ї до 22-ї години), буде розрахунковою, а всі витрати, що входять до цього рядка, називаються розрахунковими. З урахуванням цих витрат роблять гідравлічний розрахунок магістральної водогінної мережі населеного пункту. Однак максимальні погодинні витрати окремих споживачів можуть бути більше розрахункових. Тому для окремих споживачів, крім розрахункових витрат води, варто визначати максимальні витрати, за якими підбирають діаметри труб відгалужень, що подають воду з магістральної мережі безпосередньо до споживача.

Таблиця 9. 2

## Визначення розрахункових годинних витрат у добу максимального водоспоживання

Години доби	Житловий сектор		Готель		Дитячий садок		Гуртожиток		Промислове підприємство						Витрата на душ	Витрати на точ.	W
	%	м <sup>3</sup> /год	%	м <sup>3</sup> /год	%	м <sup>3</sup> /год	%	м <sup>3</sup> /год	Гарячі цехи		Госп.-питні потреби		Технічні потреби				
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
0-1	2,44	47,02	0,2	0,06	-	-	0,15	0,02	12,05	0,76	6,25	0,61	6,25	54,72	-	54,72	54,72
1-2	1,36	26,21	0,2	0,06	-	-	0,15	0,02	12,05	0,76	12,50	1,22	6,25	34,52	1,85	36,37	91,09
2-3	1,26	24,28	0,2	0,06	-	-	0,15	0,03	12,05	0,76	12,50	1,23	6,25	32,61	1,85	34,46	125,55
3-4	1,36	26,21	0,2	0,06	-	-	0,15	0,02	12,05	0,76	18,75	1,84	6,25	35,14	1,85	36,99	162,54

Продовження табл. 9. 2

Годи-ни доби	Житловий сектор		Готель		Дитячий садок		Гуртожиток		Промислове підприємство						Qоста-точ.	W			
	%	м <sup>3</sup> /год	%	м <sup>3</sup> /год	%	м <sup>3</sup> /год	%	м <sup>3</sup> /год	Гарячі цехи		Госп.-питні потреби		Технічні потреби				Qпо-пер.	Вит-рата на душ	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	%	м <sup>3</sup> /год	%	м <sup>3</sup> /год	Гарячі цехи	Інші цехи	Технічні потреби	15			16
4-5	1,61	31,03	0,5	0,15	-	0,15	0,15	0,02	12,05	0,76	6,25	0,61	6,25	6,25	38,82	1,85	40,67	203,21	
5-9	2,75	53,00	0,5	0,15	-	0,15	0,25	0,04	12,05	0,76	12,50	1,22	6,25	6,25	61,42	-	61,42	264,63	
6-7	4,13	79,59	3,0	0,89	5,0	0,39	0,30	0,05	12,05	0,76	12,50	1,23	6,25	6,25	89,16	-	89,16	353,79	
7-8	5,33	102,72	5,0	1,49	3,0	0,23	30,00	4,62	15,65	0,98	18,75	1,84	6,25	6,25	118,13	-	118,13	471,92	



Продовження табл. 9. 2

Годи- ни добі	Житловий сектор	Готель		Дитячий садок		Гуртожиток		Промислове підприємство						Вит- рата на душ	Qоста- точ.	W	
		%	м <sup>3</sup> /год	%	м <sup>3</sup> /год	%	м <sup>3</sup> /год	%	м <sup>3</sup> /год	Гарячі цехи		Госп.-питні потреби					Технічні пот- реби
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
8-9	6,42	123,73	8,0	2,38	15,0	1,16	6,80	1,05	12,05	0,76	6,25	0,61	6,25	135,94	-	135,94	607,86
9-10	6,24	120,26	10,0	2,97	5,5	0,42	4,60	0,71	12,05	0,76	12,50	1,22	6,25	132,59	-	132,59	740,45
10-11	5,52	106,38	6,0	1,78	3,4	0,26	3,60	0,55	12,05	0,76	12,50	1,23	6,25	117,21	-	117,21	857,66
11-12	4,92	94,82	10,0	2,97	7,4	0,57	2,00	0,31	12,05	0,76	18,75	1,84	6,25	107,52	-	107,52	965,18

Продовження табл. 9. 2

Годи-ни доби	Житловий сектор		Готель		Дитячий садок		Гуртожиток		Промислове підприємство						Вит-рата на душ	Qоста-точ.	W
	%	м³/год	%	м³/год	%	м³/год	%	м³/год	Гарячі цехи		Госп.-питні потреби		Технічні потреби				
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
12-13	3,82	73,62	10,0	2,97	21,0	1,62	3,00	0,46	12,05	0,76	6,25	0,61	6,25	86,29	1,85	88,14	1053,32
13-14	3,58	68,99	6,0	1,78	2,8	0,22	3,00	0,46	12,05	0,76	12,50	1,22	6,25	79,68	1,85	81,53	1134,85
14-15	3,32	63,98	5,0	1,49	2,4	0,18	3,00	0,46	12,05	0,76	12,50	1,23	6,25	74,35	1,85	76,20	1211,05
15-16	4,06	78,24	8,5	2,52	4,5	0,35	3,00	0,47	15,65	0,98	18,75	1,84	6,25	90,65	1,85	92,50	1303,55

Продовження табл. 9. 2

Годи-ни доби	Житловий сектор		Готель		Дитячий садок		Гуртожиток		Промислове підприємство						Qста-точ.	W		
	%	м³/год	%	м³/год	%	м³/год	%	м³/год	Гарячі цехи		Госп.-питні потреби		Технічні пот-реби	Qпо-пер.			Вит-рата на душ	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	%	м³/год	%	м³/год	м³/год	14	15	16	17	18
16-17	4,51	86,92	5,5	1,63	4,0	0,31	4,00	0,62	12,05	0,76	6,25	0,52	5,00	95,76	1,85	97,61	1401,16	
17-18	4,29	82,68	5,0	1,48	16,0	1,23	3,60	0,55	12,05	0,76	12,50	1,05	5,00	92,75	1,85	94,60	1495,76	
18-19	5,72	110,24	5,0	1,49	3,0	0,23	3,30	0,51	12,05	0,76	12,50	1,05	5,00	119,28	1,85	121,13	1616,89	
19-20	5,70	109,85	5,0	1,48	2,0	0,15	5,00	0,77	12,05	0,76	18,75	1,57	5,00	119,58	-	119,58	1736,47	

Продовження табл. 9.2

Годи-ни доби	Житловий сектор		Готель		Дитячий садок		Гуртожиток		Промислове підприємство						Qста-точ.	W				
	%	м <sup>3</sup> /год	%	м <sup>3</sup> /год	%	м <sup>3</sup> /год	%	м <sup>3</sup> /год	Гарячі цехи		Госп.-питні потреби		Технічні пот-реби	Qпо-пер.			Вит-рата на душ			
1	2	3	4	5	6	7	8	9	%	м <sup>3</sup> /год	%	м <sup>3</sup> /год	Інші цехи	12	13	14	15	16	17	18
20-21	6,07	116,98	2,0	0,59	2,0	0,15	2,60	0,40	12,05	0,76	6,25	0,53	5,00	124,41	-	124,41	121,27	121,27	124,41	1860,88
21-22	6,67	128,54	0,7	0,21	3,0	0,23	18,60	2,86	12,05	0,76	12,50	1,05	5,00	138,65	-	138,65	138,65	138,65	138,65	1999,53
22-23	5,88	113,32	3,0	0,89	-	-	1,60	0,25	12,05	0,76	12,50	1,05	5,00	121,27	-	121,27	121,27	121,27	121,27	2120,80



Отримані розрахункові й максимальні витрати зведемо в табл. 9. 3.

Таблиця 9. 3

Розрахункові й максимальні витрати води на добу максимального водоспоживання

Найменування споживачів	Розрахункові витрати води		Максимальні витрати води	
	м <sup>3</sup> /год	л/с	м <sup>3</sup> /год	л/с
Житловий сектор	128,54	35,71	128,54	35,71
Готель	0,21	0,06	2,97	0,82
Дитячий садок	0,23	0,06	1,62	0,45
Гуртожиток	2,86	0,79	4,62	1,28
Промислове підприємство	6,81	1,89	10,92	3,03
Населений пункт	138,65	38,51	138,65	38,51

Для зручності подальших обчислень витрати води в табл. 9. 3 наведено в м<sup>3</sup>/год і в л/с (1 л/с = 3,6 м<sup>3</sup>/год).

## 9. 2. Побудова графіка погодинного водоспоживання води за добу для населеного пункту

Графік погодинного водоспоживання води за добу для населеного пункту будуємо, відкладаючи по осі ординат години доби, а по осі абсцис – погодинні витрати води в населеному пункті (див. табл. 9. 2, стовпець 18). Побудований графік наведено на рис. 9. 1.

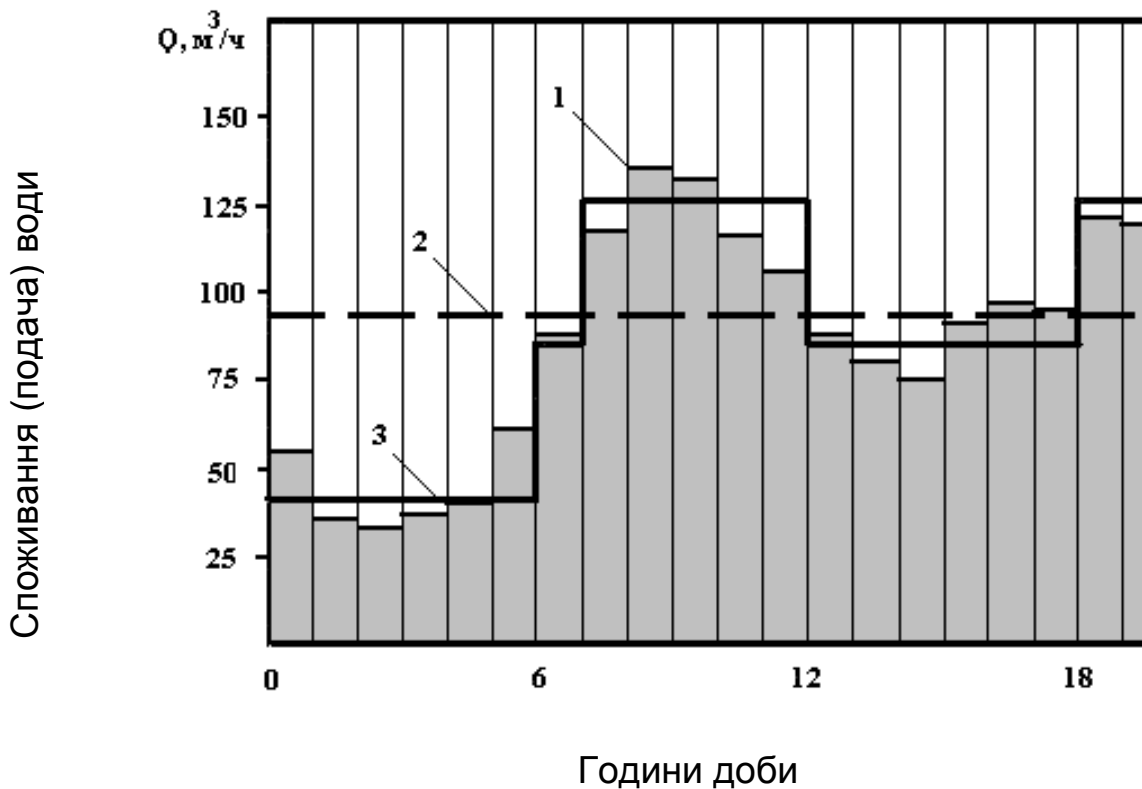


Рис. 9. 1. Графіки водоспоживання населеним пунктом й подачі води насосними станціями:

1 – графік добового водоспоживання; 2 – графік подачі води насосною станцією першого підйому; 3 – графік подачі води насосною станцією другого підйому

### 9. 3. Визначення режиму роботи насосних станцій

Для насосної станції першого підйому (НС I) режим роботи протягом доби приймаємо рівномірним:

$$Q_{\text{год}}^{\text{НСI}} = Q_{\text{доб.макс}}^{\text{НП}} / 24 = 2189,1/24 = 91,2 \text{ м}^3/\text{год}, \quad (9. 8)$$

де  $Q_{\text{доб.макс}}^{\text{НП}}$  – максимальна добова витрата населеного пункту.

Для насосної станції другого підйому (НС II) графік подачі води, по можливості, повинен збігатися із графіком водоспоживання населеного пункту. Аналізуючи графік водоспоживання, прийmemo три розрахункових режими роботи НС II (може бути і менше, і більше). Перший режим – мінімальна подача води в період з 0-ї до 6-ї години. Другий режим – середня подача води в періоди з 6-ї до 7-ї, з 12-ї до 18-ї та з 23-ї до 24-ї години. Третій режим – максимальна подача води в періоди з 7-ї до 12-ї та з 18-ї до 23-ї години. Співвідношення між подачами:

$$Q_{\text{год.макс}}^{\text{НСII}} / Q_{\text{год.хв}}^{\text{НСII}} = 3;$$

$$Q_{\text{год.порівн}}^{\text{НСII}} / Q_{\text{год.хв}}^{\text{НСII}} = 2.$$

Ці співвідношення можуть бути й іншими, але при використанні однакових насосів обов'язково кратними 1; 1,5; 2; 2,5; 3; 3,5 і т. д. Наприклад, якщо при мінімальній подачі будуть працювати два насоси, а при максимальній – п'ять, то співвідношення між подачами – 2,5.

Подачу одного насоса визначимо за формулою

$$Q_{\text{год.нас}} = Q^{\text{нп год макс}} / \sum (n_i \times t_i), \quad (9.9)$$

де  $n_i$  – кількість працюючих насосів;  $t_i$  – час роботи даної кількості насосів у годинах доби.

У першому наближенні будемо вважати, що мінімальну подачу здійснює один насос, тоді при середній подачі необхідно два насоси, а при максимальній – три.

$$Q_{\text{год.нас}} = 2189,1 / (1 \times 6 + 2 \times 8 + 3 \times 10) = 42,1 \text{ м}^3/\text{год.}$$

Прийняті графіки подачі насосних станцій наведено на рис. 9. 1.

## 9. 4. Визначення об'єму резервуарів чистої води і об'єму бака водонапірної башти

### 9. 4. 1. Визначення об'єму резервуарів чистої води

Об'єм резервуарів чистої води (РЧВ) знайдемо як суму трьох об'ємів води: регульовального об'єму, запасного об'єму на власні потреби очисних споруд і недоторканого запасу води на протипожежні потреби.

Регульовальний об'єм визначаємо як подачу води у РЧВ (подача НС I) і відбір води із РЧВ (подача НС II). Розрахунок проводимо табличним способом (табл. 9. 4). Заносимо в графу 3 в інтегральному (сумарному) вигляді подачу НС I, а в графу 4 – НС II. Різниця між ними дає нам поточне значення об'єму води, акумульованого в резервуарах чистої води. Шуканий регульовальний об'єм одержимо як суму максимального додатного і максимального від'ємного (за абсолютною величиною) значень поточного об'єму води в резервуарах (від'ємних значень може й не бути):

$$W^{\text{РЧВ}}_{\text{рег}} = 301,67 + 7,17 = 308,8 \text{ м}^3.$$

Запасний об'єм води на власні потреби очисних споруд орієнтовно приймемо таким, що дорівнюватиме 7% від добового споживання води:

$$W^{\text{РЧВ}}_{\text{о.с}} = 0,07 \times 2189,1 = 153,2 \text{ м}^3.$$

Недоторканий запас води на протипожежні потреби знайдемо за формулою

$$W^{\text{РЧВ}}_{\text{пож}} = \Sigma W + 3(3,6 \times n_{\text{пож}} \times q_{\text{пож}} - Q^{\text{НС1}}_{\text{ч}}), \quad (9.10)$$

де  $\Sigma W$  – максимальна сума споживання води за третю годину підряд (за графіком водоспоживання це період з 7-ї до 10-ї години);  $n_{\text{пож}}$  – розрахункова кількість одночасних пожеж;  $q_{\text{пож}}$  – розрахункова витрата води на зовнішнє пожежогасіння, л/с;  $Q^{\text{НС1}}_{\text{год}}$  – подача насосної станції першого підйому, м<sup>3</sup>/год:



$$W^{РЧВ}_{\text{пож}} = (118,13+135,94+132,59) + 3(3,6 \times 2 \times 15 - 91,21) = 336,3 \text{ м}^3;$$

$$W^{РЧВ} = W^{РЧВ}_{\text{рег}} + W^{РЧВ}_{\text{о.с}} + W^{РЧВ}_{\text{пож}} = 308,8 + 153,2 + 336,3 = 789,3 \text{ м}^3.$$

Таблиця 9. 4

Визначення регулювальних об'ємів резервуарів чистої води і бака водонапірної башти

Години доби	Об'єм споживання	Об'єм подачі НС I	Об'єм подачі НС II	Зміна об'єму води у РЧВ	Зміна об'єму води у ВБ
Година	м <sup>3</sup>	м <sup>3</sup>	м <sup>3</sup>	м <sup>3</sup>	м <sup>3</sup>
1	2	3	4	5	6
0–1	54,72	91,21	42,1	49,11	- 12,62
1–2	91,09	182,42	84,2	98,22	- 6,89
2–3	125,55	273,63	126,3	147,33	0,75
3–4	162,54	364,84	168,4	196,44	5,68
4–5	203,21	456,05	210,5	245,55	7,29
5–6	264,63	547,26	252,6	294,66	- 12,03
6–7	353,79	638,47	336,8	301,67	- 16,99
7–8	471,92	729,68	463,1	266,58	- 8,82
8-9	607,86	820,89	589,4	231,49	- 18,46
9–10	740,45	912,10	715,7	196,40	- 24,75
10–11	857,66	1003,31	842,0	161,31	- 15,66
11–12	965,18	1094,52	968,3	126,22	3,12
12–13	1053,32	1185,73	1052,5	133,23	- 0,82
13–14	1134,85	1276,94	1136,7	140,24	1,85
14–15	1211,05	1368,15	1220,9	147,25	9,85
15–16	1303,55	1459,36	1305,1	154,26	1,55
16–17	1401,16	1550,57	1389,3	161,27	- 11,86
17–18	1495,76	1641,78	1473,5	168,28	- 22,26
18–19	1616,89	1732,99	1599,8	133,19	- 17,09
19–20	1736,47	1824,20	1726,1	98,10	- 10,37
20–21	1860,88	1915,41	1852,4	63,01	- 8,48
21–22	1999,53	2006,62	1978,7	27,92	- 20,83
22–23	2120,80	2097,83	2105,0	- 7,17	- 15,80
23–24	2189,10	2189,10	2189,1	0	0
Регулювальний об'єм				308,84	34,6

#### 9. 4. 2. Визначення числа й розмірів резервуарів чистої води

Число резервуарів має бути, по можливості, найменшим, але не менше двох. За додатком 10 підбираємо кількість і розміри відповідних за об'ємом типових резервуарів для води. Вибираємо два круглих

резервуари з монолітного залізобетону місткістю по 400 м<sup>3</sup> кожний. Діаметр резервуарів 13 м, висота 3,7 м. Резервуари роблять напівзаглибленими із захисним насипом зверху. Відповідно до розрахункової схеми резервуара (рис. 9. 2) визначимо максимально можливу глибину води в ньому й проведемо висотну прив'язку.

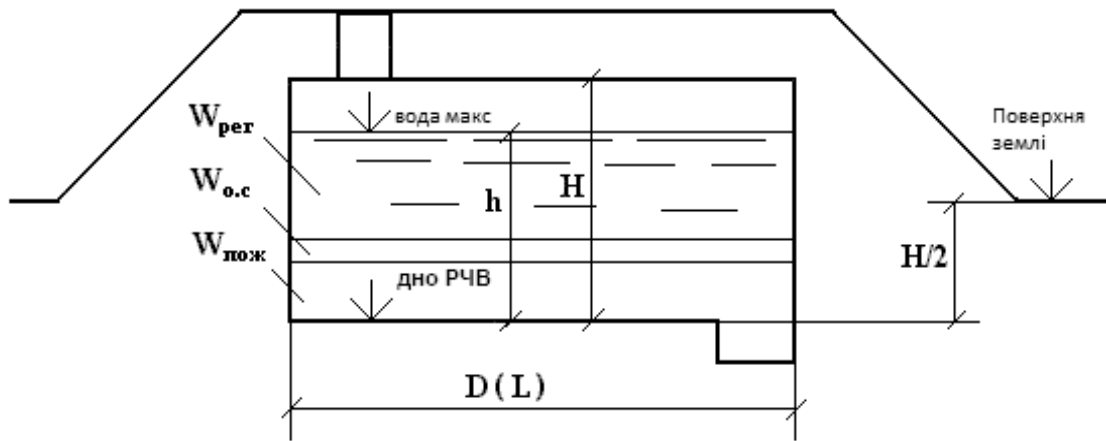


Рис. 9. 3. Розрахункова схема резервуара чистої води

Максимальна глибина води в резервуарі:

$$h = 4W^{РЧВ} / \pi D^2 = 4 \times 789,3/2 \times 3,14 \times 13^2 = 2,97 \text{ м.}$$

Оцінка поверхні землі у місці розташування резервуарів, відповідно до плану населеного пункту (рис. 9. 3), становить 33,5 м. Оцінка дна резервуара буде дорівнювати

$$\nabla_{\text{дна РЧВ}} = \nabla_{\text{пов. землі}} - H/2 = 33,5 - 3,7/2 = 32,15 \text{ м.}$$

Оцінка максимального рівня води:

$$\nabla_{\text{води макс}} = \nabla_{\text{дна РЧВ}} + h = 32,15 + 2,97 = 35,12 \text{ м.}$$

### 9. 4. 3. Визначення об'єму бака водонапірної башти

Об'єм бака водонапірної башти (ВБ) визначаємо як суму регульовального й запасного об'ємів води на пожежогасіння.

Регульовальний об'єм визначимо, зіставляючи приплив води у ВБ (подача НС II) і відбір води із ВБ (споживання води населеним пунктом).

Розрахунок виконуємо табличним способом (див. табл. 9. 4). Заносимо в графу 2 в інтегральному виді споживання води населеним пунктом (переписуємо стовпець 18 табл. 9. 2). подача НС II у нас уже є в графі 4. Різниця між ними дає нам поточне значення об'єму води, що повинен бути в баку водонапірної башти. Шуканий регульовальний об'єм одержимо, як суму максимального додатного і максимального від'ємного (за абсолютною величиною) значень поточного об'єму води в баку:

$$W_{\text{рег}}^{\text{Вб}} = 24,75 + 9,85 = 34,6 \text{ м}^3.$$

Об'єм води на пожежогасіння, що запасують в баку водонапірної башти, повинен забезпечувати десятихвилинне гасіння однієї зовнішньої й однієї внутрішньої пожежі при одночасній найбільшій витраті води на інші потреби населеного пункту:

$$W_{\text{пож}}^{\text{Вб}} = 0,6 ( q_{\text{пож}} + q_{\text{пож}}^{\text{ВН}} + q_{\text{нп}} ), \quad (9.11)$$

де  $q_{\text{пож}}$  – розрахункова витрата води на зовнішнє пожежогасіння, прийнята відповідно до додатку 11 (у нашім випадку  $q_{\text{пож}} = 15$  л/с);  $q_{\text{пож}}^{\text{ВН}}$  – розрахункова витрата води на внутрішнє пожежогасіння (відповідно до додатка 12, приймаємо  $q_{\text{пож}}^{\text{ВН}} = 2,5$  л/с);  $q_{\text{нп}}$  – максимальна витрата населеного пункту, що дорівнює 38,51 л/с (див. табл. 9. 3).

$$W_{\text{пож}}^{\text{Вб}} = 0,6 ( 15 + 2,5 + 38,51 ) = 33,6 \text{ м}^3;$$

$$W^{\text{Вб}} = W_{\text{рег}}^{\text{Вб}} + W_{\text{пож}}^{\text{Вб}} = 34,6 + 33,6 = 70,2 \text{ м}^3.$$

#### 9. 4. 4. Визначення розмірів бака водонапірної башти

Резервуар, або бак, водонапірної башти звичайно роблять циліндричним. Максимальну висоту води в баку визначають як:

$$h = 4W^{\text{рчв}} / \pi D^2.$$

Відношення найбільшої висоти води в баку до його діаметра становить від 0,8 до 1,2. У першому наближенні прийемо це співвідношення таким, що дорівнює 1. Тоді  $h = D$ , і формула набуває вигляду

$$D = 4W^{\text{Вб}} / \pi D^2;$$

$$D^3 = 4W^{\text{Вб}} / \pi = 4 \times 70,2 / 3,14 = 89,43 \text{ м}^3;$$

$$D = 4,47 \text{ м}.$$

Округлимо діаметр до півметра у найближчий бік:  $D = 4,5$  м;

$$h = 4W^{\text{рчв}} / \pi D^2 = 4 \times 70,2 / 3,14 \times 4,5^2 = 4,42 \text{ м};$$

$$h / D = 4,42 / 4,5 = 0,98.$$

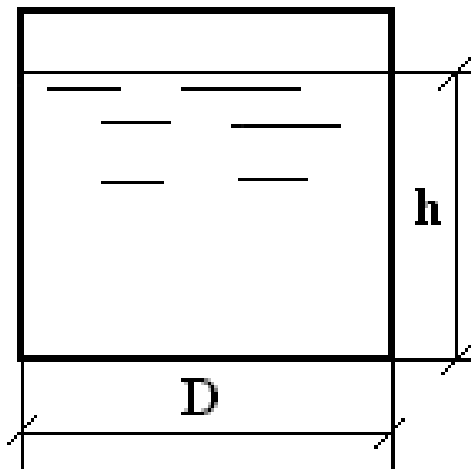


Рис. 9. 4. Розрахункова схема бака водонапірної башти

## **9. 5. Трасування магістральної водогінної мережі. Визначення місця розташування водопровідних споруд**

Магістральну водогінну мережу проектуємо кільцевою так, щоб вона рівномірно охоплювала райони житлової забудови населеного пункту.

Магістральну мережу прокладаємо по найкоротшому шляху поблизу автодоріг і проїздів, прямолінійно, паралельно лініям забудови. Перетинання проїздів виконуємо під прямим кутом.

Місце розташування водозабірних споруд (артезіанська свердловина) у нас задана. Насосну станцію першого підйому поєднуємо із свердловиною. Очисні споруди, резервуари чистої води і насосну станцію другого підйому розташовуємо в безпосередній близькості до насосної станції першого підйому. Водонапірну башту встановлюємо на початку магістральної водогінної мережі, бажано на високій місцевості.

На план населеного пункту наносимо трасу магістральної мережі й позначаємо місце розташування водопровідних споруд (рис. 9. 5).

Вузлові зосереджені відбори води з магістральної мережі на потреби суспільних будинків і промислового підприємства позначаємо на перехрестях вулиць у безпосередній близькості до них.

Магістральне кільце розбиваємо на розрахункові ділянки, вузлові точки яких установлюємо в місцях зосередженого відбору води з мережі та на перехрестях вулиць, але не більш ніж через 400–600 метрів. Вузлові точки нумеруємо за годинниковою стрілкою, починаючи з водонапірної башти.

Намічаємо напрямок руху води в магістральній мережі й призначаємо точку зустрічі потоків (диктуючу точку). Як правило, це буде вузлова точка, яка найбільш віддалена від початку мережі. У нашому випадку такою точкою буде вузол 6.

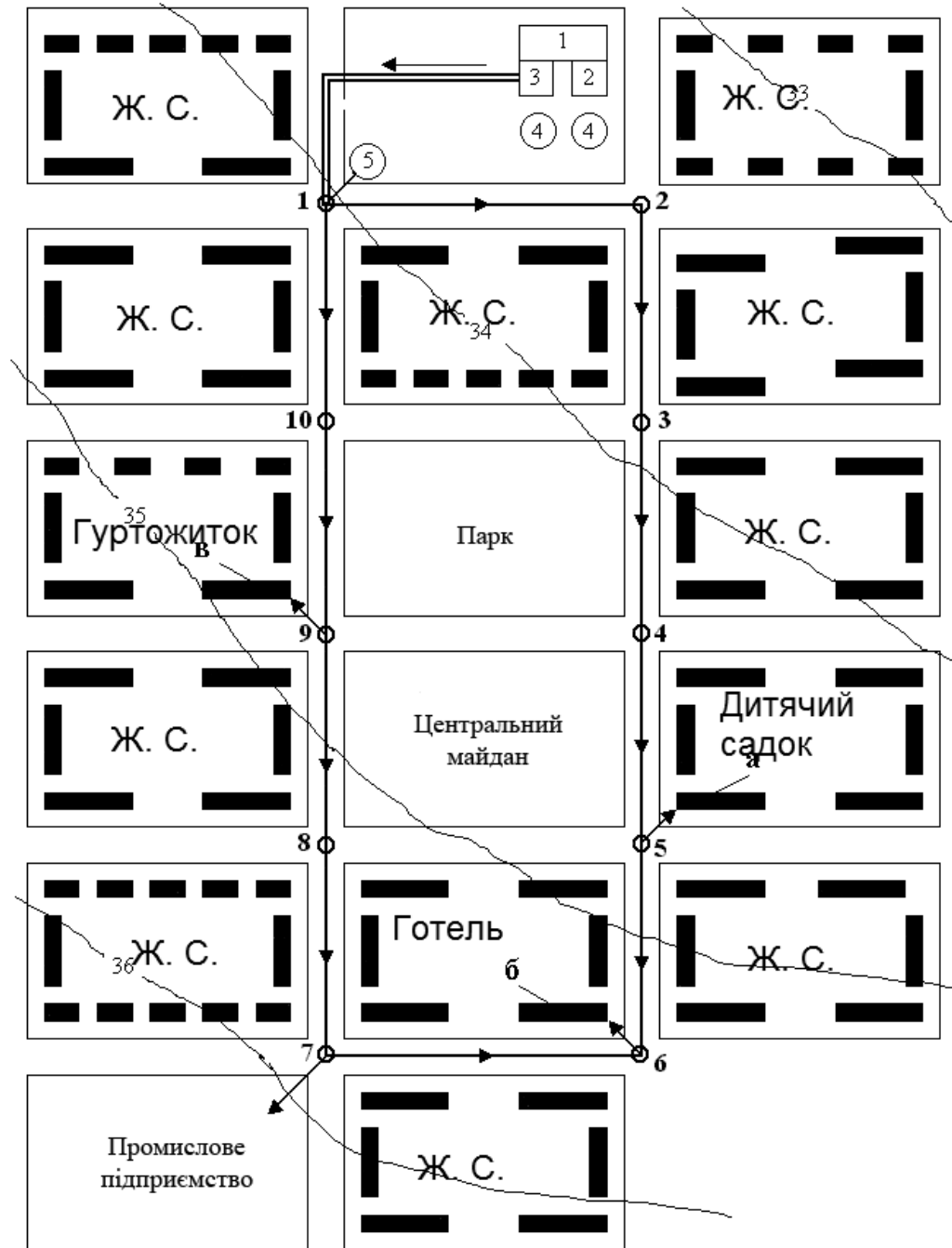


Рис. 9. 5. Розміщення на плані траси магістральної водогінної мережі:  
 1 – очисні споруди; 2 – насосна станція першого підйому; 3 – насосна станція другого підйому; 4 – резервуари чистої води;  
 5 – водонапірна башта

## 9. 6. Розрахунок водогонів

Споруди для подачі води від джерела до об'єкта водопостачання називають водогонами (водопроводами).

Кількість ліній водогонів слід приймати з урахуванням категорії системи водопостачання і черговості будівництва (додаток 17). Приймаємо для другої категорії надійності дві лінії водогонів.

Водогони, як правило, розраховують на середньогодинну витрату води на добу максимального водоспоживання. У нашому випадку цей об'єм водоспоживання дорівнює

$$Q_{\text{год.ср}} = Q_{\text{доб.макс}}^{\text{нп}} / 24 = 2189,1/24 = 91,2 \text{ м}^3/\text{год},$$
$$q_{\text{ср}} = 91,2/3,6 = 24,33 \text{ л/с}.$$

Оскільки водогонів два, то розрахункова витрата кожного водогону – 12,7 л/с. Водогони виконуються зі сталевих труб. За додатком 12 виберемо середнє значення економічного фактора  $\mathcal{E}$  залежно від географічного положення населеного пункту. Харківська область (див. завдання) розташована на сході України, отже,  $\mathcal{E} = 1$ . Відповідно до додатка 13 (сталеві труби) умовний діаметр водогонів приймаємо – 125 мм.

Визначимо втрати напору у водогонах при різних режимах водоспоживання.

При максимальному водоспоживанні населеного пункту від насосної станції другого підйому у водогони надходить 126,3 м<sup>3</sup>/год (див. рис. 9. 5), що відповідає 35,08 л/с або 17,54 л/с на кожний водогін.

Втрати напору визначаємо за формулою

$$h = K \times A \times q^2 \times L, \quad (9. 12)$$

де  $K$  – поправковий коефіцієнт, що залежить від швидкості руху води у трубопроводі та матеріалу, з якого він виготовлений;  $A$  – питомий опір трубопроводу;  $q$  – витрата води в трубопроводі;  $L$  – довжина трубопроводу.

Величину швидкості знайдемо з виразу

$$v = q \times m,$$

де  $m = 4/\pi d^2$ .

Значення  $A$  і  $m$  приймаємо відповідно до додатка 15. Для сталевих труб діаметром 125 мм:  $m = 0,072$ ;  $A = 76,36 \times 10^{-6}$ ;

$$v = 17,54 \times 0,072 = 1,26 \text{ м/с}.$$

Значення коефіцієнта  $K$  знайдемо з додатка 16, удавшись за необхідності до інтерполяції:  $K = 1,0$ .

За формулою (9. 12):

$$h_1 = 1,0 \times 76,36 \times 10^{-6} \times 17,54^2 \times 285 = 6,7 \text{ м}.$$

При пожежогасінні витрату води у водогонах необхідно збільшити на величину протипожежної витрати, прийнятої за додатком 11 (у нашому

випадку можливі дві одночасні пожежі з витратою води на кожну  $q_{\text{пож}} = 15$  л/с). Витрата води в одному водогоні при гасінні пожеж становить  $17,54 + 15 = 32,54$  л/с.

$$v = 32,54 \times 0,072 = 2,34 \text{ м/с};$$

$$K = 1,0;$$

$$h_2 = 1,0 \times 76,36 \times 10^{-6} \times 32,54^2 \times 285 = 23,0 \text{ м.}$$

При прокладенні водогонів у дві або більше лінії із загальних водозабірних споруд, між водогонами влаштовують перемички. При цьому у випадку аварії на одному з водогонів подачу води на господарсько-питні потреби знижуємо на 30 % розрахункової витрати, а на виробничі потреби – за графіком (див. завдання):

$$q_{\text{ав}} = 0,7 q_{\text{х.п}} + 0,7 q_{\text{пр}};$$

$$q_{\text{ав}} = 0,7 + 35,08 = 24,56 \text{ л/с.}$$

Кількість перемичок між водогонами визначимо згідно з умови рівності втрат напору у водогонах за нормальної експлуатації та аварії на одному з водогонів. Для двох паралельних водогонів число ділянок перемикань при однаковому їхньому діаметрі й довжині можна визначити з рівняння:

$$n = 3 q_{\text{ав}}^2 / (q^2 - q_{\text{ав}}^2), \quad (9.13)$$

де  $n$  – число ділянок перемикань;  $q_{\text{ав}}$  – витрата води при аварії;  $q$  – витрата води за нормальної експлуатації:

$$n = 3 \times 24,56^2 / (35,08^2 - 24,56^2) = 2,88.$$

Приймаємо три ділянки перемикань.

## 9. 7. Гідравлічний розрахунок магістральної водогінної мережі

Гідравлічний розрахунок магістральної водогінної мережі, у випадку розташування водонапірної башти на початку мережі, проведемо для двох основних режимів роботи системи водопостачання:

- максимальна погодинна витрата води на всі потреби населеного пункту на добу максимального водоспоживання;
- те ж, але при гасінні пожеж.

### 9. 7. 1. Підготовка до гідравлічного розрахунку

Споживання води житловим сектором у міських водопроводах звичайно приймають за спрощеною схемою, яка умовно допускає, що відбір води в житлові будинки відбувається рівномірно по довжині мережі. Тоді кількість води, що відбирається на кожній розрахунковій ділянці, буде

пропорційною до його довжини та наявності житлової забудови. Обидва ці фактори враховує так звана «умовна довжина» ділянки. За відсутності житлової забудови умовну довжину ділянки приймають нульовою. Якщо житлова забудова є тільки з одного боку ділянки, то умовну довжину ділянки приймають такою, що дорівнює геометричній довжині цієї ділянки. Якщо житлова забудова є з двох боків від ділянки водогону, то умовну довжину ділянки приймають такою, що дорівнює подвоєній геометричній довжині цієї ділянки.

Враховуючи ці допущення, можна обчислити питому шляхову витрату води, тобто витрату води, що відбирається з одиниці умовної довжини магістральної мережі:

$$Q_{\text{пит.шл}} = q^{\text{жил.с}} / \Sigma L_{\text{умов}}, \quad (9.14)$$

де  $q^{\text{жил.с}}$  – розрахункова витрата води житлового сектора населеного пункту;  $\Sigma L_{\text{умов}}$  – сума умовних довжин усіх ділянок магістральної водогінної мережі.

Витрата води, що забирається на потреби житлового сектора на кожній конкретній ділянці, називається шляховою витратою води. Шляхові витрати води визначаємо за формулою

$$q^{\text{м-н}}_{\text{шл}} = q_{\text{пит.шл}} L^{\text{м-н}}_{\text{умов}}, \quad (9.15)$$

де  $L^{\text{м-н}}_{\text{умов}}$  – умовна довжина ділянок мережі.

Відбір води з магістральної мережі в суспільні будинки й промислові підприємства здійснюється із конкретних вузлів мережі. Такі відбори називають зосередженими, а витрати води – зосередженими витратами води. На рис. 9. 5 зображено трасу магістральної водогінної мережі з основними спорудами. На цій схемі для двох розрахункових режимів роботи системи позначимо всі розрахункові відбори води з мережі (табл. 9. 3), крім житлового сектора. Відбір води на гасіння пожеж намітимо в самій несприятливій точці. Такою точкою буде найбільш віддалений вузол мережі – вузол 6.



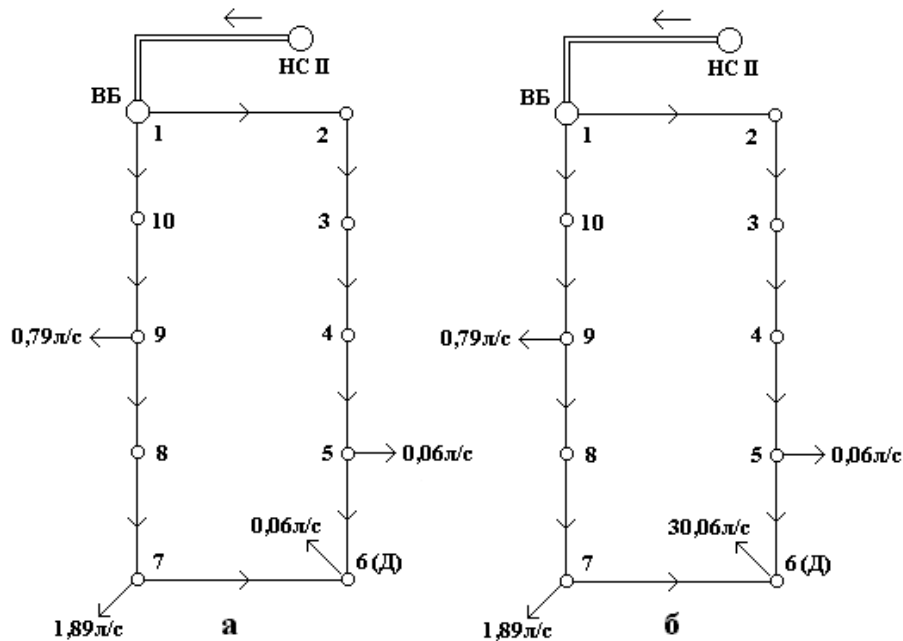


Рис. 9. 6. Розрахункова схема магістральної водогінної мережі (зосереджені витрати води): а – режим максимального водоспоживання; б – те ж, при гасінні пожеж

Для зручності ведення розрахунків шляхові витрати води також замінюють зосередженими, тобто умовно вважають, що половина шляхової витрати забирається на початку ділянки, а половина – наприкінці. Ці фіктивні зосереджені витрати називають умовними вузловими витратами води:

$$Q_{\text{у.вузл}}^m = 0,5(q_{\text{пут}}^{l-m} + q_{\text{пут}}^{m-n}). \quad (9. 16)$$

Розрахункова вузлова витрата води:

$$Q_{\text{р.вузл}}^m = Q_{\text{в.вузл}}^m + Q_{\text{зосер}}^m. \quad (9. 17)$$

Результати обчислень заносимо до табл. 9. 5 і подаємо у вигляді розрахункової схеми на рис. 9. 7.

Після обчислення вузлових водовідборів робимо попереднє (у першому наближенні) поточкорозподілення по ділянках магістральної мережі. Напрямок потоків у кільці задаємо відповідно до схеми. Точку зустрічі потоків намічаємо у вузлі 6, як найбільш віддалену від початку мережі. Надалі цей вузол будемо іменувати вузлом, що диктує.

При визначенні розрахункових витрат води по ділянках мережі варто керуватися таким положенням:

– для всіх вузлів мережі має виконуватися умова (перший закон Кірхгофа):

$$\Sigma Q_i = 0. \quad (9. 18)$$

Кількість води, що приходить у вузол, повинна дорівнювати кількості води, що виходить із цього вузла.

Розрахункові витрати води по ділянках мережі будемо визначати, рухаючись від вузла, що диктує, до початку мережі. Попередньо випишемо на розрахункову схему значення розрахункових вузлових витрат води. У вузлі, що диктує, значення розрахункових вузлових витрат у розглянутому прикладі становить 5,47 л/с – для першого розрахункового випадку і 35,47 л/с – для випадку пожежогасіння. Відповідно до першого закону Кірхгофа витрата води, що забирається з вузла, дорівнює сумі витрат води, що надходить у вузол. У першому наближенні будемо вважати, що половина розрахункової вузлової витрати, що забирається в точці, що диктує, приходить по ділянці 5–6 і половина – по ділянці 6–7. Тоді розрахункова витрата води на ділянках, що примикають до вузла, який диктує, становитиме 2,735 л/с для першого розрахункового випадку й 17,735 л/с для випадку пожежогасіння. Рухаючись від вузла, що диктує, до початку мережі, розрахункові витрати води на кожній ділянці одержуємо як суму транзитної витрати, що йде в наступну ділянку, і розрахункової вузлової витрати в кінцевому вузлі цієї ділянки. Отримані у першому наближенні значення розрахункових витрат по ділянках мережі записуємо до розрахункової схеми (рис. 9. 7).

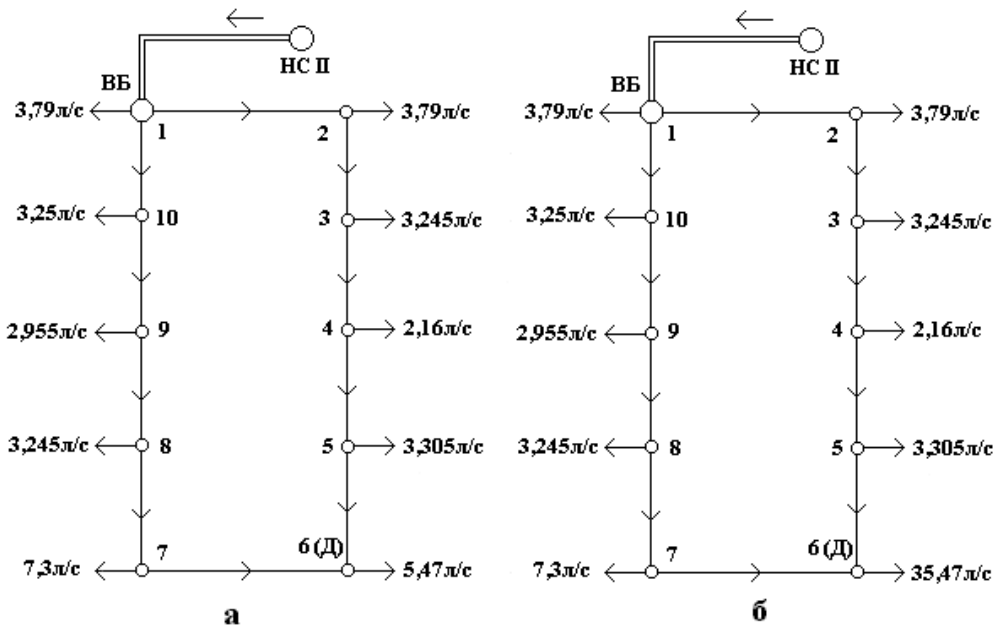


Рис. 9. 7. Розрахункова схема магістральної водогінної мережі (розрахункові вузлові витрати води): а – режим максимального водоспоживання; б – те ж, при гасінні пожеж

Таблиця 9. 5

Визначення розрахункових вузлових витрат для режимів максимального погодинного водоразбору і максимального погодинного водоразбору з пожежогасінням на добу максимального водоспоживання

Номера вузлів	Номера ділянок	Довжина ділянок, м	Роздача	Умовна довжина ділянок, м	Шляхова витрата, л/с	Перший розрахунковий випадок				Другий розрахунковий випадок			
						q умов.вузл., л/с	q зосер. л/с	q р.вузл., л/с	q умов.вузл., л/с	q зосер. л/с	q р.вузл., л/с	q умов.вузл., л/с	q зосер. л/с
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12		
1						3,79		3,79	3,79		3,79		
2	1-2	285	1	285	3,25								
3	2-3	190	2	380	4,33								
4	3-4	190	1	190	2,16								
5	4-5	190	1	190	2,16								
6	5-6	190	2	380	4,33								
7	6-7	285	2	470	6,49								
8	7-8	190	2	380	4,33								
9	8-9	190	1	190	2,16								
10	9-10	190	1	190	2,17								
	10-1	190	2	380	4,33								
Разом:					35,71	2,80	38,51	35,71	32,80	68,51			

## 9. 7. 2. Гідравлічний розрахунок

Гідравлічний розрахунок водогінної мережі зводиться до вибору економічно найвигідніших діаметрів труб і визначенню втрат напору на її ділянках. Обчислені втрати напору використовують потім для розрахунку висоти водонапірної башти й потрібного напору насосів, що постачає водогінну мережу.

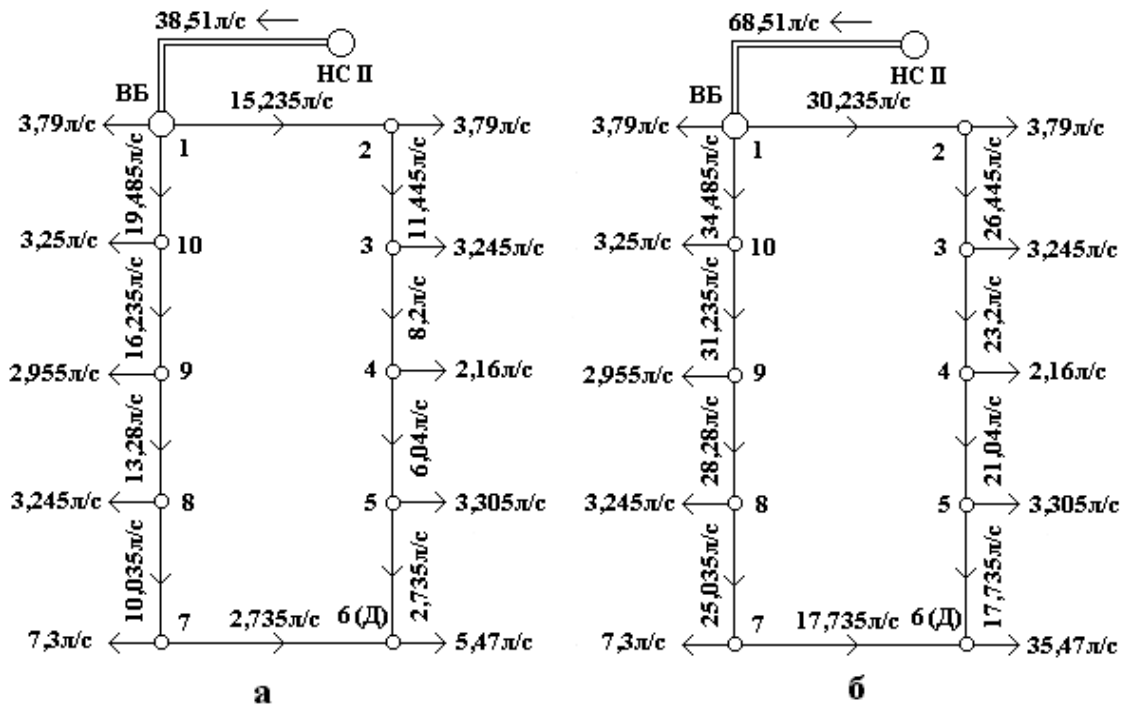


Рис. 9. 8. Розрахункова схема магістральної водогінної мережі (розрахункові вузлові витрати води і розрахункові витрати води по ділянках мережі): а – режим максимального водоспоживання; б – те ж, при гасінні пожеж

Почнемо з визначення діаметрів труб. Припустимо, що магістральна водогінна мережа виготовлена з азбестоцементних водопровідних труб (діаметри труб не більше 500 мм). Заповнимо послідовно в табл. 9. 6 і 9. 7 стовпці 1, 2 і 4. Виділимо ділянки з рухом води за годинниковою стрілкою і проти неї. Для першого розрахункового випадку за додатком 14 (азбестоцементні труби), залежно від економічного фактора  $\mathcal{E}$  (у прикладі  $\mathcal{E} = 1$ ) і розрахункових витрат води по ділянках мережі, призначимо умовні діаметри труб. Слід пам'ятати, що діаметр труб магістральної мережі згідно [1] повинен бути не менш 100 мм. Вибрані діаметри заносимо у стовпець 3. У другому розрахунковому випадку (гасіння пожеж) розрахункові витрати по ділянках мережі більше, отже, більше будуть і втрати напору. Щоб уникнути надмірного (понад 60 м) вільного напору у

мережі, необхідно на окремих ділянках мережі діаметр труб збільшити. Рекомендуємо порівняти розрахункові витрати води по ділянках мережі для розглянутих режимів роботи системи водопостачання. Якщо при гасінні пожеж розрахункова витрата зростає більш ніж в 2,5 рази, то діаметр труб можна збільшити на один розмір за сортаментом. У розглянутому прикладі діаметри труб збільшені на ділянках 3–4; 4–5; 5–6; 6–7.

Втрати напору на окремих ділянках мережі визначаємо за формулою (9. 12) (див. підрозд. 9. 6). Величину швидкості знаходимо з виразу

$$v = q \times m,$$

де  $m = 4/\pi d^2$ . Значення  $A$ ,  $m$  і  $K$  беремо з додатків 15 і 16.

Обчислюємо й заносимо в стовпець 8 добуток  $KAq^3l$ , який буде потрібний надалі для визначення виправних витрат води.

Перевіримо нашу мережу на відповідність другому закону Кірхгофа:

$$\sum h_i = 0. \quad (9. 19)$$

Сума втрат напору на ділянках з рухом води за годинниковою стрілкою повинна дорівнювати сумі втрат напору на ділянках з рухом води проти годинникової стрілки.

У практичних розрахунках вважається припустима неув'язка втрат напору ( $h$ ) не більше 0,3 м для першого розрахункового випадку і не більше 0,5 м для випадку пожежогасіння.

У розглянутому прикладі:

$$\Delta h_1 = 6,53 - 5,67 = 0,86 \text{ м} > \Delta h_{\text{прип}} = 0,3 \text{ м};$$

$$\Delta h_2 = 33,73 - 30,69 = 3,04 \text{ м} > \Delta h_{\text{прип}} = 0,5 \text{ м}.$$

І в тому і в іншому випадку неув'язка втрат напору перевищує припустиму неув'язку, отже, задане в першому наближенні потокорозподілення не відповідає реальності. Необхідно зробити корекцію витрат по ділянках мережі або ув'язування мережі.

Ув'язування кільцевої водогінної мережі зводиться до визначення поправкової витрати ( $\Delta q$ ), при внесенні якої буде знайдений реальний розподіл витрат води по ділянках мережі. Найбільш поширений метод ув'язування кільцевих мереж запропонував проф. В. Г. Лобачов. Відповідно до цього методу поправкову витрату води обчислюють за формулою

$$\Delta q = \Delta h / 2 \sum KAq^3l. \quad (9. 20)$$

При розрахунку отриману поправкову витрату води вносять зі знаком «+» в усі ділянки того півкільця магістральної водогінної мережі, у якому сума втрат напору була менше, і, навпаки, зі знаком «-» в усі ділянки півкільця, у якому сума втрат напору була більше (перший закон Кірхгофа буде дотриманий).

Визначимо поправкові витрати для нашого прикладу:

$$\Delta q_1 = 0,86/2(0,569 + 0,514) = 0,397 \text{ л/с};$$

$$\Delta q_2 = 3,04/2(1,413 + 1,197) = 0,582 \text{ л/с}.$$

Відповідно до наведеного вносимо поправки в усі ділянки водогінної мережі. Одержимо нові розрахункові витрати води й проведемо повторний гідравлічний розрахунок водогінної мережі. Діаметри труб при цьому не міняємо (значення  $A$  залишаться попередніми). По закінченні розрахунків виконуємо перевірку на дотримання другого закону Кірхгофа:

$$\Delta h_1 = 6,14 - 6,13 = 0,01 \text{ м} < \Delta h_{\text{доп}} = 0,3 \text{ м};$$

$$\Delta h_2 = 32,28 - 32,01 = 0,27 \text{ м} < \Delta h_{\text{доп}} = 0,5 \text{ м}.$$

Результати розрахунку задовольняють усі умови. Гідравлічний розрахунок завершений. Якщо результат буде незадовільний, ув'язування мережі необхідно повторити ще раз.

## 9. 8. Побудова ліній п'єзометричних висот

Розбір води більшістю споживачів відбувається на деякій висоті над поверхнею землі, у зв'язку із чим у водогінній мережі повинен підтримуватися певний тиск. П'єзометрична висота, що забезпечує нормальні умови експлуатації водопроводу, називається вільним напором. Інакше кажучи, вільний напір – це відстань від поверхні землі до п'єзометричної лінії. Мінімальний вільний напір для населених пунктів при максимальному господарсько-питному водоспоживанні приймають [1, п. 2. 26]: при одноповерховій забудові не менш 10 м над поверхнею землі, при більшій поверховості на кожний поверх варто додавати 4 м. У період гасіння пожеж вільний напір у мережі має бути не менш 10 м, незалежно від поверховості будинків [1, п. 2. 30]. Максимальний напір господарсько-питного водопроводу не повинен перевищувати 60 м [1, п. 2. 28], у протилежному разі необхідна установка регуляторів тиску або зонування системи водопостачання.

Перед побудовою п'єзометричних ліній необхідно нанести на креслення повздовжний профіль поверхні землі по трасі водогінної мережі. Трасу водогінної мережі позначаємо від насосної станції другого підйому по водогоні і далі по півкільцю магістральної мережі до точки, що диктує (вибираємо те півкільце, де сума втрат напору більша).

Побудову п'єзометричних ліній починаємо від кінця мережі (від точки, що диктує). Приймаємо вільний напір у точці, що диктує, таким, що дорівнює мінімальному. Для режиму максимального господарсько-питного водоспоживання:

$$H_{\text{віль.мін}} = 10 + 4(n - 1),$$

де  $n$  – кількість поверхів.

У нашому прикладі поверховість будинків (див. завдання) дорівнює 5 поверхам:

$$H_{\text{віль.мін}} = 10 + 4(5 - 1) = 26 \text{ м}.$$

Для режиму пожежогасіння:

$$H_{\text{віль.мін}} = 10 \text{ м}.$$

Таблиця 9. 6  
Гідравлічний розрахунок кільцевої магістральної мережі в режимі максимального погодинного водозабору на добу максимального водоспоживання

Номера ділянок	Довжина ділянок, м	Діаметр труб, мм	Попередній розподіл витрат						Перше виправлення				
			q <sub>p</sub> , л/с	v, м/с	K	A, 10 <sup>-6</sup>	KAq <sub>p</sub> l	h, м	q <sub>p±Δq</sub> , л/с	v, м/с	K	h, м	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	
1-2	285	150	15,235	1,135	0,982	31,55	0,134	2,05	15,632	0,996	1,001	2,20	
2-3	190	125	11,445	1,027	0,996	76,08	0,165	1,88	11,842	1,062	0,991	2,01	
3-4	190	125	8,20	0,736	1,048	76,08	0,124	1,02	8,596	0,771	1,029	1,10	
4-5	190	125	6,04	0,542	1,101	76,08	0,096	0,58	6,437	0,577	1,091	0,65	
5-6	190	125	2,735	0,246	1,262	76,08	0,050	0,14	3,132	0,281	1,232	0,17	
Разом:			0,569						Разом:				6,13
6-7	285	125	2,735	0,246	1,262	76,08	0,075	0,20	2,338	0,210	1,292	0,15	
7-8	190	125	10,035	0,900	1,016	76,08	0,147	1,48	9,638	0,864	1,023	1,37	
8-9	190	150	13,28	0,846	1,027	31,55	0,082	1,08	12,883	0,820	1,021	1,02	
9-10	190	150	16,235	1,034	0,995	31,55	0,097	1,57	15,838	1,009	0,985	1,48	
10-1	190	150	19,485	1,241	0,969	31,55	0,113	2,20	19,088	1,216	0,972	2,12	
Разом:			0,514						Разом:				6,14

Таблиця 9. 7  
Гідрравлічний розрахунок кільцевої магістральної мережі в режимі максимального погодинного водорозбору та пожежогасіння на добу максимального водоспоживання

Номера ділянок	Довжина ділянок, м	Діаметр труб, мм	Попередній розподіл витрат						Перше виправлення				
			q <sub>p</sub> , л/с	v, м/с	K	A, 10 <sup>-6</sup>	KAq <sub>p</sub> l	h, м	q <sub>p±Δq</sub> , л/с	v, м/с	K	h, м	
1-2	285	150	30,235	1,926	0,915	31,55	0,249	7,52	29,653	1,889	0,917	7,25	
2-3	190	125	26,445	2,372	0,892	76,08	0,341	9,02	25,863	2,320	0,894	8,64	
3-4	190	125	23,20	2,081	0,906	76,08	0,304	7,05	22,818	2,047	0,908	6,83	
4-5	190	125	21,04	1,887	0,917	76,08	0,279	5,88	20,458	1,853	0,919	5,56	
5-6	190	125	17,735	1,591	0,937	76,08	0,240	4,26	17,153	1,539	0,941	4,00	
Разом:							1,413	33,73	Разом:				32,28
6-7	285	125	17,735	1,591	0,937	76,08	0,360	6,39	18,317	1,643	0,933	6,79	
7-8	190	125	25,035	2,246	0,898	76,08	0,325	8,14	25,617	2,298	0,895	8,49	
8-9	190	150	28,28	1,801	0,922	31,55	0,156	4,42	28,862	1,838	0,920	4,59	
9-10	190	150	31,235	1,990	0,910	31,55	0,170	5,32	31,817	2,027	0,909	5,52	
10-1	190	150	34,485	2,197	0,900	31,55	0,186	6,42	35,067	2,234	0,898	6,62	
Разом:							1,197	30,69	Разом:				32,01



Додавши до відмітки поверхні землі в точці, що диктує, значення мінімальних вільних напорів, одержимо початкові відмітки ліній п'єзометричних висот. Рухаючись послідовно по ділянках мережі до водонапірної башти і додаючи до отриманої раніше відмітки п'єзометричних ліній втрати напору на кожній з ділянок (див. табл. 9. 6 і 9. 7), будуюмо дві лінії п'єзометричних висот. Вільний напір у вузлах магістральної мережі визначаємо як різницю між відмітками п'єзометричних ліній і поверхні землі. Вільний напір у точці розташування водонапірної башти (у режимі максимального господарсько-питного водоспоживання) визначає висоту вежі від поверхні землі до дна баку. Аналітично висоту водонапірної башти можна визначити так:

$$H_{ВБ} = H_{віль.мін} + \Sigma h - (\nabla 1 - \nabla д),$$

де  $H_{віль.мін}$  – мінімальний вільний напір у точці, що диктує, для випадку максимального господарсько-питного водоспоживання;  $h$  – сума втрат напору від точки, що диктує, до початку кільцевої мережі (див. табл. 9. 6);  $\nabla 1$  і  $\nabla д$  – відмітки поверхні землі на початку мережі й у точці, що диктує.

Для розглянутого прикладу:

$$H_{ВБ} = 26 + 6,13 - (34,1 - 35,5) = 33,53 \text{ м.}$$

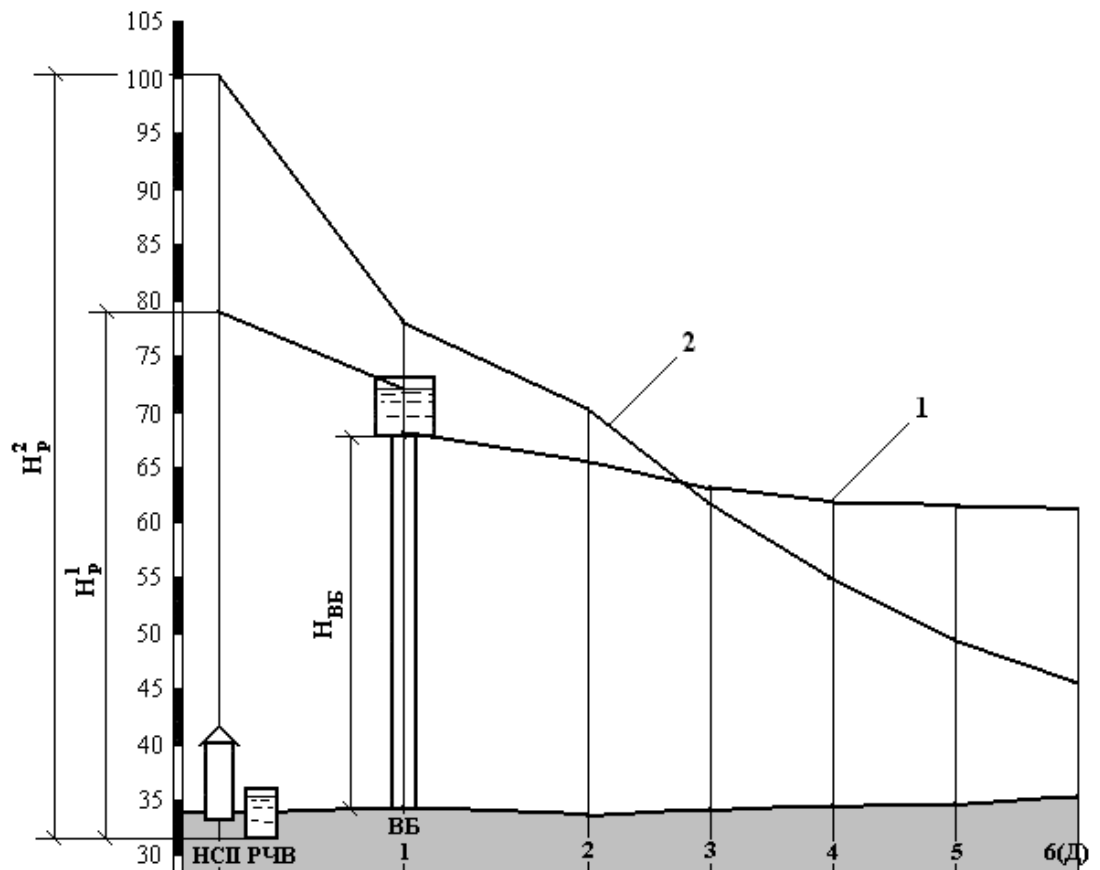
У режимі максимального водоспоживання п'єзометрична лінія у створі водонапірної башти робить стрибок уверх на висоту, що дорівнює найбільшій глибині води в баку водонапірної башти (див. п. 9. 4. 3.). При пожежогасінні водонапірна башта не працює, тому п'єзометрична лінія в цьому випадку розривів не має і є неперервною. Додавши до оцінок п'єзометричних ліній у створі водонапірної башти відповідні втрати напору у водогонях (див. п. 9. 6), одержимо відмітки п'єзометричних ліній у створі насосної станції другого підйому. Різниця між цими відмітками і відміткою дна резервуарів чистої води (див. п. 9. 4. 2.) визначає розрахунковий напір насосів насосної станції другого підйому. Для першого розрахункового випадку:

$$H_{p1} = 78,75 - 32,15 = 46,6 \text{ м;}$$

для другого розрахункового випадку:

$$H_{p2} = 100,78 - 32,15 = 68,63 \text{ м.}$$

На рис. 9. 9 побудовано лінії п'єзометричних висот для розглянутого конкретного прикладу і позначено розрахункові відмітки напорів насосної станції другого підйому і висоти водонапірної башти.



Довжина ділянки, м			285	285	190	190	190	190	
Відмітки поверхні землі, м			33,5	34,1	33,5	33,9	34,4	34,8	35,5
Втрати напору, м	1-й розрах. випадок		6,70	2,20	2,01	1,10	0,65	0,17	
	2-й розрах. випадок		23,00	7,25	8,64	6,83	5,56	4,00	
Відмітки п'єзометричних ліній, м	1-й розрах. випадок		78,75	72,05	65,43	63,42	62,32	61,67	61,50
	2-й розрах. випадок		100,78	77,78	70,53	61,89	55,06	49,50	45,50
Вільний напір, м	1-й розрах. випадок		45,25	37,95	30,63	29,02	28,42	27,97	26,00
	2-й розрах. випадок		67,28	43,68	37,03	27,99	20,66	14,70	10,00

Рис. 9. 9. Лінії п'єзометричних висот:

- 1 – режим максимального господарсько-питного водоспоживання;  
 2 – те ж при пожежогасінні

## Додаток 1

### Питоме господарсько-питне водоспоживання в населених пунктах

Ступінь благоустрою районів житлової забудови	Питоме господарсько-питне водоспоживання в населених пунктах на одного жителя середньодобове (за рік), л/доб
1. Забудова будинками, обладнаними внутрішнім водопроводом і каналізацією, без ванн	125–160
2. Те ж, з ваннами й місцевими водонагрівачами	160–230
3. Те ж, із централізованим гарячим водопостачанням	230–350

#### Примітки:

Для районів забудови будинками з водокористуванням з водорозбірних колонок норму середньодобового водоспоживання за рік на одного жителя варто приймати 30–50 л/доб.

Нормами водоспоживання враховані витрати води на господарсько-питні й побутові потреби в житлових і суспільних будинках (за винятком будинків відпочинку, санаторіїв і піонерських таборів).

Вибір норм водоспоживання в межах, зазначених у таблиці, роблять залежно від природно-кліматичних умов, потужності джерела водопостачання, ступеню благоустрою будинків, поверховості забудови, укладу життя населення й інших місцевих умов.

При централізованій системі гарячого водопостачання до 40% загальної витрати води подають із мереж тепlopостачання.

## Додаток 2

### Норми витрати холодної води в суспільних будинках

Найменування водоспоживача	Одиниця вимірювання	Максимальна добова витрата, л/доб
1. Гуртожиток:		
– із загальними душовими;	Один житель	40
– з душовими у всіх житлових кімнатах;	Один житель	50

## Закінчення додатка 2

Найменування водоспоживача	Одиниця вимірювання	Максимальна добова витрата, л/доб
<p>– із загальними кухнями і блоками душових на поверхах у житлових кімнатах у кожній секції будинку</p> <p>2. Готель:</p> <p>– із загальними ваннами й душовими;</p> <p>– з душовими у всіх окремих номерах;</p> <p>– з ваннами в окремих номерах, % від від загального числа номерів:</p> <p>– до 25,</p> <p>– до 75,</p> <p>– до 100</p> <p>3. Лікарні:</p> <p>– із загальними ваннами й душовими;</p> <p>– із санітарними вузлами, наближеними до палат</p> <p>4. Дитячі ясла-садки з денним перебуванням дітей</p> <p>5. Школи-інтернати зі спальними приміщеннями</p> <p>6. Клуби</p> <p>7. Підприємства громадського харчування</p>	<p>Один житель</p> <p>Один житель</p> <p>Один житель</p> <p>Один житель</p> <p>Один житель</p> <p>Один житель</p> <p>Один житель</p> <p>Одне ліжко</p> <p>Одне ліжко</p> <p>Одна дитина</p> <p>Одне місце</p> <p>Одне місце</p> <p>Одна страва</p>	<p>70</p> <p>50</p> <p>90</p> <p>100</p> <p>100</p> <p>120</p> <p>40</p> <p>110</p> <p>70</p> <p>40</p> <p>7</p> <p>13,3</p>

### Додаток 3

#### Питоме водоспоживання холодної води на господарсько-питні потреби на промислових підприємствах

Види цехів	Норми витрати води на одного чоловіка у зміну, л	Коефіцієнт годинної нерівномірності водоспоживання
У цехах з тепловиділенням більше 84 кДж на 1 м <sup>3</sup> /год:		
– гарячі цехи,	21	2,5
– в інших цехах	14	3

Норми витрати води на технологічні потреби промислових підприємств визначають залежно від виду й технології виробництва.

### Додаток 4

#### Нормативні дані для розрахунку витрати води на душ на промислових підприємствах

Годинну витрату холодної води на одну душову сітку на промислових підприємствах варто приймати такою, що дорівнює 230 л; тривалість користування душем – 45 хвилин після закінчення зміни.

Кількість чоловік, що обслуговуються однією душовою сіткою, приймають залежно від групи виробничого процесу і його санітарних характеристик відповідно до таблиці:

Групи виробничих процесів	Санітарні характеристики виробничих процесів	Кількість чоловік на одну душову сітку
I	а) Не визивають забруднення одягу й рук;	15
	б) Визивають забруднення одягу й рук	7
II	в) Із використанням води;	5
	г) З виділенням великої кількості пилу або особливо забруднюючих речовин	3

*Коефіцієнти нерівномірності водоспоживання*

Коефіцієнт добової нерівномірності водоспоживання, що враховує уклад життя населення, режим роботи підприємств, ступінь благоустрою будинків, зміни водоспоживання по сезонах року і дням тижня, слід приймати таким, що дорівнює:

$$K_{\text{доб.макс}} = 1,1-1,3; K_{\text{доб.хв}} = 0,7-0-0,9.$$

Коефіцієнт годинної нерівномірності водоспоживання визначають за формулами:

$$K_{\text{год.макс}} = \alpha_{\text{макс}} \times \beta_{\text{макс}},$$

$$K_{\text{год.мін}} = \alpha_{\text{хв}} \times \beta_{\text{хв}},$$

де  $\alpha$  – коефіцієнт, що враховує ступінь благоустрою будинків, режим роботи підприємств та інші місцеві умови:

$$\alpha_{\text{макс}} = 1,2-1,4; \quad \alpha_{\text{мін}} = 0,4-0,6;$$

$\beta$  – коефіцієнт, що враховує кількість жителів у населеному пункті, визначається за таблицею:

Число жителів, тис.чол.	4–6	10	20	50	100	300	1000 і більше
$\beta_{\text{макс}}$	1,4	1,3	1,2	1,15	1,1	1,05	1
$\beta_{\text{мін}}$	0,25	0,4	0,5	0,6	0,7	0,85	1

## Додаток 6

### Режим господарсько-питного водоспоживання населення

Години доби	Розрахункові витрати води в % від макс. добового споживання при $K_{\text{год.макс}}$						
	1,35	1,4	1,5	1,6	1,7	1,8	2,0
0-1	3,13	2,98	2,70	2,44	2,19	1,96	1,56
1-2	2,12	1,92	1,58	1,36	1,14	0,96	0,69
2-3	2,10	1,91	1,57	1,26	1,02	0,83	0,53
3-4	2,10	1,91	1,58	1,36	1,14	0,96	0,69
4-5	2,55	2,36	2,01	1,61	1,35	1,12	0,74
5-6	3,36	3,23	2,99	2,75	2,52	2,31	1,91
6-7	4,83	4,90	5,02	4,13	5,21	4,28	5,36
7-8	4,93	5,02	5,18	5,33	5,45	5,55	5,75
8-9	5,50	5,68	6,05	6,42	6,77	7,12	7,81
9-10	5,41	5,58	5,92	6,24	6,56	6,86	7,46
10-11	5,03	5,14	5,34	5,52	5,68	5,82	6,07
11-12	4,71	4,76	4,86	4,92	4,98	5,01	5,03
12-13	4,07	4,03	3,93	3,82	3,70	4,56	3,30
13-14	3,91	3,85	3,72	3,58	3,42	3,27	2,95
14-15	3,74	3,66	3,49	3,32	3,14	2,96	2,60
15-16	4,21	4,19	4,14	4,06	3,97	3,87	3,64
16-17	4,48	4,50	4,51	4,51	4,49	4,45	4,34
17-18	4,34	4,35	4,32	4,29	4,23	4,17	3,99
18-19	4,60	4,63	4,69	5,72	4,74	4,75	4,69
19-20	5,14	5,26	5,49	5,70	5,91	6,09	6,72
20-21	5,32	5,48	5,78	6,07	6,34	6,61	7,11
21-22	5,63	5,83	6,25	6,67	7,08	7,50	8,03
22-23	5,23	5,37	5,63	5,88	6,13	6,35	6,77
23-24	3,56	3,46	3,25	3,04	2,84	2,64	2,26

Режими господарсько-питного водоспоживання  
на промислових підприємствах

Восьмигодинна зміна			Семигодинна зміна		
Години зміни	Витрати води в % від споживання за зміну		Години зміни	Витрати води в % від споживання за зміну	
	$K_{год}=2,5$ (гарячі цехи)	$K_{год}=3$ (інші цехи)		$K_{год}=2,5$ (гарячі цехи)	$K_{год}=3$ (інші цехи)
1–2	12,05	6,25	1–2	10	5,8
2–3	12,05	12,50	2–3	13	12,0
3–4	12,05	12,50	3–4	18	21,4
4–5	12,05	18,75	4–5	10	5,9
5–6	12,05	6,25	5–6	13	12,0
6–7	12,05	12,50	6–7	18	21,4
7–8	12,05	12,50	7–8	18	21,5
8–9	15,65	18,75			



**Додаток 8**

**Режими добового водоспоживання в суспільних будинках**

Години доби	Витрати води в % від добового споживання					
	Гуртожитки, інтернати	Лікарні, готелі	Їдальні	Дитячі садки	Дитячі ясла	Клуби
0-1	0,15	0,2	-	-	-	-
1-2	0,15	0,2	-	-	-	-
2-3	0,15	0,2	-	-	-	-
3-4	0,15	0,2	-	-	-	-
4-5	0,15	0,5	-	-	-	-
5-6	0,25	0,5	-	-	-	-
6-7	0,30	3,0	12,0	5,0	10	-
7-8	30,00	5,0	3,0	3,0	5	-
8-9	6,80	8,0	1,0	15,0	7	7
9-10	4,60	10,0	18,0	5,5	5	8
10-11	3,60	6,0	16,0	3,4	7	-
11-12	2,00	10,0	2,0	7,4	3	-
12-13	3,00	10,0	1,0	21,0	20	-
13-14	3,00	6,0	1,0	2,8	6	-
14-15	3,00	5,0	4,0	2,4	6	-
15-16	3,00	8,5	4,0	4,5	6	-
16-17	4,00	5,5	4,0	4,0	2	8
17-18	3,60	5,0	6,0	16,0	12	15
18-19	3,30	5,0	3,0	3,0	6	9
19-20	5,00	5,0	6,0	2,0	1	14
20-21	2,60	2,0	7,0	2,0	1	10
21-22	18,60	0,7	10,0	3,0	3	8
22-23	1,60	3,0	-	-	-	9
23-24	1,00	0,5	-	-	-	12

## Додаток 9

### Час заповнення баків-акумуляторів

Запас води в баках-акумуляторах, що встановлюються в побутових будинках і приміщеннях промислових підприємств, слід визначати залежно від часу їхнього заповнення протягом зміни, прийнятого за таблицею:

Число душових сіток	10–20	21–30	31 і більше
Час заповнення баків-акумуляторів у годинах	2	3	4

## Додаток 10

### Розміри типових резервуарів для води

Місткість, м <sup>3</sup>	Круглі резервуари				Прямокутні резервуари		
	Збірні		Монолітні		Збірні		
	Діаметр	Висота	Діаметр	Висота	Ширина	Довжина	Висота
50	6	1,8	4,7	3,5	3	6	3,6
100	6	3,6	6,5	3,5	6	6	3,6
150	—	—	8,0	3,5	—	—	—
250	9	3,6	10,0	3,7	6	12	3,6
400	—	—	13,0	3,7	—	—	3,6
500	12	4,8	—	—	12	12	4,8
600	—	—	13,0	5,0	—	—	—
1000	18	4,8	19,0	4,0	12	18	4,8
1500	—	—	22,0	4,5	—	—	—
2000	—	—	25,4	4,5	—	—	—
3000	24	4,8	—	—	18	24	4,8
	30	4,8	—	—	24	30	4,8

## Додаток 11

### Розрахункова витрата води на зовнішнє пожежогасіння і розрахункова кількість одночасних пожеж у населених пунктах

Кількість жителів у населеному пункті, тис.чол.	Розрахункова кількість одночасних пожеж	Витрати води на зовнішнє пожежогасіння у населених пунктах, л/с	
		Забудова будинками до двох поверхів включно	Забудова будинками понад два поверхи
5	1	10	10
10	1	10	15
25	2	10	15
50	2	20	25
100	2	25	35
200	3	—	40
300	3	—	55
400	3	—	70
500	3	—	80

## Додаток 12

### Середні значення економічного фактора (Э)

Значення граничних економічних витрат залежать від економічного фактора Э. Його середні значення в першому наближенні можна приймати:

- для Сибіру й Уралу (більша глибина закладення труб, відносно дешева електроенергія) – 0,5;
- для центральних і західних районів Європейської частини Росії, України – 0,75;
- для південних районів (невелика глибина закладення труб, відносно дорога електроенергія) – 1,0.

## Додаток 13

### Граничні економічні витрати для сталевих і чавунних труб

Умовний діаметр труб $d_y$ , мм	Граничні економічні витрати, л/с					
	E=0,5		E=0,75		E=1,0	
	Сталеві	Чавунні	Сталеві	Чавунні	Сталеві	Чавунні
100	13,4	10,6	11,7	9,3	10,6	8,4
125	19,0	16,8	16,6	14,5	15,1	13,3
150	25,0	28,3	21,8	24,0	19,8	22,4
175	33,4	—	29,2	—	26,5	—
200	53,0	51,2	46,0	43,0	42,0	40,6
250	82,0	82,2	71,0	73,0	65,0	65,3
300	118,0	121,0	103,0	106,0	93,0	96,0
350	161,0	167,0	140,0	146,0	128,0	132,0
400	211,0	220,0	184,0	196,0	167,0	175,0
450	268,0	286,0	234,0	256,0	213,0	227,0
500	360,0	394,0	315,0	352,0	286,0	313,0
600	507,0	581,0	443,0	530,0	402,0	461,0

**Додаток 14****Граничні економічні витрати для азбестоцементних труб**

Умовний діаметр труб $d_y$ , мм	Граничні економічні витрати, л/с		
	E=0,5	E =0,75	E =1,0
100	10,1	9,1	8,4
125	15,2	13,8	12,7
150	26,1	23,6	21,8
200	48,7	44,0	40,7
250	78,2	71,0	65,3
300	114,0	103,0	95,6
350	160,0	144,0	133,0
400	240,0	217,0	201,0
500	560,0	505,0	465,0

**Додаток 15**

**Значення питомих опорів  $A$  (для  $q$  в м<sup>3</sup>/с) і коефіцієнти  $m=4/\pi d^2$  для азбестоцементних, частково зношених сталевих і чавунних труб**

$d_y$ , мм	Сталеві		Чавунні		Азбестоцементні	
	A	m	A	m	A	m
100	172,9	0,098	311,7	0,122	187,7	0,127
125	76,36	0,072	96,72	0,0787	76,08	0,0897
150	30,65	0,051	37,11	0,0548	31,55	0,0637
175	20,79	0,044	—	—	—	—
200	6,969	0,0292	8,092	0,0310	6,898	0,0356
250	2,187	0,0188	2,528	0,0199	2,227	0,0231
300	0,8466	0,0132	0,9485	0,0137	0,914	0,0164
350	0,3731	0,00966	0,4365	0,0103	0,4342	0,0123
400	0,1859	0,00743	0,2189	0,00791	0,2171	0,0094
450	0,09938	0,00586	0,1186	0,00697	—	—
500	0,05784	0,00478	0,06778	0,00508	0,07138	0,00611
600	0,02262	0,00336	0,02596	0,00354	—	—

**Додаток 16**

*Поправкові коефіцієнти до значень А для сталевих, чавунних і азбестоцементних труб залежно від швидкості руху води (v)*

v, м/с	К	
	Сталеві й чавунні труби	Азбестоцементні труби
0,10	1,68	1,483
0,20	1,41	1,308
0,25	1,33	1,257
0,30	1,28	1,217
0,35	1,24	1,185
0,40	1,20	1,158
0,45	1,175	1,135
0,50	1,15	1,115
0,55	1,13	1,098
0,60	1,115	1,082
0,65	1,10	1,069
0,70	1,085	1,056
0,75	1,07	1,045
0,80	1,06	1,034
0,85	1,05	1,025
0,90	1,04	1,016
1,00	1,03	1,000
1,10	1,015	0,986
1,20	1,00	0,974
1,30	1,00	0,963
1,40	1,00	0,953
1,50	1,00	0,944
1,60	1,00	0,936
1,70	1,00	0,928
1,80	1,00	0,922
1,90	1,00	0,916
2,00	1,00	0,910
2,10	1,00	0,905
2,20	1,00	0,900
2,30	1,00	0,895
2,40	1,00	0,891
2,50	1,00	0,887

*Категорії централізованих систем водопостачання  
за ступенем забезпеченості подачі води*

I – допускається зниження подачі води на господарсько-питні потреби не більше 30 % розрахункових витрат і на виробничі потреби до межі, установлюваної аварійним графіком роботи підприємств; тривалість зниження подачі не повинна перевищувати 3 діб. Перерва в подачі води або зниження подачі нижче зазначеної межі допускаються на час вимикання ушкоджених і включення резервних елементів системи (устаткування, арматури, споруджень, трубопроводів та ін.), але не більше ніж на 10 хв;

II – величина зниження подачі води, що допускається, та ж, що при I категорії; тривалість зниження подачі не повинна перевищувати 10 діб. Перерва в подачі води або зниження подачі нижче зазначеної межі допускаються на час вимикання ушкоджених і включення резервних елементів або проведення ремонту, але не більше ніж на 6 год;

III – величина зниження подачі води, що допускається, та ж, що при I категорії; тривалість зниження подачі не повинна перевищувати 15 діб. Перерва в подачі води або зниження подачі нижче зазначеної межі допускається на час проведення ремонту, але не більше ніж на 24 год.

Об'єднані господарсько-питні й виробничі водопроводи населених пунктів при числі жителів у них більше 50 тис. чол. варто відносити до I категорії; від 5 до 50 тис. чол. – до II категорії; менш 5 тис. чол. – до III категорії.

## Бібліографічний список

1. Водоснабжение. Наружные сети и сооружения: СНиП 2.04.02-84. – Утв. Госстроем СССР 4 октября 1985 г. – М.: Стройиздат, 1985. – 62 с.
2. Внутренний водопровод и канализация зданий: СНиП 2.04.01-85. – Утв. Госстроем СССР 30 апреля 1986г. – М.: ЦИТП Госстроя СССР, 1986. – 132 с.
3. Білявський, Г. О. Основи екології: теорія та практикум [Текст] / Г. О. Білявський, Л. І. Бутченко. – К.: Лібра, 2006. – 368 с.
4. Василенко, С. Л. Экологическая безопасность водоснабжения [Текст] / С. Л. Василенко. – Х.: ИД «Райдер», 2006. – 320 с.
5. Василенко, С. Л. Моделирование качества воды в водотоках [Текст] / С. Л. Василенко, М. И. Оленюк. – Х.: Основа, 2006. – 232 с.
6. Запольський, А. К. Водопостачання, водовідведення та якість води [Текст] / А. К. Запольський. – К.: Вища шк., 2005. – 671 с.
7. Фізико-хімічні основи технології очищення стічних вод [Текст] / А. К. Запольський, Н. А. Мішкова-Кліменко, І. М. Астрелін та ін. – К.: Лібра, 2000. – 552 с.
8. Калицун, В. И. Гидравлика, водоснабжение и канализация [Текст] / В. И. Калицун, В. С. Кедров, В. Ю. Ласков. – 4-е изд. – М.: Стройиздат, 2004. – 397 с.
9. Котляр, А. М. Современные проблемы питьевой пресной воды [Текст] / А. М. Котляр. – Х.: Факт, 2002. – 232 с.
10. Кравченко, В. С. Водопостачання та каналізація [Текст] / В. С. Кравченко. – К.: Кондор, 2003. – 238 с.
11. Кульский, Л. А. Технология очистки природных вод [Текст] / Л. А. Кульский, П. П. Стронач. – К.: Вища шк., 1981. – 328 с.
12. Красовський, Г. Я. Інформаційні технології космічного моніторингу водних екосистем та прогнозу водоспоживання міст [Текст] / Г. Я. Красовський, В. А. Петров. – К.: Наук. думка, 2003. – 224 с.

13. Левківський, С. С. Рациональное використання і охорона водних ресурсів [Текст] / С. С. Левківський, М. М. Падун. – К.: Либідь, 2006. – 280 с.
14. Экология города [Текст]: учебник под общ. ред Ф. В. Стольберга. – К.: Либра, 2000. – 464 с.
15. Яковлев, С. В. Водоотведение и очистка сточных вод [Текст] / С. В. Яковлев, Ю. В. Воронов. – М.: АСВ, 2004. – 704 с.
16. Яцык, А. В. Экологические основы рационального водопользования [Текст] / А. В. Яцык. – К.: Генеза, 1997. – 640 с.
17. Шевелев, Ф. А. Таблицы для гидравлического расчета стальных, чугунных, асбестоцементных, пластмассовых и стеклянных водопроводных труб [Текст] / Ф. А. Шевелев. – М.: Стройиздат, 1973. – 112 с.



## ЗМІСТ

1. Все про воду.....	3
1. 1. Все про воду.....	3
1. 2. Джерела води.....	5
1. 3. Фізико-хімічні властивості води.....	7
1. 4. Хімічні властивості води.....	14
1. 5. Біологічні властивості води.....	16
2. Водні ресурси.....	19
2. 1. Водні ресурси Землі.....	19
2. 2. Водні ресурси України.....	26
2. 3. Загальна характеристика природних вод.....	29
2. 4. Загальна характеристика природних вод України.....	37
3. Водопостачання.....	41
3. 1. Системи і схеми водопостачання.....	41
3. 2. Норми споживання води.....	45
3. 3. Режими водопостачання.....	47
3. 4. Визначення розрахункових втрат і вільного напору.....	48
4. Поверхневі та підземні джерела постачання води.....	50
4. 1. Водозабірні споруди для прийому води з поверхневих джерел....	50
4. 2. Спеціальні водозабірні споруди.....	54
4. 3. Підземні та поверхневі джерела водопостачання.....	56
4. 4. Водозабірні споруди для прийому води з підземних джерел.....	58
5. Вимоги споживачів до якості води.....	62
5. 1. Нормативи якості питної води.....	62
5. 2. Використання води в охолоджувальних системах.....	64
5. 3. Використання води в технологічних цілях промисловості.....	64
5. 4. Обґрунтування технології підготовки води.....	65
5. 5. Характеристика основних технологічних схем підготовки води.....	66
5. 6. Сучасні технологічні схеми для підготовки питної води.....	69

5. 6. 1. Прояснення природних вод від грубодисперсних завислих речовин.....	72
5. 7. Знезараження води.....	73
5. 7. 1. Знезараження води хлором.....	74
5. 7. 2. Знезараження води озоном.....	76
5. 7. 3. Знезараження води випромінюванням або іншими способами.....	77
6. Каналізація.....	79
6. 1. Системи та схеми каналізації.....	79
6. 1. 1. Види стічних вод.....	79
6. 2. Методи і принципи каналізування.....	80
6. 3. Системи каналізації.....	82
6. 4. Методи очищення стічних вод.....	84
6. 5. Умови скидання стічних вод.....	85
6. 5. 1. Класифікація випусків стічних вод у водойми.....	87
6. 6. Обладнання механічного очищення стічних вод.....	89
6. 6. 1. Решітки.....	89
6. 6. 2. Пісколовки.....	90
6. 7. Технологічні схеми очищення стічних вод.....	94
6. 8. Споруди для біологічного очищення стічних вод методом біофільтрації.....	99
6. 8. 1. Теоретичні основи методу біофільтрації.....	99
6. 8. 2. Класифікація біофільтрів.....	101
6. 8. 3. Технологічні схеми роботи біофільтрів.....	102
6. 9. Споруди фізико-хімічного очищення стічних вод.....	104
6. 9. 1. Область застосування і класифікація споруд фізико-хімічного очищення стічних вод.....	104
6. 9. 2. Очищення стічних вод флотацією.....	105
6. 9. 3. Технологічні схеми флотаційних споруд.....	108
6. 9. 4. Очищення стічних вод коагулянтами.....	110

6. 9. 5. Споруди для коагулювання стічних вод.....	112
6. 9. 6. Сорбційне очищення стічних вод.....	112
6. 9. 7. Технологічні схеми методів адсорбції.....	113
6. 9. 8. Споруди для сорбційного очищення стічних вод.....	115
7. Організація контролю якості стічних вод.....	118
7. 1. Фізико-хімічні методи і засоби контролю якості стічних вод.....	118
7. 2. Призначення аналітичної лабораторії.....	119
7. 3. Призначення автоматизованого поста спостережень.....	119
7. 4. Серійні прилади та засоби контролю якості стічних вод.....	125
8. Спеціальні процедури підготовки води.....	127
8. 1. Іонообмінні процеси в технології водопідготовки.....	127
8. 2. Зворотний осмос.....	129
8. 2. 1. Ультрафільтрування.....	131
8. 2. 2. Нанофільтрування.....	132
8. 2. 3. Мікрофільтрування.....	132
8. 2. 4. Мембрани.....	133
9. Завдання для виконання розрахункової роботи.....	135
Бібліографічний список.....	183

Навчальне видання

**Кириєнко Петро Григорович**  
**Варламов Євген Миколайович**  
**Кручина Вікторія Віталіївна**  
**Берешко Ігор Миколайович**

**ВОДОПОСТАЧАННЯ, ВОДОВІДВЕДЕННЯ  
ТА ПОЛІПШЕННЯ ЯКОСТІ ВОДИ**

Редактор Є. О. Александрова  
Комп'ютерна верстка: А. Д. Дєєва,  
А. С. Плахотнича

Зв. план, 2013

Підписано до друку 30.12.2013

Формат 60x84 1/16. Папір офс. № 2. Офс. друк

Ум. друк. арк. 10,2. Обл.-вид. арк. 11,50. Наклад 40 пр. Замовлення 389.

Ціна вільна

---

Національний аерокосмічний університет ім. М. Є. Жуковського  
«Харківський авіаційний інститут»  
61070, Харків-70, вул. Чкалова, 17  
<http://www.khai.edu>  
Видавничий центр «ХАІ»  
61070, Харків-70, вул. Чкалова, 17  
[izdat@khai.edu](mailto:izdat@khai.edu)

Свідоцтво про внесення суб'єкта видавничої справи  
до Державного реєстру видавців, виготовлювачів і розповсюджувачів  
видавничої продукції сер. ДК № 391 від 30.03.2001