

Міністерство освіти і науки, молоді та спорту України
Дніпродзержинський державний технічний університет
(ДДТУ)

Волошин М. Д.
Крюковська О. А.
Іванченко А. В.

ПРОБЛЕМИ ПІДВИЩЕННЯ ЯКОСТІ ПИТНОЇ ВОДИ

Монографія

Дніпродзержинськ
ДДТУ
2013

УДК 628.171.033

ББК 38.761.1

В 68

Рецензенти:

Лобойко О. Я. — доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри технології неорганічних речовин, каталізу та екології Національного технічного університету України «Харківський політехнічний інститут»

Пивоваров О. А. — доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри технології неорганічних речовин та екології Державного вищого навчального закладу «Український державний хіміко-технологічний університет»

*Друкується за рішенням Вченої ради ДДТУ,
Протокол № 10 від 27.06. 2012 року*

Волошин М. Д.

В 68 Проблеми підвищення якості питної води : монографія / Волошин М. Д., Крюковська О. А., Іванченко А.В. — Дніпродзержинськ : ДДТУ, 2013. — 269 с.

У монографії розглянуто сучасний стан технології питної води та проблеми підвищення її якості. Розглянуто світові водні ресурси, в тому числі водні ресурси України. Дана коротка історична довідка про розвиток систем водокористування. Наведені вимоги до якості питної води. Розкриті теоретичні основи сучасної технології підготовки води та методи її очистки для питного постачання. Окремий розділ присвячено коагулянтам і флокулянтам, сорбентам, знезаражуючим агентам та процесам підготовки води. Певна увага приділена питанням перекачування води. Також окремий розділ присвячено промисловим технологіям на міських водозаборах вітчизняних та закордонних країн. В останньому розділі описано результати експериментальних досліджень процесу підготовки питної води з застосуванням гідроксохлориду алюмінію, надано приклади технологічних розрахунків основних апаратів водопідготовчих споруд.

УДК 628.171.033

ББК 38.761.1

ISBN 978-966-175-068-4

© Волошин М. Д., Крюковська О. А.,
Іванченко А. В., 2013

© ДДТУ, 2013

ЗМІСТ

ВСТУП.....	8
РОЗДІЛ 1. Водні ресурси.....	9
1.1. Світові водні ресурси.....	9
1.2. Водні ресурси України.....	19
1.2.1. Морські водні ресурси.....	21
1.2.2. Річкові водні ресурси.....	24
1.2.3. Вода озерна.....	26
1.2.4. Підземні води.....	29
1.2.5. Болота.....	30
1.3. Водне законодавство в галузі використання водних ресурсів України.....	31
1.4. Раціональне використання водних ресурсів України.....	32
1.4.1. Водопостачання великих міст.....	36
1.4.2. Водопостачання населених пунктів та селищ.....	42
1.4.3. Промислове водопостачання.....	43
Перелік використаних джерел.....	47
РОЗДІЛ 2. Водопідготовка.....	50
2.1. Коротка історична довідка про розвиток систем водокористування та водовідведення.....	50
2.2. Вимоги до якості питної води.....	55
2.3. Теоретичні основи водо підготовки.....	61
2.4. Методи очистки води для питного постачання.....	68
2.5. Коагулянти і флокулянти.....	77
2.5.1. Основні коагулянти в процесах очистки води.....	78
2.5.2. Способи добування коагулянтів.....	79
2.5.3. Хімічні властивості коагулянтів.....	80
2.5.4. Основні етапи використання коагулянтів в процесах водоочистки.....	82
2.5.5. Флокулянти.....	89
2.5.6. Перспективи створення нових ефективних	

коагулянтів.....	91
2.6. Сорбенти.....	92
2.7. Хлорування.....	96
2.7.1. Реагенти для хлорування води.....	96
2.7.2. Гідроліз хлору і хлоровмісних сполук.....	98
2.7.3. Хлоропоглинання природних вод.....	99
2.7.4. Бактерицидна і віруліцидна дія хлору.....	102
2.7.5. Взаємодія хлору з домішками води.....	103
2.7.6. Технологія хлорування води.....	105
2.7.7. Гігієнічні аспекти хлорування води.....	106
2.7.8. Рекомендації з оптимізації хлорування води.....	107
2.8. Вакуумна обробка води.....	108
2.9. Обробка і утилізація осадів водоочисних станцій.....	111
2.9.1. Склад, властивості й кількість опадів, що утворюються.....	111
2.9.2. Способи обробки осадів.....	112
2.9.2.1. Механічне обезводнення осадів.....	113
2.9.2.2. Обробка осаду природних вод спільно з осадами стічних вод.....	115
2.9.2.3. Обробка осадів станцій водо підготовки з одночасною регенерацією коагулянта.....	115
2.9.2.4. Обезводнення методом заморожування — відтавання осаду.....	117
2.9.3. Утилізація осадів, що утворюються при водо- підготовці.....	117
2.9.4. Використання промивної води.....	118
2.10. Основи електрохімічної очистки води.....	118
2.10.1. Основні параметри процесу.....	122
2.10.2. Конструкція електролізера.....	126
2.10.3. Лабораторні дослідження.....	129
2.11. Трубопроводи.....	134
2.11.1. Види труб.....	135
2.11.2. Експлуатаційні характеристики трубопроводів та наслідки їх змін.....	139

Перелік використаних джерел.....	144
----------------------------------	-----

РОЗДІЛ 3. Промислові технології на міських водо- заборах..... 151

3.1. Технологічна схема водопідготовчого підприємства.....	151
3.2. Опис технологічного процесу.....	153
3.3. Норми технологічного режиму.....	164
3.4. Собівартість питної води.....	167
3.5. Напрями удосконалення технології водопідготовки на водозаборах та заходи з енергозбереження.....	170
Перелік використаних джерел.....	174

РОЗДІЛ 4. Передові технології водопідготовки за кордоном..... 175

4.1. Російські технології.....	175
4.1.1. Мембранні методи.....	176
4.1.2. Озонування.....	185
4.2. Технології Великобританії.....	192
4.2.1. Зворотний осмос.....	193
4.2.2. Електродеіонізація.....	195
4.2.3. Ультрафільтрація.....	196
4.2.4. Знезараження.....	198
4.3. Технології Німеччини.....	199
Перелік використаних джерел.....	203

РОЗДІЛ 5. Дослідження процесу підготовки питної води та технологічні розрахунки..... 204

5.1. Теоретичні основи процесу підготовки питної води в Україні.....	204
5.1.1. Проблеми водопостачання України.....	204
5.1.2. Оцінка стану р. Дніпра в районі міста Дніпродзержинська.....	206
5.1.3. Загальна схема водопостачання міст України.....	208
5.1.4. Обробка питної води хлором.....	209
5.1.5. Підготовка питної води за допомогою коагулянтів...	215

5.1.6. Сучасні методи підготовки питної води.....	217
5.2. Експериментальні дослідження процесу підготовки питної води.....	221
5.2.1. Використання в якості коагулянту сульфату алюмінію $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \times 18 \text{H}_2\text{O}$	221
5.2.2. Дослідження процесу підготовки питної води за допомогою коагулянту гідрооксихлориду алюмінію «ПОЛВАК-68» $\text{Al}_2(\text{OH})_5\text{Cl}$	226
5.3. Дослідження процесу вилучення фосфатів з міських стічних вод відпрацьованим коагулянтом на основі сульфату алюмінію станції водопідготовки і порівняння його ефективності з класичними реагентами.....	230
5.4. Розрахунки в технології підготовки питної води.....	236
5.4.1. Розрахунок матеріального балансу станції очищення питної води.....	236
5.4.2. Розрахунок станції очищення питної води.....	244
5.4.2.1. Перевірка результатів аналізу вихідної води.....	244
5.4.2.2. Визначення повної продуктивності водоочисних споруд.....	246
5.4.3. Розрахунок реагентного господарства.....	247
5.4.3.1. Розрахунок коагуляторного відділення.....	247
5.4.3.2. Розрахунок витрати повітря для коагуляторного відділення.....	250
5.4.3.3. Розрахунок відділення поліакриламідну.....	250
5.4.3.4. Розрахунок відділення вапнування.....	252
5.4.3.5. Розрахунок хлораторного відділення.....	252
5.4.4. Технологічний розрахунок водоочисних споруд.....	254
5.4.4.1. Розрахунок швидких фільтрів.....	254
5.4.4.2. Розрахунок горизонтальних відстійників і	256

камер утворення пластівців.....	
5.4.4.3. Розрахунок камери утворення пластівців...	259
5.4.5. Розрахунок вертикального змішувача.....	260
5.4.6. Розрахунок пісколовки.....	261
5.4.7. Вибір схеми і складу водоочисних споруд.....	263
Перелік використаних джерел.....	264
Додаток 1	267
Додаток 2	268

ВСТУП

В книзі розглянуто сучасний стан технології питної води та проблеми і напрямки підвищення її якості. Розкриті світові водні ресурси, в тому числі водні ресурси України. Дана коротка історична довідка про розвиток систем водокористування. Наведені вимоги до якості питної води. Розкриті теоретичні основи сучасної технології водопідготовки та методи очистки води для питного постачання. Окремий розділ присвячено коагулянтам і флокулянтам, сорбентам, знезаражуючим агентам та процесам підготовки води. За даними Всесвітньої організації здоров'я (ВОЗ) більшість захворювань в світі пов'язана з поганою якістю питної води. Тому найбільша увага приділена розвитку саме знезаражуючих технологій. Обробка води хлором супроводжується створенням тригалоїдметанів, галогенфенолів, галогенальдегідів і ще деяких хлорорганічних сполук, маючих мутагенні та канцерогенні властивості. При застосуванні озону в питній воді створюються броміти і бромати, які пов'язуються з онкологічними захворюваннями. Певна увага приділена питанням перекачування води. В наукових колах спостерігається увага до створення та застосування гідравлічних моделей для великих міст, які забезпечують можливість розрахунків розподілу водних потоків по окремим районам міста, визначення необхідних напорів. Також окремий розділ присвячено промисловим технологіям на міських водозаборах вітчизняних та закордонних країн. Вихідна вода, що потрапляє на водозабори, повинна бути захищена від техногенних забруднень. Мембранні технології дорого коштують з-за високого тиску. Тому зменшення тиску на мембранних фільтрах може бути дуже корисним в віддаленні органічних сполук з води. В останньому розділі описано результати експериментальних досліджень процесу підготовки питної води з застосуванням гідроксохлориду алюмінію, надано приклади технологічних розрахунків основних апаратів водопідготовчих споруд.

Розділ 1 написано М. Д. Волошиним та О. А. Крюковською, розділи 2—4 — О. А. Крюковською, розділ 5 — А. В. Іванченко. Загальна редакція рукопису належить М. Д. Волошину.

Розділ 1. ВОДНІ РЕСУРСИ

1.1. Світові водні ресурси

Водні світові ресурси поєднані у *Світовому океані*, під яким розуміють неперервну водну оболонку Землі, що оточує материки й острови. Площа Світового океану становить близько 361 млн. км³, або 71 % земної поверхні. В ньому зосереджено понад 1370 млн. км³ води, тобто 96,5 % об'єму гідросфери. Складові частини Світового океану — це океани, моря, затоки, протоки, річки, озера, болота [1].

На Землі умовно виділяють 4 океани: Тихий — складає майже половину площі Світового океану (178,7 млн. км²) і понад половини його об'єму (740 млн. км³); Атлантичний — складає приблизно 1/4 частину Світового океану за площею (91,6 млн. км²) і об'ємом (330 млн. км³); Індійський — складає дещо більше 1/5 частини Світового океану за площею (76,2 млн. км²) і об'ємом (283 млн. км³); Північний Льодовитий — складає лише 1/25 частину Світового океану за площею (14,7 млн. км²) і 1/75 його частину за об'ємом (18 млн. км³). Деякі дослідники виділяють п'ятий — Південний океан, що омиває береги Антарктиди [2, 3].

Море — це частина океану, відділена від нього суходолом, підводними узвишсями або островами. Розрізняють внутрішні, окраїнні, міжостровні моря. В Атлантиці є море без берегів — Саргасове (його межами є течії).

Затока — частина океану або моря, що далеко заходить в сушу. В деяких випадках назва «затока» історично закріпилося за водоймами, які за їх гідрологічним режимом вірніше було б називати морями (Мексиканська, Гудзонова, Перська затоки).

Протока — відносно вузький водний простір, що розділяє ділянки суші і з'єднує водні басейни або їх частини.

Води Світового океану перебувають в постійному русі. Види його руху: вітрові хвилі, течії, припливи і відливи, цунамі.

Вітрові хвилі — коливальні рухи водної поверхні. Звичайна висота вітрових хвиль — до 4 м, рідше — до 6—7 м. Відзначено випадки, коли штормові вітри піднімали у відкритому океані хвилі висотою 20—30 м і більше.

Течії — горизонтальні переміщення величезних мас води у певному напрямку і на великі відстані. Причиною течій здебільшого бувають постійні вітри. Розрізняють теплі течії, температура води яких вища від температури оточуючих океанічних вод (Гольфстрім, Куросіо та ін.), і холодні течії — із температурою води, нижчою ніж у океанічних водах (Лабрадорська, Бенгельська та ін.).

Припливи і відливи — періодичні коливання рівня води в океанах і морях, що спричиняються силами притягіння Місяця і Сонця. Максимальний приплив — 18 м (у затоці Фанді, біля берегів Північної Америки).

Цунамі — хвилі, утворювані в океані внаслідок сильних підводних землетрусів. Швидкість цунамі — до 800 км/год, висота хвиль біля берегів може сягати 15—30 м.

Складовою частиною гідросфери є води суходолу, які поділяються на поверхневі і підземні.

Поверхневі води — води суходолу, що постійно або тимчасово знаходяться на земній поверхні в рідкому або твердому стані у формі водних об'єктів (водних потоків, водойм), а також скупчень льоду і снігу (льодовиків, снігового покриву).

Ріка — природний водний потік, що тече у розробленому ним заглибленні — річищі. Річище ріки, що постійно заповнене водою, є частиною річкової долини — заглиблення, яке потік води створював тисячі, мільйони років, розмиваючи гірські породи. Головна ріка з усіма притоками утворює річкову систему. Територія, з якої ріка та її притоки збирають воду, називається басейном ріки, межа між басейнами сусідніх рік — вододілом. Виділяють такі види живлення рік: дощове, снігове, підземне, льодовикове. Зміни рівня води в річці визначають її режим. Режим, ріки насамперед залежить від клімату місцевості.

Найдовша ріка в світі — Ніл (6671 км), найповноводніша — Амазонка (середня витрата води в гирлі становить 200 тис. м³/с). Головна ріка України — Дніпро. Вона має довжину 2201 км і витрату води в гирлі близько 2 тис. м³/с.

Ріки є джерелом прісної води для промисловості, сільського господарства, водопостачання населених пунктів, використовуються також для одержання електроенергії (на них працюють тисячі ГЕС), як транспортні шляхи, місця рибальства, відпочинку, туризму, спортивних змагань.

Озеро — водойма, що утворилася в замкненому природному заглибленні на поверхні суходолу. Озерні улоговини можуть мати різне походження. Виділяють тектонічні озера (Каспійське море, Байкал та ін.), льодовикові (озера Фінляндії, Канади), загатні (Синевир у Карпатах), кратерні (Кроноцьке на Камчатці), карстові (Світязь), лиманні (Ялпуг) та ін. Озера поділяються за водним режимом на стічні — з прісною водою та безстічні — з солоною. Озера використовуються як шляхи сполучення, джерела водопостачання, місця відпочинку та рибальства. З солоних озер добувають сіль (кухонну, глауберову), магній та іншу мінеральну сировину. Видобувають також лікувальну грязь.

Болота — надмірно зволожені ділянки суходолу зі своєрідною рослинністю та шаром торфу не менше 0,3 м. За умовами живлення болота поділяють на низинні, верхові та перехідні. Низинні болота утворюються в річкових долинах і на берегах озер у місцях близького залягання або виходу на поверхню підземних вод. Таких боліт багато в Поліссі, на заплавах рік, по берегах озер. Верхові болота характерні для тайги, тундри, — вони лежать на вододілах, не пов'язані з підземними водами і живляться тільки атмосферними опадами. Болота регулюють стік рік, зволожують атмосферне повітря, є місцями мешкання багатьох видів тварин і рослин. На болотах розробляють торф, що використовується як добриво, паливо і хімічну сировину.

Льодовики — природні скупчення льоду на земній поверхні. Займають площу 16,2 млн. км² — територію Антарктиди, Гренландії, багатьох арктичних островів, а також високігорних районів, що лежать вище снігової лінії. Гірським льодовикам належить важлива роль у живленні рік посушливих районів світу. Льодовики — один із головних ресурсів прісної води.

Підземні води — води, що знаходяться в порах і пустотах гірських порід верхньої частини земної кори. Під землею вода може знаходитися у всіх агрегатних станах. Підземні води утворюються в основному за рахунок просочування вглиб атмосферних опадів під час дощів або танення снігу і льоду. Підземні води за умовами залягання можуть бути поверхнево-грунтовими (містяться в проміжках між часточок ґрунту), ґрунтовими (залягають у першому від поверхні землі водотривкому шарі) і міжпластовими (залягають між двома водотривкими шарами і досить часто бувають напірними, або артезіанськими). Особливий вид джерел, що фонтанують, — гейзери.

Підземні води різноманітні за хімічним складом (прісні, слабо- або сильномінералізовані) та температурою (холодні або термальні). Підземні води регулюють стік рік, є рельєфоутворюючим чинником, забезпечують рослини вологою і розчиненими мінеральними речовинами, використовуються як джерела водопостачання. Термальні води дають теплову енергію, мінеральні і радіоактивні води використовуються в медицині. З підземної ропи одержують йод, солі, різні метали.

Вода забезпечує існування живих істот на Землі. Вона входить до складу тканин та кісток рослин і тварин і бере участь у біологічних процесах і хімічних реакціях. Вода впливає на клімат і природу Землі. Річки, озера та моря мають велике значення для водного транспорту, енергетики, розвитку промислового виробництва і сільського господарства. Багато води витрачається на господарські потреби населення.

Об'єм гідросфери дорівнює 1,4 млрд. м³ [4]. Вона займає 3/4 поверхні земної кулі. Прісні води, доступні для використання людиною, складають 0,3 % або 5 млн. км³. Світовий океан містить 1338 млн. км³ води і 96,5 % від загального об'єму води на Землі; розміри льодовиків Арктики й Антарктики оцінюються у 24 млн. км³ води, що складає 69 %. Русла річок світу містять близько 2120 км³ води. Річний стік дорівнює 45 тис. км³ води. В озері Байкал міститься 23 тис. км³ води, а у Великих Американських озерах — більше 24 тис. км³. По континентах ресурси річкових вод розподілені нерівномірно: в Європі й Азії знаходиться 39 % світових запасів річкових вод, а мешкає там 70 % населення світу.

Озера містять 176,4 тис. км³ води. В земній атмосфері є 12,9 тис. км³ води у вигляді водяної пари. Живі організми містять приблизно 1120 млн. м³ води. Об'єм підземних вод дорівнює 23,4 млн. км³. Частково підземні води використовуються для питного водопостачання (Київ, Дніпродзержинськ). Частка підземних вод використовується як мінеральна в санаторіях, курортах, лікарнях.

На Землі створюються штучні водоймища — водосховища при будівництві гідроелектростанцій. В 1953—1963 рр. в Африці на річці Замбезі створено водосховище площею 6,5 тис. км² і об'ємом 170 млрд. м³. При цьому прогинання Земної кори близько водоймища досягло 13 см і стали виникати землетруси в цьому районі. Таке ж явище має місце на річці Колорадо в США та ін. Водосховища впливають на місцевий клімат. Вміст іонів солей у морській воді характеризується даними табл. 1.1 [4].

Таблиця 1.1. Вміст домішок у морській воді

Іони	Вміст, млн ⁻¹	Іони	Вміст, млн ⁻¹
Cl ⁻	18,980	Na ⁺	10,556
SO ₄ ²⁻	2,649	Mg ²⁺	1,272
HCO ₃ ⁻	0,140	Ca ²⁺	0,400
Br ⁻	0,065	K ⁺	0,380
F ⁻	0,001	Sr ²⁺	0,008

У воді найбільша кількість припадає на іони хлору, натрію, магнію, кальцію, калію.

В морській воді розчинено багато газів. Так, вміст розчиненого кисню складає $8,08 \text{ мл/дм}^3$ і азоту близько $14,4 \text{ мл/дм}^3$.

Основу маси гідросфери складає кисень, водень, хлор, магній та натрій. Розчинений кисень, скупчений у поверхневому шарі океану товщиною 150—200 м. У більш глибоких шарах вміст O_2 падає до $0,5 \text{ мл/дм}^3$, а в місцях, заражених H_2S , досягає нуля. Вміст CO_2 зростає з глибиною. В цілому океан узимку поглинає CO_2 , а влітку виділяє його в атмосферу. Узимку карбонати розчинюються, а влітку випадають в осадок. При цьому в процес осадження втягується фтор.

Океан — саморегулююча система, що прагне до рівноваги з літосферою та атмосферою, знаходячись у стані безперервного розвитку. Час перебування розчинених елементів у воді океану обчислюється тисячами років. Для кадмію він дорівнює 100 тис., для вісмуту — 60, берилію, європію, гадолінію — 1. Постійне винесення із надр Землі H_2O , Cl, P, Br, I, S та інших летких елементів з їх, наступною конденсацією та взаємодією із земними породами за період $3,5 \cdot 10^9$ років супроводжувалося формуванням океану й гідросфери та зародженням і розвитком життя. За останні $1,7 \cdot 10^9$ років сформувався сучасний склад морських вод, відбулися гігантські накопичення солей, різних осадів дна. В океанічній воді переважають кисень, хлор, водень і натрій. У воді суші переважають карбонати [5].

Прісні води містять 50—1000 мг/кг солей. Середня солоність океанічної води близько 35 г/кг. Підземні води можуть містити до 600 г/кг солей. У води океанів катіони натрію, магнію, калію приносяться річковим стоком. Хлор, сірка, фтор, бром, йод, бор є продуктами підводних вулканічних вибухів. Вуглець, вільний кисень надходять до океану з атмосфери та живої речовини суші й океану. Великий уміст солей і біогенних

елементів слугує сприятливим середовищем для розвитку рослин та тварин.

Температура поверхневого шару води змінюється від 25 біля екватора до 0 °С в полярних областях. У глибинних шарах температура води наближається до 0 °С. Густина океанічної води на екваторі близька до 1,022 г/см³, у полярних областях — 1,0275 г/см³. Океан акумулює сонячну енергію вдень і віддає її в атмосферу вночі, переносить водяними течіями тепло від екватора до високих широт. Велика роль океану в круговороті речовин.

Стаціонарні водні ресурси Землі показано в таблиці 1.2.

Таблиця 1.2. Стаціонарні водні ресурси Землі [6]

Частини гідросфери	Об'єм води, тис. км ³
Світовий океан	1370000
Підземні води	60000
Льодовики	24000
Озера	230
Ґрунтова волога	82
Річкові води	1,2
Пара атмосфери	14
Уся гідросфера	1454327,2

Видно, що основна маса води міститься в океанах. Загальна площа океанів і морів в 2,5 раза перевищує площу суші. Середня глибина океанів складає біля 3,7 км. Однак, маса гідросфери складає лише 0,023 % від маси Землі. Океанічна вода має високу солоність — приблизно 3,5 кг/м³. На частку прісних вод припадає менше 2 % стаціонарних водних ресурсів, або 35 млн. км³. До того ж полярні льодовики поки не досяжні для практичного використання. Глибинні підземні води слабо беруть участь у круговороті води і більшою частиною сильно мінералізовані.

Безперервно відновлювальні в процесі кругообігу водні ресурси показано в табл. 1.3.

Інтенсивність випаровування води в океані вища, ніж на суші, а інтенсивність випадіння осадків майже однакова. Це пояснюється перенесенням вологи з циркулюючим повітрям від океанів до материків.

Таблиця 1.3. Відновлювальні водні ресурси Землі [6]

Елементи балансу	Об'єм, тис. км ³	Шар, мм
Суша		
Опади	110	1100
Річковий стік	38	320
Випаровування	72	780
Світовий океан		
Опади	410	1140
Приток річкових вод	38	100
Випар	480	1240
Земля в цілому		
Опади	520	1020
Випар	520	1020

Для побутових і промислових цілей найбільшого значення мають річкові води. Їх розподіл по частинах світу показано в табл. 1.4. Найзабезпеченіші річковою водою Азія та Південна Америка.

Таблиця 1.4. Річковий стік по частинах світу [4]

Частини світу	Об'єм стоку, км ³ /рік
Європа	2950
Азія	12860
Африка	4220
Північна Америка	5400
Південна Америка	8000
Австралія	1920
Антарктида й Гренландія	2800
Уся суша	38150

Безстічні області отримують 750 км³/рік води. Забезпеченість прісною водою деяких країн світу така, тис. м³/рік на 1 людину: Канада — 108; Бразилія — 86; Росія — 30; Китай — 3,1; Індія — 2,8; Єгипет — 0,1.

Склад мінеральних домішок внутрішньоматерикових вод по частинах світу, як видно з табл. 2.8, майже однаковий [4].

Світове споживання води населенням дорівнювало 3000 м³/рік у 1985 р. В даний час воно підвищилося майже вдвічі. Гідроенергетичний потенціал Землі складає більше 2200 млн. кВт, Гольф-стріму — 25 млн. кВт.

Людством створено багато штучних водосховищ (табл. 1.5).

Таблиця 1.5. Склад домішок внутрішньоматерикових вод, % мас. [4]

Компоненти	Північна Америка	Європа	Африка	Середній склад (без Антарктиди)
CO ₃	33,4	40,0	32,8	35,1
SO ₄	15,3	12,0	8,7	12,1
Cl	7,4	3,4	5,7	5,7
NO ₃	1,1	0,9	0,6	0,9
SiO ₂	8,6	8,7	17,9	11,7
Ca	19,4	23,2	19,0	20,4
Mg	4,9	2,3	2,7	3,4
Na	7,5	4,3	4,9	5,8
K	1,8	2,8	2,3	2,1
Fe ₂ O ₃ , Al ₂ O ₃	0,6	2,4	5,5	2,7

Водосховища в основному створені після другої світової війни. Можливо, що розміри водосховищ і ставків скоро перевищать природні континентальні водоймища земної кулі.

Недолік штучних водосховищ — затоплення родючих полів, лісів, заплавних луків і випасів, необхідність будівництва і експлуатації риборозплідників. Крім того, створення водосховища може викликати підтоплення значної площі ґрунту, зміну місцевого клімату із створенням прибережних боліт,

особливо на рівнинній місцевості. Водосховище втягує у сферу перетворення природи весь басейн, включаючи зміну гідробіологічних умов і порушення структури підземних вод.

Таблиця 1.6. Потужності водосховищ світу (об'ємом більше 100 млн. м³ кожне)

Частини світу	Водосховища		Стік води, км ³ /рік
	Кількість	Об'єм, км ³	
Європа	482	570	1365
Азія	554	1463	4210
Африка	96	865	1985
Південна Америка	187	551	4320
Північна Америка	868	1606	2690
Австралія і Океанія	70	76	510
Всього	2257	5131	15080

Під дією сонячної енергії і при активній участі тварин і рослин у природі відбувається кругообіг води. Його розглядають як безперервний процес обміну водою між складовими гідросфери.

Розрізняють малий кругообіг за схемою море (океан) — атмосфера — море (океан) і великий кругообіг: океан — атмосфера — суша — океан. На суші волога випаровується, конденсується, випадає у вигляді дощу й снігу на сушу і знову випаровується. Це так званий внутрішньоматериковий кругообіг води.

З поверхні океанів і суші за рік випаровується $5 \cdot 10^{17}$ т води. Цієї кількості достатньо, щоб покрити планету шаром води в 1 м. При такій інтенсивності випаровування вологи вся гідросфера повністю випаровується протягом 3000 років. Концентрація водяної пари в атмосфері коливається від 0,2 % у полюсів до 2,6 % над екватором, найвище випаровування (до 2000 мм/рік) має місце в Атлантичному океані й пов'язане з Гольфстрімом і Куросіо.

При випаровуванні з поверхні океанів вода збіднюється важким воднем. Поміж поверхневим і глибинними шарами води океану відбувається регулярний водообмін. Поміж паром води і водою атмосфери і водоймищ устанавлюється локальна часова рівновага. Переміщення повітряних мас супроводжується порушенням цієї рівноваги й конденсацією пари з розчиненням у створюваних дощових краплях газів атмосфери. При випадінні опадів у вигляді дощу і снігу на сушу частина води вступає в хімічні реакції і зв'язується пухкими породами земної кори, ховається разом із ними і надовго залишається мало рухомою. Опадові породи в процесі метаморфізації і занурення усередину Землі, під дією високого тиску й температури втрачають воду, яка у вигляді гарячих джерел або пластових вод з'являється на поверхні Землі. Частина підземних вод викидається вулканічними газами. Основна маса води стікає по річкам назад в океан, захоплюючи із собою тверді продукти руйнування гірських порід і розчинні солі, біомасу. У воді океану накопичуються легкорозчинні речовини, а опади опускаються на дно океану.

1.2. Водні ресурси України

Відновлювальні водні ресурси України надано в табл. 1.7. Ресурси поверхневих вод України складають $83,5 \text{ км}^3$ (без Дунаю), із них формується $47,3 \text{ км}^3$ на власній території, $36,2 \text{ км}^3$ надходить із суміжних територій Білорусі, Росії. Запаси підземних вод дорівнюють $21,4 \text{ км}^3$. На одного мешканця України припадає 1 тис. м^3 води на рік. Краще забезпечені водою західні області країни (до $1,5\text{—}2,0$ тис. м^3 на 1 мешканця). В південних областях цей показник складає $0,07\text{—}0,40$.

Таблиця 1.7. Водні ресурси України [7]

Найменування ресурсів	Об'єм, млрд. м ³ /год
Поверхневий стік	83,5
в тому числі місцевий стік	47,3
Спільні водні ресурси	92,4
в тому числі можливі для використання	56,2

Проводиться робота по перерозподілу водних ресурсів (будівництво водосховищ, каналів), їх економному використанню для потреб сільського господарства, промисловості й побуту.

Інтенсивність випадіння опадів на території України характеризується даними таблиці 1.8.

Таблиця 1.8. Опади на території України [7]

Зони	Опади, мм/рік
Змішані ліси	550—650
Лісостепова	450—650
Степова	300—450
Південний берег Криму	500—600
Кримські гори	900—1100
Карпати	1200—1500

Спостерігається зменшення опадів із заходу і північного заходу на південний схід і південь країни.

В Україні загальні запаси природної води складають 94 км³, з яких доступні для використання 56,2 км³. Основна частина водних ресурсів, що постійно відновлюються, припадає на річковий стік — 85,1 км³ (без Дунаю). 60 % річкового стоку формується на території України (місцевий стік), 40 % — за її межами (транзитний стік).

Гідрографічну мережу території України складають моря, річки, озера та лимани, канали, водосховища, ставки, болота. Найголовнішим елементом гідрографічної мережі України є річки. Середня густота річкової мережі в Україні становить 0,34 км/км².

Річки належать до басейнів Чорного, Азовського і Балтійського морів, однак на південні моря припадає 98 % площі водозбору. В Україні нараховується понад 20 тисяч озер, а їх загальна площа становить 4000 км². Водосховища і ставки займають площу 11730 км², найбільше їх в лісостеповій і степовій зонах. Близько 1,7 % території України займають болота [8, 9].

1.2.1. Морські водні ресурси

Морські ресурси України складаються з Азовського й Чорного морів.

Азовське море — внутрішнє море басейну Атлантичного океану площею 39000 км² в межах України і Росії. Середня глибина 4—7 м, максимальна — 15 м. Керченською протокою Азовське море з'єднане з Чорним морем. У море впадає річка Дон, а також невеликі річки. Є грязьові вулкани, поклади нафти і газу, залізних руд.

Азовське море розташоване в помірному поясі, його клімату властиві континентальні риси. Середня температура повітря у прибережній смужі взимку коливається від –1 до –6°C, улітку — від +22 до +24 °C. Температура поверхневого шару води влітку +25...+30 °C і вище, узимку від 0 до –3 °C. Середня річна кількість опадів зменшується із заходу на схід від 500 до 340 мм, солоність води становить 13,8 ‰, зменшуючись у напрямку гирла Дону до 8 ‰ і менше. Повністю море замерзає лише в суворі зими. Солоність води в морі за останні десятиліття збільшилася, тому що скоротився річковий стік головних річок (унаслідок їхнього зарегулювання водоймищами, забору води на зрошення полів тощо). Рівень води в Азовському морі підтримується за рахунок надходження більш солоних вод із Чорного моря. Солоність води в Азовському морі зростає, що згубно відбивається на прісноводних видах рослин і тварин.

Рослинний і тваринний світ Азовського моря характеризується високою продуктивністю. У минулому море було найпродуктивнішим у світі. Тепер налічується лише 79 видів риб, з яких промислове значення мають тюлька, хамса,

бички, оселедець. Цінні риби — осетрові, кефаль, камбала — поступово втрачають промислове значення.

Чорне море — внутрішнє море Атлантичного океану, омиває береги України, Росії, Грузії, Румунії, Болгарії, Туреччини. Його площа — 422 000 км², відсоток між західною і східною точками — близько 1167 км, між північною і південною — 624 км. Найбільший півострів — Кримський, найбільші затоки — Каркінітська, Каламітська, Феодосійська, Джарилгачська. Середня глибина — 1271 м, максимальна — 2245 м. Береги Чорного моря слабо розчленовані, найчастіше гористі, стрімчасті, але в межах континентальної частини України вони пологі.

У межах України в Чорне море впадають річки Дунай, Дністер, Південний Буг, Дніпро.

Більша частина моря розташована в субтропічному поясі. Зима тепла й волога. Температура повітря в січні над акваторією моря від -1 до $+8$ °С, температура поверхневих вод $+8...+9$ °С, крім північно-західних і північно-східних частин, де в суворі зими море замерзає. Температура повітря влітку $+22...+25$ °С, поверхневих вод $+24...+26$ °С. Середня кількість опадів зростає із заходу на схід від 200—600 до 2000 мм і більше. Середня солоність — 21,8 ‰.

Води Чорного моря на глибинах понад 100—200 м насичені сірководнем, що негативно впливає на органічний світ. У Чорному морі нараховують понад 660 видів рослин і 2000 видів тварин, які живуть переважно у верхньому шарі морської води (над сірководневою зоною). Промислове значення серед риб мають хамса, ставрида, кефаль, камбала, а також водорості й безхребетні (мідії, креветки, устриці). Щорічно море дає до 300 тис. тон біологічних ресурсів. Розвідано промислові запаси природного газу та нафти. Лікувальне значення мають грязі чорноморських лиманів. На узбережжі Чорного моря є багато бухт, зручних для стоянки кораблів.

В Чорному морі органічне життя зосереджено в поверхневому шарі до 200 м. У глибинних шарах міститься сірководень (рис 1.1). В залежності від глибини в Чорному морі температура води зменшується приблизно до 8 °С, а далі спостерігається її підвищення приблизно до 12 °С. Вміст розчиненого кисню падає і на глибині 200 м доходить до нуля. А вміст сірководню навпаки зростає до 6 мг/дм³ на глибині 700 м і вище.

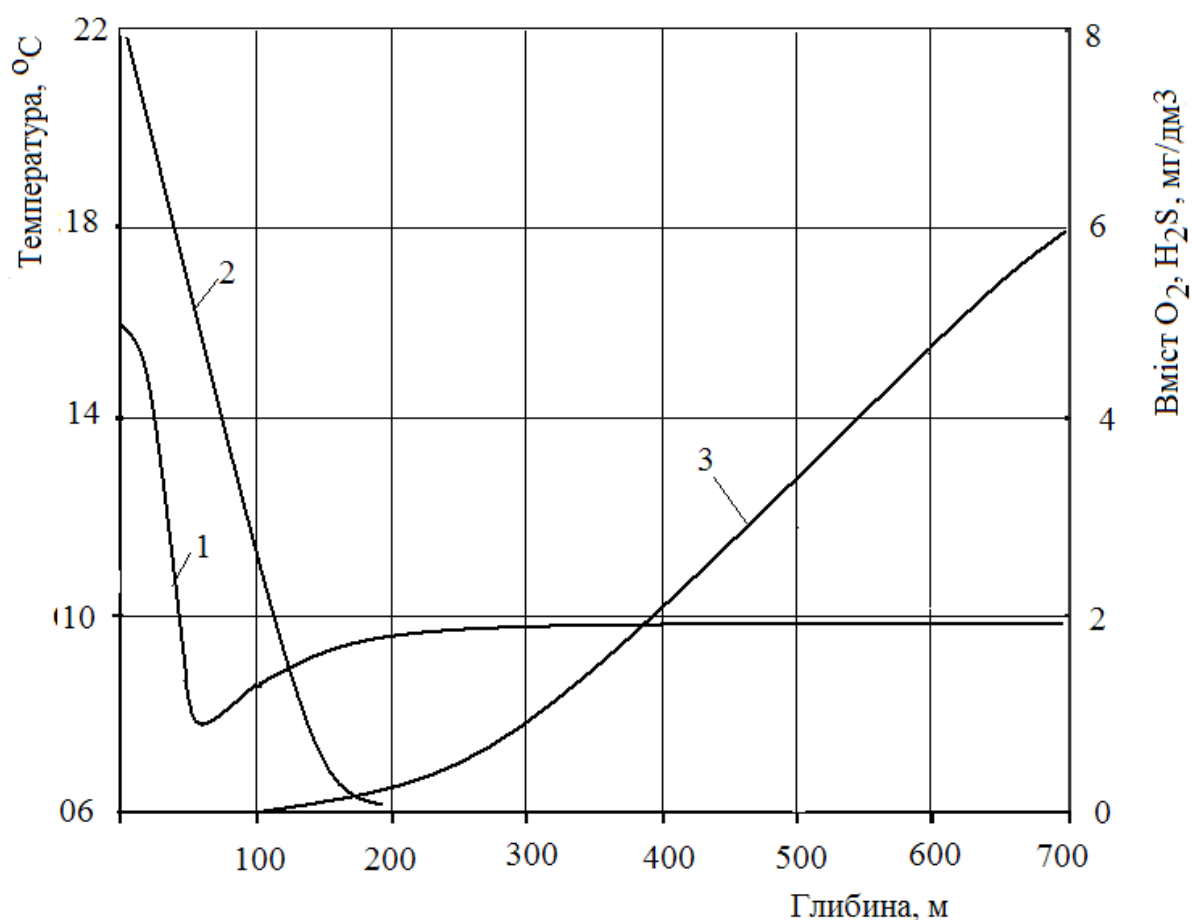


Рис. 1.1. Зміна температури (1), вмісту O₂ (2) і H₂S (3) у воді Чорного моря в залежності від глибини [10]

У морі живуть 160 видів риб (хамса, ставрида, кефаль, камбала, оселедець, осетер, білуга, севрюга), нараховується до 300 видів водоростей (фітофлора, тостера, цистозера), водяться мідії, креветки, устриці. Чорне море має солоність 22 г/кг. Азовське

море — від 4,5 до 14 г/кг солей. У затоці Сиваш солей більше 250 г/кг. Мілководне Азовське море відрізняється високою біологічною продуктивністю. В ньому нараховується до 350 видів живих організмів.

1.2.2. Річкові водні ресурси

Характеристику найкрупніших річок України наведено в табл. 1.9.

Таблиця 1.9. Крупні річки України [7]

Найменування річки	Довжина, км	Площа, км ²	Річний стік, км ³
Дунай	174	64000	123,0
Сіверський Донець	672	54900	5,0
Дніпро	981	504000	53,5
Дністер	1362	72100	8,7
Буг	401	3055	1,6
Південний Буг	806	10100	1,8

Найкрупнішою річкою України є Дунай, але його довжина у межах України невелика. Серед інших річок відзначається Дніпро з чималими притоками і достатньо великим річним стоком. Основна частина річкового стоку (40—85 %) припадає до весняного періоду.

Води річок мішаних лісів містять намул до 20—50 г/м³, у лісостеповій зоні — до 100—250 г/м³, у межах Подільської висоти — до 500 г/м³. У степовій зоні каламутність води 250—500 г/м³. У Кримських горах і Карпатах каламутність води досягає 1000—1400 г/м³. Під час паводку каламутність води може бути ще вище. В північних районах вміст солей у річках складає до 200 мг/дм³, у південних районах він досягає 1000 мг/дм³ і більше.

Головні ріки України: Дніпро (загальна довжина 2201 км, у межах України 981 км; середній річний стік 53,5 км³), Дністер (загальна довжина 1362 км, у межах України 705 км; стік 8,7 км³),

Південний Буг (довжина 806 км; стік $3,4 \text{ км}^3$), Сіверський Донець (загальна довжина 1053 км, у межах України 672 км; стік 5 км^3). Дунай протікає по території України на ділянці 174 км; середній річний стік 123 км^3 (переважно транзитний).

Всього на території України понад 70 тис. річок, але тільки 117 з них мають довжину понад 100 км. Влітку річки стають маловодними, чимало з них міліють і навіть пересихають. Для затримання талих снігових вод і регулювання стоку на більшості рік створено водосховища (загальна кількість — 1057; здатні вмістити 55 км^3 води).

Для постачання води у маловодні райони збудовано канали: Північно-Кримський довжиною 400,4 км, Дніпро — Донбас — 550 км, Сіверський Донець — Донбас — 131,6 км та ін. На півдні України створено великі зрошувальні системи (Каховська, Інгулецька та ін.). У районах надлишкового зволоження або уповільненого стоку діють меліоративні системи (Верхньоприп'ятська, Латорицька та ін.).

В цілому прісні водні ресурси України можна охарактеризувати як недостатні. У маловодні роки дефіцит води відчувається навіть у басейнах великих рік.

Головними річковими системами (головна ріка з усіма своїми притоками) України є системи Дніпра, Південного Бугу, Дністра, Дунаю, Сіверського Дінця, Тиси, Пруту, Прип'яті.

Дніпро утворює основну річкову систему України. Площа басейну складає 504 тис. км^2 . Найбільші праві притоки — Прип'ять, Тетерів, Рось, Інгулець, ліві — Десна, Сула, Псел, Ворскла, Самара. Від гирла Прип'яті до греблі Каховської ГЕС Дніпро являє собою каскад водосховищ (Київське, Канівське, Кременчуцьке, Дніпродзержинське, Дніпровське, Каховське).

Дністер із своїми притоками утворює річкову систему на південному заході України. Площа басейну — 72,1 тис. км^3 . Основні праві притоки — Стрий, Бистриця, Свіча, Реут, Лімниця, ліві — Золота Липа, Серет, Смотрич, Збруч. У верхів'ї Дністер — гірська ріка. На ріці споруджено ГЕС і водосховища (Дністровське, Дубоссарське).

Південний Буг бере початок на Подільській височині. Основні ліві притоки — Синюха, Мертвовід, Інгул, праві — Згар, Кодима, Гнилий Яланець. На річці працює 13 невеликих ГЕС.

Дунай — одна з найбільших рік Європи, її загальна довжина — 2960 км, а площа басейну — 817 тис. км². У межах України найбільші ліві притоки — Тиса і Прут. У гирлі Дунай розділяється на кілька рукавів, один з яких (Кілійський) протікає по території України.

Ріки України мають мішане живлення. Взимку, коли вони замерзають, переважає підземне живлення; навесні, при таненні снігів — снігове; влітку і восени — дощове і підземне. Зміна рівнів води протягом року називається *режимом ріки*. Для річок України є характерною весняна повінь, що настає внаслідок танення снігу. *Паводок* — це підйом рівня води в річці через дощі. *Межень* — це найнижчий рівень води в річці. На рівнинних ріках України межень звичайно буває літня і зимова. Взимку спостерігається льодостав. Влітку багато дрібних рік на півдні України часто пересихають [11, 12].

1.2.3. Вода озерна

Озер в Україні понад 20 тисяч, 43 з них мають площу, яка перевищує 10 км². Великі озера розташовані в плавнях Дунаю і на узбережжі Чорного моря (Ялпуг, Сасик та ін.). Найбільше озеро Полісся — Світязь. Синевир — найбільше озеро Карпат.

На території України найбільш численними є *заплавні озера*, які утворилися внаслідок блукання і зміщення річищ. Заплавні озера мають різну форму (найчастіше серповидну або витягнуту) і розміри, вони неглибокі, багаті на рибу та водоплавних птахів, є гарними місцями для відпочинку. Це озера Прип'яті, Десни та інших річок Полісся.

Дельтові озера утворилися в дельтах річок внаслідок блукання річищ серед піщаних наносів. Серед них — найбільше в Україні прісне озеро Ялпуг, а також Кугурлуй, Кагул. Вода цих озер використовується для водопостачання, зрошення, рибальства.

На Причорноморській низовині внаслідок опускання й затоплення морем гирл річок утворилися *лиманні озера*. Найбільший прісноводний лиман України — Дністровський; після нього за розмірами йдуть Куяльницький, Хаджибейський, Тилигульський, Сасикський. Лимани й озера півдня України — це резерв води для господарських потреб, об'єкти рибного промислу, бази для розвитку курортного господарства.

Залишкові озера — це колишні морські затоки, що стали озерами після підняття й осушення узбережжя. Прикладами є озера Саки, Донузлав, Перекопські. Вони мілководні, улітку добре прогріваються, вода в них сильно мінералізована.

Характеристику крупних озер і лиманів України наведено в таблиці 1.10.

Таблиця 1.10. Крупні озера й лимани України [7]

Назва озера, лиману	Довжина, км	Ширина, км	Площа, км ²	Глибина, м
Свитязь	9	8	24	58,4
Ялпуг	39	5	149	6,0
Кагул	25	8	90	7,0
Кугурлуй	20	10	82	2,0
Катлабук	20	6	68	4,0
Китай	55	5	60	5,0
Дністровський	40	12	360	2,5
Сасык (Кундук)	29	12	210	3,0
Тилигульський	80	3,5	160	21
Алибей	10	10	72	2,0
Хаджибейський	40	3,5	70	12
Шагани	9	8	70	2 1
Куяльницький	28	3	61	3
Будакський	15	3	30	2,0
Сасик, Сасик–Сиваш	14	9	75	1,2
Донузлав	30	8,5	48	27
Айгульське	18	4,5	37	0,3

Молочний	32	8	170	9
----------	----	---	-----	---

У водорозчинних породах (вапняк, крейда, солі) виникають *карстові озера*. Вони живляться атмосферними й артезіанськими водами, завжди повноводні. Це Шацькі озера (Світязь — найбільше з континентальних озер України), Пісочне, Пулемецьке, Піщанські та ін. Вони багаті на риб, водоплавних птахів.

У кратерах згаслих вулканів утворилися *вулканічні озера*. В Україні такі озера зустрічаються лише в Закарпатті: Синє, Вороченське та ін.

Є на території України й *озера льодовикового походження*, вони розташовані в Карпатах, у льодовикових карах. Це озера Маричейка, Бребенскул та ін.

Між хребтами Українських Карпат, у Межигірському районі Закарпатської області, розташоване *загатно-завальне озеро* Синевир — одне з наймальовничіших в Україні.

На території України створено 899 водосховищ із загальною площею 963,5 тис. га, загальним об'ємом 51,7 км³. Кількість ставків перевищує 24 тис, їх площа складає 210 тис. га й об'єм води 3 км³. Основні водосховища України наведено у табл. 1.11.

Таблиця 1.11. Основні водосховища України [7]

Назва водосховища	Назва річки	Площа, км ²	Об'єм, км ³
Київське	Дніпро	922	3,73
Канівське		675	2,62
Кременчуцьке		2250	13,5
Дніпродзержинське		567	2,45
Дніпровське		410	3,30
Каховське		2155	18,2
Дністровське	Дністер	142	3,0
Печенежське	Сіверський Донець	86	0,4
Червоноооскольське	Оскол	122	0,5
	Південний Буг	21	0,15
Карачуківське	Інгулець	4,4	0,3

На Дніпрі створено 6 крупних водосховищ із загальним об'ємом води 43,8 км³. Причому майже половина цього об'єму (18,2 км³) припадає на Каховське водосховище. У Дніпровських водосховищах має місце явище бурного розвитку в літній період популяцій одноклітинних синезелених водоростів. Кожна клітина водорості може дати до 10²⁰ нащадків за сезон. Концентрація біомаси може досягати 500 г/м³, при цьому отруюються риби та інші мешканці річки. Водосховища поступово замулюються і через 40—60 років необхідна їх серйозна реконструкція.

1.2.4. Підземні води

В Україні із загальної кількості води, яку використовують централізовані водопроводи в містах і селищах, 70 % припадає на поверхневі води, а 30 % — на підземні. Для сільського населення джерелами питної води переважно є ґрунтові та міжпластові води, що каптуються шахтними колодзями (близько 2,5 млн. шт.) і водозабірними свердловинами (близько 100 тис. шт.).

Експлуатаційні запаси підземних вод України (води, які можуть бути отримані з водоносного горизонту раціональними в техніко-економічному відношенні водозабірними спорудами при заданому режимі експлуатації і якості, що задовільняє вимогам споживачів на протязі всього розрахункового періоду водоспоживання) становлять більше 57 млн. м³/добу. Сучасне їх використання в Україні складає всього 26 % (15 млн. м³/доб) проти 90 % в більшості країн Європи. Для комунального водопостачання розвідано 896 родовищ (з запасами 15,6 млн. м³/доб), з них освоєно 533 родовища (з відбором 5,5 млн. м³/доб).

Розподіляються експлуатаційні запаси підземних вод по території України нерівномірно: 65 % загальних запасів зосереджено в північній і північно-західній частині України в Дніпровському та Волинсько-Подільському артезіанських басейнах. Для порівняння: на 1 мешканця Чернігівської області припадає 5,54 м³/доб, а на 1 мешканця деяких південних та

центральної області (Одеської, Миколаївської, Дніпропетровської) — 0,26...0,43 м³/доб.

Нерівномірне залягання й поширення підземних вод пов'язане з геологічною будовою території України.

За запасами підземних вод на Україні найбільшими є артезіанські басейни: Дніпровсько-Донецький, Волино-Подільський, Причорноморський [13, 14].

1.2.5. Болота

Загальна площа боліт і перезволожених земель в Україні складає 5398 тис. га, 2851 тис. га боліт і заболочених земель осушено. Найкрупніші болотні масиви розташовані в Поліссі. Україна має великі запаси лікувально-оздоровчих мінеральних вод. В Карпатах, Передкарпатті, Причорномор'ї, у Криму мінеральні води містять йод до 0,1 г/ м³, бром — 1,5 г/м³, хлориди, інші лікувальні речовини. Світове значення мають курорти таких міст як Трускавець, Моршин, Миргород, Слов'янськ, Східниця, Одеса, Миронівка, Житомир, Біла Церква, Збруч.

Розрахункові запаси прісних вод в болотах дорівнюють близько 27,4 км³, з яких 8,9 км³ не пов'язані з поверхневим стоком. Загальна площа боліт на території України становить 12 тис. км².

Води низинних боліт багаті на мінеральні речовини, в них ростуть вільхи, рогіз, очерет, зелені мохи. Верхові болота розташовані на вододілах і піщаних терасах. Вони бідні на мінеральні речовини, на них ростуть сосна, багно, журавлина, пухівка тощо. Перехідні болота помірно бідні на мінеральні речовини, серед рослинності переважають берези, сосни, осоки, сфагнові мохи.

Низинні болота найбільше поширені в зоні мішаних лісів, перехідні та верхові болота — на заході Полісся, в Лісостепу та в Українських Карпатах.

1.3. Водне законодавство в галузі використання водних ресурсів України

Завданням водного законодавства є регулювання правових відносин з метою забезпечення збереження, науково обґрунтованого, раціонального використання вод для потреб населення і галузей економіки, відтворення водних ресурсів, охорони вод від забруднення, засмічення та вичерпання, запобігання шкідливим діям вод та ліквідації їх наслідків, поліпшення стану водних об'єктів, а також охорони прав підприємств, установ, організацій і громадян на водокористування.

В Україні управління природними ресурсами, включаючи водні ресурси, регулюється відповідною правовою структурою [15—20].

Основою законодавства в галузі використання водних ресурсів в Україні є Водний кодекс, Закон України “Про охорону навколишнього природного середовища”.

Земельні, гірничі, лісові відносини, а також відносини щодо використання та охорони рослинного і тваринного світу, територій та об'єктів природно-заповідного фонду, атмосферного повітря, виключної (морської) економічної зони та континентального шельфу України, що виникають під час користування водними об'єктами, регулюються відповідним законодавством України.

Згідно Водного кодексу усі води (водні об'єкти) на території України є національним надбанням народу України, однією з природних основ його економічного розвитку і соціального добробуту.

Державне управління в галузі використання і охорони вод та відтворення водних ресурсів здійснюється за басейновим принципом на основі державних, міждержавних та регіональних програм використання і охорони вод та відтворення водних ресурсів.

Державне управління в галузі використання і охорони вод та відтворення водних ресурсів здійснюють Кабінет Міністрів України, Уряд Автономної Республіки Крим, місцеві Ради народних депутатів та їх виконавчі комітети, спеціально уповноважені органи державної виконавчої влади та інші державні органи відповідно до законодавства України.

Спеціально уповноваженими органами державної виконавчої влади у галузі використання і охорони вод та відтворення водних ресурсів є Міністерство охорони навколишнього природного середовища та ядерної безпеки України, Державний комітет України по водному господарству, Державний комітет України по геології і використанню надр, їх органи на місцях та інші державні органи відповідно до діючого законодавства.

Також у Водному кодексі визначені права та обов'язки водокористувачів, види і порядок водовикористання, контроль за використанням і охороною вод та відтворенням водних ресурсів, порядок проведення експертиз, державного обліку запасів водних ресурсів, питання економічного регулювання раціонального водокористування, стандартизації і нормування в галузі використання й охорони вод, умов скидання зворотних вод у водні об'єкти.

1.4. Раціональне використання водних ресурсів України

Використання водних ресурсів на Україні здійснюється в наступних основних напрямках: 48 % загального споживання використовує промисловість, 40 % води йде на потреби сільського господарства, 12 % припадає на комунальне господарство міст та населених пунктів.

Та як вже було зазначено вище, Україна має обмежений запас прісної води, тому питання раціонального й ощадливого використання водних ресурсів є досить актуальним завжди. До заходів, які спрямовані вирішувати зазначене питання належать:

впровадження систем зворотного водопостачання та безстічного водокористування (із циклом повного очищення відпрацьованих вод); розробка і впровадження науково обґрунтованих норм зрошення (поливу); заміна водяного охолодження агрегатів повітряним; зменшення в структурі господарства України частки водоемних виробництв; проведення комплексу заходів щодо охорони поверхневих і підземних вод від забруднення.

Раціональне водокористування і охорона водних ресурсів передбачають: 1) оптимальний розподіл водних ресурсів як по території, так і між галузями народного господарства та максимальне забезпечення кожної з них водою; 2) розробку та впровадження науково обґрунтованої системи управління водними ресурсами та водогосподарськими комплексами в басейнах великих і середніх рік, й особливо їх якістю, яка б врахувала глобальні й регіональні закономірності формування водних екосистем; 3) впровадження науково обґрунтованої системи водокористування і водоспоживання, яка, з одного боку, максимально забезпечувала б усі галузі народного господарства водою, а з другого — не допускала таких змін у водних екосистемах, які б у майбутньому могли призвести до їх деградації і виснаження; 4) розробку і впровадження методів регулювання стоку з поверхні водозабірних басейнів, штучного поповнення підземних вод і водного режиму ґрунтів; 5) розробку і впровадження найдосконаліших методів захисту водних ресурсів країни від евтрофікації; 6) створення водоохоронних комплексів у місцях надмірної концентрації забруднювачів водних об'єктів і впровадження автоматизованих систем управління водоохоронними комплексами; 7) розробку і впровадження комплексних систем водопостачання і каналізації та водоохоронних заходів у масштабах промислових регіонів та цілих річкових басейнів; 8) розробку і впровадження безвідходних та безводних технологій, переведення промислових підприємств на оборотне водоспоживання, будівництво очисних споруд, застосування нових методів демінералізації шахтних вод;

9) розробку і впровадження технічно досконалих меліоративних систем з дуже високим коефіцієнтом корисної дії, а також зрошувальних і поливних норм, які б забезпечували сільськогосподарські культури вологою і запобігали надмірній фільтрації води, заболоченню, підтопленню, затопленню, засоленню земель; 10) розробку і впровадження еколого-економічної оцінки водних ресурсів, її використання при плануванні водоспоживання, водокористування та здійснення водоохоронних заходів; 11) раціональне розміщення продуктивних сил з урахуванням водного фактора, науково обґрунтоване розміщення водомістких галузей народного господарства, уникнення надмірної концентрації промислових підприємств, що споживають велику кількість води, в маловодних і безводних районах [21—28].

Програма раціонального і комплексного використання, а також охорони водних ресурсів у територіальному та галузевому напрямках повинна здійснюватись міністерствами й відомствами, а також безпосередньо кожним виробником. Завданням їх повинна стати організація раціонального використання води, здійснення заходів, що запобігають її забрудненню; контроль роботи очисних споруд та скидання промислових, дренажних, комунально-побутових та сільськогосподарських стічних вод; організація експлуатації міжгалузевих водогосподарських споруд і систем; розробка проектів перспективних та річних планів розвитку водного господарства й охорони води, водогосподарських державних балансів і планів розподілу води між водокористувачами у басейнах річок, облік споживання та розподілу води; контроль виконання правил експлуатації водойм тощо.

Слід звернути увагу на те, що в останні роки темпи водоспоживання в Україні перевищують темпи зростання обсягів валового суспільного продукту і національного доходу, тобто на одиницю кінцевої продукції витрати води збільшуються. Це пояснюється, зокрема, несвоєчасним введенням в експлуатацію

водоочисних споруд та зухвалим відношенням українців до водозбереження.

Основним джерелом водопостачання України є поверхневі води (до 80 %), зокрема басейн р. Дніпра, який забезпечує до 70 % населення питною водою.

Середньодобове споживання води на 1 міського жителя в Україні становить 320 літрів, тоді як у великих містах Європи цей показник дорівнює 100—200 літрам.

Централізованим водопостачанням в Україні забезпечено населення всіх міст та 86,4 % селищ міського типу. Водночас централізованих систем каналізації не мають 27 міст і майже третина селищ міського типу (392), а в 187 міських населених пунктах очисні каналізаційні споруди працюють неефективно.

Послугами централізованого господарсько-питного водопостачання користується чверть сіл України. Решта сільського населення бере воду з криниць та індивідуальних свердловин, які, здебільшого, перебувають у незадовільному санітарно-гігієнічному стані.

Виробнича потужність усіх централізованих водогонів становить 25,7 млн. м³ на добу. Протяжність комунальних водогінних мереж досягає 78,8 тис. км.

Більшість діючих споруд водопостачання є застарілими, і вони неспроможні забезпечити подачу води необхідної кількості та належної якості. У деяких обласних центрах, зокрема Кіровограді, Львові, Луганську, Миколаєві, Херсоні, Хмельницькому, Одесі, Рівному, Сімферополі, а також Севастополі вода подається за графіком.

В аварійному стані перебуває чверть водогінних та каналізаційних мереж. Внаслідок цього за рік стається 2 аварії на 1 км мережі, що значно перевищує відповідний рівень у країнах Європи. Майже 50 % води з підземних джерел подаються споживачеві з перевищенням стандарту за загальною твердістю, сухим залишком, вмістом заліза, марганцю, фтору.

На мулових майданчиках накопичується за рік до 40 млн. т осадів, які стають джерелом вторинного забруднення водою.

Раціональне використання і охорона водних ресурсів тісно пов'язані з подальшим удосконаленням виробництва, скороченням споживання природної води, що можливо лише при впровадженні маловідходних технологій.

Широке застосування методів глибокої очистки при прямоточному водокористуванні економічно і екологічно не доцільно.

Одним з основних заходів по впровадженню безстічних систем водозабезпечення є очистка і використання поверхневого стоку, а також використання доочищених міських стічних вод для технічного водоспоживання. За рахунок чого поповнюються незворотні витрати води у процесі промислового виробництва.

Впровадження маловідходних технологій має наступні переваги:

- раціональний взаємозв'язок різних видів виробництва, які послідовно підвергають обробці одну і ту ж сировину, що дає можливість ув'язати між собою різні чергові стадії технологічного процесу;
- ефективне використання відходів одних підприємств іншими;
- різкий перерозподіл у часі (добове і сезонне) споживання електричної і теплової енергії підприємствами з різними виробничими режимами.

На основі ГОСТ 2874-82 СРСР „Вода питьевая”. в Україні розроблено, затверджено наказом Міністерства охорони здоров'я України від 23 грудня 1996 р, № 383 державні санітарні правила і норми „Вода питна, гігієнічні вимоги до якості води централізованого водопостачання” ДСАНПІН. В цьому документі передбачено 19 показників якості води, які гарантують епідемічну безпеку, 20 показників відносяться до тих, що показують сприятливі органолептичні властивості та радіаційну безпеку.

1.4.1. Водопостачання великих міст

Комплекс споруд, що здійснюють задачі водопостачання, тобто одержання води з природних джерел, її очищення, транспортування і подачу споживачам, називається *системою водопостачання, або водопроводом*.

Водопровід складається з таких ланок:

- 1) джерело водопостачання (відкриті водойми — ріки, озера, ключі, і підземні — криниці);
- 2) станції першого підйому для подачі води на очисні споруди;
- 3) очисні споруди (відстійники, фільтри);
- 4) резервуари чистої води (куди зливається очищена вода з очисних споруд);
- 5) станції другого підйому (які подають воду до місця водоспоживання);
- 6) водонапірні резервуари (водонапірні вежі);
- 7) водоводи;
- 8) розгалужена вулична мережа з колонками, будками, пожежними гідрантами;
- 9) дворові відгалуження;
- 10) будинкове обладнання.

Вода за допомогою насосів станції першого підйому піднімається з водоприймальних пристроїв на очисні споруди, після чого за винятком тієї частини, що витрачається на власні потреби, надходить в резервуари чистої води, звідки насосами станції другого підйому подається у водоводи і розгалужену мережу. Вода відстоюється у спеціальних відстійниках, а потім піддається фільтрації.

Водопроводи, що одержують воду з поверхневих джерел, мають повний комплекс споруд по її підйому з джерела, очищенню (на очисних спорудах) і подачі в міську мережу.

При заборі води з підземних джерел у схемі водопостачання відсутні очисні споруди, тому що підземні води не мають потреби в очищенні.

За призначенням розрізняють міський водопровід для водопостачання населених міст; виробничий водопровід для виробничого водопостачання, який, у свою чергу, розрізняють за галузями промисловості (теплових електростанцій, металургійних заводів і т. д.) систем сільськогосподарського водопостачання. При обслуговуванні однією системою водопостачання ряду об'єктів влаштовують групові або районні системи.

У межах одного об'єкта відповідно до об'єднання різних функцій влаштовують водопроводи господарсько-питні, господарсько-протипожежні й господарсько-виробничі.

За характером джерела водопостачання розрізняють водопроводи, що одержують воду з поверхневих джерел (річкові, озерні); водопроводи, засновані на підземних водах (артезіанські, джерельні); водопроводи змішаного типу при використанні джерел різних видів.

За способом подачі води розрізняють водопроводи гравітаційні; водопроводи з механічною подачею води (за допомогою насосів), а також зонні водопроводи, де вода подається в окремі райони окремими насосними станціями.

Система водопостачання великих міст повинна мати визначений ступінь надійності, тобто забезпечувати постачання споживачів водою без неприпустимого зниження встановлених кількісних і якісних показників, включаючи напір води.

Розміри окремих споруд і установок, число і потужність насосів, ємкість резервуарів, висота і ємкість водонапірних башт, діаметри труб і інші параметри визначають вартість системи і витрати на її експлуатацію. Системи водопостачання після введення їх в експлуатацію повинні задовольняти фактичний попит споживачів і враховувати коливання цього попиту за днями доби, сезонами року і годинами доби. Режим подачі води визначається способом життя і трудової діяльності населення міста. Тип споруд і технологію очищення води вибирають шляхом зіставлення якісних характеристик води обраного джерела з вимогами, які пред'являють споживачі до якості води.

Вода витрачається споживачами на найрізноманітніші потреби. Вимоги до якості і кількості води різноманітні. Вони відрізняються різким коливанням попиту протягом доби, сягаючи максимуму, на який проектується виробнича потужність споруд. Більшість цих витрат може бути зведена до трьох основних категорій.

1. *Витрата води на господарсько-питні (побутові) потреби населення* включає всі витрати води, зв'язані з побутом людей: для пиття, приготування їжі, умивання, прання, підтримки чистоти житла і т. п. До цієї ж категорії можуть бути віднесені всі витрати води, необхідні для забезпечення благоустрою міста чи селища: поливання вулиць, зелених насаджень та ін.

2. *Витрата води для виробничих (технічних) цілей:* промисловості, транспорту, енергетики, сільського господарства (паротворення, охолодження, конденсація пари, виготовлення різних фабрикатів, промивання продукції).

3. *Витрата води для пожежогасіння і власні потреби водопроводу* (промивання фільтрів, водоприймальних пристроїв, мережі та ін.).

Вимоги до якості води залежать від характеру її використання. До води, що йде на задоволення питних потреб населення, у першу чергу висувають вимоги санітарно-гігієнічного порядку. Вода повинна бути нешкідливою для здоров'я, не містити хвороботворних бактерій, бути прозорою, не мати запаху і поганих присмаків.

Відповідно до норм водоспоживання для кожної категорії споживачів визначається *потреба у воді*. Основним вимірником необхідної кількості води для даного об'єкта водопостачання приймається добова витрата.

Середньодобова витрата води на господарсько-питні потреби міста визначається за формулою:

$$Q_{\text{ср}} = q_{\text{с.н.в}} \cdot N_{\text{жит}},$$

де $q_{с.н.в}$ — середня норма витрати води на одного жителя за добу (норма водоспоживання); $N_{жит}$ — розрахункова кількість жителів, що повинна прийматися відповідно до проекту планування міста.

В проектах водопостачання міста встановлюють межі можливих коливань величини витрат в окремий термін року, день тижня і годину доби. Коливання попиту споживачів відбуваються у зв'язку із змінами режиму життя населення і кліматичних умов, а також із сезонністю деяких витрат води.

Велика нерівномірність водоспоживання протягом року спостерігається при відносно невеликому числі жителів міста, низькому розвитку промисловості й значних сезонних коливаннях температури.

Для розрахунку потужностей водопроводу встановлюють величину ймовірної витрати води за добу максимального водоспоживання «максимальну добову витрату», що визначає проектну потужність водопроводу.

Для визначення повної розрахункової потреби міста у воді до отриманої добової витрати необхідно додати кількість води, потрібної на господарсько-питні потреби робітників під час їхнього перебування на виробництві з урахуванням запланованого числа робітників, кількості робочих змін, роду виробництва і норм витрати води. Витрата води на виробничі потреби промислових підприємств визначається по завданнях промисловості. Додатково обчислюють витрати води на поливання площ, вулиць і зелених насаджень.

Число поливань на добу приймається залежно від місцевих кліматичних умов, або 30—90 л/добу на 1 жителя.

Витрата води на пожежогасіння залежить від розмірів населених місць, числа жителів, вогнестійкості будівель, щільності й характеру забудови.

Для вирішення завдань водопостачання будь-якого міста необхідно з можливо більшою повнотою врахувати всіх потенційних абонентів — споживачів, їхні вимоги до режиму водопостачання, кількості та якості поданої води.

Для розрахунку питомої норми водоспоживання населенням міст використовують наступні види норм.

1. Проектні норми СНиП 2.04.02.–84 “Водопостачання. Зовнішні мережі і споруди, які передбачають витрати води в житлових та громадських будівлях на господарсько-питні потреби, потреби місцевої промисловості, поливання вулиць і зелених насаджень”.

2. Норми СНиП 2.04.01–85 “Внутрішній водопровід і каналізація будинків, що призначені для розрахунку внутрішньо будинкових водопровідно-каналізаційних систем”.

3. Норми питомого водоспоживання, затверджені місцевими органами, за якими здійснюється оплата за споживання води населенням.

4. Експлуатаційні норми питомого водоспоживання населенням, призначені для аналізу й оцінки діяльності експлуатаційного персоналу і усунення витоків та нераціональної витрати води.

Відповідно до діючого законодавства ці норми підлягають затвердженню місцевими органами влади. На практиці підприємства водопровідно-каналізаційного господарства беруть за основу і подають на затвердження місцевим адміністраціям норми СНиП 2.04.01.–85 “Внутрішній водопровід і каналізація будинків”, як такі, що найбільш розроблені та диференційовані за видами впорядкування житла санітарно-технічними пристроями.

Норми господарсько-питного водоспоживання для населення (літрів на одну людину за добу) встановлені залежно від ступеня благоустрою житлових будинків. Водоспоживання на господарсько-побутові потреби в містах в розрахунку на одну людину в середньому складає від 170 до 370 л/добу. Це значно перевищує середню норму водоспоживання навіть для великих європейських міст. З урахуванням територіального фактора концентрація водоспоживання у великих містах перевищує її в населених пунктах та селах у 4,1 рази, а стосовно всієї території країни — у 11 разів.

1.4.2. Водопостачання населених пунктів та селищ

В якості джерел водопостачання населених пунктів та сел в першу чергу прагнуть використовувати підземні води і лише у тих випадках, коли якість їх виявляється незадовільною або їх кількість недостатня, використовуються води поверхневих джерел.

При наявності добре захищених з поверхні підземних вод, якість яких відповідає вимогам ГОСТ 2874–73 «Вода питна», система водопостачання сільського селища буде складатися з водозабірної споруди у вигляді двох або кількох трубчастих колодязів, обладнаних зануреними насосами, з регулюючих резервуарів насосної станції другого підйому і розводящої мережі.

На насосній станції другого підйому встановлюють господарські насоси з продуктивністю, що дозволяє подавати і пікові, і мінімальні витрати води, а також пожежний насос, параметри якого забезпечують гасіння пожежі безпосередньо з пожежних гідрантів (без пожежної машини).

У будівлі адміністративного та культурно-побутового призначення, в лікарні, дитячі сади, ясла і багатопверхові житлові будинки, а також у приміщення ремонтно-механічних майстерень і тваринницьких ферм влаштовуються водопровідні вводи. Населення, яке проживає в одноповерхових житлових будинках, отримує воду, як правило, з водорозбірних колонок.

У тих випадках, коли якість підземних вод не відповідає вимогам ГОСТ до питної води, система водопостачання доповнюється пристроями для обробки води. Така система водопостачання забезпечує сільське населення доброякісною і порівняно дешевою водою.

При використанні для цілей водопостачання поверхневого джерела (ріки, озера) система водопостачання змінюється відносно

типу водоприймального споруди, а також споруд для очищення та знезараження води.

1.4.3. Промислове водопостачання

Як методи використання води на потреби виробництва, так і визначення необхідних для виробництва кількостей і якостей води цілком залежать від характеру технологічного процесу. Вода використовується у виробництві для дуже різноманітних цілей.

В якості основних категорій виробничого водоспоживання можуть бути названі: використання води для охолодження, для промивання, замочки, зволоження, для паротворення, для гідротранспорту, у складі готової продукції і т. д. Використання води для охолодження має масштаби, що значно перевершують масштаби всіх інших видів споживання води, причому питома вага цієї категорії в загальному обсязі виробничого водопостачання продовжує зростати. До цієї категорії відносяться витрачання води для конденсації пари, що відходить від парових турбін електростанцій, і використання води для охолодження різних печей, машин і апаратури (металургійна, нафтопереробна, хімічна промисловість та ін.) Вода для промивання, замочки і т. п. витрачається у великих кількостях на потреби паперової, целюлозної, бавовно оброблювальної, текстильної промисловості, промисловості штучного волокна й ін. Витрачання води на гідротранспорт різних матеріалів має місце в найрізноманітніших галузях промисловості (у тому числі шлако- і золовидалення на теплосилових станціях, транспортування шлаку в доменних цехах, відходів збагачувальних фабрик і т. п.).

Необхідні для виробничих цілей кількості води визначаються в результаті технологічних розрахунків, так само як і необхідні кількості палива, пари, електроенергії тощо, і в значній мірі залежать (змінюються) від прийнятої схеми технологічного процесу, типу використовуваного обладнання та інших виробничих параметрів. Наведені в літературі питомі норми

витрат води на одиницю продукції, отримані в результаті опрацювання і осереднення фактичних даних про витрачання води промисловістю, можуть використовуватися лише для наближених попередніх розрахунків за визначенням передбачуваних обсягів виробничого водоспоживання.

Однією зі специфічних особливостей виробничого водоспоживання є залежність в ряді випадків кількості використовуваної води від її якості, зокрема (і найбільш часто) від її температури. Так, вода, що використовується для цілей охолодження, повинна відводити від охолоджуваної середовища (обладнання) певну кількість тепла (в одиницю часу). Чим меншу температуру має використовуєма вода, тим, очевидно, менше її потрібно для того ж охолоджувального ефекту. Ця обставина обумовлює зміну витрати охолоджуючої води по сезонах року: взимку він менше, ніж влітку.

Виключно важливе значення для багатьох галузей промисловості має дотримання вимог щодо допустимого вмісту у використовуваній воді різних речовин. Вимоги ці досить різні для різних технологічних процесів і в кількісному, і в якісному відношенні. Так, вода, що використовується для охолодження, повинна не засмічувати трубки холодильників, не володіти корозійними властивостями і мати максимально можливу низьку температуру. Значна жорсткість охолоджуючої води також небажана через можливості інтенсивного відкладення солей на стінках холодильників.

Вода, яка використовується для промивних цілей, не повинна містити речовин, що негативно впливають на матеріал, що промивається; небажано наявність вмісту в ній солей, що викликають збільшення витрати миючих речовин. Для деяких хімічних виробництв потрібно видалення з води різних солей, глибоке очищення води, видалення з неї розчинених газів; підприємства харчової промисловості вимагають воду питної якості; вода, що йде для живлення парових котлів, повинна мати

мінімальний солевміст; вживана в текстильній промисловості, вона не повинна містити заліза і т. п.

Виконання вимог виробництва до властивостей використовуваної води забезпечує підвищення якості й здешевлення продукції.

Слід відмітити, що більшість сучасних виробничих підприємств вимагають високої якості використовуваної води, яка неможлива в природному джерелі водопостачання. Ці вимоги по якості можуть бути виконані тільки в результаті штучної обробки води. До таких виробничих споживачів відносяться, наприклад, сучасні парові котли високого тиску, промисловість напівпровідників, хімічна промисловість та ін. Для боротьби з пожежами може бути використана вода будь-якої якості.

Режим витрачання води на виробничі потреби визначається режимом роботи промислового підприємства та методами використання води. У деяких випадках (зокрема, при використанні води для охолодження) витрачання води йде майже рівномірно протягом доби. Іноді вода витрачається періодично для наповнення в заданий час різних баків, ванн і т. п. Крім зміни інтенсивності витрачання води протягом доби, у ряді випадків для виробничого водопостачання необхідно враховувати зазначені вище сезонні коливання водоспоживання. Вимоги окремих виробничих споживачів до вільного напору на вводі досить різні й залежать від типу використовуваного обладнання, висоти виробничих будівель і т. п. У деяких випадках для окремих агрегатів, що вимагають подачі води під підвищеними напорами, представляється доцільним влаштовувати місцеві підвищувальні установки. Неприпустиме зниження тисків у водопровідній мережі може спричинити за собою зниження витрат води, що подається до охолоджувальних установок, їх перегрів або псування продукції.

Дуже важливе значення має забезпечення достатньої надійності систем виробничого водопостачання. Ряд підприємств не допускає не тільки перерви (навіть короткочасної) в подачі

води, а й будь-якого зниження подачі. Порушення встановленого режиму подачі води може призвести до серйозних аварій устаткування, заподіяти великої матеріальної шкоди та стати небезпечним для життя людей. Зміна режиму подачі або зміна якості води, що подається може спричинити за собою погіршення якості (брак) продукції або розлад обладнання.

Таким чином, забезпечення високої надійності систем виробничого водопостачання необхідно і з соціальної, і з економічної точки зору.

Зазначені вище вимоги виробничих споживачів до забезпечення їх водою (обсяги водоспоживання, вимоги до якості води та високі вимоги до надійності) зумовлюють особливий підхід до вибору джерела і системи водопостачання. Велика вартість систем водопостачання великих промислових підприємств викликає необхідність дуже глибокого техніко-економічного аналізу можливих варіантів вирішення цієї проблеми для вибору оптимального варіанту.

Для деяких великих виробничих об'єктів потрібні настільки великі витрати води, що часто місцевих водних джерел виявляється недостатньо. Тим часом місце розташування багатьох промислових підприємств в значній мірі вирішується наявністю джерел сировини, родовищ корисних копалин, місцевого палива і т. д. У подібних умовах доводиться звертатися до використання вилучених джерел води, досить потужних для задоволення потреб підприємства. Транспортування великих кількостей води на великі відстані вимагає витрат досить значних коштів на будівництво та експлуатацію відповідних споруд. Іноді виникає питання про те, де ж вигідніше (економічніше) розташовувати підприємство — ближче до джерел сировини (палива) або ближче до джерел води. У ряді галузей промисловості (гірничорудної, металургійної і т. п.) питання вирішується на користь розташування підприємства поблизу джерел сировини. Однак у деяких випадках, наприклад при виборі місця розташування теплових електростанцій, може

виявитися економічно доцільніше розташовувати їх ближче до джерел води, ніж до джерел палива. Скорочення дальності транспортування води до об'єкта завжди підвищує, крім того, надійність системи водопостачання. Таким чином, сам вибір місця розташування промислового підприємства може залежати від можливості його водозабезпечення.

При виборі місця розташування промислового підприємства необхідно також враховувати можливий вплив його на місцеві природні водойми. Стічні води промислових підприємств часто бувають сильно забруднені, а іноді й токсичні. Належне очищення великих кількостей стічних вод пов'язане з досить великими витратами. Скидання ж стічних вод без достатнього очищення викликає неприпустиме забруднення водойм. Як вже було сказано, прийнятий Водний кодекс встановлює дуже суворі правила щодо попередження забруднення природних водойм стічними водами.

Як локальна недостатність водних ресурсів, так і необхідність різкого зменшення стоків обумовлюють широке застосування у виробництві оборотного водопостачання та повторного використання води. Скорочення витрат «свіжої» води набуває не тільки економічне, але й гігієнічне значення. Рационалізація використання природної води у виробництві може в ряді випадків призвести до створення повністю замкнутих циклів водообігу, при яких практично потрібні мінімальні відбори свіжої води з джерел.

Перелік використаних джерел

1. Львович М. И. Мировые водные ресурсы и их будущее. — М. : Мысль, 1974. — 330 с.
2. Иофин З. К. Мировой водный баланс, водные ресурсы Земли, водный кадастр и мониторинг. — Изд-во : ВоГТУ, 2009. — 321 с.
3. Романова Э. П., Куракова Л. И., Ермаков Ю. Г. Природные ресурсы мира. — М. : МГУГод, 1993. — 301 с.
4. Большая советская энциклопедия. — Т. 18. — 1974. — 632 с.
5. Большая советская энциклопедия. — Т. 2. — 1970. — 632 с.

6. Большая советская энциклопедия. — Т. 5. — 1971. — 640 с.
7. Украинская советская социалистическая республика. Энциклопедический справочник / Гл. ред.: Кудринский А. В. (отв. ред.) и др. — К. : Гл. ред. УСЭ, 1987. — 516 с.
8. Яцик А. В. Малі річки України : Довідник / А. В. Яцик, Л. Б. Бишовець Є. О. Богатов та ін.; За ред. А. В. Яцика. — К. : Урожай, 1991. — 296 с.
9. Лосев К. С. Вода. — Л. : Гидрометеиздат, 1989. — 272 с.
10. Огурцов А. П., Волошин М. Д. Сучасний стан довкілля та шляхи його покращення. — Київ : НМЦ ВО, 2003. — 547 с.
11. Справочник по водным ресурсам / Под ред. Б. И. Стрельца. — К. : Урожай, 1997. — 304 с.
12. Вендров С. Л. Жизнь наших рек. — Л. : Гидрометеиздат, 1986. — 112 с.
13. Руденко Ф. А. Підземні води, їх походження та значення в народному господарстві. Значення підземних вод у народному господарстві і у житті людини. — К. : «Знання», 2001. — 290 с.
14. Вовк І. Ф. Підземні води. — К. : «Знання», 1974. — 183 с.
15. Закон України “Про охорону навколишнього природного середовища”.
16. Водний кодекс України від 06.06.1995, № 213/95-ВР.
17. Закон України “Про затвердження Загальнодержавної програми охорони та відтворення довкілля Азовського та Чорного морів”.
18. Закон України “Про виключну (морську) економічну зону України”.
19. Постанова Кабінету Міністрів України від 13 серпня 1999 р. № 1490 “Про затвердження Порядку і умов використання рибних і інших водних живих ресурсів виключної (морської) економічної зони України”.
20. Постанова Кабінету Міністрів України від 29 лютого 1996 р. № 269 “Про затвердження Правил охорони внутрішніх морських вод і територіального моря від забруднення та засмічення”.
21. Арсеньев Г. С. Основы управления гидрологическими процессами: водные ресурсы. — М. : РГГМУ, 2005. — 189 с.
22. Черевко Г. В., Яцків М. І. Економіка природокористування. — Львів : Світ, 1995. — 208 с.
23. Генсирук С. А. Рациональное природопользование. — М. : 1979. — 200 с.
24. Іванух Р. А. Охорона і раціональне використання природно-ресурсового потенціалу сільського господарства. — К. : «Знання», 1985. — 270 с.

25. Юшманов О. М., Шабанов В. В., Галямина И. Г. и др. Комплексное использование и охрана водных ресурсов. — М. : Агропромиздат, 1985. — 303 с.

26. Кукурудза С. І. Гідрологічні проблеми суходолу: навчальний посібник / За ред. проф. В. Хільчевського. — Львів, 1999. — 232 с.

27. Топчиев А. Г. Геоэкология: географические основы природопользования. — Одесса : Астропринт, 1996. — 392 с.

28. Орлов В. О. Зошук А. М. Водопостачання і водовідведення. Інтерактивний комплекс навчально-методичного забезпечення — Рівне : НУВГП, 2008. — 114 с.

Розділ 2. ВОДОПІДГОТОВКА

2.1. Коротка історична довідка про розвиток систем водокористування та водовідведення

Кількість води, що споживає людина, визначає ступінь соціального розвитку суспільства. Перші водопровідні споруди — колодязі і зрошувальні канали з'явилися в місцях розвитку найдавніших цивілізацій в період їх розквіту і стали умовою цього розквіту. Виявлено письмена, папірус і глиняні таблички з достовірними джерелами про створення цілих комплексів і систем водопостачання для поливів полів і громадських справ [1]. Людство задумалося про каналізацію завдяки непостійним опадам у природних умовах. Потрібно було навчитися збирати дощову і річкову воду, а також зберігати її. Саме природні явища змусили стародавніх жителів спорудити перші примітивні зрошувальні системи. Проведені археологічні розкопки свідчать про наявність колодязів і зрошувальних каналів в древніх цивілізаціях Ассирії, Вавилону і Єгипту. Унікальні археологічні знахідки дозволяють з упевненістю заявити, що задовго до нашої ери люди знали про воду, нехай і не так багато, як сучасна людина. У маловідомій державі Урарту була знайдена споруджена в VII ст. до н. е. каналізаційна система, яку використовували для відводу води шляхом самопливу на досить великі відстані. Дану систему проводили крізь гори, висікаючи в скелях проходи, будували акведуки, уклавши на мости водопровідні труби (рис. 2.1).

Історія Стародавнього світу свідчить: природні поверхневі і підземні води, поруч з якими розвивалися стародавні цивілізації, повсюдно були об'єктом освоєння та використання для сільського господарства, транспорту, рибальства і, звичайно ж, для питних і побутових цілей.



Рис. 2.1. Старовинна система водовідведення

Сама потужна індустрія виробництва води для питних і побутових цілей була створена в античному Римі. Перший справжній водопровід з'явився в Стародавньому Римі в 312 році до н.е. і по довжині дорівнював близько 16,5 кілометрів. Цензор Аппій Клавдій в його будівництво вклав власні кошти. Громадяни були йому за це вдячні, адже раніше люди носили дощову, ключову, річкову воду і зберігали у великих ємностях у своїх будинках. У той час у місті проживало, за різними даними, від шестисот тисяч до мільйона людей, на кожного з яких припадало до 1000 л води на добу. Необхідно зазначити, що цей показник перевищує водоспоживання в сучасному Римі майже в 3 рази.

Індустрія виробництва води включала в себе значні вишукувальні роботи, спрямовані на визначення водних джерел, трасування водоводів, проектування очисних споруд. Після досліджень вели будівництво водопроводів, водоочисних споруд, розподільних споруд для постачання громадських та особистих фонтанів, лазень (терм), купалень, спеціальних акваріумів-кошів для розведення морських і річкових риб, а також будівництво водовідвідних каналів (рис. 2.2).



Рис. 2.2. Старовинний водовідвідний канал

З 312 року почалося будівництво наступного водопроводу, який здебільшого йшов під землею і мав протяжність близько 70 км. Третій водогін (Aqua Marcia) був споруджений в 146 р. до н. е. й мав довжину близько 7 миль, з них близько 1,5 миль були споруджені на арках. Цей акведук носить ім'я Марція. Четвертий водогін (aqua Terula) був заснований в 127 р. до н. е. і в 35 р. до н. е. був сполучений з Юлієвим водопроводом Агриппой. Шостий (aqua Virgo) побудував той же Агриппа для постачання водою своїх терм. Водопроводи будували також Август, Каллігула і Клавдій. Ці водогони постачали воду Рим в кінці I ст. н. е., забезпечуючи щоденно подачу 5,5 млн. відер чистої води. Підземні джерела води облаштовувалися спеціальним чином, над ними зводилися різні споруди. Багато з них збереглися до теперішнього часу.

Будівництво водопроводів у Римі здійснювалося на громадські кошти, а також на кошти, отримані в результаті переможних воєн. Так, водопровід Ашо був побудований в 272 р. до н. е. на кошти, отримані в результаті розгрому Пірра, Марців водопровід — в 144 р. до н. е. на кошти, отримані після взяття Коринфа. Кошти на експлуатацію водопроводів формувалися за рахунок декількох видів податків, що відносяться до сфери водокористування. Це були податки на лазні та канали.

Крім водоводів, системи античного водопостачання мали особливі водойми-відстійники для очищення води і наприкінці водоводу особливий гідравлічний прилад для зручності розподілу води по місту. Розподіл вироблялося за допомогою трьох резервуарів, в одному з яких знаходилася вода, призначена для громадських колодязів і фонтанів (водометів), в іншому — вода для лазень, а в третьому — для приватних будинків.

Забезпеченість водою населення Європи, Росії та інших регіонів в середні століття ні в якій мірі не могла зрівнятися з забезпеченістю водою стародавнього Риму. Централізовані системи водопостачання були відсутні. При мінімальному споживанні води також не було необхідності в системах каналізації. Нечистоти зливалися в найближчий яр, канаву чи просто на вулицю. Для водопостачання використовували колодязі і джерела. У міські поселення вода доставлялася за плату у відрах, бочках або цистернах. Через відсутність каналізації природні джерела води забруднювалися і були причиною виникнення і поширення різних інфекційних захворювань. Таким чином, неблагополучна сані-тарно-епідемічна обстановка диктувала необхідність відведення стічних вод. Проте будівництво каналізаційних мереж в Європі було зроблено лише у ХІХ столітті. Системи каналізації були споруджені спочатку в Лондоні, потім в Парижі та Берліні. Будівництво каналізаційних споруд відразу ж позначилося на сані-тарно-гігієнічному стані джерел водопостачання. Наприклад, в Берліні протягом року після введення в дію каналізації кількість осіб, які захворіли на холеру, знизилося вдвічі, і через нетривалий час ця інфекція була переможена повністю.

У зв'язку з забрудненням прилеглих джерел водопостачання місцеве населення часто користувалося привізною водою. З утворенням міст, збільшенням числа їх жителів виникла необхідність у централізованих джерелах водопостачання. За свідченням стародавніх літературних джерел, на Русі централізовані системи водопостачання виникли раніше, ніж в

Європі. Пов'язано це було з необхідністю забезпечення питною водою міст і фортець при веденні бойових дій, під час облоги. Проведені на території колишнього Радянського Союзу археологічні розкопки виявили залишки водопроводів на Кавказі і в Середній Азії, в Росії і в Україні. Так, на території Великого Новгороду були знайдені залишки каналізації з дерев'яними та гончарними трубами. Були виявлені влаштовані в XVII ст. напірні водопроводи для кремлівських палаців у Москві (рис. 2.3).

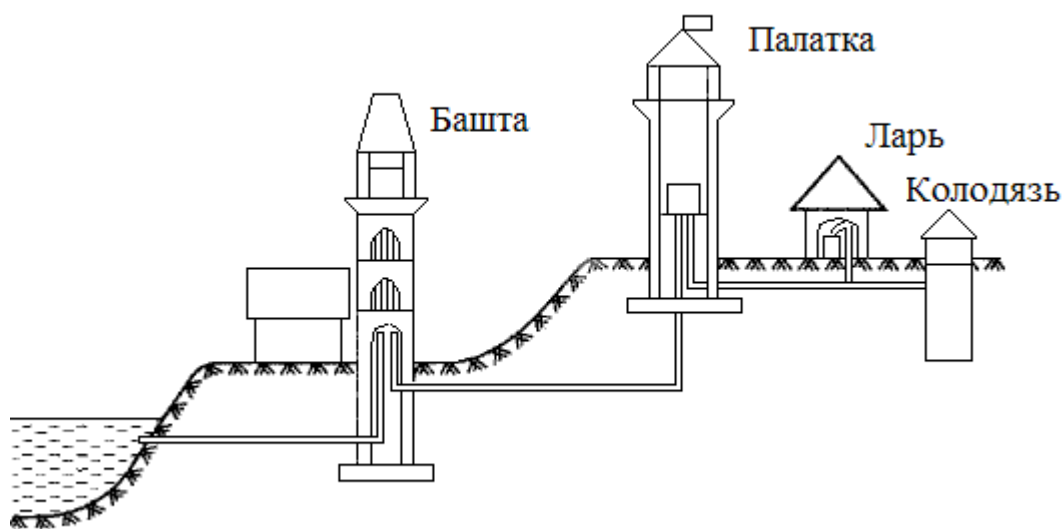


Рис. 2.3. Профіль водопроводу Кремля XVII сторіччя

Вода з Москва-ріки забиралася машиною на кінській тязі і під напором подавалася в бак на вежі, а звідти по свинцевим трубах надходила до палацу. Ще в XII ст. російським жителями було відомо, що каламутна річкова вода при питті заподіює «болість і капость в утробі», що свідчить про розуміння необхідності очищення та знезараження природних (забруднених) вод, які проводили в шляхом відстоювання в каналах (рис. 2.4).

До періоду середньовіччя можна віднести будівництво водопроводу у Львові. У 1407 р. Петро Стехер за допомогою гончарних труб провів джерельну воду в місто. Дещо раніше, в

1404 р., будівельником Гондушем була здійснена споруда каналу від каптованого джерел в Старий Львів.



Рис. 2.4. Стародавні канали-відстійники

Перший в Україні водопровід було збудовано на початку XIX ст. в Одесі. А вже до 1890 року водопроводи мали шість українських міст — Київ, Харків, Херсон, Чернігів, Бахмут, Мелітополь. Пізніше зі зростанням міст та селищ, зокрема їх людності и виробничого потенціалу, з'являлися водопроводи й в інших частинах України. Будівництво зливної побутової каналізації розпочато в 30-і роки XX ст. Була прийнята загальна схема зливу стоків каналізації в річки.

2.2. Вимоги до якості питної води

Основними показниками, що визначають придатність води для більшості споживачів, є її склад і концентрація домішок. Залежно від вимог, що ставляться до якості споживаної води, відокремлюють три групи, які досить різняться між собою: води, які використовуються для господарсько-питних і виробничо-технічних потреб та для зрошування сільськогосподарських угодь.

Гігієнічні вимоги до якості питної води викладені в санітарних правилах і нормах України, Наказах Міністерства охорони здоров'я України, стандартах [7—11]. Гігієнічні вимоги, що визначають придатність води для питних цілей, включають: безпеку в епідемічному відношенні; нешкідливість хімічного складу; сприятливі органолептичні властивості; радіаційну безпеку.

Якість питної води залежить від її складу та властивостей у вододжерелі; при надходженні у водопровідну мережу; у точках водорозбору. Безпека питної води в епідемічному відношенні визначається показниками, що характеризують з достатньо високою вірогідністю відсутність в ній небезпечних для здоров'я споживачів бактерій, вірусів, інших біологічних включень.

Санітарно-мікробіологічний контроль якості питної води здійснюється відповідно встановленої методики [12].

За мікробіологічними показниками питна вода має відповідати вимогам, наведеним у табл. 2.1.

Таблиця 2.1. Мікробіологічні показники безпеки питної води

Найменування показників	Одиниці виміру	Нормативи
Число бактерій в 1 см ³ води, що досліджується (ЗЧМ)	Колоніоутворюючі одиниці (мікро-організми)/см ³	не більше 100
Число бактерій групи кишкових паличок (коліформних мікроорганізмів) в 1 дм ³ води, що досліджується (індекс БГКП)	Колоніоутворюючі одиниці мікро-організмів)/ см ³ КУО/дм ³	не більше 3
Число термостабільних кишкових паличок (фекальних коліформ — індекс ФК) в 100 см ³ води, що досліджується	Колоніоутворюючі одиниці (мікро-організми)/100 см ³ КУО/100 см ³	відсутність
Число патогенних мікроорганізмів в 1 дм ³ води, що досліджується	Колоніоутворюючі одиниці (мікро-організми)/дм ³ КУО/дм ³	відсутність
Число коліфагів у 1 дм ³ води, що досліджується	Бляшкоутворюючі одиниці/дм ³ БУО/дм ³	відсутність

До категорії господарсько-питної води належать води, витрата яких пов'язана з побутом людей: питтям, приготуванням їжі, пранням, підтриманням чистоти в житлах, використанням у лазнях й плавальних басейнах та ін. [2].

До якості господарсько-питної води ставляться найжорсткіші вимоги, які викладені у нормативно-технічних документах, що регламентують якість питної води в Україні [3—6]. У зазначених нормативно-технічних документах визначено правові, економічні та організаційні засади функціонування системи питного водопостачання, спрямовані на гарантоване забезпечення населення якісною та безпечною для здоров'я людини питною водою.

За паразитологічними показниками (клітини, цисти: лямблії, криптоспоридії, а також у разі епідускладень — дизентерійних амеб, балантидій, хламідій та ін.; клітини, личинки, яйця гельмінтів) питна вода має відповідати вимогам, наведеним у табл. 2.2.

Таблиця 2.2. Паразитологічні показники безпеки питної води

Найменування показників	Одиниці виміру	Нормативи
Число патогенних кишкових найпростіших у 25 дм ³ води, що досліджується	Клітини, цисти)/ 25 дм ³	відсутність
Число кишкових гельмінтів у 25 дм ³ води, що досліджується	(Клітини, яйця, личинки)/ 25 дм ³	відсутність

Нешкідливість хімічного складу питної води визначається показниками, які з достатньо високою вірогідністю характеризують відсутність у ній небезпечних для здоров'я речовин (компонентів), що зустрічаються в природних водах, з'являються у воді внаслідок забруднення вододжерел або у процесі водообробки в концентраціях, гранично допустимі величини яких установлені результатами санітарно-токсикологічних досліджень [13].

За токсикологічними показниками питна вода має відповідати вимогам, наведеним у табл. 2.3.

Таблиця 2.3. Токсикологічні показники нешкідливості хімічного складу питної води

Найменування показників	Одиниці виміру	Нормативи, не більше	Клас небезпеки
Неорганічні компоненти			
Алюміній	мг/дм ³	0,2	2
Барій	мг/дм ³	0,1	2
Миш'як	мг/дм ³	0,01	2
Селен	мг/дм ³	0,01	2
Свинець	мг/дм ³	0,01	2
Нікель	мг/дм ³	0,1	3
Нітрати	мг/дм ³	45,0	3
Фтор	мг/дм ³	1,5	3
Органічні компоненти			
Тригалометани (ТГМ, сума)	мг/дм ³	0,1	2
хлороформ	мг/дм ³	0,06	2
дибромхлорметан	мг/дм ³	0,01	2
тетрахлорвуглець	мг/дм ³	0,002	2
Пестициди (сума)	мг/дм ³	0,0001	—
Інтегральні показники			
Окислюваність (KMnO ₄)	мг/дм ³	4,0	—
Загальний органічний вуглець	мг/дм ³	3,0	—

Питна вода також не повинна містити інші токсичні компоненти (ртуть, талій, кадмій, нітрити, ціаніди, хром (+6), 1,1–дихлор-етилен, 1,2–дихлоретан, бенз(а)пірен та інші) в концентраціях, що визначаються стандартними методами досліджень.

При проведенні знезаражування води концентрація залишкових кількостей дезінфектантів, що визначаються не рідше ніж раз на годину, має складати: 1) при знезаражуванні питної води хлором вміст залишкового вільного хлору у воді на виході із резервуарів чистої води має бути 0,3—0,5 мг/дм³ (якщо тривалість контакту хлору з водою не менше 30 хв.), а вміст

залишкового зв'язаного хлору — 0,8—1,2 мг/дм³ (якщо тривалість контакту хлору з водою не менше 60 хв.). При сумісній наявності у воді вільного та зв'язаного хлору дозволяється здійснення контролю за одним із них: за залишковим вільним хлором (при його концентрації понад 0,3 мг/дм³) або за залишковим зв'язаним хлором (при концентрації залишкового вільного хлору менше 0,3 мг/дм³); 2) при знезаражуванні води озоном концентрація залишкового озону на виході із камери змішування має бути 0,1—0,3 мг/дм³ при тривалості контакту не менше 4 хв.

При використанні у процесі водопідготовки коагулянтів, дезінфектантів чи інших реагентів, дозволених Міністерством охорони здоров'я України для застосування у практиці господарсько-питного водопостачання, їх залишкові кількості у питній воді не мають перевищувати відповідних нормативних значень.

Сприятливі органолептичні властивості питної води визначаються сукупністю значень, що регламентуються органолептичними показниками якості та фізико-хімічними характеристиками води (за вмістом у воді компонентів, які впливають на органолептичні показники).

Органолептичні показники та гранично допустимі концентрації компонентів, що нормуються за їх впливом на органолептичні властивості питної води, наведені у табл. 2.4.

Таблиця 2.4. Органолептичні показники якості питної води

Найменування показників	Одиниці виміру	Нормативи, не більше	Клас небезпеки
1	2	2	4
Запах	ПР	2	—
Каламутність	НОМ	0,5	—
Кольоровість	град.	20	—
Присмак	ПР	2	—
Водневий показник, рН, в діапазоні	одиниці	6,5—8,5	—

Мінералізація загальна сухий залишок)	мг/дм ³	1000	—
--	--------------------	------	---

Продовж. табл. 2.4.

1	2	3	4
Жорсткість загальна	мгекв/дм ³	7	—
Сульфати	мг/дм ³	250	4
Хлориди	мг/дм ³	250	4
Мідь	мг/дм ³	1,0	3
Марганець	мг/дм ³	0,1	3
Залізо	мг/дм ³	0,3	3
Хлорфеноли	мг/дм ³	0,0003	4

Питна вода не повинна містити інші компоненти, що спроможні змінювати її органолептичні властивості, — цинк, поверхнево-активні речовини, нафтопродукти, феноли в концентраціях, що визначаються стандартними методами досліджень.

Радіаційна безпека питної води визначається за гранично допустимими рівнями сумарної об'ємної активності альфа- та бета-випромінювачів (природних), наведеними у табл. 2.5. У разі перевищення цих рівнів слід провести вивчення радіонуклідного складу досліджуваних проб води щодо його відповідності нормам радіаційної безпеки.

Таблиця 2.5. Показники радіаційної безпеки

Найменування показників	Одиниці виміру	Нормативи, не більше
Загальна об'ємна активність	Бк/дм ³	0,1
Загальна об'ємна активність бета-випромінювачів	Бк/дм ³	1,0

Показники фізіологічної повноцінності питної води визначають адекватність її мінерального складу біологічним потребам організму. Вони засновані на доцільності для ряду біогенних елементів обліку не тільки максимально допустимих,

а й мінімально необхідних рівнів їх вмісту у воді. Дослідження показників, що характеризують фізіологічну повноцінність питної води, рекомендується проводити в об'ємі, наведеному у табл. 2.6.

Таблиця 2.6. Показники фізіологічної повноцінності мінерального складу питної води

Найменування показників	Одиниці виміру	Рекомендовані значення
Мінералізація загальна	мг/дм ³	від 100,0 до 1000,0
Жорсткість загальна	мг екв/дм ³	від 1,5 до 7,0
Лужність загальна	мг екв/дм ³	від 0,5 до 6,5
Магній	мг/дм ³	від 10,0 до 80,0
Фтор	мг/дм ³	від 0,7 до 1,5

2.3. Теоретичні основи водопідготовки

Водопідготовка — це комплекс технологічних процесів обробки та очищення води для приведення її якості у відповідність до вимог споживачів. При водопідготовці з води можуть видалятися хімічні елементи, синтетичні миючі та фарбувальні речовини, пестициди та інші. Водопідготовку проводять на спеціальних станціях, продуктивність яких може становити від декількох м³/добу до млн. м³/добу. Розглянемо основні процеси водо-підготовки [14—20].

Освітлення. Вода поверхневих (відкритих) джерел, як правило, містить крупнодисперсні і колоїдні мінеральні й органічні домішки, що зумовлюють її кольоровість. Для їх видалення воду обробляють коагулянтами (Al₂(SO₄)₃, FeSO₄, FeCl₃ та ін.) і флокулянтами (поліакриламідом, активною H₂SiO₃ та ін.). Утворену пластівчасту масу, що складається в основному з гідроксидів Al і Fe й домішок, видаляють з води у відстійниках або спеціальних освітлювачах (осад у них підтримується в підвішеному стані та потоком надходить знизу води), напірних або відкритих фільтрах і контактних освітлювачах із

завантаженням із зернистих матеріалів (кварцовий пісок, дроблений антрацит, керамзит, шунгізит тощо), а також у флотаторах, гідроциклонах, наливних фільтрах. Для часткового видалення крупнодисперсних домішок і фітопланктону, що утворюється при цвітінні водоймищ, застосовують сітчасті мікрофільтри, плоскі і барабанні сітки.

Знезараження. Наявність у воді хвороботворних мікроорганізмів і вірусів робить її непридатною для господарсько-питних потреб, а присутність у воді різних видів мікроорганізмів (наприклад нитчастих, зооглейних, сульфатвідновлюючих бактерій, залізобактерій) викликає біологічне обростання, а іноді і руйнування трубопроводів та обладнання. Найбільш поширеним методом знезараження є хлорування води рідким або газоподібним Cl_2 , гіпохлоритом — NaClO , $\text{Ca}(\text{ClO})_2$ і ClO_2 . Хлор взаємодіє з водою й утворює HClO і HCl ; при $\text{pH} > 4$ вільний Cl_2 практично відсутній, при $\text{pH} > 5,6$ HClO дисоціює на H^+ і ClO^- . Бактерицидність недиссоційованої HClO в 70—80 разів більше, ніж у ClO^- . За наявності у воді NH_3 , амонієвих солей або органічних речовин, що містять групи NH_2 , Cl_2 , HClO гіпохлорити реагують з ними, утворюючи неорганічні й органічні моно- і діхлораміни. Монохлораміни в 3—5 разів менше бактерицидні, ніж діхлораміни, які в свою чергу в 20—25 разів менш ефективні вільного Cl_2 . Бактерицидність хлорамінів, утворених Cl_2 , HOCl , ClO^- , NH_3 або солями амонію в 8—10 разів вище, ніж бактерицидність хлорпохідних органічних амінів. Концентрацію вільного та зв'язаного (в хлораміну) Cl_2 , необхідну для забезпечення заданого знезаражувального ефекту, визначають за результатами пробного хлорування. Для знезараження води застосовують також озон і УФ-опромінення.

Стабілізація. Стабільною вважається вода, яка не виділяє й не розчиняє відкладення CaCO_3 . Показником стабільності служить індекс насичення води I карбонатом Ca , який розраховують за даними про pH і температуру оброблюваної

води, а також концентрації катіонів Ca_2^+ , загальних лужності і солевмісту. Виходячи з цих даних, знаходять pH_s , відповідний насиченню води карбонатом. На основі pH і виміряного значення pH обчислюють індекс насичення води:

$$I = \text{pH} - \text{pH}_s.$$

Вода вважається стабільною, якщо $I = 0$; при $I < 0$ вода викликає корозію сталі, чавуну та інших матеріалів. При $I > 0$ може виділятися CaCO_3 з утворенням протикорозійної плівки на стінках трубопроводів і обладнання. Це пов'язано з наявністю у воді CO_2 : при його надлишку відбувається корозія, при нестачі — пересичення води CaCO_3 , що і призводить до утворення накипу. Для зв'язування наявності CO_2 в $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ або NaHCO_3 воду обробляють $\text{Ca}(\text{OH})_2$, Na_2CO_3 або іншими лужними реагентами. Деякі природні води, що йдуть на охолодження, пересичені CaCO_3 , а також $\text{Mg}(\text{OH})_2$. При використанні в якості холодоагенту вода нагрівається, що викликає розкладання гідрокарбонатів і випадання CaCO_3 ; крім цього, осідають $\text{Mg}(\text{OH})_2$ та деякі солі. Для усунення відкладень воду підкислюють H_2SO_4 або HCl , обробляють CO_2 , фосфатують і стабілізують іншими реагентами.

Пом'якшення. Цей процес полягає у видаленні з води катіонів Ca_2^+ і Mg_2^+ . Реагентне пом'якшення засноване на введенні в воду речовин, що збагачують її аніонами CO_3^{2-} і OH^- , в результаті чого утворюються важкорозчинні CaCO_3 і $\text{Mg}(\text{OH})_2$, що виділяються з води осадженням і фільтруванням. При обробці води вапном ($\text{Ca}(\text{OH})_2$ або CaO) відбувається декарбонізація — усунення карбонатної жорсткості; знижується також лужність води. Вапно пов'язує розчинений у воді CO_2 з утворенням гідрокарбонатних іонів HCO_2^- , які при взаємодії з вапном перетворюються в карбонати, що випадають в осад. Для усунення магнієвої карбонатної жорсткості кількість вапна повинно забезпечувати отримання низько розчиненої $\text{Mg}(\text{OH})_2$ при одночасному еквівалентному виділенні в осад CaCO_3 . Межа

пом'якшення води вапном визначається розчиненістю CaCO_3 і $\text{Mg}(\text{OH})_2$.

Воду обробляють вапном і содою в тих випадках, коли Ca і Mg присутні у воді не тільки у вигляді гідрокарбонатів, але і у вигляді хлоридів і сульфатів, тобто для усунення як карбонатної, так і некарбонатної жорсткості. При цьому утворюються осадки CaCO_3 і $\text{Mg}(\text{OH})_2$, в розчин переходить Na^+ (у вигляді Na_2SO_4 і NaCl) в кількості, еквівалентній кількості Na_2CO_3 . Вода, пом'якшена вапном і содою без підігріву, має залишкову твердість порядку 0,5—1,0 ммоль/л. При нагріванні води до 35—40 °С можна підтримувати залишкову жорсткість не більше 0,5 ммоль/л. При підігріві води до 100 °С і вище (термохімічне пом'якшення, що застосовується для живлення парових котлів) залишкова жорсткість становить 0,3 ммоль/л. Надлишок вапна підвищує залишкову твердість води і одночасно обумовлює збільшення її лужності.

Катіонування води — це пропускання її через шар зернистого катеоніта. У результаті іони Ca_2^+ і Mg_2^+ обмінюються на іони катеоніта. Останній регенерують розчинами солей, що містять катіони Na^+ або NH_4^+ , атоми Н яких витісняють поглинені іони Ca_2^+ і Mg_2^+ . У зв'язку з цим розрізняють Na^+ -, H^+ - або NH_4^+ -катіонування. Здатність різних катеонітів до обміну іонів виражається ємністю поглинання (обмінної здатністю) по відношенню до даного іону і вимірюється числом молей катіонів, поглинених 1 м³ катеоніта. Розрізняють робочу (до "проскакування" іонів Ca_2^+ і Mg_2^+ з профільтрованої водою) і повну (до повного виснаження катеоніта) ємності поглинання. Повна ємність поглинання катионітів становить 570—1700 моль/м³. Робоча ємність залежить від якостей та умов регенерації катеоніта, розмірів зерен і висоти його шару в фільтрі, типу обмінного іона, загального солевмісту, швидкості фільтрування та може змінюватися в межах 40—70 % від повної.

Опріснення і знесолення. Видалення солей з води до межі, близького до вмісту їх у дистильованій воді (частки або декількох мг/л) називають знесоленням, а видалення солей до концентрацій, допустимих при застосуванні води для пиття (до 1 г/л) — опрісненням.

Знесолення дистиляцією засноване на випаровуванні води з подальшою конденсацією пари. Випарники можуть бути багатоступінчатими з використанням пари попереднього ступеня для випаровування води в наступній. Знесолення і опріснення води іонним обміном досягається шляхом послідовного фільтрування води через зернисті шари H^+ — катеоніта і OH^- — аніоніта. При цьому катіони і аніони, що знаходяться у воді, замінюються відповідно на H^+ і OH^- , що утворюють молекули H_2O . У разі фільтрування води через H^+ — катеоніт CO_2 , що утворюється при взаємодії іонів HCO_3^- і H^+ , віддаляється в спеціальному дегазаторі шляхом продуванням повітря через воду. Ємність поглинання аніонітами окремих аніонів різна й визначається властивостями аніонітів, кислотністю води і рядом технічних факторів (крупністю зерен та ін.) Повна ємність аніонітів становить 1500 моль/м³. Низькоосновні аніоніти регенерують NaOH , Na_2CO_3 , NaHCO_3 , високоосновні — NaOH . Найпростіша схема одноступінчатого знесолення включає H^+ — катіонітний фільтр, декарбонізатор для виділення з води CO_2 і OH^- — аніонітний фільтр. При такій схемі вода частково знесолюється (до солевмісту 5—10 мг/дм³), при цьому концентрація в ній H_2SiO_3 практично не знижується. Більш глибоке знесолення води може бути досягнуто на двоступеневих установках (до солевмісту 0,1—0,3 мг/дм³ і концентрації H_2SiO_3 до 0,02—0,1 мг/дм³). Практично повністю воду можна знесолити (до солевмісту 0,05—0,1 мг/дм³ і концентрації H_2SiO_3 менше 0,02—0,05 мг/л) на триступеневій іонітній установці, причому

замість двох фільтрів (H^+ і OH^- – фільтри) на третьому ступені може бути застосований фільтр зі змішаною катіонітно-аніонітним завантаженням.

Знесолення води електродіалізом і зворотним осмосом не вимагає застосування хімічних реагентів і характеризується істотно меншими енергетичними витратами в порівнянні з дистиляцією. При електродіалізі використовують селективні мембрани іонообмінні, при зворотного осмосу — напівпроникні мембрани, що пропускають молекули води, але затримують розчинені мінеральні та органічні речовини. Витрата електроенергії на 1 м^3 води, знесолої електродіалізом, становить $6\text{—}30 \text{ кВт}\cdot\text{год}/\text{м}^3$, зворотним осмосом — $1,5\text{—}15 \text{ кВт}\cdot\text{год}/\text{м}^3$. Електродіалізом воду можна знесолити на 90 %, зворотним осмосом — на 98 %. В установках зворотного осмосу робочий тиск досягає $5\text{—}10 \text{ МПа}$, укладання мембран найчастіше здійснюють за типом фільтрпресу.

Знезалізнєння. У підземних водах залізо зазвичай знаходиться у вигляді $\text{Fe}(\text{HCO}_3)_2$, в поверхневих водах — у вигляді тонкодисперсної суспензії гідроксиду або входить до складу комплексних органічних сполук. Підземні води знезалізують спрощеною аерацією (вільне падінням води з висоти $0,4\text{—}0,6 \text{ м}$) з послідуєчим фільтруванням через шар зернистого матеріалу. При цьому на поверхні зерен виділяється каталітична плівка сполук Fe , інтенсифікуюча знезалізнєння. Метод використовують при загальному вмісті заліза до $10 \text{ мг}/\text{дм}^3$ (в т. р. Fe_2^+ — не менше 70 %). H_2S — до $0,5 \text{ мг}/\text{дм}^3$, рН не менше 6,8. В інших випадках і за наявності у воді агресивного CO_2 застосовують аерацію за допомогою спеціальних аераторів-градирень і фільтрування через шар зернистого матеріалу. При значному вмісті Fe перед фільтрами іноді встановлюють відстійник, де відбуваються окислення Fe_2^+ в Fe_3^+ і коагуляція $\text{Fe}(\text{OH})_3$, що утворюється й затримується на фільтрах.

Аерація у поєднанні з додаванням у воду $\text{Ca}(\text{OH})_2$ або Na_2CO_3 і фільтруванням є універсальним методом, що дозволяє видаляти Fe у всіх формах з підземних і поверхневих вод. Додавання розчину лужних реагентів у воду здійснюється безпосередньо після аератора. При цьому методі з води може виділятися $\text{Fe}(\text{OH})_2$ або FeCO_3 . У ряді випадків для комплексного очищення води від Fe^+ та інших відновників, наприклад H_2S , в неї перед подачею у фільтри вводять окислювачі — Cl_2 і KMnO_4 .

Знекремнювання. Вміст H_2SiO_3 та її солей в природних водах зазвичай коливається від 1 до 50—60 мг/дм³. Високі концентрації H_2SiO_3 та її солей внаслідок утворення накипу неприпустимі у воді, яка використовується для живлення парових котлів високого тиску, а також у деяких виробництвах (целюлози, напівпровідників, лікарських препаратів та ін.). При застосуванні вапна можна зменшити вміст Si у воді до 0,3—0,5 мг/дм³ (в розрахунку на SiO_3^{2-}). При знекремнюванні води солями Fe^{3+} витрата їх складає близько 2 мг Fe на 1 мг видаляється колоїдної H_2SiO_3 . Знекремнювання солями Al краще відбувається при введенні в воду NaAlO_2 (10—15 мг/л на 1 мг SiO_3^{2-}), ніж $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$. Обробкою $\text{Mg}(\text{OH})_2$ при нагріванні води до 40 °C вдається знизити вміст Si до 1 мг/дм³, при нагріванні до 100 °C — до 0,25 мг/л. При використанні обпаленого доломіту залишковий вміст SiO_3^{2-} зменшують до 2 мг/дм³ при підігріві води до 40 °C і до 0,2 мг/дм³ — при підігріві до 98 °C. У разі введення в нагріту воду каустичного магнезиту (10—15 мг на 1 мг видаляемого SiO_3^{2-}) утворюється $\text{Mg}(\text{OH})_2$, що сорбує з води H_2SiO_3 , при цьому вміст Si зменшується до 1,0—1,5 мг/дм³. Майже повне знекремнювання води (до 0,02—0,05 мг/дм³) може бути досягнуто шляхом іонного обміну.

Дегазація. Розчинені у воді гази (O_2 , CO_2 , H_2S) підвищують її корозійну активність і надають неприємний присмак і запах

(H_2S , CH_4). На теплових електростанціях дегазація — один з важливих процесів, який здійснюється пропусканням через воду пари. При цьому в результаті нагрівання її до температури кипіння при атмосферному тиску або у вакуумі розчиненість газів у воді знижується до нуля. Аерацію води за допомогою її розбризкування використовують для усунення CO_2 і H_2S (O_2 не видаляється). Як самостійний метод для очищення води від H_2S аерацію можна використовувати тільки при малих його концентраціях; метод є ефективним при $\text{pH} < 5$. Хімічні методи застосовують для знекиснення води, додаючи до неї різні відновники (SO_2 , Na_2SO_3 , $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$, гідразин). Очищенням води в біохімічних реакторах з послідовним фільтруванням через шар зернистого матеріалу можна практично повністю усунути H_2S , гідросульфіді і сірчисті з'єднання.

2.4. Методи очистки води для питного постачання

Характер і ступінь невідповідності якості води джерела вимогам користувача зумовлює вибір методів обробки. Якщо при цьому можуть бути використані різні методи очищення, то вибір їх проводиться на основі техніко-економічних розрахунків.

Водоочищення — це комплекс технологічних процесів, які спрямовані на доведення якості води, що надходить у водопровід з джерела водопостачання, до встановлених показників.

За класифікацією Л. А. Кульського [21] усі домішки, що забруднюють водойми, поділяються на чотири групи. Відповідно цим групам визначаються методи водопідготовки й схеми обробки води (табл. 2.7).

До I групи домішок води належать завислі у воді речовини. Сюди слід віднести також бактеріальні завислі речовини та інші біологічні утворення. Вилучення цих домішок, тобто освітлення (збільшення прозорості) води, може бути досягнуто шляхом використання безагрегатних методів.

II група домішок води — різні типи гідрофільних і гідрофобних систем, високомолекулярні речовини й детергенти — може вилучатися з води за допомогою різних методів і технологічних прийомів. Так, використовується обробка води хлором, озоном та іншими окисниками. При цьому знижується колірність води, знищуються мікроорганізми, руйнуються гідрофільні колоїди, що створює сприятливі умови для наступного коагулювання, прискорюється процес утворення пластівців та осаду.

Для III групи домішок, які є молекулярними розчинами, найбільш ефективними є такі процеси їх вилучення з води, як: коригування; окиснення; адсорбція.

До IV групи домішок, які є електролітами, технологія очистки води зводиться до зв'язування іонів у мало розчинні і мало дисоційовані сполуки за допомогою доданих у воду реагентів.

Таблиця 2.7. Класифікація домішок у воді та методи їх видалення [22]

Фазова характеристика	Гетерогенні системи		Гомогенні системи	
Група	I	II	III	IV
1	2	3	4	5
Фізико-хімічна характеристика	Грубодисперсні домішки: суспензії, емульсії, планктон, патогенні мікроорганізми	Домішки колоїдного ступеню дисперсності: органічні та неорганічні речовини, віруси, бактерії	Домішки молекулярного ступеню дисперсності: гази, органічні рідини, солі, кислоти, луги, що не перейшли в іонний стан	Домішки іонного ступеню дисперсності: солі, кислоти, основи

Продовж. табл. 2.7.

1	2	3	4	5
Поперечний розмір частки	$> 10^{-1}$	$10^{-1}—10^{-2}$	$10^{-2}—10^{-3}$	$< 10^{-3}$
Методи видалення домішок з води	Фільтрація (механічне видалення)	Ультра-фільтрація	Зворотній осмос, нанофільтрація	
		Коагуляція	Десорбція газів і речовин, евапорація важколетючих речовин	Переклад іонів в малорозчинні сполуки
		Окислення хлором, озonom, перманганатом		
		Адсорбція на гідроксидах й дисперсних мінералах	Адсорбція на активних вуглях та інших матеріалах	Фіксація на твердій фазі іонітів
	Агрегація за допомогою флокулянтів (аніонних і катіонних)		Асоціація молекул	Молярізація і комплексоутворення
	Флотація	Електрофоретичні методи	Екстракція органічними розчинниками	Сепарація іонів при різних фазових станах води
	Електроліз сине-зелених водоростей			
	Бактерицидна дія	Віруліцидна дія	Біохімічний розпад	Використання рухливості іонів в електричному струмі
Сили, що утримують домішки у воді	Гідродинамічні	Електростатичні	Вандерваальсові	Іонні сили розчину

Технологія очищення води передбачає процеси, пов'язані з коригуванням її фізичних і хімічних властивостей, а також процеси знезараження (звільнення від патогенних бактерій і мікроорганізмів). Відповідно механічні, хімічні, фізичні та фізико-хімічні процеси, які використовуються для підготування води, можна поділити на дві групи [23].

До першої групи (пов'язаної з коригуванням фізичних і хімічних властивостей води) відносяться процеси, які дозволяють провести освітлення, усунути з води небажані присмаки і запахи, агресивні гази, залізо, марганець, кремнієву кислоту тощо.

Друга група об'єднує процеси знезараження води, які є обов'язковими за умови санітарної ненадійності джерела, що використовується для господарських цілей.

Для освітлення води у залежності від бажаного ступеня збільшення прозорості можуть використовуватись такі способи:

- відстоювання води у відстійниках;
- центрифугування у гідроциклонах;
- пропускання води через шар раніше утвореного завислого осаду;

- флотування у флотаторах. Флотація — процес молекулярного прилипання частинок забруднень до поверхні розподілу двох фаз (вода — повітря, вода — тверда речовина). Процес очищення від поверхнево-активних речовин, нафтопродуктів, волокнистих матеріалів флотацією полягає в утворенні системи „частинки забруднень — бульбашки повітря”, що спливає на поверхню та утилізується. За принципом дії флотаційні установки класифікуються таким чином: флотація з механічним диспергуванням повітря; флотація з подачею повітря через пористі матеріали; електрофлотація; біологічна флотація;

- фільтрування води через шар зернистого або порошкоподібного фільтруючого матеріалу у фільтрах або фільтруванням через сітки і тканини. Сучасні фільтри в залежності від фільтруючого матеріалу можна розподілити на дві групи: тонкостінні фільтри і зернисті фільтри.

Існує два види фільтрування — плівкове й об'ємне. У першому домішки затримуються на поверхні фільтруючого матеріалу. При об'ємному фільтруванні домішки затримуються усередині фільтруючого шару в порах матеріалу, за цим принципом працюють швидкісні і надшвидкісні зернисті фільтри. За певних умов у зернистих фільтрах має місце комбіноване фільтрування, коли частина домішок затримується на поверхні, частину — у порах. Зернисті фільтри широко застосовують для підготовки технічних і оборотних вод, вони незамінні на водоочисних станціях господарчо-питного призначення для освітлення і знебарвлення поверхневих вод, а також для знезалізення підземних вод;

— зворотний осмос (гіперфільтрація) — процес фільтрування питної води через напівпроникні мембрани під тиском;

— ультрафільтрація — мембранний процес розподілу розчинів, осмотичний тиск котрих малий. Застосовується для очищення питної води від високомолекулярних речовин, завислих частинок та колоїдів;

— електродіаліз — процес сепарації іонів солей в мембранному апараті, котрий здійснюється під впливом постійного електричного струму. Електродіаліз застосовується для демінералізації питної води. Основним обладнанням є електродіалізатори, що складаються з катіонітових та аніонітових мембран;

— хімічне очищення використовується як самостійний метод або як попередній фізико-хімічним та біологічним очищенням. Його використовують для зниження корозійної активності питної води, видалення з них важких металів, очищення стоків гальванічних дільниць, для окиснення сірководню та органічних речовин, для дезінфекції води та її знебарвлення;

— нейтралізація застосовується для очищення стоків гальванічних, травильних та інших виробництв, де застосовуються кислоти та луги.

Потрібний ефект збільшення прозорості води у відстійниках, освітлювачах і на фільтрувальних апаратах із зернистим фільтрувальним матеріалом може бути досягнутий коагулюванням домішок води у цілях інтенсифікації процесу, тобто впливом солей багатовалентних металів. При цьому одночасно відбувається значне знебарвлення води.

Знебарвлення води — вилучення забарвлених колоїдів або справжніх розчинених речовин — досягають коагулюванням, флокуляцією, напірною флоутацією, застосуванням різних окислювачів (хлору та його похідних, озону, перманганату калію) та сорбентів (активного вугілля).

Коагуляція — процес з'єднання дрібних частинок забруднювачів в більші за допомогою коагулянтів. Для позитивно заряджених частинок коагулюючими іонами є аніони, а для негативно заряджених — катіони. Коагулянтами є вапняне молоко, солі алюмінію, заліза, магнію, цинку, сірчаноокислого газу тощо. Коагулююча здатність солей тривалентних металів в десятки разів вища, ніж двовалентних і в тисячу разів більша, ніж одновалентних.

Флокуляція — процес агрегації дрібних частинок забруднювачів у воді за рахунок утворення містків між ними та молекулами флокулянтів. Флокулянтами є активна кремнієва кислота, ефіри, крохмаль, целюлоза, синтетичні органічні полімери.

Для освітлення води одночасно використовуються коагулянти та флокулянти, наприклад, сірчаноокислий алюміній та поліакриламід. Коагуляція та флокуляція здійснюється у спеціальних ємностях та камерах.

При очищенні води використовується і електрокоагуляція — процес укрупнення частинок забруднювачів під дією постійного електричного струму.

Сорбція — процес поглинання забруднень твердими та рідкими сорбентами (активованим вугіллям, золою, дрібним коксом, торфом, силікагелем, активною глиною тощо).

Адсорбційні властивості сорбентів залежить від структури пор, їхньої величини, розподілу за розмірами, природи утворення.

Після механічних, хімічних та фізико-хімічних методів очищення у питної води можуть знаходитись різноманітні віруси та бактерії (дизентерійні бактерії, холерний вібріон, збудники черевного тифу, вірус поліомієліту, вірус гепатиту, цитопатогенний вірус, аденовірус, віруси, що викликають захворювання очей). Тому з метою запобігання захворюванням питну воду перед використанням для побутових потреб піддають знезаражуванню.

Для знезараження води застосовують хімічні (хлорування, озонування, використання олігодинамічної дії срібла) і фізичні (кип'ятіння, ультрафіолетове опромінення) методи.

Найбільш простим, надійним і широко розповсюдженим методом знезаражування води є її хлорування, у нашій країні хлорування води почали застосовувати з 1908 року.

Хлорування води відбувається газоподібним Cl_2 , або ж речовинами, що містять активний Cl : хлорне вапно, хлорит, діоксид хлору. Бактерицидний ефект хлорування визначається в основному впливом на протоплазму бактерій недиссоційованої молекули хлорноватистої кислоти. Однак, незважаючи на ефективність у відношенні патогенних бактерій, хлорування не забезпечує епідемічної безпеки у відношенні вірусів. Також негативною властивістю даного методу є утворення хлорорганічних сполучень і хлорамінів.

Окислення застосовується для знезараження питної води від токсичних домішок (мідь, цинк, сірководень, сульфід), а також від органічних сполук. Окиснювачами є хлор, азот, кисень, хлорне вапно, гіпохлорид кальцію тощо.

Однією з альтернатив процесу хлорування води є її знезаражування за допомогою озону. Озон є універсальним реагентом, оскільки може бути використаний для знезаражування, знебарвлення, дезодорації води, для видалення заліза і марганцю. Озон руйнує сполуки, що не підкоряються

впливу хлору (феноли), не додає воді запаху і присмаку. З позиції гігієни озонування є одним з найкращих способів знезараження води. Вода при цьому не збагачується додатковими домішками. Залишковий невикористаний озон через короткий проміжок часу розпадається і перетворюється на кисень.

Але в даного методу також існують мінуси: побічні продукти озонування — альдегіди (формальдегіди) і кетони, а також складність і дорожнеча виробництва озону і постійний контроль з боку людини за виробництвом озону. Треба зазначити, що озонування води є відповідальним технологічним процесом, який вимагає великих витрат електроенергії, застосування складних приладів і висококваліфікованого технагляду, оскільки концентрований озон — отруйний газ. Це до певної міри є стримуючим фактором для його широкого застосування.

Знезараження води іонами срібла навіть у малих концентраціях має властивість знищувати мікроорганізми, що пояснюється властивістю його іонів руйнувати протоплазму мікроорганізмів.

«Срібна вода», яка готується електролітичним розчиненням, має високі бактерицидні властивості і з успіхом може бути використана для очищення води від шкідливих мікроорганізмів, дезінфекції та консервування продуктів харчування, для лікувальних цілей тощо. Завдяки мізерним дозам срібла вона є зовсім не шкідливою.

Одним з найбільш ефективних методів знезаражування (мікробіологічного очищення) води є ультрафіолетове (УФ) опромінення. Ультрафіолетове проміння впливає на білкові молекули і ферменти цитоплазми клітин. Знезараженню ультрафіолетовим промінням краще за все піддається очищена прозора вода, колірність якої не перевищує 20°, оскільки завислі та колоїдні частинки розсіюють світло і заважають проникненню ультрафіолетового проміння.

Джерелами ультрафіолетового проміння є ртутні лампи, виготовлені з кварцового скла (оскільки звичайне скло не

пропускає ультрафіолетову радіацію). Під дією електричного струму ртутні пари дають яскраве зеленувато-біле світло, багате на ультрафіолетове проміння. Існують два основні види апаратів для опромінення: апарати із зануреними і незануреними джерелами ультрафіолетових променів.

Ультрафіолетове опромінення діє миттєво, у той же час випромінювання не додає воді залишкових бактерицидних властивостей, а також запаху і присмаку. Обробка води УФ-випромінюванням не приводить до утворення шкідливих побічних хімічних сполук (на відміну від обробки хімічними реагентами, у т. ч. хлором, хлораміном, озоном). УФ-зnezаражування високоефективне протягом усіх періодів року, у т. ч. у паводок і, особливо, узимку, коли ефективність хлорування різко знижується. Бактерицидна установка не має потреби в реагентах.

Дані великого числа досліджень показують, що дози УФ для знищення бактерій і вірусів відрізняються незначно, у той час як при зnezаражуванні хлором ці дози розрізняються до 50 разів, а фільтри для вірусів, як правило, просто "прозорі".

Зnezараження води ультразвуковими хвилями. Єдиної теорії, яка б пояснювала досконалу бактерицидну дію ультразвуку, на даний час немає. Найбільш вірогідною є гіпотеза, що пояснює дію ультразвуку на бактерії у воді явищем кавітації, тобто утворенням у рідині порожнини та бульбашок, миттєве «закривання» яких підвищує тиск до десятків тисяч атмосфер. До сьогоднішнього часу дослідження ультразвукових хвиль з метою використання їх в практиці на вітчизняних водопроводах не вийшло із стадії експериментів. За кордоном існують промислові установки.

Термічне зnezараження. Термічний метод зnezараження застосовується для невеликих об'ємів води. Цим методом користуються в побутових умовах, в санаторіях, в лікарнях, на судах, у потягах. Зnezараження досягається 5—10 хвилинним кип'ятінням. Термічний метод зnezараження води не знайшов

застосування навіть на малих водопроводах через його високу вартість, пов'язану з великими витратами палива, та через малу продуктивність установок.

Для водопостачання підприємств застосовують специфічні заходи; наприклад, для водопостачання електростанцій, підприємств хімічної промисловості, текстильної та інших застосовують пом'якшення води, тобто знижують її жорсткість. Для водопостачання підприємств радіохімічної та хімічної промисловості воду піддають глибокому знесоленню і знижують окислюваність (вилучають органічні речовини). При використанні для цілей водопостачання солоної (морської) води її опріснюють, а інколи і знесолюють.

2.5. Коагулянти і флокулянти

На сучасному етапі розвитку науки значне місце приділяється підбору ефективних реагентів, які використовують в процесах очистки води. Коагулянти — це хімічні сполуки, які здатні гідролізуватися у воді з утворенням різних коагуляційних структур, що володіють високими адсорбційними й адгезійними властивостями. Солі багатовалентних металів — сульфати та хлориди алюмінію, заліза (II), заліза (III) — використовують як коагулянти, які допомагають осіданню завислих у воді забруднень завдяки їх злипанні з молекулами або іонами коагулянта. Процес, в основі якого знаходиться таке явище називається коагуляцією [24].

Правильне використання коагулянтів, дозування та сама технологія процесу коагуляції забезпечують ефективність водоочистки.

На сьогоднішній день на водопровідних станціях ефективно використовують різні коагулянти. Велике значення в процесі коагуляції мають умови дозування коагулянта, конструкції апаратів, які використовують, а саме їх розмір, кут нахилу відстійників, щоб легко можна було видаляти з них утворені

осади. Розглянемо найбільш поширені коагулянти, їх властивості, механізми гідролізу та коагуляції.

2.5.1. Основні коагулянти в процесах очистки води

Як коагулянти на практиці в основному використовують солі алюмінію ($\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$, AlCl_3 , $\text{Al}_2(\text{OH})_5\text{Cl}$ і ін.) і заліза (FeCl_3 , FeSO_4 і ін.). Кожен тип коагулянту по-різному поводить себе в тій чи іншій воді. До числа факторів, що впливають на процес коагулювання як у відношенні ефективності очищення води, так і у відношенні властивостей осаду, що утворюється, крім типу коагулянту відносяться значення рН і солевміст оброблюваної води, доза коагулянту, склад домішок, що видаляються, а також температура води. Правильний вибір і облік цих параметрів може значною мірою інтенсифікувати процес коагуляційного очищення природних і стічних вод і підвищити його ефективність [25].

Сульфат алюмінію. $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$ — основний коагулянт, що застосовується для освітлення і знебарвлення води. Істотний недолік сульфату алюмінію — його чутливість до температури води, яку очищують, що пояснюється великою гідратацією гідроксиду алюмінію при низьких температурах ($\sim 1\text{—}2\text{ }^\circ\text{C}$). Зростання гідратації в цих умовах сприяє стабілізації золю гідроксиду алюмінію, погано коагулюючого в даному випадку іонами HCO_3^- і SO_3^{2-} навіть у концентраціях, у кілька разів перевищуючих їх звичайний вміст у воді. Підвищення стійкості золю сильно впливає на швидкість утворення лапатого осаду; при використанні сульфату алюмінію в умовах низьких температур спостерігається сповільнення процесу утворення лапатого осаду, переходу залишкового алюмінію в очищену воду й випаданню осаду гідроксиду алюмінію в трубах [26].

Сульфат заліза (III). Сульфат заліза (III) $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ (сульфат заліза окисний) звичайно готують розчиненням $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$ у H_2O . Продукт кристалічний, дуже гігроскопічний, добре розчиняється у воді.

Солі заліза (III), які застосовуються як коагулянти, мають перевагу над $\text{Al}(\text{SO}_4)_3$. Так, при їхньому використанні поліпшується коагуляція при низьких температурах води, причому на процес мало впливає рН середовища, прискорюється осад зкоагульованих часточок і скорочується тривалість відстоювання (щільність лапатоного осаду $\text{Fe}(\text{OH})_3$, більше, ніж $\text{Al}(\text{OH})_3$).

Недолік солей заліза (III) як коагулянтів — необхідність їх ретельного дозування, оскільки його порушення призводить до проскакування заліза в очищену воду. Лапаті частинки $\text{Fe}(\text{OH})_3$ осідають нерівномірно, у зв'язку з чим у воді залишається велика кількість дрібних лапатих часточок, що надходять на фільтри. Ці недоліки значною мірою можна усунути, додавши $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$. Сульфат заліза (II) $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ (залізний купорос), являє собою прозорі зеленувато-блакитні кристали, що швидко буріють на повітрі, насичуючись вологою.

2.5.2. Способи добування коагулянтів

Сульфат алюмінію. Сировиною для його одержання служать речовини, що містять Al_2O_3 (боксити, глини), і сірчана кислота. Попередньо подрібнену глину випалюють при температурі 600°C і змішують з підігрітою сірчаною кислотою. Сульфат алюмінію очищають, для чого його розчиняють, відфільтровують домішки, випаровують розчин до визначеної концентрації, дають йому застигнути у тверду масу. Продукт, що утвориться, з питомою масою 1,62 повинний містити (%): 1,33 Al_2O_3 , 36,03 SO_3 і 48,64 H_2O .

Неочищений сульфат алюмінію (сорт БМ) виходить при обробці необпаленої глини сірчаною кислотою. Вміст у ньому Al_2O_3 повинно бути не нижче 9,5 %. При обробці маломутних вод наявність у неочищеному коагулянті нерозчинних домішок поліпшує процес утворення лапатих частинок.

Сульфат заліза (III). Розроблено технологію виробництва сульфату заліза (III) із залізного купоросу, окислюванням його

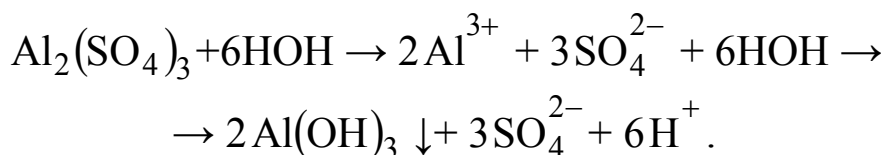
при температурі не вище 520 °С у результаті чого виходить залізо-окисний коагулянт у вигляді гранул розміром 0,5—3,5 мм² з вмістом $Fe_{\text{заг}} = 31,11 \%$. Лабораторні випробування такого коагулянту показали його високу здатність до коагуляції.

Сульфат заліза (II). Сульфату заліза (II) як товарний продукт випускається 1-го і 2-го сорту; він містить відповідно не менш 52 і 47 % $FeSO_4$, не більш 1 % вільної H_2SO_4 і не більш 0,4 і 1 % нерозчинного залишку. Випускають також 30 %-й розчин $FeSO_4$, що містить до 2 % вільної H_2SO_4 .

2.5.3. Хімічні властивості коагулянтів

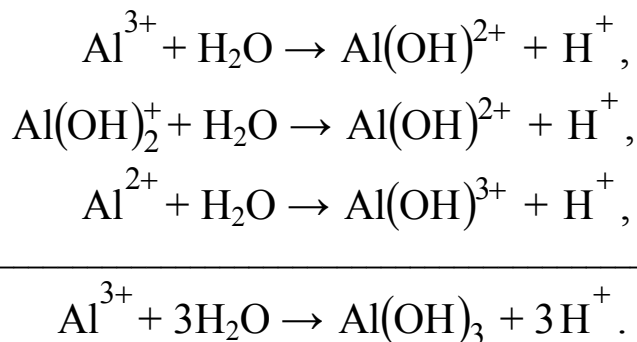
Сульфат алюмінію. Сульфат алюмінію — це сіль утворена сильною кислотою і слабкою основою. У водному розчині вона буде гідролізуватись до гідроксиду алюмінію за наступною схемою:

Гідроліз сульфату алюмінію:



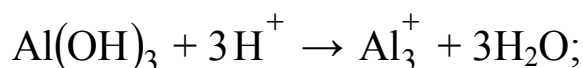
де Al^{3+} — катіон слабкого електроліту; SO_4^{2-} — аніон сильного електроліту; $Al(OH)_3$ — рихлий осад.

Гідроліз солей алюмінію проходить в декілька стадій:

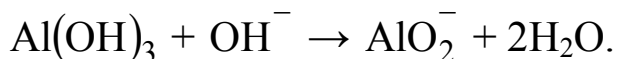


Ступінь гідролізу підвищується при розбавленні розчину та підвищення його температури та рН. Гідроксид алюмінію — типова амфотерна сполука, що володіє кислотними та основними властивостями:

в кислому середовищі:

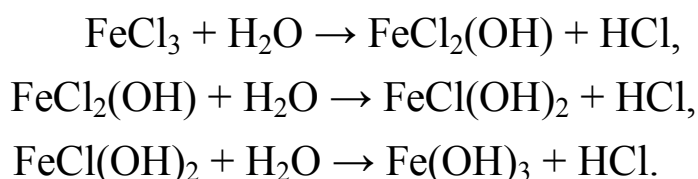


в лужному середовищі:



Сульфат заліза (III). У результаті вивчення властивостей сульфату заліза (III) встановлено вплив концентрації розчину реагенту на процес очищення, пов'язане зі зміною здатності до коагуляції гідроксиду заліза (III) у момент його введення в гідрокарбонатному середовищі. Частковий гідроліз іонів заліза в 10—20 %-х розчинах зумовлював утворення гідроксиду заліза (III) з більшою сумарною адсорбційною ємністю. У випадку розведених розчинів (1—3 %) їх технологічна ефективність може бути підвищена за рахунок подавлення гідролізу підкисленням розчину коагулянту концентрованою сірчаною кислотою. Кількість кислоти розраховувалася таким чином, щоб вода після обробки не проявляла рН лужного середовища.

Гідроліз сульфату Fe (III) відбувається аналогічно гідролізу хлориду Fe (III). Гідроліз хлориду заліза (III) відбувається поетапно, як і сульфат алюмінію. При цьому у водному розчині відбуваються наступні реакції:



Сульфат заліза (II). Окислювання $\text{Fe}(\text{OH})_2$, що утвориться в результаті гідролізу залізного купоросу, при рН води менш 8 протікає повільно, що призводить до неповного його осади і незадовільного проходження коагуляції. Тому перед застосуванням залізного купоросу у воду вводять вапно, яке підвищує рН середовища і, відповідно, ефективність обробки. Тому залізний купорос використовують головним чином на станціях вапняного і вапняно-содового пом'якшення води, коли при

усуненні магнієвої твердості значення рН підтримують у межах 10,2—13,3, де солі алюмінію не застосовуються. У зв'язку з необхідністю додаткового реагенту залізний купорос порівняно рідко застосовується для освітлення і знебарвлення води. Одночасно він служить майже незамінним реагентом при вапняно-содовому пом'якшенні води.

Процес окислення гідроксиду заліза (II) протікає дуже швидко при введенні у воду хлору. Додавання хлору до подачі коагулянту чи після нього при масовому співвідношенні:



призводить до наступної реакції:



У зв'язку з тим, що ступінь гідролізу солей заліза (III) більше, ніж солей заліза (II), процес утворення лапатих частинок протікає інтенсивніше. При цьому формуються великі, легко осідаючі лапаті частинки гідроксиду заліза (III) і знебарвлення досягається при значно менших дозах коагулянту. Вище викладений процес цілком придатний і для обробки води, що містить гумусові речовини, з яким залізо (II) може давати стійкі комплексні з'єднання.

2.5.4. Основні етапи використання коагулянтів в процесах водоочистки

Колоїдні частинки забруднень, зіштовхуючись із лапатим осадом гідролізованого коагулянту, прилипають до них чи механічно захоплюються розрихленими агрегатами осаду. На поверхні лапатоного осаду поряд з адгезією колоїдних частинок може відбуватися молекулярна адсорбція фарбованих органічних домішок, а також хемосорбція забруднень. Повнота і швидкість освітлення води залежить як від властивостей коагулянту, так і від властивостей забруднюючих воду речовин.

При розчиненні у воді солей коагулянтів утворюються колоїдні розчини гідроксидів відповідних металів. Сучасні уявлення про будову колоїдних частинок ґрунтуються на фізичному (адсорб-ційному) підході до розгляду механізму виникнення колоїдних міцел, а також можливих хімічних взаємодій при їхньому формуванні. Відповідно до фізичної теорії, виникненню колоїдних частинок передують формування агрегатів з молекул, чи атомів іонів речовини, що становить дисперсну фазу. На поверхні такого кристалика адсорбуються іони, здатні добудовувати його кристалічні ґратки, так звані потенціал-визначаючі іони. Потенціал-визнача-ючими іонами можуть бути також іони, здатні вибірково адсорбувати на поверхні агрегату чи утворювати з протилежно зарядженими іонами кристалічної поверхні малорозчинні з'єднання. Агрегат молекул разом з потенціал-визначаючими іонами становить електрично-заряджене ядро міцели. До зарядженого ядра з навколишнього розчину електростатичними силами притягаються іони протилежного знаку, що компенсують заряд потенціал-визначаючих іонів.

Серед ряду технологій, які використовують для очищення природних вод, технологія коагуляційного очищення займає особливе місце. Це пов'язано з її достатньою ефективністю і відносною дешевиною. Істотне значення має і те, що більшість водопровідних станцій укомплектована устаткуванням, розрахованим на коагуляційне очищення. Зміна зазначеної технології водопідготовки вимагатиме практично повного переустаткування підприємств, що спричинить великі фінансові витрати. Тому найбільш раціональним є удосконалювання технології коагуляційного очищення й оптимальне рішення вузьких технологічних питань.

До одного з них варто віднести питання удосконалювання реагентної бази, зокрема розширення асортименту і поліпшення якості використовуваних коагулянтів. У наш час практично усі водопровідні станції України працюють з використанням

традиційного сульфату алюмінію, що поряд з перевагами має і безліч недоліків. Цей коагулянт ефективний при дестабілізації природних дисперсій з невисоким вмістом глинистих мінералів і колоїдно-розчинених гумусових речовин в інтервалі значень рН 5,0—7,5. Однак істотним недоліком сульфату алюмінію є зниження ефективності його дії при зниженій температурі води, яка очищується. Підвищення стійкості золю гідроксиду алюмінію в цих умовах ($\sim 1\text{—}2\text{ }^{\circ}\text{C}$) сповільнює швидкість агрегатоутворення і седиментації, що приводить до збільшення вмісту алюмінію в очищеній воді й осадженню його у формі $\text{Al}(\text{OH})_3$. Висока кислотність сульфату алюмінію у випадку недостатнього лужного резерву води вимагає її нейтралізації, що досягається додаванням лужних реагентів. Відзначається і невисока ефективність сульфату алюмінію при видаленні з води органічних домішок (гумусових речовин).

Освітлення і знебарвлення води коагулюванням звичайно включає приготування розчину коагулянту і його дозування, змішування дозованого розчину з водою, гідроліз коагулянту з утворенням золю й адсорбцією на ньому домішок води, коагуляцію золю, відстоювання і фільтрування води. Технологічне оформлення цих процесів повинне забезпечувати максимально точне дозування реагентів, гарне змішування, оптимальні умови гідролізу, утворення лапатих частинок і звільнення води від суспензій.

Одним з основних етапів очищення води коагулюванням є підготовка реагентів, що у більшості випадків зводиться до приготування розчинів коагулянтів необхідної концентрації. Реагенти, які використовують в техніці водоочищення зазвичай являють собою тверді речовини (очищений і неочищений сульфат алюмінію, хлорид заліза, вапно), що подаються у воду або у вигляді розчинів заданої концентрації (мокре дозування), або у вигляді ретельно подрібненого і висушеного порошку (сухе дозування). При використанні методу мокрого дозування реагенти потребують попереднього розчинення. Швидкість

розчинення залежить від ступеня їхнього подрібнення, температури розчину й інтенсивності перемішування. Найбільш інтенсивне розчинення досягається при застосуванні штучного перемішування.

Розрахункові дози реагентів встановлюють на підставі даних, одержаних у результаті пробної обробки води в лабораторних умовах підприємства з водоочистки, чи за даними експлуатації діючих споруджень, що працюють в аналогічних умовах. Також треба враховувати необхідний рівень підвищення лужності води. Для інтенсифікації процесу коагуляції рекомендується застосовувати на додаток до коагулянтів флокулянти (кремнієву кислоту чи поліакриламід). Їх дози залежать від місця введення, типу і режиму роботи споруджень, фізико-хімічних властивостей оброблюваної води.

Розчин коагулянту на водоочисних станціях готують у розчинних баках, звідкіля його перекачують у видаткові баки чи в ємності-сховища концентрованого розчину. Тривалість повного циклу приготування розчину коагулянту (завантаження, відстоювання, перекачування, очищення піддона) при температурі до 10 °C варто вважати рівним 10—12 год. Кількість баків для розчинення розраховують з урахуванням способу доставки і розвантаження коагулянту, його виду, а також тривалості розчинення.

Баки для приготування і мокрого збереження коагулянтів являють собою прямокутні спорудження, зроблені з залізобетону. Тривалий вплив на них розчинів коагулянтів, механічні удари шматків коагулянту в процесі завантаження, вихровий рух рідини при перемішуванні призводять до руйнування стінок. Для надійного захисту від руйнування баки облицьовують міцними до ударних навантажень і стійкими до корозії матеріалами: кислототривкими керамічними плитками.

Існують два основні типи дозаторів розчинів: постійної і пропорційної доз. Останні автоматично змінюють дозу реагенту, який подається, в залежності від кількості оброблюваної води. До

постійного типу дозаторів відносять дозатор В. В. Хованського, за допомогою якого дозування відбувається безпосередньо з баків для розчинення. Для дозування розчинів, які застосовують при очищенні води, використовуються спеціальні насоси-дозатори, що дозволяє не тільки перекачувати реагенти, вимірювати їхню витрату, але і забезпечує можливість дозування реагентів. Також використовуються дозатори, що забезпечують подачу у воду сухого реагенту. Вони прості, займають порівняно мало місця.

Однак не всі реагенти можна дозувати в сухому вигляді через можливе злежування і гігроскопічність. Реагенти, що застосовують для сухого дозування, повинні мати однорідні, негігроскопічні зерна, постійний склад, а також не змінюватися в умовах коливань температури і тиску. Так сульфат алюмінію й активоване вугілля можна використовувати для сухого дозування; гашене вапно менш придатне через те, що воно гігроскопічне і забиває отвори дозаторів; хлорид заліза зовсім не придатний через велику гігроскопічність.

Наступний етап після готування розчинів реагентів і дозування — це змішування їх з масою оброблюваної води. Основна вимога до процесу змішування реагенту з водою, полягає у швидкості його проведення. Змішування повинне закінчуватися протягом 1—2 хв. у випадку застосування розчинів коагулянтів чи протягом 2—3 хв. при подачі сухих реагентів. Реагенти можуть вводитися у воду на станціях водопідготовки і до них — у всмоктувальний чи напірний трубопровід насосів. При подачі реагенту у всмоктувальний водопровід відбувається найбільш повне змішування коагулянту з водою.

Для змішування реагентів з водою на станціях водопідготовки використовуються змішувачі різних конструкцій.

Перегородчатий змішувач являє собою канал з перегородками, що забезпечують горизонтальний чи вертикальний рух води з поворотами на 180° . Число поворотів приймають рівним 9—10. Перегородок встановлюють зазвичай три. У першій і третій є центральні проходи, а в середній — два

бічних проходи біля стінок лотка. Відстань між перегородками приймається рівною подвійній ширині лотка.

Дірчастий змішувач забезпечений поперечними перегородками з отворами. Звичайно встановлюють 3—4 перегородки. У просторі між перегородкам створюються численні дрібні вихрі з різними осями обертання.

У механічному змішувачі вода з коагулянтном змішується пропелерною мішалкою. Його перевага полягає в можливості регулювання інтенсивності змішування зміною числа оборотів мішалки. Недоліком механічних змішувачів є додаткова витрата електроенергії.

У вертикальних змішувачах вихрового типу перемішування відбувається за рахунок зміни швидкості води.

Наступним етапом коагуляції є утворення лапатих частинок. Укрупнення колоїдних часток, що утворюються в процесі гідролізу коагулянтів, відбувається поступово протягом тривалого часу. На цій стадії спочатку формуються пухкі неміцні сітки (стадія схованої коагуляції) і сверхміцелярні структури. Далі починають з'являтися лапаті частинки, що потім розриваються на окремі частки, що осідають під дією сили тяжіння.

Наступною стадією очищення води є видалення завислих у воді домішок зкоагульованого осаду. Це досягається відстоюванням і фільтруванням. При відстоюванні з води видаляється основна маса завислих речовин, а фільтрування є лише завершальним процесом, що використовується для повного звільнення води від суспензій. Процес відстоювання простіше всього здійснюється в нерухомій рідині. У великих водоймищах, де зміна води відбувається звичайно через 25—30 діб, тривалий відстій сприяє самоочищенню води. На деяких водогонах спеціально роблять попереднє відстоювання води. Однак цей метод широко не застосовується, тому що для його здійснення потрібні великі ємності.

Найбільшого поширення набуло освітлення і знебарвлення води саме за допомогою коагулювання. Завислі частинки осаджу-

ються в різного типу відстійниках: великі частинки, що виносяться водою з камер реакції і потрапляють у відстійники, під дією сили тяжіння починають осідати, тому що швидкість руху у відстійниках різко знижується в порівнянні із швидкістю води у попередніх спорудах.

При відстоюванні суспензій відбувається як вільне, так і сполучене осадження. Враховуючи те, що концентрація суспензії у воді навіть у випадку коагулювання мала, то у верхніх шарах спостерігається режим вільного осадження. У нижніх шарах концентрація суспензії збільшується за рахунок частинок, що осідають з верхніх шарів, тому стає можливим сполучене осадження. Осади частинок, що утворюються у воді при коагулюванні гідратів, відбувається швидше, ніж осадження природних суспензій (піску, глини) того ж розміру. Це пояснюється відмінністю питомої ваги реагентів.

Осади призводить до збільшення на дні відстійника осаду. Обсяг і структура останнього залежать від характеру суспензії, содового складу води, виду коагулянту, який застосовують, температурних умов та інших факторів. З часом обсяг осаду суспензій, що коагулювали, зменшується, що зв'язано з виділенням води, яку поглинула поверхня частинок. Така властивість осаду, як плинність, дуже зручна для видалення його з відстійників.

Осад може видалятися самопливом, механічно — шкребками чи відсмоктуванням. У залежності від способу видалення осаду розрізняють горизонтальні і вертикальні відстійники.

Горизонтальний відстійник очисних споруджень являє собою прямокутний залізобетонний резервуар із плоским покриттям і похилим дном, що полегшує його очищення. По висоті відстійник розділяється на дві зони: 1 — осадження; 2 — накопичення та ущільнення осаду.

Вертикальний відстійник являє собою круглий чи квадратний (у плані) резервуар з конусним днищем для накопичення й ущільнення осаду. Він обладнаний також

трубопроводом для подачі води, яка освітлюється, жолобами для збору проясненої води, а також трубопроводом для періодичного випуску осаду чи спорожнювання відстійника.

2.5.5. Флокулянти

Флокулянти — це речовини, що викликають в рідких дисперсних системах флокуляцію, — утворення рихлих пластівчастих агрегатів (флокул) з дрібних часток дисперсної фази. Розрізняють неорганічні й органічні флокулянти.

Флокулянти використовуються на додаток до коагулянту для збільшення розмірів утворюються пластівців і їх подальшого видалення. Маючи велику молекулярну масу флокулянти утворюють містки між мікропластівцями, що виникли при коагуляції, й створюють макропластівці. Використання слідом за коагуляцією дуже малих кількостей флокулянтів ($0,01—0,5$ мг/дм³) максимізує захоплення частинок, прискорює утворення пластівців і робить пластівці більш щільними і швидко осідаючими. Використання флокулянтів для цієї мети дозволяє також обмежити дозування коагулянтів до мінімальної кількості, необхідної для дестабілізації колоїдної суспензії, оскільки при цьому не потрібно надмірну кількість коагулянту для утворення суспензії, здатної випасти в осад.

Застосування флокулянтів рекомендується після дестабілізації колоїдної системи коагулянтами. Для кращого утворення пластівців рекомендується вводити робочий розчин флокулянта через 20—30 секунд після внесення коагулянта.

Флокулянти дозволяють:

- 1) максимізувати якість води при мінімізації часу відстоювання;
- 2) збільшити продуктивність без капітальних витрат;
- 3) підвищити ефективність системи фільтрації і збільшити термін служби фільтрів;
- 4) мінімізувати витрати, трудомісткість і проблеми, пов'язані з видаленням відходів.

Використання флокулянтів для водопідготовки дозволяє вирішити наступні проблеми:

- 1) повністю виключити або зменшити вторинне забруднення очищеної води продуктами гідролізу солей алюмінію і заліза;
- 2) понизити корозійну активність води;
- 3) повернути очищену воду на повторне використання;
- 4) зменшити витрату реагенту в декілька разів;
- 5) скоротити кількість осаду, що утворюється;
- 6) підвищити здібність осаду до обезводнення;
- 7) підвищити ефективність і стабільність очищення води;
- 8) збільшити продуктивності і надійності роботи очисних споруд.

Всі водорозчинні флокулянти, залежно від їх хімічного складу, можна розділити на органічних і неорганічних, а залежно від джерела здобуття — на природні і синтетичні. В даний час в різних галузях промисловості найширше використовуються полімерні високомолекулярні з'єднання, що володіють як загальними, так і направленими властивостями лінійної, розгалуженої і просторової структури з великою молекулярною масою.

У технології отримання питної води найбільший попит мають катіонні флокулянти, потреба в яких удвічі більше усіх інших. При очищенні води на водопідготовчих станціях катіонні флокулянти використовують в концентраціях від 0,01 до 0,5 мг/дм³.

Ефективність застосування флокулянтів залежить від правильного вибору флокулянта і технології його застосування, що неможливо без знання властивостей флокулянтів, механізму процесу і закономірностей застосування реагентів.

Прикладний характер багатьох досліджень, що проводяться, недостатня інформаційна база про хімічний склад води, стоків і властивостях флокулянтів є причиною того, що метод пробної коагуляції залишається основним при виборі флокулянтів і визначенні його ефективності. У зв'язку з цим необхідно

підкреслити важливість дослідницьких робіт в цій області, що звичайно може полегшити вибір флокулянта і технології його використання для конкретного виду води і осаду та виключити ухвалення помилкових рішень.

2.5.6. Перспективи створення нових ефективних коагулянтів

Останнім часом у зв'язку з підвищеним антропогенним навантаженням і не завжди вдалим проведенням гідромеліоративних робіт значно погіршується якість природної води, особливо в басейні р. Дніпро, що є основним джерелом водопостачання для більшості промислових центрів України. Особливу стурбованість викликає підвищення кольоровості води, тому що це приводить до утруднення процесу агрегації продуктів гідролізу коагулянту внаслідок адсорбції на їхній поверхні часток гумінових і фульвокислот. Процес агрегації особливо ускладнюється в зимовий період, тому що температура води в р. Дніпро не перевищує 4 °С, тобто мають місце умови, при яких гідроліз солей алюмінію й агрегація часток продуктів гідролізу протікають дуже повільно, що погіршує роботу очисних споруд. Для поліпшення параметрів очищеної води в цих умовах (до того ж при мінімальних змінах технологічного процесу) можуть бути запропоновані реагенти, що забезпечують більш ефективне видалення органічних домішок з води. До них відносяться основні солі алюмінію (оксисульфат і оксихлорид), що є досить ефективними навіть при низькій температурі, і органічні високомолекулярні флокулянти, що дозволяють прискорити процеси агрегації часток у воді, що очищається, і при цьому зв'язати додаткову кількість органічних домішок та іонів важких металів за рахунок функціональних груп.

За кордоном (США, Японія, країни ЄС й ін.) оксихлориди вже широко застосовують як коагулянти, але в Україні використання оксисульфатів й оксихлоридів для очищення природних і стічних вод перебуває в стадії впровадження. В

нашій країні провідними науковими центрами з досліджень проблем водоочистки є Інститут колоїдної хімії та хімії води НАН України та кафедри фізичної та колоїдної хімії національного Університету імені Т. Г. Шевченка та національного технічного університету "КПІ".

2.6. Сорбенти

Сорбенти для очищення води — найбільш поширений тип фільтрів, що використовується при підготовці питної води на водоочисних станціях для попереднього освітлення і ультрафільтрації води, видалення з неї крупнодисперсних суспензій, домішок, піску, мула, а також різних органічних і неорганічних речовин, які ними поглинаються і затримуються. Сорбенти для очищення води в цілому підрозділяються на вуглецеві і не вуглецеві [27].

Сорбенти для очищення води на основі активного вугілля виробляються з різних матеріалів, які об'єднуються однією якістю: порівняно високим вмістом вуглецю. Для виробництва вуглецевих сорбентів для очищення води використовуються: деревина, вугілля, антрацит, торф, полімери, промислові відходи, кокосова стружка та інші (рис. 2.5).

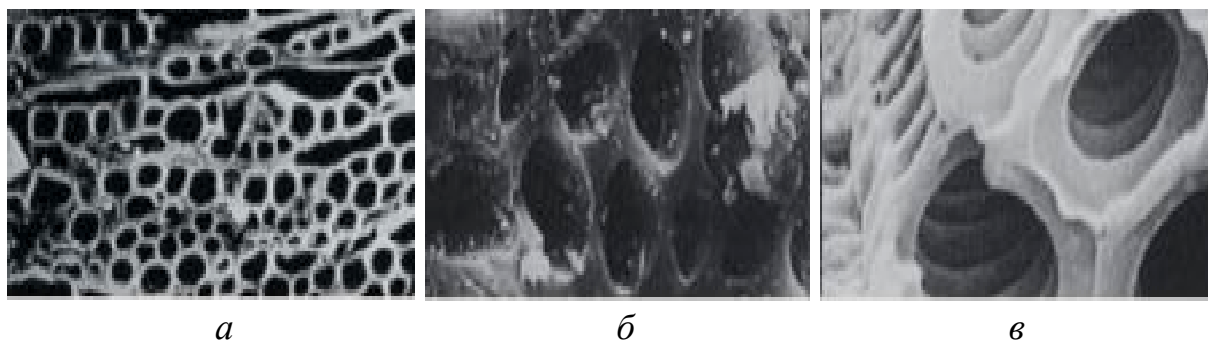


Рис. 2.5. Структури активованих матеріалів [28]: а) карбонізована деревина; б) активоване кам'яне вугілля; в) активована скорлупа кокосу

Вуглецеві сорбенти для очищення води на основі активного вугілля підрозділяють за способом виробництва:

- роздроблені вуглецеві сорбенти — БАУ, КАД, ДАК та ін.;
- гранульовані — АГ-3, АГ-5 та ін.;
- порошкові — ОУ-а, ОУ-бі, КАД-мелений та ін.

У системах водопідготовки і водоочистки найактивніше застосовуються сорбенти для очищення води гранульованої і порошкової структури. Гранульовані сорбенти для очищення води володіють більшою механічною міцністю і зносостійкістю, чинять менший гідравлічний опір.

Порошкові сорбенти для очищення води володіють більшою площею адсорбції, але в той же час чинять більший гідравлічний опір і швидше руйнуються в ході механічного тертя один об одного, об стінки колон, що фільтрують, з фільтрами. Однією з основних властивостей сорбентів для очищення води є розмір пір, залежно від якого вони підрозділяються [29]:

- супермікропори сорбентів для очищення води вугіллям ($r_{\text{еф}} < 0,6\text{—}0,7$ нм);
- мікропори сорбентів для очищення води вугіллям ($0,6\text{—}0,7$ нм $< r_{\text{еф}} < 1,5\text{—}1,6$ нм);
- мезопори сорбентів для очищення води вугіллям ($1,5\text{—}1,6 < r_{\text{еф}} < 100\text{—}200$ нм);
- макропори сорбентів для очищення води вугіллям ($r_{\text{еф}} > 100\text{—}200$ нм).

Від розміру пір також залежить їх загальна площа, яка у результаті й впливає на ефективність сорбенту для біологічного очищення води. Найбільш якісний сорбенти, здатні адсорбувати значні кількості органічних речовин, розчинених у воді, володіють ефективною адсорбційною площею від 1500 до 2200 м² на 1 г сорбенту.

При виборі сорбенту для очищення води необхідно відштовхуватися від декількох ключових показників [30—32]:

- аналіз води (наявність конкретних органічних і неорганічних забруднювачів — один з основних

чинників, що впливають на вибір конкретної марки сорбенту для очищення води);

- фракційний склад сорбенту для очищення води (підбір оптимального фракційного складу сорбенту здійснюється за допомогою аналізу води, при відомому розмірі молекул забруднювача, їх кількості, структурі та ін.);
- насипній і дійсній щільності сорбенту для очищення води (щільність сорбенту впливає на вибір корпусу для колони, що фільтрує, його об'єм та ін.);
- міцність сорбенту на стирання і дроблення (залежно від показників міцності вибирається конкретний сорбент. Тиск і швидкість потоку води, фракційний склад сорбенту надають сильний вплив на параметри міцності, стирання і роздроблення.);
- сорбційна активність і сорбційна ємкість.

З вуглецевих сорбентів часто використовують кам'яновугільний кокс, пік, нафтовий кокс і ін. Їх перевага — мала зольність, порівнянна з параметрами шунгита, хоча їх сорбційна ємкість менша, чому сорбентів на основі активованого вугілля.

Одним з найбільш перспективних адсорбентів, використовуваних для видалення з води домішок і забруднень, що обумовлюють погіршення органолептичних показників, є активоване вугілля [33, 34]. Вживання його забезпечує можливість усунення майже всіх присмаків і запахів води, значне поліпшення технологічних показників обробки води іншими реагентами і, нарешті, інтенсифікацію знезараження в результаті сорбції простих, бактерій і інших мікроорганізмів.

За допомогою активованого вугілля окрім речовин, що погіршують смак і запах води, також видаляються деякі гербіциди й інсектициди, віруси [35]. Обробка води активним вугіллям із-за універсальності дії є одним з найбільш перспективних методів дезодорації і знебарвлення води.

Для обробки питної води використовують в основному деревне активне вугілля марок: БАУ, ДАК, ОУ, АГ-3 та інші.

В процесі виробництва сировина, з якої роблять активоване вугілля для очищення води, карбонізується і активується паром при температурі близько 1000 °С, після чого сорбент для очищення води набуває відмінних адсорбційних властивостей і необхідного розміру пір [36]. У табл. 2.8 представлені найбільш поширені марки активованого вугілля і характеристики властивостей [37].

Таблиця 2.8. Марки активованого вугілля (АВ)

Марка АВ	АР-3	АГН	АГ-5	АГ-3	КАД	ОУ
Сорбційна ємність, мг/г	7,7	7,5	6,6	8,0	14,2	26

У нашій країні основні параметри сорбційної водопідготовки нормується санітарними нормами і правилами. Найчастіше при адсорбційному очищенні питної води, як і при очищенні стічних вод, використовується фільтрування через нерухомий шар сорбенту. Як адсорбент використовується гранульоване і порошкоподібне активне вугілля.

Також окремо існує обширний клас невуглецевих сорбентів для очищення води:

- діатоміт, що отримується з відкладень на основі діатомових водоростей;
- трепел;
- опока (мергель, сіро-біла глина — тонкозерниста, розмір часток 0,01—0,001 мм. Порівняно тверда, але легка пориста порода. Щільність — 1,0—1,3 г/см³;
- керамзит;
- монтморіллоніт. Мінерал глинистої природи, володіє досить високою площею поверхні пір на грам мінералу — приблизно 800 квадратних метрів, в своєму класі — кращий сорбент для механічного очищення води від органічних сполук.

На станціях водопідготовки неуглецеві сорбенти практично не використовуються внаслідок складності їх зберігання й високої вартості.

2.7. Хлорування

Хлорування — найбільш поширений у світі метод обробки природних і стічних вод. Більшість природних вод перед використанням для господарсько-питних потреб хлорують з метою знезараження і покращення їх якості за фізико-хімічними показниками. Попереднє хлорування значно полегшує процес коагулювання, очистки води від синьо-зелених і діамантових водоростей, викликає окиснення багатьох неорганічних (сірководню, амонію, заліза, марганцю та інших) і органічних речовин (речовин, які зумовлюють кольоровість води, неприємні запахи і смаки, токсичні речовини).

Хлор використовується у водопроводі з кінця XIX ст., тому набутий величезний досвід роботи з цим реагентом, а також зібрано безліч даних про його ефективність.

2.7.1. Реагенти для хлорування води

Для знезараження і очистки води використовують зріджений хлор чи речовину, що містить активний хлор.

Хлор Cl_2 — у звичайних умовах — це газ жовтого кольору. Його отримують електролізом кухонної солі. Хлор може знаходитись у трьох агрегатних станах: твердому, рідкому чи газоподібному. Температура плавлення твердого хлору — $101,5^\circ\text{C}$. При нормальному тиску і температурі 34°C рідкий хлор кипить. При температурі 15°C і тиску 5,7 ат. газоподібний хлор зріджується.

Теплота випаровування 1 г хлору при температурі 8°C дорівнює 62,7 кал., теплопровідність хлору при температурі 0°C — $182,9 \cdot 10^{-7}$ кал/см.с·град.

При температурі 0 °С і тиску 760 мм. рт. ст. 1 дм³ хлору важить 3,22 г, тобто хлор приблизно в 2,5 рази важчий за повітря. Густина рідкого хлору при температурі 15 °С дорівнює 1426 кг/м³.

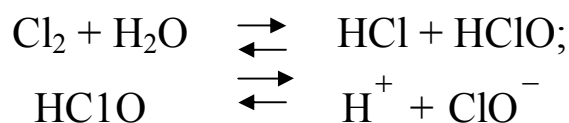
З табл. 2.9 видно, що розчинність хлору у воді збільшується при зниженні температури і підвищенні тиску. Однак, при низьких температурах утворюється гідрат хлору $\text{Cl}_2 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$, який спливає у вигляді льодоподібних кристалів на поверхню розчину і таким чином, обмежує гранично допустиму концентрацію хлору у розчині [38].

Таблиця 2.9. Розчинність хлору у воді в залежності від температури і тиску, г/дм³

Тиск, мм. рт. ст.	Температура, °С							
	0	10	20	30	40	50	80	100
10	0,68	0,60	0,58	0,55	0,53	0,51	0,45	0,42
100	2,68	2,10	1,78	1,57	1,42	1,31	1,09	0,99
200	4,78	3,35	2,74	2,34	2,06	1,86	1,48	1,33
400	$\text{Cl}_2 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$	5,71	4,48	3,69	3,11	2,74	2,08	1,85
600		7,97	6,12	4,91	4,08	3,52	2,59	2,29
750		9,65	7,29	5,80	4,77	4,07	2,96	2,66
1000		$\text{Cl}_2 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$	9,27	7,27	5,89	4,97	3,53	3,07
1500			13,23	10,14	8,05	6,70	4,58	3,95
2000			17,07	13,02	10,22	8,38	5,63	4,78
3000				18,73	14,47	11,70	7,54	6,38
4000				24,70	18,84	15,04	9,52	7,94

2.7.2. Гідроліз хлору і хлоровмісних сполук

При введенні у воду, хлор та хлоровмісні сполуки взаємодіють із нею, піддаючись гідролізу. Гідроліз хлору протікає наступним чином [39]:

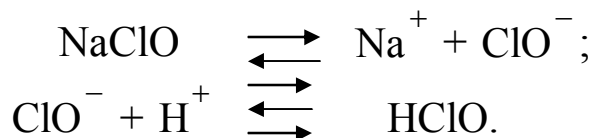


Хід цих реакцій залежить від рН і температури води. При температурі води 25 °С константа гідролізу хлору становить:

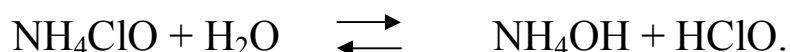
$$K_r = \frac{[\text{HClO}] \cdot [\text{H}^+] \cdot [\text{ClO}^-]}{[\text{Cl}_2]} = 4,05 \cdot 10^{-4}.$$

Дисоціація HClO сильно залежить від рН. При рН > 4 хлор майже повністю гідролізує, а при рН > 9 HClO — повністю дисоціює.

Гіпохлорити і CaCl₂ (кальцій хлорид) розчиняється у воді і дисоціює з утворенням гіпохлорит-іону і хлорватистої кислоти у відповідності з рН середовищем (рис. 2.6, а).

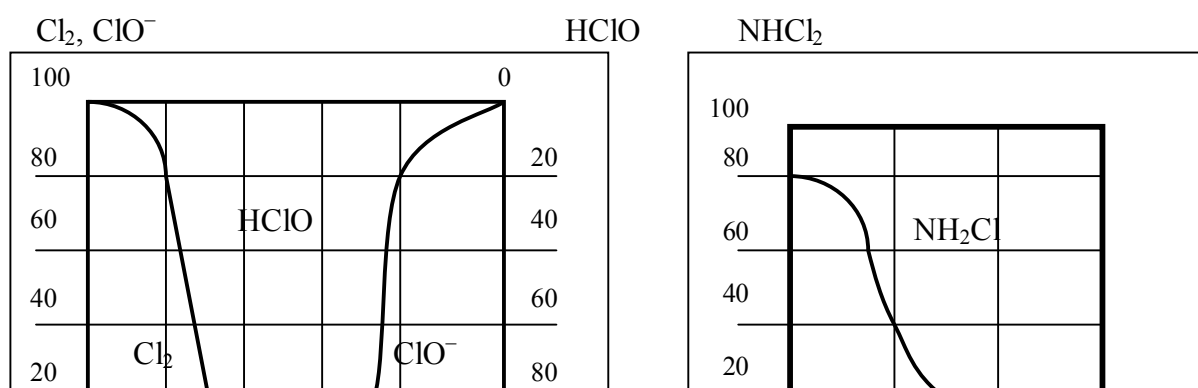


Хлораміни також гідролізуються за схемою:



Ступінь дисоціації HClO залежить від рН середовища. Крім того, існування моно хлорамінів у розчині також визначається рН середовища (рис. 2.6, б).

Таким чином, при обробці природної води з відкритого джерела в інтервалі рН 7—8 основними дезинфікуючими і окиснюючими сполуками є хлорноватиста кислота HClO, гіпохлорит-іони ClO⁻ і монохлорамін NH₂Cl (рис. 2.6, а і б).



Молекулярний хлор, хлорнуватисту кислоту HClO , іони гіпохлориту ClO^- і двоокис хлору ClO_2 відносять до вільного хлору на відміну від зв'язного хлору, який входить у склад різних хлорамінів. Вільний хлор має більш високий окислювальний потенціал, що відображено у вимогах ГОСТу 2874-82 до остаточного хлору [11].

Бактерицидність неорганічних хлорамінів у 8—10 разів вища, ніж хлорпохідних органічних амінів.

2.7.3. Хлоропоглинання природних вод

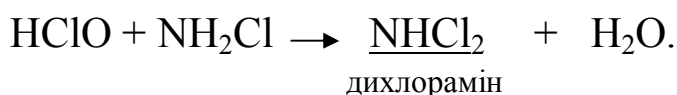
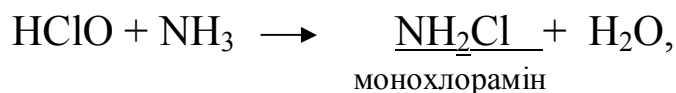
Активний хлор є достатньо сильним окисником, вступає у взаємодію з органічними і з деякими неорганічними домішками води — “поглинається водою”.

Хлоропоглинання води — це різниця між дозою введенного у воду активного хлору і його концентрацією у воді через деякий проміжок часу (звичайно через 30 хв). Хлоропоглинання води характеризує її забруднення органічними і деякими неорганічними (Fe^{2+} , H_2S , SO_3^{2-} , $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ та ін.) речовинами.

Воно залежить від концентрації цих забруднень у воді, дози хлору, часу взаємодії, температури, рН середовища та інших факторів. Вода, яка поглинає за 15 хв, більше 5 мг/л хлору вважається забрудненою.

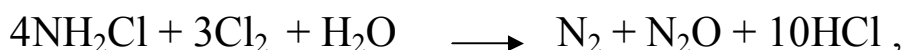
На рис. 2.7. [40] представлено основні типи кривих хлоропоглинання. Так, вода, яка не містить речовин, взаємодіючих з хлором, хлоропоглинання не має (крива 1). Крива 2 характеризує воду, яка містить легко окиснювальні речовини, а крива 3 — містить гумусові та інші легко окиснювальні речовини (характерна для поверхневих вод, які не містять амонійних сполук). Присутність у воді амонійних сполук чи органічних речовин з аміногрупами дає на кривій хлоропоглинання (рис. 2.7.) характерний максимум і мінімум («точку перелому» С).

Максимум на кривій (точка А) відповідає стехіометричному відношенню хлору і амоняку NH_3 для утворення хлорамінів (за вагою $\text{Cl}_2 : \text{NH}_3 = 4 : 1$):



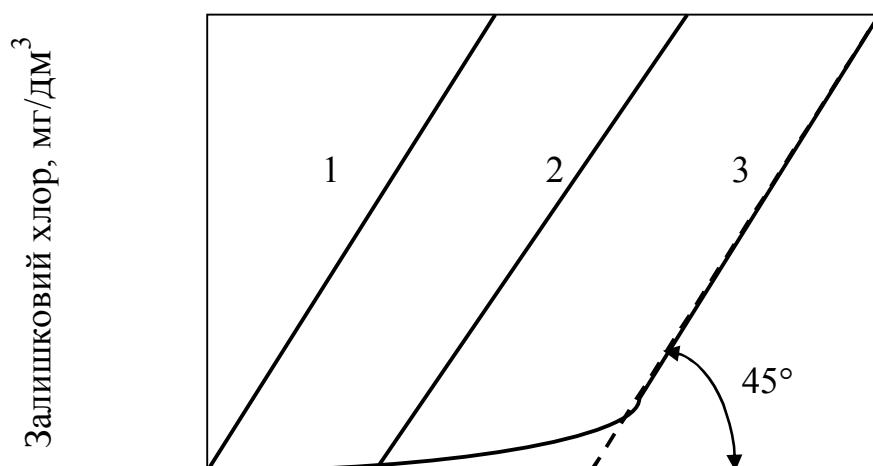
Криві хлоропоглинання при наявності додаткових даних (запах і смак води, бактеріологічні показники) дозволяють науково і обґрунтовано вибрати дозу хлору для обробки води.

При подальшому хлоруванні відбувається окислення хлорамінів вільним хлором:



що призводить при стехіометричному співвідношенні зв'язаного і вільного хлору (за масою $\text{Cl}_2 : \text{NH}_3 = 7,6 : 1$) до утворення мінімуму на кривій хлоропоглинання — «точка перелому» С.

Але на практиці це співвідношення складається 8,2 : 1 і 8,4 : 1, що пов'язано з утворенням деякої кількості нітратів.



Взаємодія хлору з нітрогеновмістними органічними речовинами залежить від їх природи. Хлор швидко взаємодіє з амінокислотами, повільніше — з протеїнами, сечовиною. Сполуки, що містять аміногрупи (амінокислоти, протеїни та ін.) утворюють з хлором органічні хлораміни.

Систематичне визначення хлоропоглинання води у лабораторіях водоканалів дає додаткові відомості про якість природних вод, дозволяє її передбачити.

Так, відсутність точки перелому на кривій говорить про відсутність у воді амонію і нітрогеновмісних органічних сполук.

Поява прогину на кривій і переміщення його вправо свідчить про забруднення води цими сполуками і дає привід

очікувати подальшого погіршення якості води. Переміщення точки С вліво свідчить про покращення якості води.

2.7.4. Бактерицидна і віруліцидна дія хлору

Механізм знезаражуючої дії хлору вивчений достатньо повно. Він заключається в окисненні органічними речовинами бактеріальної клітини. Коагуляція і пошкодження її оболонки, пригнічування і денатурація ферментів призводить до загибелі бактерій. Встановлено, що найбільшою бактерицидністю віруліцидністю володіє HClO [30].

Ефективність знезараження води залежить від дози і виду активного хлору, часу контакту з хлором, рН і температури середовища, наявності зважених часток і органічних речовин, вихідної величини бактеріального забруднення, резистентності (стійкості до хлору), мікроорганізмів, ряду інших факторів. Із збільшенням дози хлору, температури і часу контакту ефект знезаражування зростає. Такий же вплив надає понижене рН середовища, ретельне видалення з води перед знезаражуванням зважених і органічних речовин. Слід звернути увагу на чіткі вказівки дослідників на необхідність повного освітлення питної води (мутність не повинна перевищувати 0,5 мг/л) перед знезаражуванням від вірусів [41].

Загальноприйнято і закріплено в ГОСТ-2874-82 [11], що необхідна ступінь знезаражування природних вод досягається при дозах хлору, які забезпечують через 30 хвилин контакту наявність 0,3—0,5 мг/л вільного хлору або через 60 хвилин 0,8—1,2 мг/л зв'язаного хлору.

У випадку погіршеної епідемічної ситуації величина остаточного хлору у питній воді за вказівками санітарно-епідемічної служби може бути підвищена з метою глибокого знезаражування і консервації води у системах водопостачання. В цьому випадку максимальний рівень залишкового хлору після резервуарів не повинен перевищувати 2 мг/л, якщо хлор знаходиться у зв'язаній формі, і 1 мг/л — при його

знаходженні у вільній формі. При одночасній присутності вільного і зв'язаного хлору слід орієнтуватися на ту форму залишкового хлору, яка переважає.

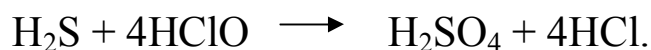
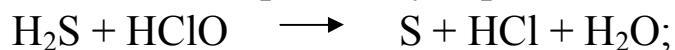
Дія хлору проявляється особливо сильно на протязі перших 30 хвилин контакту. При цьому із патогенних мікроорганізмів найбільш чутливі до хлору збудники черевного тифу, дизентерії і холери. Паратиф В, ентерококи, й також віруси являються більш резистентними. На спорові форми хлорування при звичайних дозах не діє.

2.7.5. Взаємодія хлору з домішками води

Активний хлор при взаємодії з неорганічними і органічними домішками води бере участь в реакціях окиснення, заміщення і сполучення.

Вільний хлор здатний окислювати манган, але швидкість окиснення при $\text{pH} < 10$ невелика. Для окиснення 1 мг/л мангану необхідна 1,25 мг/л вільного хлору. Двоокис хлору окиснює манган практично миттєво. Залізо легко окиснюється хлором у більш широкому інтервалі pH (7 і вище) і для окиснення 1 мг/л заліза потрібно 0,6 мг/л хлору. Окиснення посилюється у присутності каталізатора — купрум (II) сульфата (0,2 мг/дм³).

Реакція з іншими неорганічними відновниками проходить швидко. Так, нітриди легко окиснюються хлором до нітратів, а сірководень — до звичайної сірки чи сульфатів:



При взаємодії хлору з органічними речовинами можливі реакції окиснення.

У реакціях окиснення головну роль відіграє окисно-відновний потенціал окисника, який визначає можливість протікання окисно-відновної реакції між речовинами, а при наявності кількох окисників у розчині можна визначити пріоритет їх взаємодій. Окисно-відповідний (ОВ) потенціал

сильно залежить від рН середовища, який зменшується із збільшенням рН (табл. 2.10.).

Таблиця 2.10. Стандартні окисно-відповідні потенціали основних окисників

Озон	+2,07 В	(кисле середовище)
НСlО	+1,63 В	—
KMnO ₄	+1,51 В	—
Кисень	+1,23 В	—
НСlО	+1,2 В	(рН 4)
ClO ₂	+0,9 В	(рН 1)
NaCl ₂ O	+0,84 В	(рН 8)
Кисень	+0,84 В	(рН 7)
Дихлорамін	+0,75 В	
Монохлорамін	+0,7 В	

В реакціях заміщення хлоруючі реагенти розміщуються у наступний ряд: Cl₂ > НСlО > ClO₂.

Але, кінетика (швидкість) процесу окиснення не завжди визначається величиною ОВ потенціалу окисника, а залежить від утворення різноманітних активних форм окиснювальної речовини, проміжних продуктів реакції та їх хімічних властивостей.

Складність складу природних вод і наявність у них широкого спектру органічних і неорганічних речовин, які реагують з хлором, є причиною того, що до нашого часу ці складні процеси комплексно оцінюють лише сумарною характеристикою — величиною хлоропоглинання.

Аналіз хімізму взаємодії хлору з забарвленими органічними кислотами ґрунтового гумусу показав, що головною реакцією при всіх значення рН є окиснення, що супроводжується знебарвленням. Знебарвлення хлором водного гумусу залежить від його фракційного складу.

2.7.6. Технологія хлорування води

В залежності від мети хлорування, методи обробки води хлором можна об'єднати у дві основні групи: прехлорування, постхлорування.

Прехлорування — це попередня обробка води перед очисними спорудами для покращення чи полегшення подальшої її обробки і очистки. Прехлорування у випадку погіршення якості води за бактеріологічними показниками, появі неприємних запахів і смаків повинно проводитися підвищеними дозами, які відповідають точці перелому на кривій хлоропоглинання, чи більшими. Вільний активний хлор у більшості випадків забезпечує значне покращення якості води за рахунок активного окиснення органічних речовин.

Постхлорування використовується для знезаражування води, яке є заключним етапом очистки води. Постхлорування може проводитися, як невеликими дозами, які забезпечують наявність залишкового хлору після резервуарів чистої води на рівні ГОСТ 2874-82 (нормальне хлорування), так й підвищеними дозами, які забезпечують залишковий хлор через 30 хвилин контакту на рівні 1,2—10 мг/дм³ (суперхлорування). Надлишок хлору, недопустимий за гігієнічними вимогами, перед подачею води населенню має бути видалений.

Для дехлорування питної води використовується SO₂ і Na₂S₂O₃, активне вугілля та амоніак NH₃. Витрати цих реагентів на 1 мг/л активного хлору наступні: SO₂ — 0,9 мг/дм³; Na₂S₂O₃ — 7,1 мг/дм³; NH₃ — 0,13 мг/дм³.

Активоване вугілля подрібнене до 1,5—2,5 мм використовується в якості завантаження фільтрів шаром 2,5 м, швидкість фільтрування досягає 20—30 м/год.

Інколи застосовують комбіновані методи хлорування води: хлорування з амонізацією, хлорування з мангануванням, хлор — срібний метод.

Хлорування з мангануванням (з додаванням розчину калій перманганату KMnO₄) застосовують за необхідності посилити

окислювальну і бактерицидну дію хлору, тому, що калій перманганат більш сильний окисник.

Хлор — срібний метод досить широко використовується на суднах річного флоту в установках КВУ-0,5. Цей метод забезпечує посилене знезаражування води та її консервацію на довгий строк (до 6 місяців) при введенні іонів срібла у кількості 0,05—0,1 мг/дм³.

2.7.7. Гігієнічні аспекти хлорування води

Токсичність хлору і хлоровмісних сполук. Хлор і хлоровмісні сполуки зумовлюють значний вплив на органолептичні показники води (запах і смак), а у відповідних концентраціях подразнюють слизові оболонки ротової порожнини і шлунка, зумовлюють шкідливий вплив на організм.

Дослідження з цього питання показали, що допустима концентрація залишкового хлору у питній воді за запахом і смаком може бути встановлена для вільного хлору до 0,5 мг/дм³, а для зв'язаного — до 1,2 мг/дм³. Канцерогенна дія малих концентрацій вільного хлору не встановлена. За токсичною дією максимально допустима концентрація активного хлору у питній воді 2,5 мг/дм³.

Дослідження гранично допустимих концентрацій двооксиду хлору за впливом на запах і смак води, ступенем поглинання у порожнині роту і шлунка, а також за токсикологічною ознакою показали, що у якості гранично допустимої концентрації цього реагенту у питній воді може бути прийнятий норматив — не більше 0,5 мг/дм³ [42, 43].

Таким чином, ГДК хлору і хлоровмісних речовин досить достатній для проведення ефективної очистки і знезаражування води.

Урахування гігієнічних вимог при хлоруванні води. Утворення токсичних продуктів при хлоруванні природних вод відомо лише вузькому колу спеціалістів, а процес хлорування організовується і втілюється без урахування гігієнічних умов [44, 45]. Інколи, концентрація хлору у питній воді, яка надходить

споживачам, перевищує $0,5\text{—}1,2\text{ мг/дм}^3$, що є недопустимим за токсичною нормою. Крім того, при високих концентраціях хлору різко посилюється корозія трубопроводів і арматури, погіршується якість води, збільшується кількість аварій у мережі.

Існує достатньо широка практика хлорування високо кольорових вод і води водосховищ у період “цвітіння” великими дозами хлору ($10\text{—}25\text{ мг/дм}^3$) без ідентифікації хлороутворюючих речовин, особливо високотоксичного хлороформу та ін. Виходячи з даних, які свідчать про можливість утворення при хлоруванні токсичних речовин, така практика повинна бути ретельно переглянута і науково доведена її нешкідливість чи необхідність додаткових заходів з очищення питної води.

2.7.8. Рекомендації з оптимізації хлорування води

За наведеними вище даними можна дати наступні рекомендації щодо оптимізації хлорування води [46—48]:

1. Проаналізувати технологію хлорування води на кожній водоочисній станції. Чітко визначити, з якою метою вода оброблюється такими дозами хлору і чому вибрані саме такі стадії введення хлору у воду.

2. Не допускати тривалого перебування хлорної води у дозованих лініях (від хлоратору до місця введення у воду), так як органічні речовини, які містяться у воді, що поступає на хлоратор, швидко перетворюються у ТГМ. Використовувати рекомендовану Укрводоканалом схему хлорного господарства, що передбачає транспорт хлор-газу до місця вводу і приготування хлорної води безпосередньо перед змішуванням з водою, яка обробляється.

3. Максимально наблизити введення хлору до фільтрів, забезпечивши над завантаженням фільтру концентрацію хлору не більше $1,0\text{ мг/дм}^3$.

4. Не використовувати при хлоруванні питної води дози хлору більше 5 мг/дм^3 , так як при цих дозах вже можливе

утворення хлороформу в концентрації вище гранично допустимої.

У деяких випадках краще отримати дозвіл санітарних органів на подачу води з кольоровістю 35 градусів і мутністю до 2 мг/дм^3 , ніж застосовувати високі дози хлору. Це дасть економію хлору і буде значно корисніше для здоров'я населення, ніж високі концентрації хлороформу.

Бактерицидна, віруліцидна і окиснювальна дія хлору може бути посилена дією ультразвука, ультрафіолетового випромінювання, постійного електричного току. У роботі [49] повідомляється про інтенсифікацію віруліцидної дії гіпохлориту натрія у 60 разів після трихвилинної дії постійного електричного току з градієнтом потенціалу 60 В/см . Цей метод є перспективним для інтенсифікації процесу окиснення.

2.8. Вакуумна обробка води

Вакуумна обробка природної води проводиться з використанням вакуумно-дистиляційної установки (рис. 2.8.). Головна мета при роботі вакуумно-дистиляційної установки — це очищення забрудненої води та розділення сумішей і водних емульсій на чисту воду і висококонцентрований залишок забруднюючих речовин [50]. Такі системи успішно використовуються для очищення питної і технічної води в хімічній і харчовій промисловості.



Рис. 2.8. Вакуумно-дистиляційна установка для обробки води

Переваги вакуумно-дистиляційної установки, що використовує випаровування, в порівнянні з іншими методами обробки вод наступні:

1) Надійна обробка води з різними видами забруднень. За допомогою вакуумно-дистиляційної установки з води виділяються розчинені, емульговані або зважені субстанції, розкладаються мінеральні і синтетичні емульсії.

2) Для відділення забруднень та домішок не використовуються хімічні речовини. Немає жодної небезпечної хімічної обробки, не потрібно жодних витрат для додаткового збільшення концентрованості забруднень.

3) Висока кінцева концентрація залишків дистиляції. Низький залишковий вміст води, що дозволяє легко утилізувати залишки спалюванням. У апаратах вакуумного випаровування не використовуються дорогі хімічні речовини, що вигідно відрізняє їх від інших.

4) Низька витрата електроенергії. На процес дистиляції і конденсації пари потрібно приблизно $100 \text{ Вт} \cdot \text{год} / \text{дм}^3$ [51].

5) Дистилят вільний від солей, важких металів і мінералів. Такі солі як нітрати, мінерали і важкі метали (мідь, нікель, цинк, хром, хромові з'єднання) і тому подібне залишаються в залишку.

6) Можлива додаткова стерилізація дистиляту ультрафіолетом.

7) Дистилят може бути багатократно повторно використаний. Розчинені субстанції як, наприклад, солі і важкі метали не залишаються у воді.

8) Надзвичайно компактна конструкція. Мінімальні розміри установок дозволяють використовувати вакуумно-дистиляційні системи для обробки води в обмежених умовах з максимальними можливостями сервісного обслуговування. Не потрібно постійно контролювати процес дистиляції, установка працює в автоматичному цілодобовому режимі і не вимагає присутності оператора.

9) Постійна висока якість дистиляту й стабільні результати очищення води для різних видів забруднень і технологічних процесів.

10) Простота в роботі і обслуговуванні. Легко обслуговувані механічна система і елементи управління. Мінімальна експлуатаційна вартість, оскільки немає жодних мембран, і не використовуються жодні хімічні речовини. Відсутня необхідність в закупівлі витратних матеріалів.

11) Висока якість збірки (вакуумні установки збираються з надійних деталей виробництва Німеччини і Італії в країнах-виробниках або в Росії).

Вакуумно-дистиляційні установки пропонують собою сучасніше і економічніше рішення, ніж фізико-хімічне розкладання або мембранне очищення. При цьому інноваційна технологія вакуумного випаровування є найбільш ефективною з екологічною і з економічної точки зору. Завдяки високій концентрації залишку витрати на утилізацію помітно знижуються. Вакуумна дистиляція є найекономічнішою з існуючих методів. Висока якість дистиляту дозволяє використовувати його повторно, завдяки цьому значно знижуються витрати на використання чистої води. При цьому підвищується не лише культура виробництва, але і економічна ефективність підприємства. Але на водопідготовчих станціях України, на відміну від Росії та країн ЄС, не використовують ваку-

умну обробку води й саме тому в нашій країні зараз доки мало досвіду по вживанню випарних установок.

2.9. Обробка і утилізація осадів водоочисних станцій

Підготовка води з природних джерел в цілях господарсько-питного водопостачання зазвичай зв'язана із застосуванням реагентів (в основному солей алюмінію) і утворенням значних кількостей осадів. Найбільш поширеними у вітчизняній практиці прийомами обробки осадів є їх природна сушка на спеціальних майданчиках, скидання в штучні накопичувачі або вододжерела. Матеріальний і соціальний збиток, що наноситься народному господарству України за рахунок відчуження значних площ, створення антисанітарних умов поблизу міст та селищ, погіршення якості вихідної води, величезний і не піддається точній оцінці. У зв'язку з вище викладеним є необхідним перехід на інтенсивні методи обробки осадів в цілях зменшення їх об'ємів, запобігання забрудненню довкілля, здобуття вторинних продуктів, придатних для утилізації. Обробка осадів природних вод пов'язана із значними технічними труднощами і матеріальними витратами, які обумовлені вельми низькою водовіддаючою здатністю, а також широким діапазоном коливань вихідних властивостей осадів, що пов'язане з якістю води у вододжерелі та технологією її очищення [52].

2.9.1. Склад, властивості й кількість осадів, що утворюються

Осади, що утворюються в процесі водопідготовки, всілякі по складу й властивостям і залежать від якості води у вододжерелі. Розрізняють: осади малокаламутних кольорових вод (K/K — більше $10 \text{ град} \cdot \text{дм}^3/\text{мг}$); осади вод середньої колірності і каламутності (K/K 5 — $10 \text{ град} \cdot \text{дм}^3/\text{мг}$); осади вод підвищеної каламутності ($K/K < 5 \text{ град} \cdot \text{дм}^3/\text{мг}$) [53].

Основними компонентами осадів є продукти гідролізу коагулянта і забруднення, що містяться у вихідній воді мінерального і органічного походження.

Осади, що утворюються при очищенні малокаламутних кольорових вод, характеризуються вищою вологістю, вищим вмістом органіки і гідроксиду алюмінію і низькими водовіддаючими властивостями, чим осади вод підвищеної каламутності.

Водовіддаючу здатність (фільтрованість) осаду прийнято характеризувати питомим опором фільтрації, що надається одиницею маси твердої фази, площі фільтру, що рівномірно відкладається на одиниці, при фільтрації осаду, в'язкість рідкої фази якого дорівнює одиниці, і коефіцієнтом стисливості.

Осади кольорових вод зниженої каламутності мають високий питомий опір фільтрації ($r = 500 \div 1200$)·10—10 см/г) і високий коефіцієнт стисливості ($s = 0,85 \div 0,96$). Для поліпшення фільтраційних характеристик осадів потрібна їх попередня підготовка.

2.9.2. Способи обробки осадів

Вітчизняна практика промислової обробки осадів природних вод знаходиться у стадії освоєння технологічних процесів, тому в даний час готових типових рішень не існує. Вибір оптимальної технології повинен ґрунтуватися на експериментальних дослідженнях з конкретним складом осаду і з врахуванням існуючої технологічної схеми обробки води і утворення осаду, а також інших чинників.

Можна виділити декілька основних методів обробки осадів [54]: 1) механічне обезводнення осадів з реагентами на камерних і стрічкових фільтрах-пресах, центрифугах і інших апаратах; 2) обробка осаду природних вод спільно з осадими стічних вод на станціях очищення стічних вод; 3) обробка осаду з одночасною регенерацією коагулянта; 4) природне заморожування і відтавання

осаду на майданчиках заморожування відповідно до кліматичних умов.

Найбільш широко вживаним способом обробки осадів за кордоном і відпрацьованим в дослідно-промислових умовах на деяких російських станціях є їх механічне обезводнення з попереднім кондиціонуванням різними реагентами: вапном, флокулянтами аніонного, неіоногенного і катіонного типів; коагулянтами.

Дослідження показали, що вапно при введенні в осад виконує подвійну функцію: як хімічний реагент, частково розчинювальний гелевидний гідроксид алюмінію, і як присадний матеріал, що знижує величину показника стисливості. Ця сукупність дій приводить до поліпшення фільтраційних властивостей осаду, і, крім того, вапно надає знезаражувальну дію.

2.9.2.1. Механічне обезводнення осадів

Механічне обезводнення осадів природних вод на станціях водопідготовки може здійснюватися на камерних і стрічкових фільтрах-пресах.

Принципова технологічна схема обробки осадів на камерних фільтрах-пресах включає наступні операції:

- усереднювання і ущільнення осадів;
- приготування розчинів вапняного молока і флокулянта;
- дозоване введення хімічних реагентів в осад;
- дозована подача кондиціонованого осаду в апарати механічного обезводнення;
- механічне обезводнення;
- вивантаження і транспортування зневодненого осаду.

Залежно від технологічних схем очищення води усереднюванню й ущільненню піддаються осади з відстійників та осади, що утворюються при усереднюванні і відстоюванні промивних вод фільтрів і контактних освітлювачів. Ущільнення осадів є необхідним прийомом, оскільки вихідний осад, особливо

мало каламутних кольорових вод, має високу вологість (99 % і вище). В процесі гравітаційного ущільнення вологість осадів знижується до 92—98 % залежно від їх вихідної якості. Для інтенсифікації ущільнення можливі повільне перемішування і обробка флокулянтами [55].

Для кондиціонування осадів найдоцільніше використовувати поєднання вапна з флокулянтами, переважно аніонного типу. Вапно необхідно використовувати у вигляді 10 %-го вапняного молока; флокулянт у вигляді $(0,1 \div 0,2)$ %-го робочого розчину, приготування якого здійснюється в спеціальних установках або баках з диспергаторами і мішалками. Спочатку в осад вводиться вапно (в кількості 20—80 % від маси сухої речовини), а потім розчин флокулянта (до 2 кг/т), який доцільно дозувати гвинтовим насосом-дозатором. Камерні фільтри-преси типа ФПАКМ і деякі конструкції зарубіжних фірм є найбільш поширеними апаратами. Режим їх роботи включає наступні операції: подачу кондиціонованого осаду під тиском у фільтр-прес; фільтрування під тиском; віджимання; вивантаження кека і регенерацію тканини. Вологість зневодненого осаду після обробки складає 60—75 %.

При обробці осадів на стрічкових фільтрах-пресах не вимагається використання насосів високого тиску, режим роботи цих апаратів не циклічний, як на камерних, а безперервний. Вологість зневодненого на стрічковому фільтрі-пресі осаду залежить від якості самого осаду, дози винищити і може складати 70—85 %.

Вакуум-фільтри мають обмежену застосовність для обробки гідроксидних осадів природних вод. Продуктивність цих апаратів для обробки осадів, що містять гідроксид алюмінію, виходить вельми низькою, а вологість кека складає порядка 80 %. Сфера ж застосування вакуум-фільтрів на практиці обмежується осадами вод, при очищенні яких використовується підлогування вапном з подальшою коагуляцією залізовмісними реагентами і осадів від вапняного зм'якшування.

Центрифуги доки не набули широкого поширення для безреагентного обезводнення осадів, що містять гідроксид алюмінію. Концентрація твердих речовин після обезводнення таких осадів не перевищує 12 %. Для підвищення концентрації необхідне попереднє згущування вихідних осадів з додаванням вапну, флокулянта, інших реагентів. Основним недоліком методу механічного обезводнення гідроксидних осадів, що стримує його широке поширення, є відносно велика витрата дорогого вапна.

2.9.2.2. Обробка осаду природних вод спільно з осадами стічних вод

Даний метод є економічно вигідним, оскільки не вимагає великих капітальних витрат на його реалізацію. На водопровідній станції необхідне будівництво резервуара-усреднителя осаду і насосної станції. На станції очищення стічних вод потрібне лише деяке збільшення експлуатаційних витрат.

Істотною перевагою є і те, що персоналу станції, де є цех механічного обезводнення, не потрібна додаткова професійна підготовка.

При скиданні осаду в каналізацію для запобігання замулюванню трубопроводів необхідно дотримувати ухил: при діаметрах трубопроводів 300 мм і менш кут нахилу має бути не менше 5°, при діаметрах в 400 мм і більш — не менше 1,5°.

При скиданні осадів природних вод в каналізацію кількість осадів на станції очищення стічних вод збільшується на 2—5 %, максимально — на 10—20 %.

2.9.2.3. Обробка осадів станцій водопідготовки з одночасною регенерацією коагулянта

На станціях водопідготовки, що здійснюють обробку води з низьким значенням рН, доцільно здійснювати обробку осаду з одночасною регенерацією коагулянта у вигляді лужного розчину. Для регенерації коагулянта в усереднений осад

вводиться вапняне молоко до рівня рН 10,5÷11,5. При цьому відбувається перехід частини гідроксиду алюмінію в розчин у вигляді гідроксоалюмінатов кальцію. Розділення реакційної маси на рідку фракцію, що представляє розчин лужного коагулянта з концентрацією до 400÷800 мг/дм³ по Al₂O₃, і осад здійснюється методом гравітаційного відстоювання.

Оптимальні умови обробки осаду вапном, що забезпечують ефективне використання гідроксиду алюмінія:

- молярне відношення CaO / Al₂O₃ в реакційній суміші ≈ 3;
- концентрація Al₂O₃ в реакційній суміші, яка встановлюється відповідним розведенням або концентрацією осаду від 1 до 3 г/дм³, дорівнює 0,46—0,67 г/дм³;
- розчинність Al₂O₃ близько 25—46 %;
- значення рН суміші складає 11,2—11,7.

Лужний регенований коагулянт використовується у поєднанні з товарним сульфатом алюмінію, доза якого може бути скорочена на 20—40 %. Використання регенованого коагулянта приводить до збільшення залишкових значень рН і лужності обробленої води, а також до зниження її корозійної активності, що дозволяє виключити або понизити витрату реагентів, необхідних для підлогування і стабілізації обробленої води.

Вторинні осади відрізняються від початкових по хімічному складу і властивостям. Вміст гідроксиду алюмінію у вторинних осадах на 20—40 % нижче, ніж в початкових, а вміст CaO зростає до 30—45 %, вологість осаду складає 98,5—96 %, рН = 11,2—12,0. Питомий опір фільтрації вторинних осадів знижується до величин, що забезпечують можливість їх механічного обезводнення без додаткового введення вапна. Вторинні осади можуть бути зневоднені на вакуум-фільтрах і фільтрах-пресах. При обезводненні на вакуум-фільтрах тривалість фільтроцикла складає 2—3 хв., вологість зневодненого осаду 70—77 %, питома продуктивність вакуум-фільтра 10—15 кг/(м²·год). В результаті обезводнення на фільтрі-пресі типа ФПАКМ вологість осаду

знижується до 55—60 %, питома продуктивність фільтру-пресу 3,5—5 кг/(м²·год).

2.9.2.4. Обезводнення осаду методом заморожування — відтавання

Процес заморожування — відтавання осаду характеризується зміною кількісного співвідношення між тією, що знаходиться в структурі осаду зв'язаною вологою, і вільною у бік збільшення останньої. Проте це явище спостерігається лише за певних умов теплообміну між осадом і середовищем, що охолоджує. Такі умови забезпечуються в процесі природного заморожування осаду на відкритому повітрі і в спеціальних резервуарах, обладнаних трубчастими теплообмінними елементами, в яких поперемінно випаровується і конденсується хладагент (аміак). Чим вище інтенсивність заморожування, яка визначається щільністю теплового потоку, тим менше кількість зв'язаної води встигає перейти у вільний стан. В той же час, із збільшенням теплового потоку зростає кількість замороженого осаду. Для кожного типу осаду існує допустимий рівень щільності теплового потоку, перевищення якого не приводить до істотних змін водовіддаючій здатності осаду після відтавання, і вона зберігається такій же, як у вихідного осаду.

2.9.3. Утилізація осадів, що утворюються при водопідготовці

Утилізація осадів залежить від хімічного складу, який визначається якістю вихідної води і видами використовуваних реагентів в процесі водопідготовки і обробки опадів. Осади можуть бути вихідною сировиною при виробництві різних будівельних матеріалів: бетонній суміші, цементів, цеглини, керамзиту і ін., а також можуть бути використані для поліпшення структури родючості ґрунтів [56, 57].

2.9.4. Використання промивної води

Промивну воду після фільтрувальних споруд на практиці та в проектних рішеннях передбачається скидати на споруди для освітлення промивних вод і часткового повернення відстояної води в «голову» очисних споруд (у змішувачі або вхідні камери). Оскільки це може привести до порушення процесів коагуляції і технологічних режимів очищення, в кожному випадку слід обґрунтовано приймати рішення про таке використання промивних вод. Одним із способів підвищення ефективності обробки промивних вод фільтрами є застосування конструкцій шламоуцільнувачів тонкошаровими блоками або пристроями рециркуляторів [58].

2.10. Основи електрохімічної очистки води

Електрохімічна обробка — один з видів фізико-хімічного очищення води. Проходження постійного електричного струму через шар води супроводжується процесами, в результаті яких відбувається деструкція (руйнування) водних забруднень, коагуляція колоїдів, флокуляція грубодисперсних домішок та їх флотація [59]. Електрохімічна обробка застосовується для освітлення і знебарвлення природних вод, для їх зм'якшування, очищення від миш'яку, видалення кремнію, фтору, кисню. Вона дозволяє коректувати значення водневого показника рН і окислювально-відновного потенціалу E_h , від чого залежить можливість тих або інших хімічних процесів; підвищує ферментивну активність активного мула в аеротенках; зменшує питомий опір і покращує умови обезводнення органічних опадів. Таким чином, електрохімічна обробка досить універсальна і може бути альтернативою багатьох механічних, біохімічних і хімічних технологій поліпшення якості води. Установки електрохімічного очищення (електрофлотатори, електрокоагулятори, апарати для електрохімічної деструкції та ін.) компактні, безвідмовні, прості в

експлуатації, легко автоматизуються. Їх вживання найдоцільніше для локального очищення природних, а також побутових і виробничих стічних вод. Установа для електрохімічної обробки води складається з блоку підготовки води, електролізера, блоку обробки води після електрохімічного очищення (рис. 2.9).

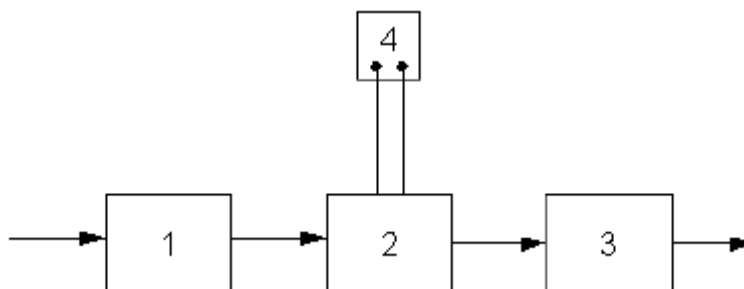


Рис. 2.9. Схема установки для електрохімічної обробки води: 1 — блок підготовки води; 2 — електролізер; 3 — блок доочистки; 4 — випрямовувач струму

В деяких випадках передбачається попереднє механічне очищення, що зменшує небезпеку засмічення електролізера грубодисперсними домішками з великою гідравлічною крупністю, коректування рН і сольового складу води. Найчастіше виникає необхідність в попередньому збільшенні солевмісту води з метою зменшення її електричної опори. Блок для подальшого очищення необхідний, якщо в результаті електрохімічної обробки вода насичується грубодисперсними домішками, наприклад пластівцями гідроксидів металів після електрокоагуляції. Основний елемент установки — електролізер, що складається з електродних вічок (рис. 2.10).

Вічко утворене двома електродами, приєднаними до різних полюсів джерела постійного струму. Міжелектродний простір заповнений водою, яка є електролітом, тобто провідником другого роду. Перенесення електричних зарядів через шар води — результат електрофорезу, тобто міграції полярних часток, носіїв зарядів, до електродів, що мають протилежний знак: до анода переміщуються частки — носії негативного, до катода — позитивного заряду.

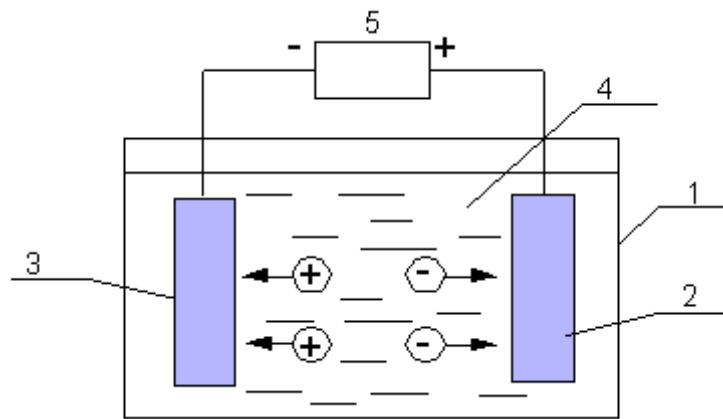


Рис. 2.10. Схема електродного вічка [60]: 1 — корпус; 2 — анод; 3 — катод; 4 — міжелектродний простір; 5 — джерело постійного струму

Біля електродів полярні частки втрачають заряд, деполяризуються. У електрофорезі беруть участь частки різної дисперсності, включаючи і грубодисперсні (емульговані частки, бульбашки газів), але головну роль в перенесенні електрохімічних зарядів грають іони, що володіють найбільшою рухливістю. До полярних часток відносяться і молекули води, що пояснюється їх особливою структурою. Атом кисню, що входить до складу молекули, має більшу електронегативність, чим атоми водню, зволікає на себе електрони, додає молекулі асиметричність і, як наслідок, полярність (рис. 2.11).

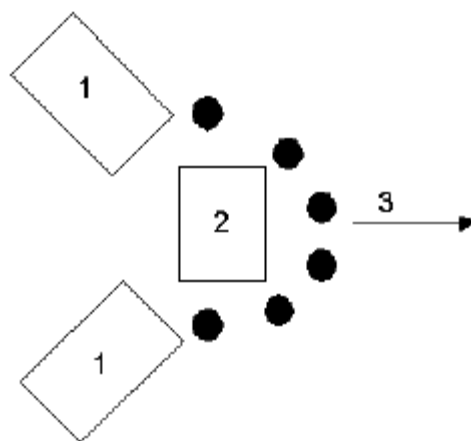


Рис. 2.11. Структура молекули води: 1 — атом водню; 2 — атом кисню; 3 — електрони

На електродах відбуваються основні процеси електролізу, в яких беруть участь як молекули води, так і полярні частки з числа водних домішок.

Продуктами електродних реакцій є знешкоджувані водні домішки, газоподібний водень і кисень, води, що утворюються при руйнуванні молекул, катіони металів в разі вживання розчинних металевих анодів, молекулярний хлор та ін. Електродне вічко можна розглядати як генератор цих продуктів, деякі з яких, вступаючи потім в хімічну взаємодію між собою і з водними забрудненнями в міжелектродному просторі, забезпечують додаткове хімічне очищення води. Ці вторинні процеси на відміну від первинних (електродних) називаються об'ємними. Підвищення температури води при електролізі і збільшення рН при катодному руйнуванні молекул води ініціюють об'ємні реакції. Електродні процеси полягають в обміні зарядженими частками між електродом і електролітом. Для цього в сталих стабільних та рівноважних умовах необхідно створення електричного потенціалу, мінімальна величина якого залежить від вигляду реакції і від температури води. При температурі +25 °С потенціали називаються нормальними (табл. 2.11).

Напруга, що створюється в електродному вічку, має бути достатньою для виникнення потрібної за умовами обробки електродної реакції і для подолання впливу різних гальмівних чинників. З цією метою створюється перенапруження на електродах, що впливає на інтенсивність електродного процесу.

Таблиця 2.11. Нормальні електродні потенціали [61]

Електродна реакція	Потенціал, В	Електродна реакція	Потенціал, В
$\text{Al} \rightarrow \text{Al}^{3+} + 3\text{e}^-$	-1,66	$\text{Cu} \rightarrow \text{Cu}^{2+} + 2\text{e}^-$	+0,345
$\text{Zn} \rightarrow \text{Zn}^{2+} + 2\text{e}^-$	-0,763	$4\text{OH}^- \rightarrow 2\text{H}_2\text{O} + \text{O}_2 + 4\text{e}^-$	+0,401
$\text{Fe} \rightarrow \text{Fe}^{2+} + 2\text{e}^-$	-0,44	$2\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{O}_2 + 4\text{H}^+ + 4\text{e}^-$	+1,23
$\text{Cd} \rightarrow \text{Cd}^{2+} + 2\text{e}^-$	-0,403	$2\text{Cl}^- \rightarrow \text{Cl}_2 + 2\text{e}^-$	+1,36
$\text{H}_2 \rightarrow 2\text{H} + 2\text{e}^-$	0,00	$\text{Cl}^- + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{HClO} + \text{H}^+ + 2\text{e}^-$	+1,49

Необхідне перенапруження пов'язане з такими умовами, як іонний склад води, присутність деяких домішок, наприклад поверхнево-активних речовин (ПАР), щільність струму (його сила віднесена до одиниці площі електроду) та ін. Перенапруження характеризує електрохімічну активність матеріалу електроду по відношенню до конкретної реакції.

За інших рівних умов завдання вибору електродного матеріалу полягає в тому, щоб для проходження реакції, основної, що є, у відповідному технологічному процесі, необхідне перенапруження виявилось мінімальним, оскільки це дозволяє понизити витрати електроенергії. Деякі електродні реакції протікають одночасно і взаємно гальмують один одного, тобто є такими, що конкурують.

Розглянемо як приклад умови виділення на нерозчинних анодах ОРТА кисню і молекулярного хлору, причому регулювання процесу відбувається за рахунок зміни напруги в електродному вічку. Як впливає з таблиці. 2.11, нормальний потенціал реакції утворення молекулярного кисню складає +0,401 В або +1,23 В; при збільшенні напруги до +1,36 В (нормальний потенціал реакції утворення молекулярного хлору) на аноді виділятиметься лише кисень, а при подальшому збільшенні потенціалу — одночасно і кисень, і хлор, причому виділення хлору відбуватиметься з недостатньою інтенсивністю. При напрузі близько 4—5 В виділення кисню практично припиниться, а вічко генеруватиме лише хлор.

2.10.1. Основні параметри процесу

До основних параметрів електролізу відносяться сила і щільність струму, напруга в межах електродного вічка, швидкість і тривалість перебування води в міжелектродному просторі. Щільність струму надає визначальний вплив на електроліз: із збільшенням щільності струму інтенсифікуються електродні процеси і зменшується необхідна площа електродів, але одночасно зростають напруга в межах вічка та енергоємність процесу [62].

Як показано на рис. 2.12, із збільшенням щільності струму посилюється пасивація електродів. Необґрунтоване збільшення щільності струму інтенсифікує виділення електролізних газів, що приводить інколи до бурління і подрібнення нерозчинних продуктів очищення води. Щільність струму повинна бути мінімальною за умови стійкого протікання необхідного технологічного процесу. При великій продуктивності слід враховувати також техніко-економічні показники, пов'язані з обмеженням площі електродів.

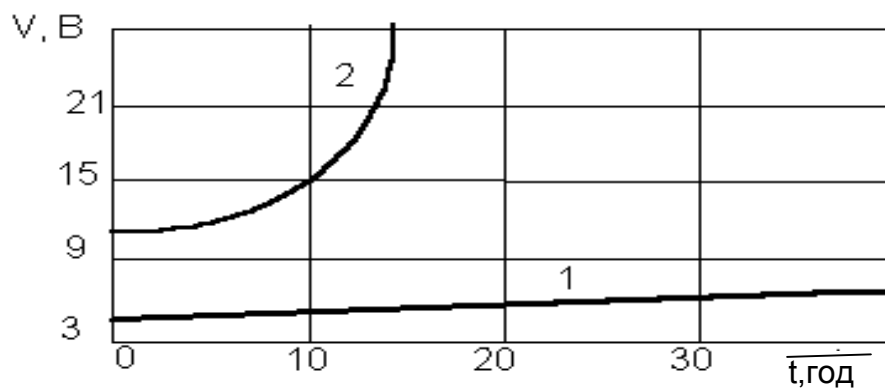


Рис. 2.12. Зміна напруги на електродах в процесі експлуатації: 1 — для $i_{an} = 20 \text{ А/м}^2$; 2 — для $i_{an} = 100 \text{ А/м}^2$

Питома електропровідність води залежить від ряду чинників, серед яких найбільш істотні температура, рН, іонний склад і концентрація іонів. Із збільшенням температури електропровідність збільшується, а напруга зменшується (рис. 2.13) [63]. Мінімальне значення електропровідності при $\text{pH} = 7$. В процесі електролізу відбувається підвищення температури і рН води. Якщо спочатку $\text{pH} > 7$, то можна чекати зменшення електропровідності, а при первинних значеннях $\text{pH} < 7$ електропровідність зростає (рис. 2.14) [64]. Питома електропровідність природних вод середньої мінералізації менше $0,001\text{—}0,005 \text{ 1/(Ом}\cdot\text{м)}$, міських стічних вод $10\text{—}0,01 \text{ 1/(Ом}\cdot\text{м)}$. Питома електропровідність при електро-лізі приймається більше $0,1\text{—}1,0 \text{ 1/(Ом}\cdot\text{м)}$.

В тому випадку, якщо вихідна вода має недостатню електропровідність, слід збільшити солевміст (рис. 2.15) [65].

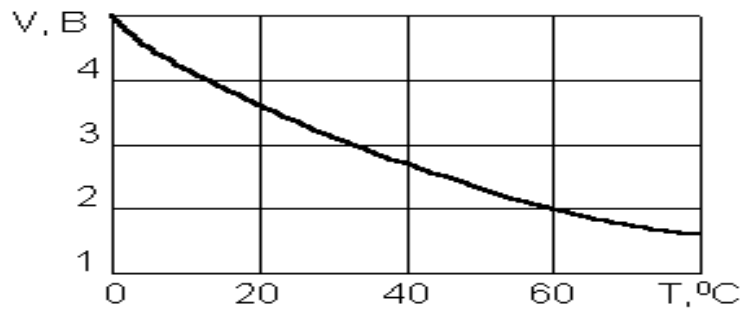


Рис. 2.13. Залежність напруги від температури води

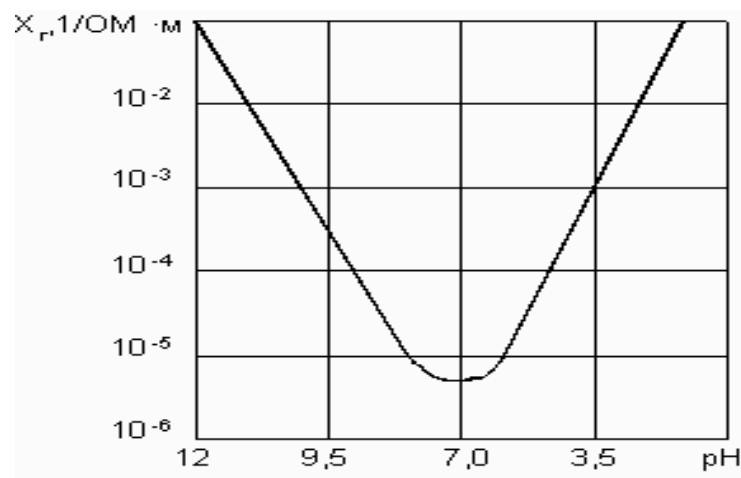


Рис. 2.14. Залежність електропровідності від рН води при температурі 5 °С



Рис. 2.15. Залежність електропровідності від концентрації аніонів хлору: 1 — при $T = +25\text{ }^{\circ}\text{C}$; 2 — при $T = +5\text{ }^{\circ}\text{C}$

Зазвичай для цього використовують куховарську сіль NaCl , дози якої визначаються експериментально і найчастіше складають $500\text{—}1500\text{ мг/дм}^3$ ($8\text{—}25\text{ мг-екв/дм}^3$). Куховарська сіль не лише зручна за умовами вживання (зберігання, приготування розчину), але в її присутності сповільнюється пасивація електродів.

Пасивація полягає в блокуванні електродів поверхневими відкладеннями, що збільшує електричні опори в електродних вічках і гальмує електродні реакції.

Аноди пасивуються в результаті утворення на їх поверхнях тонких і малопомітних окисних плівок, при сорбції на анодах кисню і інших компонентів, які, в свою чергу, сорбують частки водних домішок. На катодах утворюються карбонатні відклади, особливо в разі обробки води з підвищеною жорсткістю [66].

Дисоціюючись, кухонна сіль насичує воду аніонами хлору і катіонами натрію. Хлор-іони мають невеликі розміри і проникаючи через пасивуючі відкладення до поверхні анода руйнують ці відкладення. У присутності інших аніонів, особливо SO_4^{2-} , депасівіруючий вплив хлор-іонів зменшується. Вважається, що стійка робота електролізера можлива у випадку, якщо хлор-іони складають не менше 30 % від загальної кількості аніонів. Катіони натрію в результаті електрофорезу переміщуються до катодів, на яких генеруються гідроксид-іони OH^- , і, взаємодіючи з останніми, утворюють їдкий натрій, розчиняють карбонатні відклади на катодах [71].

Тривалість перебування води в міжелектродному просторі обмежується часом, необхідним для генерації потрібної кількості продуктів електролізу, а також тривалістю відповідних об'ємних реакцій, і визначається експериментально [67].

Швидкість руху води в міжелектродних каналах призначається з урахуванням умов виносу з електролізера продуктів електролізу та інших домішок, крім того, від швидкості залежить турбулентне перемішування, що впливає на хід об'ємних реакцій. Як і тривалість, швидкість вибирається на підставі експериментів.

2.10.2. Конструкція електролізера

Електролізери — це пристрої різних конфігурацій, в яких розміщені електроди й проводиться процес електролізу. Електролізери футерують листовим вінілпластом або текстоліту для захисту від впливу хлору, його кисневих сполук та інших окислювачів. Електроліз супроводжується виділенням піни і електролізер обладнується пристроями для її видалення.

З метою захисту електродних каналів від засмічення піною і нерозчинними продуктами електролізу передбачаються пристрої для очищення міжелектродного простору шляхом продувки стисненим повітрям або за допомогою спеціальних діелектричних щіток. Щітки призначаються і для механічної депасивації електродів. Одна з таких конструкцій наведена в [68]. Електроди мають форму круглих пластин з центральним отвором, через яке проходить вал з жорстко закріпленими на ньому скребками (щітками), заведеними в міжелектродні зазори. При повороті вала міжелектродні канали очищаються від відкладень. Якщо вода містить грубодисперсні домішки з великою гідравлічною крупністю, передбачається мулова камера для накопичення осадів (рис. 2.16).

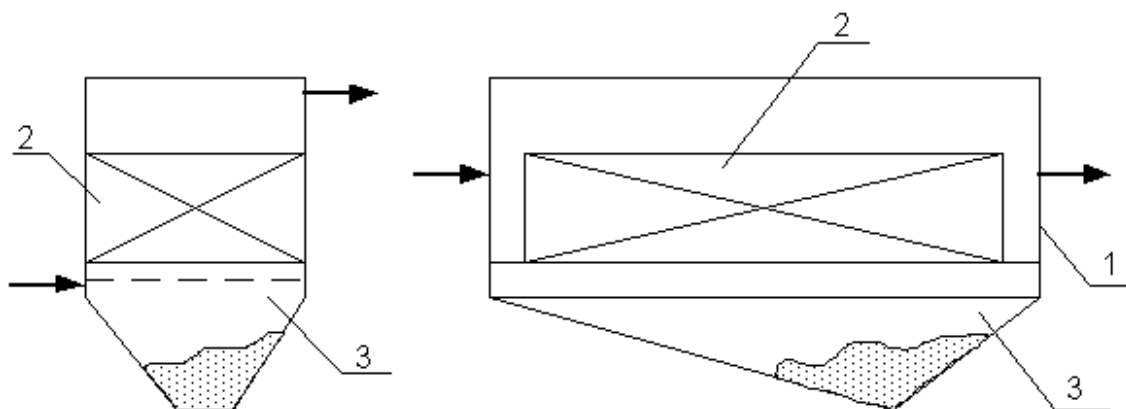


Рис. 2.16. Схеми електролізерів з осадконакопичувачами: 1 — корпус, 2 — блок електродів, 3 — осадконакопичувач

Залежно від напрямку руху води електролізери бувають горизонтального або вертикального типів (рис. 2.17). Вертикальна

установка займає меншу площу, але має велику висоту, що ускладнює висотну схему споруди.

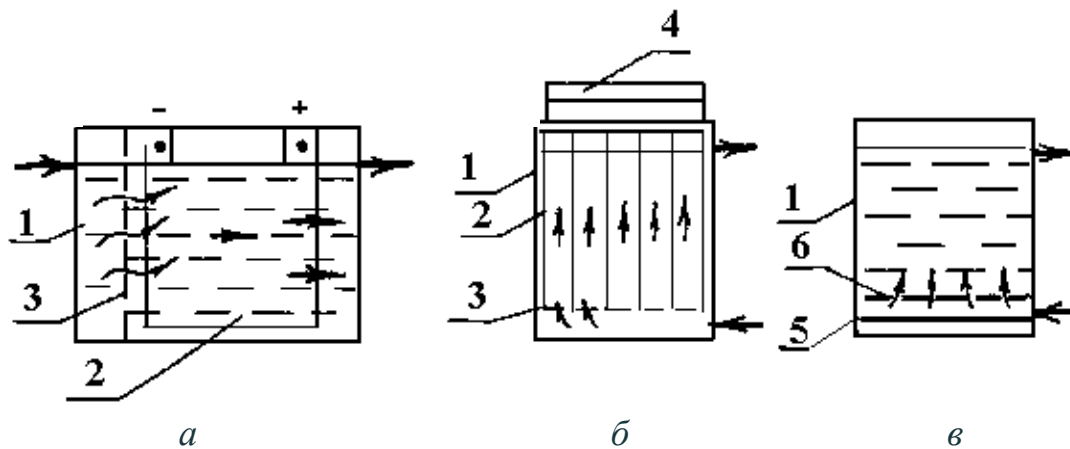


Рис. 2.17. Схеми електродних камер [69]: а — горизонтальна прямокутна; б — вертикальна прямокутна або кругла; в — те ж з горизонтальним розташуванням електродів; 1 — корпус, 2 — електроди, 3 — розподільна решітка, 4 — шина електроживлення, 5 — анод, 6 — катод у вигляді сітки

Електроди виконуються у вигляді стрижнів, дисків, сіток і т.п., найчастіше — це пластини товщиною від 3 до 10 мм. Щоб уникнути жолоблення їх розміри обмежені (не більше 1,5—1,8 м). Пластини збираються в пакети за допомогою діелектричних стягуючих шпильок або встановлюються в пази спеціальних рам з діелектриків (рис. 2.18, рис. 2.19) [70].

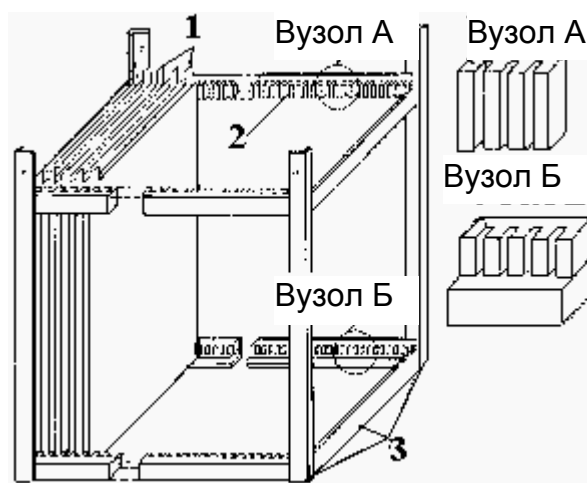


Рис. 2.18. Схема електродної системи пазного типу: 1 — електроди; 2 — пази, 3 — рама

За умовами монтажу та ремонтпридатності вага пластин або пакетів пластин повинна бути не більше 50—100 кг. Тому при необхідності в корпусі електролізера може розміщуватися декілька пакетів пластин.

Електроди приєднуються до джерела електроживлення по монополярній або по біполярній схемою (рис. 2.20).

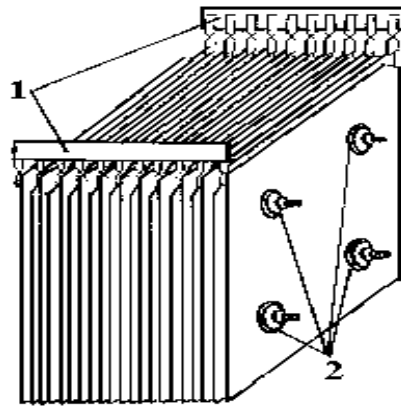


Рис. 2.19. Схема електродної системи пакетного типу: 1 — токорозподільчі пластини; 2 — шпильки, що стягують

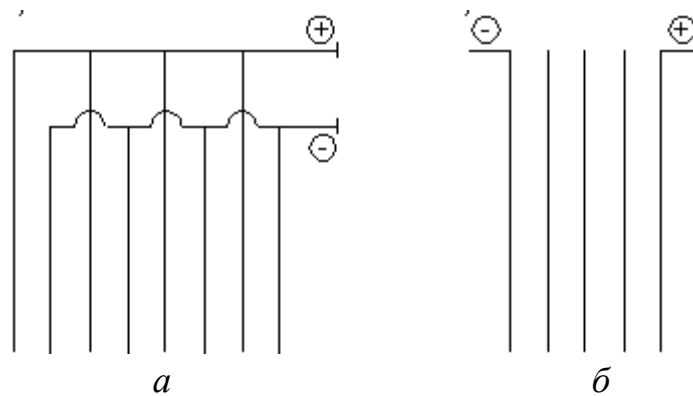


Рис. 2.20. Схеми з'єднання електродів: а — монополярна; б — біполярна

При біполярній схемі з'єднання (рис. 2.20, б) електрод працює однією поверхнею як анод, а інший — як катод. Біполярна схема вимагає меншої кількості приєднань електродів до джерела живлення, але при цьому збільшується напруга на електролізері.

Матеріал електрода повинен володіти рядом обов'язкових властивостей: хімічною стійкістю і інертністю до середовища, в якому проводиться електроліз; сприятливими електрохімічними характеристиками по відношенню до тих реакцій, які повинні здійснюватися в електролізері; механічною міцністю і довговічністю [75].

Як зазначалося вище, одним з основних показників електрохімічної активності електродного матеріалу до даної реакції є перенапруження. Для однієї і тієї ж реакції, але при різному матеріалі електрода, перенапруження виявляється різним. Зі зменшенням перенапруги зменшуються й витрати електроенергії [72].

Аноди не повинні розчинятися при електролізі. Нерозчинні аноди виконуються титановими із захисними покриттями з платини, оксидів свинцю, оксидів кобальту (октав), діоксиду мар-ганцю (ТДМА), оксидів рутенію і титану (ОРТА). Можливе застосування анодів з графіту або графітизованого вугілля, але ці матеріали недостатньо міцні і довговічні [73].

У процесі електролізу завжди генерується водень і кисень. Суміш цих газів вибухонебезпечна, а суміш водню з повітрям має вибухонебезпечність при концентрації водню більше 4 % за обсягом. Для забезпечення умов безпеки електролізери обладнуються системами витяжної вентиляції (витяжні парасолі, бортові відсмоктувачі та ін.), що забезпечують розбавлення водню, що виділяється, повітрям до концентрації менше 0,4 %, тобто в 10 разів нижче порога вибухонебезпечності [74].

2.10.3. Лабораторні дослідження

В Україні хлорування є на сьогодні основним способом дезінфекції питної води і заміна його найближчим часом іншими альтернативними способами мало ймовірна. Дослідженнями останніх років [79—83] показано, що у питній воді багатьох інших країн, які застосовують цей спосіб знезаражування, присутні продукти хлорування, так звані галогенвмісні сполуки (ГВС), які

утворюються виключно внаслідок хлорування води на водопровідних станціях. Більшу частину ГВС становлять тригалометани, а саме: хлороформ, діхлорбромметан, дібромхлорметан і бромформ, які остаточно залишаються в обробленій воді й небезпечно впливають на людину при потрапленні до її організму, а саме призводять до злоякісних новоутворень в шлунку та кишечнику [75, 76].

У світовій літературі існують дані щодо канцерогенності окремих продуктів хлорування води, однак вони торкаються тільки їх ізольованої дії на організм [84, 85]. У той же час питна вода, як правило, містить комплекс ГВС, реальна оцінка канцерогенної небезпеки яких неможлива без конкретної інформації щодо їх комбінованої дії. Комбінований вплив цих сполук може проявитись ефектом, який відрізняється від їх ізольованої дії на організм.

У хронічному експерименті на мишах [83] було досліджено канцерогенну активність комбінацій ГВС за перорального введення в організм в різних дозах — на рівні 1, 2, 5, 8, 20 ГДК цих речовин для питної води. Установлено синер-гізм комбінованої дії ГВС порівняно з ізольованою дією хлороформу, який полягав в дозозалежній активації канцерогенезу і підсиленні токсичного ефекту. Канцерогенез за комбінованої дії ГВС на рівні нижчих доз (2—5 ГДК) проявився в тенденції до збільшення частоти і скорочення латентного періоду розвитку пухлин, на рівні великих доз (8—20 ГДК) — у достовірному збільшенні загальної частоти пухлин та зменшенні величини середнього латентного періоду. Токсична дія комплексу проявилась у розвитку деструктивно-дистрофічних ушкоджень тропних органів (печінка, нирки), захворюванні на амілоїдоз скороченні середньої тривалості життя найбільшою мірою за дії комплексу ГВС у великих дозах [83].

Також було розраховано додатковий ризик розвитку раку у людини від дії продуктів хлорування води, який розглядається як значний. Отримані результати стали науковим підґрунтям для

вирішення питання про доцільність корекції існуючих ГДК та розробки гігієнічних рекомендацій щодо первинної профілактики шкідливого впливу цих речовин на здоров'я населення.

Дослідження, які проводились методами тонкошарової та газорідинної хроматографії в США, колишньому СРСР, Великобританії, Швеції, Польщі, підтвердили утворення токсичних хлор-утворених речовин при хлоруванні природних і стічних вод. Так, за даними Агентства з охорони навколишнього середовища США (ЕРА) при рівні вмісту тригалометанів (в основному хлороформу) у природних водах біля 1 мг/л після хлорування води їх вміст у питній воді зростає до 20—311 мг/дм³. За нормами США допускається не більше 100 мг/л тригалометанів у питній воді, а дослідження останніх років вимагають встановлення нормативу 70 мг/дм³. Агентство ЕРА (США) ще у 1978 році опублікувало звіт, де вказувалось на залежність генних речовин, концентрація яких пропорційна загальному вмісту органічних речовин у воді і дозам хлору. У Національному інституті ракових захворювань США встановлено зв'язок між частотою захворювань і вмістом у питній воді тригалометанів (ТГМ), особливо хлороформу.

Агентством ЕРА було опубліковано інструкцію “Тимчасова інструкція обробки води з урахуванням недопущення хлороформу і ТГМ”. В цій інструкції вказувалось, що для зменшення вмісту у питній воді ТГМ можуть бути використані різноманітні методи: аерування, сорбція чи окиснення; недопустимість утворення ТГМ шляхом найбільш повного видалення з води органічних речовин через її хлорування; використання для знезаражування води інших реагентів, наприклад, хлорамінів, двоокису хлору і озону, які не призводять до утворення ТГМ. На основі проведених досліджень ЕРА вважається найбільш ефективним методом зниження ТГМ у питній воді — проведення хлорування води після попереднього видалення органічних речовин, для чого необхідний ретельний контроль за процесами коагуляції і відстоювання, а також застосування активованого вугілля [87].

Як альтернативу існуючим методам для знезараження води пропонується застосування суміші оксидантів (водяна суміш хлору, діоксиду хлору й озону), які можливо отримувати за спеціальною нескладною електрохімічною технологією. Для отримання суміші оксидантів з метою знезараження води в лабораторних умовах було сконструйовано експериментальний електролізер з технічними характеристиками, що наведені у табл. 2.12 [77].

Таблиця 2.12. Технічні характеристики установки електролізу

Найменування	Технічні параметри	Матеріал
Блок живлення	5А	—
Резистор	19 Ом $\pm$ 10 %	—
Амперметр	0÷3 А	—
Вольтметр	0÷10 В	—
Електролізер	$V = 10^{-3} \text{ м}^3$ $V_{\text{розсолу}} = 0,5 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3$	Корпус — скло; кришка — сталь 3
Катод	$D = 0,075 \text{ м}$	Сталь 20
Анод	$D = 0,075 \text{ м}$ $H = 0,01 \text{ м}$	Графіт
Діафрагма	$D = 0,1 \text{ м}$	Азбест

Під час проведення лабораторних досліджень на сконструйованому лабораторному електролізері для дослідження технології отримання суміші оксидантів з розчинів хлориду натрію та хлориду калію було відмічено, що процес електролізу води має змінний характер по часу протікання й об'єму утвореної суміші газів. Тому метою лабораторних дослідів було отримання залежності впливу сили струму, температури електроліту в електро-лізері, зміни відстані між катодом і анодом на кількість утворення суміші газів під час електролізу. Отримані залежності наведено на рис. 2.21—2.23 [78].

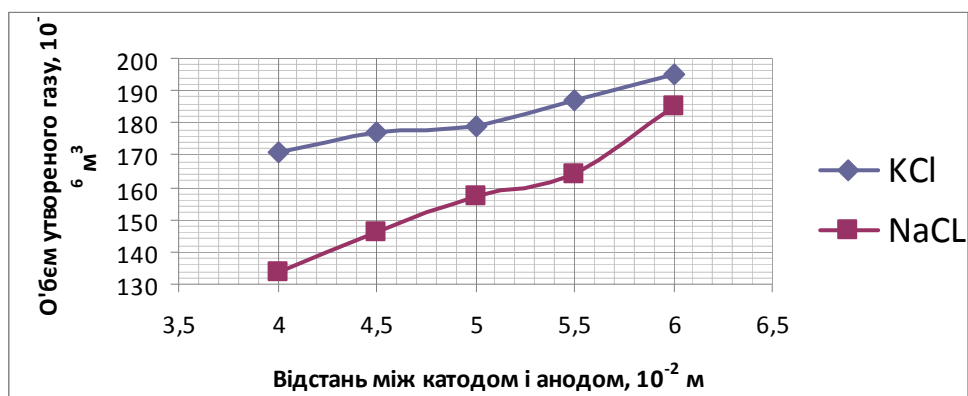


Рис. 2.21. Залежність об'єму утвореної суміші газів від зміни відстані між катодом і анодом

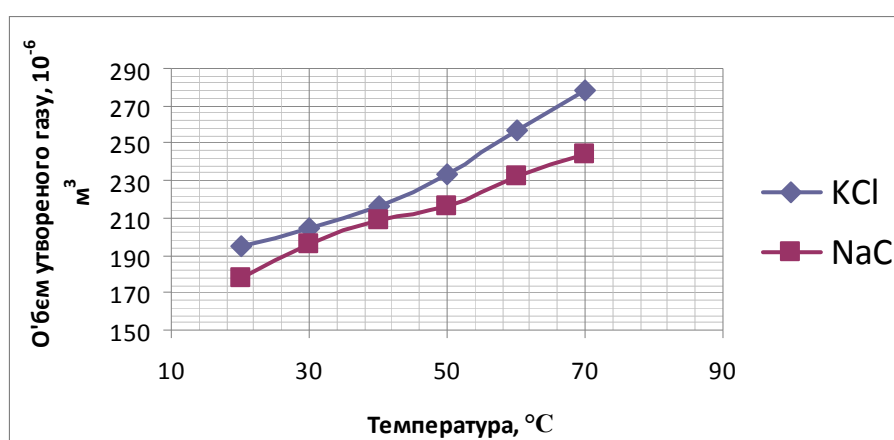


Рис. 2.22. Залежність об'єму утвореної суміші газів від зміни температури електроліту

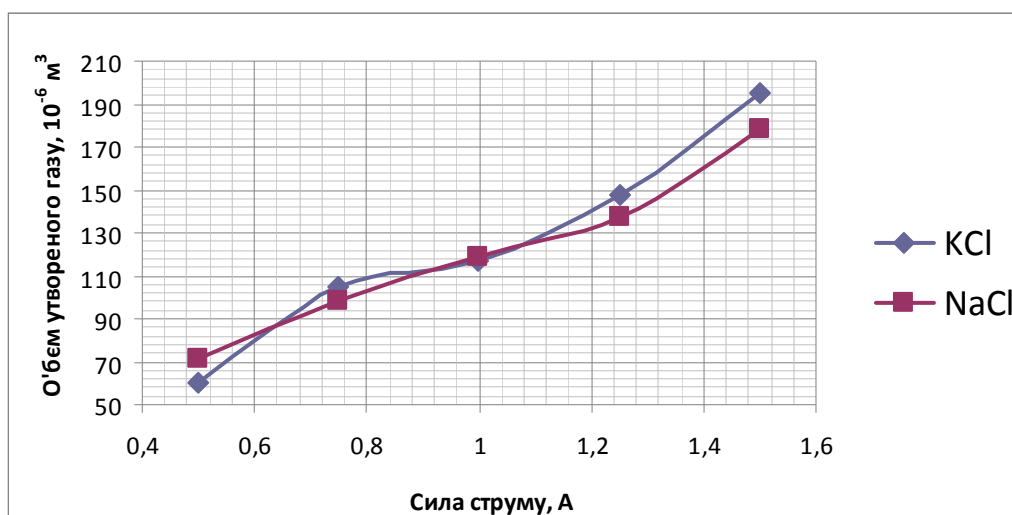


Рис. 2.23. Залежність об'єму утвореної суміші газів від зміни сили струму

В результаті проведених досліджень були зроблені наступні висновки.

1. Змінюючи температуру електроліту й силу струму при оптимальному співвідношенні катодного та анодного простору можливо отримувати необхідну кількість суміші газів оксидантів.

2. Максимальне збільшення виходу суміші оксидантів отримано при збільшенні щільності струму. Зміна температури розсолу також значно впливає на вихід отриманої газової суміші. Але великі значення зазначених параметрів негативно впливають на матеріал електродів, що також потрібно враховувати.

3. Розчин електрохімічно отриманої суміші оксидантів поєднує у собі наступні якості: має високу антимікробну активність по відношенню до основної групи патогенних мікроорганізмів й навіть спорів; не утворює небажаних продуктів, таких як при хлоруванні; руйнує феноли, які при їх наявності у воді є джерелом неприємного смаку й запаху; сприяє видаленню з води заліза та магнію шляхом швидкого окислення й осаду оксидів; не утворює бром органічних продуктів; сприяє видаленню мутності з води; сприяє видаленню сторонніх присмаків й запахів із оброблюваної води.

У концепції поліпшення якості питної води в Україні, яку було створено згідно з прийнятою Урядом в 1991 р. науково-соціальною програмою «Питна вода» [3, 4], передбачено розробку і впровадження сучасних технологій отримання якісної питної води з використанням H_2O_2 , що виключає застосування хлору в технології очистки і запобігає утворенню високотоксичних хлорорганічних сполук.

2.11. Трубопроводи

Достеменно відомо, що перші труби з'явилися ще в кам'яному столітті. Людина використовувала стовбур дерева з прогнилої серцевиною. В процесі еволюції змінювався матеріал труб. Всі

зусилля були спрямовані на простоту виготовлення, надійність і довговічність трубопроводів. В епоху неоліту, близько 30—35 тисяч років тому, з'явилися керамічні труби, близько 3000 років до н.е. — мідні. У міру розвитку плавильної справи людство освоювало нові матеріали. Так з'явилися свинцеві, чавунні, сталеві, пластикові труби.

Світова криза надійності трубопроводів припала на 60—80 роки ХХ століття. Причиною стала сталева труба. Корозія сталі призвела до масового виходу з ладу трубопроводів. Оновлення не встигало за руйнуванням. Були потрібні нові матеріали у трубопроводному будівництві, ними виявилися: полімери і мідь.

Для виготовлення труб стали використовувати самі різні полімери: поліетилен, поліпропілен, полібутен, в 1972 році з'явився зшитий поліетилен РЕХ. І все ж, полімерні труби не могли позбутися своїх недоліків: високого температурного розширення, дифузії кисню, і обмеженою термостійкістю. Прості технології не могли створити гідну заміну сталевим і мідними трубами. Винахід в кінці 70-х композитних металопластикових гнучких труб був логічним розвитком технологічних пошуків. Сама назва РЕХ-АL-РЕХ, присвоєне цій технології, показує складність і композиційність конструкції. Завдяки комбінації шарів полімеру, адгезива і алюмінію, труби знайшли кращі якості металевих і пластикових труб, і позбулися їх недоліків.

Показово, що за минулі чверть століття в світі не було запропоновано нічого більш прогресивного в цій галузі, ніж композитні металопластикові труби [88].

2.11.1. Види труб

Найбільш поширеними у використанні видами труб в Україні є чавунні, сталеві, мідні, пластикові труби.

Чавунні труби (рис. 2.24) для водогіну з'явилися ще в ХV столітті та впродовж декількох століть залишалися поза конкуренцією. Трубопроводи з чавуну володіють найбільшим гідравлічним опором і на їх стінках зсередини швидко

скупчується грязь та відкладення, що є їх суттєвими недоліками. Термін служби чавунних водопроводів недовгий: залежно від умов експлуатації він може вагатися від 10—15 до 25—30 років. В даний час чавунні труби практично не застосовуються для монтажу централізованих та домашніх водогонів тому, що чавун дуже важкий і в той же час крихкий матеріал. Він не піддається згинанню, а крім того, неможливо усунути шорсткість внутрішньої поверхні труби.



Рис. 2.24. Чавунні труби

Сталеві труби (рис. 2.25) для водогіну зустрічаються в підводах до багатьох будівель, побудованих 15 років тому і більш. Це трубопроводи, які виконані з оцинкованої високовуглецевої сталі. Недоліком сталевих конструкцій є їх схильність до корозії в місцях з'єднання труб: в процесі зварки цинкове покриття випаровується і при експлуатації водопроводу сталь безпосередньо контактує з водою. Те ж саме відбувається і при використанні фітінгов з різьбовим з'єднанням: нанесення різьблення також порушує оцинковування. Термін служби сталевих водопроводів не перевищує 20 років. Згодом розвиток корозії приводить до утворення корозійної течії, а вода може придбати металевий присмак. Ціна сталевих оцинкованих труб за погонний метр вища ніж чавунних та нижча за мідні. До плюсів сталевих труб відноситься достатня міцність при невеликій товщині, що робить їх набагато легшими, ніж чавунні. Їх можна

зігнути, але лише за допомогою спеціальних інструментів (трубогиба і паяльної лампи) — це значно ускладнює монтаж комунікацій.



Рис. 2.25. Сталеві труби

Мідні труби (рис. 2.26) для водогіну позбавлені недоліків, які мають чавунні та сталеві труби. Матеріал мідних труб легше сталі і тим більше чавуну, він досить пластичний, не вступає в хімічну реакцію з водою та домішками, що містяться в ній, практично не схильний до корозії. На внутрішні стінки мідних труб грязі налипає мало. Проте ціна погонного метра мідної труби для водогіну як мінімум втричі вище, ніж аналога з оцинкованої сталі. Термін служби мідного водогіну по завіренню виробників доходить до 150—200 років. Проте на практиці ці цифри доки не підтверджені, оскільки в сучасному вигляді такі труби увійшли до експлуатації порівняно недавно. Мідь володіє одним з найбільш високих коефіцієнтів теплопровідності серед металів. Тому вода, що буде проходити по трубах, активно обмінюватиметься теплом з навколишнім простором: холодна буде нагріватися, а гаряча — остигати. Щоб мінімізувати ці процеси, які призводять до втрат тепла (особливо у холодну пору року), доведеться використовувати теплоізоляцію трубопроводів.



Рис. 2.26. Мідні труби

Пластикові (полімерні) труби (рис. 2.27) почали активно впроваджуватися на вітчизняний ринок інженерних комунікацій в 1990-х роках. Одними з перших з'явилися труби з полівінілхлориду (ПВХ), пізніше список поповнили вироби з поліетилену низького і високого тиску, поліпропілену (PP) і зшитого поліетилену (РЕХ). Відносно недавно, близько 10 років тому, у продажу з'явилися металопластикові труби для водогонів (металополімерні труби). Вони позначаються аббревіатурою РЕХ-AL-РЕХ. В таких трубах між двома шарами спресованого поліетилену розташований шар алюмінієвої фольги, що забезпечує міцність і гнучкість конструкції. Пластик не іржавіє, його можна легко зігнути без вживання спеціальних інструментів і технологій, він практично не вступає в хімічну реакцію з водою і домішками, що містяться в ній, на внутрішніх стінках таких труб не скупчується грязь.



Рис. 2.27. Пластикові труби

До основних технічних характеристик металевопластикових труб відносять: тривале температурне навантаження $\sim 95\text{ }^{\circ}\text{C}$; короткочасне температурне навантаження $\sim 110\text{ }^{\circ}\text{C}$; тривалий робочий тиск $\sim 10\text{ атм.}$; коефіцієнт теплового подовження 25×10 ; строк експлуатації ~ 50 років; радіус вигину ~ 5 діаметрів.

Основними перевагами металевопластикових труб є: 100 % газонепроникність; незначне теплове розширення; спроможність витримувати постійні навантаження (труба розрахована на постійне навантаження при температурі $95\text{ }^{\circ}\text{C}$); фізіологічна придатність для питної води і харчових продуктів (сертифікована для установок з питною водою); тривалий строк експлуатації; відсутність структурних змін і зносу (гладкий пластик оберігає матеріал від зносу і деформації, тобто поперечний перетин труби залишається незмінним); універсальність використання; легкий монтаж і експлуатація; два типи з'єднання труб — пресування і нагвинчування; звуковий захист; стійкість до корозії; низька вартість.

Поява на ринку металевопластикових труб стала технологічним проривом в питаннях інженерного устаткування будівель і споруд, оскільки дані труби не схильні до корозії і володіють малим гідравлічним опором, що практично не зростає з часом. Ці труби відповідають санітарно-гігієнічним вимогам, зберігаючи первинну якість рідини, що транспортується, і в 3—5 разів довговічніше сталевих [89].

2.11.2. Експлуатаційні характеристики трубопроводів та наслідки їх змін

Трубопроводи є невід'ємною частиною сучасних систем водопостачання і водовідведення, які повинні в процесі роботи задовольняти вимогам надійності і економічності [90, 91]. До основних експлуатаційних характеристик трубопроводів відносять зовнішній вид поверхні, відносне подовження при розриві, зміна довжини при нагріванні або охолодженні, стійкість при

постійному внутрішньому тиску й температурі, стійкість при змінних тисках та температурах

Зважаючи на знос і старіння, відсутність достатнього фінансування на відновлення, оновлення, реконструкцію, технічний стан трубопроводних мереж з питною водою часто відноситься до аварійного [92, 93].

Аналіз трубопроводів води в містах показує, що з часом їх пропускна спроможність значно знижується (до 50 %). Це пов'язано із збільшенням шорсткості труб внаслідок корозії і інкрустації. Ці процеси відбуваються з інтенсивністю, яка залежить від діаметру і матеріалу труб, властивостей перекачуваної рідини, умов роботи і періоду експлуатації трубопроводу [93, 94]. В процесі тривалої роботи гідравлічні опори трубопроводів збільшуються в 2—7 разів по порівнянню з первинними значеннями [93], що приводить до зростання витрат електроенергії на транспортування води по трубах, вартість якої (транспортування води до споживача) складає більше половини її собівартості [92]. У зв'язку з цим, при побудові систем управління насосними станціями (НС) в завданнях дослідження енергоресурсозберігаючих режимів необхідно враховувати експлуатаційні характеристики трубопроводів, що змінилися, зважаючи на вплив останніх на енергетичні втрати у водопровідному комплексі [95—97].

З метою прикладу оцінки втрат потужності у водопровідному комплексі з експлуатаційними характеристиками трубопроводів, що змінилися, розглянемо одну з ділянок комплексу. Дана ділянка включає:

- відцентровий насос типа Д 2000—100 продуктивністю $Q = 2000 \text{ м}^3/\text{с}$, натиском води $H = 100 \text{ м}$, потужністю $P = 760 \text{ кВт}$, номінальною швидкістю обертання $n_n = 980 \text{ об/хв.}$;
- трубовід діаметром $d = 1200 \text{ мм}$, довжиною 10000 м з параметрами перекачуваного середовища: кінематичний коефіцієнт в'язкості дорівнює $1,3 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$ при температурі

$t = 10\text{ }^{\circ}\text{C}$, щільність води $\rho = 1000\text{ кг/м}^3$, середня швидкість руху рідини $v = 0,491\text{ м}^2/\text{с}$, число Рейнольдса $Re = 453400$.

Гідравлічний опір сталевих магістральних водоводів діаметром 1200—1600 мм визначається залежністю [93], що враховує динаміку зростання гідравлічних опорів труб протягом тривалого періоду експлуатації, зважаючи на утворення макрошорсткостей внутрішньої поверхні водоводів:

$$\lambda(T) = \left(0,019537 + 3561924 \left(\frac{v}{vd} \right)^{1,5} \right) e^{71,09k_e(T)},$$

де k_e — абсолютна еквівалентна шорсткість труб, мм;

$$k_e(T) = \frac{0,016147T}{T + 42,51},$$

T — термін експлуатації трубопроводу в місяцях.

Напірно-витратна характеристика гідромережі [90]:

$$H = H_c + H_{гд} = H_c + \Delta h_{дл} + \Delta h_m,$$

де H_c — статичний натиск, обумовлений геодезичним перепадом; $H_{гд}$ — гідродинамічний натиск; $\Delta h_{дл}$, Δh_m — втрати натиску по довжині трубопроводу і на подолання місцевих опорів, обумовлених наявністю замочно-регулюючої арматури, поворотів труби, розгалужень відповідно. Основний вплив на величину $H_{гд}$ роблять втрати натиску по довжині, розрахунок яких для труб круглого перетину визначається по формулі Вейсбаха-Дарсі [98]:

$$\Delta h_{дл} = \lambda \frac{l v^2}{d 2g},$$

де l — довжина трубопроводу; v — середня швидкість руху рідини; g — прискорення вільного падіння.

Втрати потужності в трубопроводі визначаються виразом:

$$\Delta P_{тр} = \frac{\rho g Q \Delta h_{дл}}{1000}.$$

На рис. 2.28 приведені криві зміни параметрів трубопроводу від періоду експлуатації, з яких видно, що при перевищенні ΔT нормативного терміну експлуатації сталевих трубопроводу ($T_{\text{норм.}} = 20$ років) в 2 рази втрати натиску $\Delta h_{\text{дл}}$ і потужності $\Delta P_{\text{тр}}$ збільшуються на 8 %.

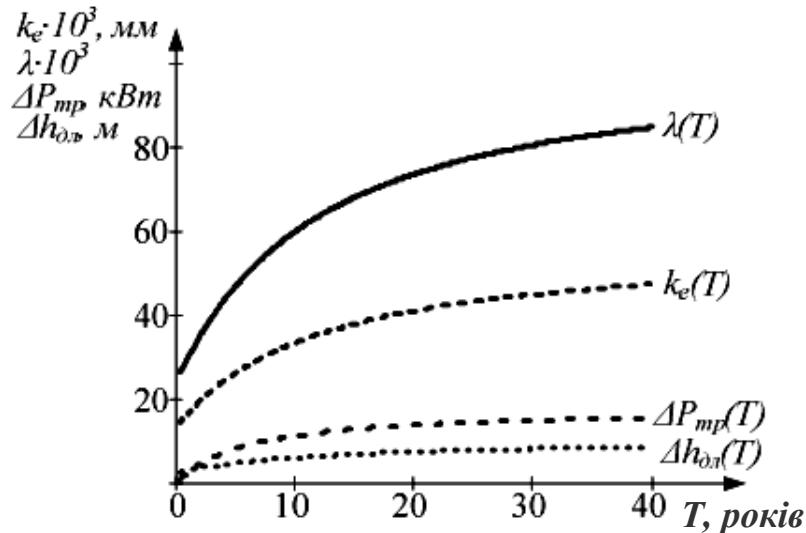


Рис. 2.28. Зміна параметрів трубопроводу від періоду експлуатації

Аналіз отриманих кривих зміни втрат натиску (рис. 2.29, а) і гідравлічною потужності (рис. 2.29, б) від продуктивності з врахуванням періоду експлуатації трубопроводів показав, що перевищення ΔT нормативного терміну експлуатації $T_{\text{норм.}}$ сталевих трубопроводу на 20 і 40 років приводить до втрат потужності на 8,3 % і 11,5 % відповідно. При тарифі на електроенергію для підприємств 0,7714 грн. за 1 кВт·год і цілодобовою роботою насосного агрегату втрати потужності в трубопроводі складуть 26 і 36 тис. грн/рік відповідно.

Таким чином можна зробити висновок, що тривалий період експлуатації трубопроводних магістралей приводить до підвищення їх гідравлічного опору і, відповідно, до зростання втрат потужності на транспортування води.

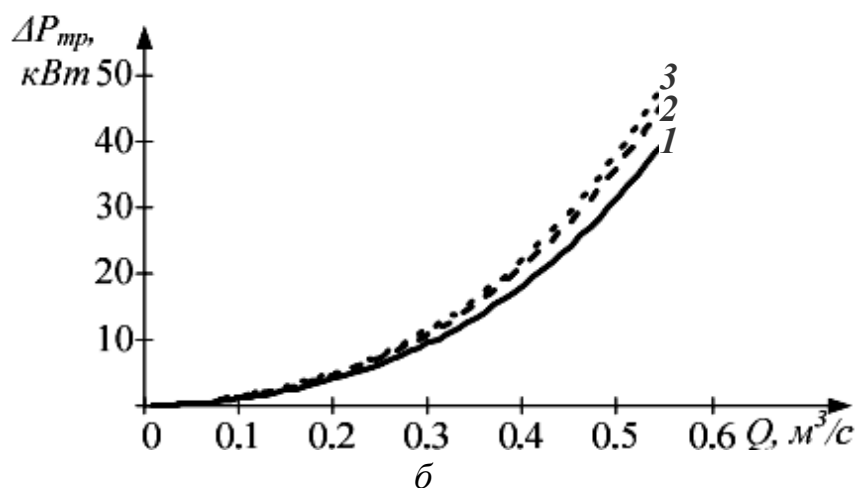
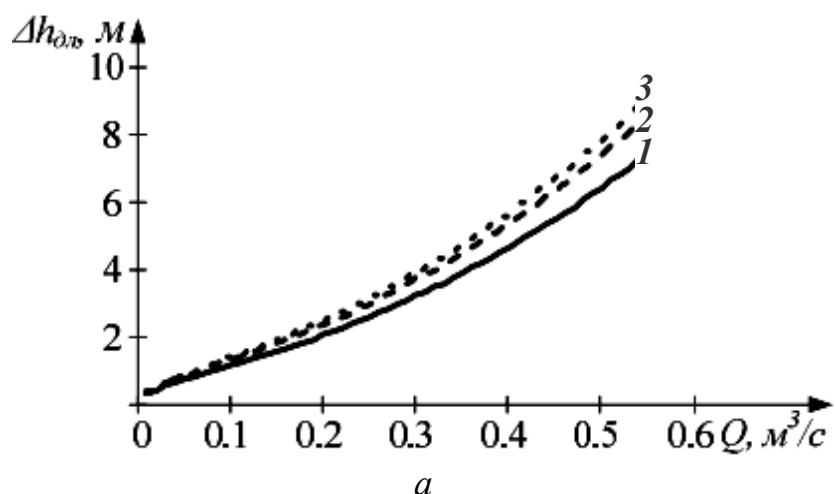


Рис. 2.29. Втрати натиску (а) і потужності (б) у трубопроводі з врахуванням періоду їх експлуатації 1 — $T_{\text{норм}} = 20$ років; 2 — $\Delta T = 20$ років; 3 — $\Delta T = 40$ років

Експлуатаційні характеристики трубопроводів, що змінюються в часі, необхідно враховувати при побудові систем управління енергетичними режимами гідротранспортних комплексів, що дозволяє досягти зниження енергоспоживання насосним комплексом, продовжити термін служби технологічного устаткування й знизити собівартість питної води.

Перелік використаних джерел

1. Миклашевский Н. В., Королькова С. В. Чистая вода.
2. Запольський А. К. Водопостачання, водовідведення та якість води. Підручник. — К. : Вища школа, 2005. — 671 с.
3. Закон України “Про питну воду та питне водопостачання” від 10 січня 2002 р. № 2918-III. Режим доступу: <http://zakon.rada.gov.ua>
4. Загальнодержавна програма “Питна вода України”. Режим доступу: <http://zakon.rada.gov.ua>
5. Закон України “Про Загальнодержавну програму “Питна вода України” на 2006—2020 роки” // Відомості Верховної Ради (ВВР). — 2005. — № 15. — С. 243.
6. ГН 2.1.5.1315-03 “Предельно допустимые концентрации (ПДК) химических веществ в воде водных объектов хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования”.
7. Наказ Міністерства охорони здоров'я України № 400 від 12 травня 2010 року “Про затвердження Державних санітарних норм та правил “Гігієнічні вимоги до води питної, призначеної для споживання людиною”.
8. ДСанПіН 2.2.4-171-10 “Гігієнічні вимоги до води питної, призначеної для споживання людиною”.
9. ДСанПіН №383 (186/1940) “Вода питна. Гігієнічні вимоги до якості води централізованого господарсько-питного водопостачання”.
10. СанПиН 2.1.4.1074-01 “Питьевая вода. Гигиенические требования к качеству воды централизованных систем питьевого водоснабжения. Контроль качества”.
11. Вода питьевая. Гигиенические требования и контроль за качеством. ГОСТ 2847-82. — М., 1982. — 5 с.
12. Государственные стандарты Союза ССР. Вода питьевая. Методы анализа. — М., 1984. — С. 166—176.
13. Карюхина Т. А., Чурбанова И. Н. Химия воды и микробиология: учеб. для техникумов. — 3-е изд. перераб. и доп. — М. : Стройиздат, 1995. — 208 с.
14. Кастальский А. А., Минц Д. М. Подготовка **воды** для питьевого и промышленного **водоснабжения**. — М., 1962.
15. Минц Д. М. Теоретические основы технологии очистки **воды**. — М. : 1964.
16. Апельцин Н. Э., Клячко В. А. Опреснение **воды**. — М., 1968.

17. Клячко В. А., Апельцин Н. Э. **Очистка природных вод**. — М., 1971.
18. Водоподготовка. Процессы и аппараты / Под ред. О. И. Мартыновой. — М., 1977.
19. Кульский Л. А. Теоретические основы и технология кондиционирования. Текст. / Л. А. Кульский. — Киев : Наук.думка, 1980. — 564 с.
20. Абрамов Н. Н. **Водоснабжение**. — 3 изд. — М., 1981.
21. Кульский Л. А. Основы химии и технологии воды. — Киев : Наук. думка, 1991. — 545 с.
22. Водоподготовка. Справочник / Под ред. д.т.н. С. Е. Беликова. — М. : Аква-Терм, 2007. — 240 с.
23. Ваганов І. І., Маєвська І. В., Попович М. М. Інженерна геологія та охорона навколишнього середовища. Навчальний посібник для студентів вищих навчальних закладів. — Вінниця : “УНІВЕРСУМ”, 2009. — 520с.
24. Лукьянов А. Б. Физическая и коллоидная химия. — М. : Химия, 1980. — 224 с.
25. Ткачев К. В. Технология коагулянтов / Ткачев К. В., Запольский, Кисиль Ю. К. — Л. : Химия, 1978. — 185 с.
26. Эффективность коагулирующего действия окисульфатхлоридов алюминия при различных показателях обрабатываемой воды / Гончарук В. В., Соломенцева И. М., Скубченко В. Ф и др. // Химия и технология воды. — Киев : 2001. — Т. 23. — № 4-е. — С. 400—401.
27. Тарасевич А. О. Природные сорбенты в процессе очистки воды, 1981.
28. Когановский А. М., Клименко Н. А. и др. Адсорбция органических веществ из воды. — Л. : "Химия", 1990.
29. Вейцер Ю. М., Миц Д. М. Высокомолекулярные флокулянты в процессах очистки воды. — М., 1984.
30. Кульский Л. А. Справочник по свойствам, методам анализа и очистки воды. — К. : Наукова думка, 1980. — Т. 1.
31. Кульский Л. А. Справочник по свойствам, методам анализа и очистки воды. — К. : Наукова думка, 1980. — Т. 2.
32. Кульский Л. А. Методы улучшения запаха и вкуса питьевой воды, 1961.
33. Цейдлер. Основные реагенты, применяемые для обработки воды. — 1962.

34. Бессан В. С. Обработка воды активированным углём, — 1976.
35. Смирнов А.Д. Сорбционная очистка воды. — Л., 1982.
36. Кульский Л. А. Обработка воды на водопроводах пылевидным активированным углем. — К., 1965.
37. Махорин К. Е., Пищай И. Л. Физико-химические характеристики углеродных сорбентов // "Химия и технология воды". — 1996. — Т. 18 — № 1. — С. 74.
38. Слипченко В. Совершенство технологии очистки и обеззараживания воды хлорированием. — Св. план, 1988. — С. 2—65.
39. Лукерченко В. Н., Никифорова Л. О. Обеззараживание питьевой воды — Вода и экология, 2000. — 120 с.
40. Кузубова Л. И., Кобрина В. Н. Химические методы подготовки воды (хлорирование, озонирование, фторирование): Аналит. обзор / СО РАН, ГННТБ, НИОХ. — Новосибирск, 1996. — 132 с.
41. Садыков Э. и др. Создание научных основ обеззараживания и очистки воды на основе нанотехнологии: Научное исследование Кыргызско-Узбекского ун-та, 2011. — 68 с.
42. Черниченко І. О., Баленко Н. В., Бабій В. Ф. Хлорування питної води: ризик для здоров'я // Зб. тез доповідей науково-практичної конференції «Актуальні питання гігієни та екологічної безпеки України на рубежі століть». — Випуск 2. — Київ. — 1999.
43. Гончарук Є. Г. Комунальна гігієна. — К. : Здоров'я, 2003. — 728 с.
44. Митченко Т. Е., Макарова Н. В. Проблемы качества питьевой воды в Украине // Вода і водоочисні технології. — 2001. — №1. — С. 22—23.
45. Скоробогатов Г. А., Калинин А. И. Осторожно! Водопроводная вода! — СПб. : Изд-во СПб. гос. Ун-та, 2003. — 156 с.
46. Душкин С. С. Повышение эффективности работы городских систем водоснабжения // Вісник Донбаської національної академії будівництва і архітектури. — Вип. 6(54). — Макіївка : ДНАБіА, 2005. — С. 107—112.
47. Душкин С. С. Улучшение качества питьевой воды за счет повышения эффективности работы очистных сооружений водопровода // Проблемы внедрения ДержСанПин «Вода питна» в практику. Качество, технология и контроль питьевой воды: Материалы науч.-техн. семинара. — Харьков : ХОП НТГ КГ ПО, 2005. — С. 3—8.
48. Ковалева Е. А., Солодовник М. В., Ткачев В. А. Способы улучшения качества питьевой воды // Вісник Одеської державної академії

будівництва та архітектури. — Вип. 19. — Одеса : ОДАБА, 2005. — С. 97—102.

49. Кульский, Л. А. Теоретическое обоснование технологии очистки воды. Текст / Кульский Л. А. — Киев : Наук.думка, 1968. — 127 с.

50. Тулепбаев В. Б., Дьяченко И. Ю. Применение вакуумных выпаривателей для очистки сточных вод гальванического производства // Материалы научно-техн. конфер. «Современные решения экологических проблем гальванических производств и производств печатных плат». — Москва : МХТУ им. Д. И. Менделеева, 2009. — С. 48—57.

51. Зеркалов Д. В. Організація використання енергоресурсів. Довідник. — К. : Основа, 2009. — 273 с.

52. Воронов Ю. В., Яковлев С. В. Водоотведение и очистка сточных вод. Учебник для вузов. — М. : Изд-во АСВ, 2006. — 704 с.

53. Туровский И. С. Обработка осадков сточных вод. — М. : Стройиздат, 1984.

54. Жуков А. И. Монгайт И. Л., Родзиллер И. Д. Методы очистки производственных сточных вод. — М. : Стройиздат, 1992.

55. Терпугов Г. В., Мынин В. Н., Комягин Е. А., Тарасова Т. А. Традиционные методы обработки воды и бытовые устройства водоочистки. Учебное пособие. — Москва : РХТУ, 2007. — 48 с

56. Охрана производственных сточных вод и утилизация осадков./ Под ред.. В. Н. Соколова — М. : Стройиздат, 1992.

57. Евилевич А. З. Утилизация осадков сточных вод. — М. : Стройиздат, 1989.

58. Сухарев С. М. Техноекологія та охорона навколишнього середовища. Навчальний посібник для студентів вищих навчальних закладів. / С. М. Сухарев, С. Ю. Чундак, О. Ю. Сухарева. — 2-ге вид. — Львів : “Новий світ-2000”, 2005. — 256 с.

59. Воловник Г. И., Коробко М. И. Электрохимическая очистка воды. Учебное пособие. — Хабаровск : Изд-во ДВГУПС, 2002. — 68с.

60. Якименко Л. М. Электролиз воды. — М., 1970. — 264 с.

61. Антропов Л. И. Теоретическая электрохимия: учеб. для хим.-технолог. спец. вузов / Л. И. Антропов. — 4-е изд., перераб. и доп. — М. : Высш. школа, 1984. — 519 с.

62. Дамаскин Б. Б. Введение в электрохимическую кинетику: Учеб. пособие для студентов хим. спец. Ун-тов / Б. Б. Дамаскин, О. А. Петрий. — 2-е изд., перераб. и доп. — М. : Высш. школа, 1983. — 400 с.: ил.

63. Кульский Л. А. Электрохимия в процессах очистки воды / Л. А. Кульский. — Киев : Будівельник, 1987. — 225 с.

64. Яковлев С. В. Технология электрохимической очистки воды: монография / С. В. Яковлев, И. Г. Краснобородько, В. М. Рогов. — Л. : Стройиздат, Ленингр. отд-ние, 1987. — 312 с.

65. Кульский А. Л. Исследование и разработка методов контроля и регулирования электрохимических процессов обработки воды: дис. канд. хим. наук: 05.17.01 / А. Л. Кульский; науч. рук.: д-р техн. наук, А. В. Линовский. — Киев : 1981. — 146 с.

66. Тюняткина Т. Г. Применение электрообработки для очистки природных вод / Т. Г. Тюняткина, В. В. Кузнецов, Н. И. Рукобратский, В. Г. Федоров. // Исследования в области водоснабжения: Межвуз. темат. сб. — ЛИСИ : 1983, — С. 83—88.

67. Большаков А. А. Электрообработка в подготовке питьевых вод / А. А. Большаков, Т. И. Латышева, В. П. Ганяев // «Нефть и газ Западной Сибири»: тез. докл. Межд. науч.-техн. конф. / Тюм. гос. нефтегаз. ун-т. — Тюмень : 1996. — С. 27—28.

68. Канте С. Л. Усовершенствование электрохимического способа обеззараживания природных и сточных вод Текст.: автореф. дис. канд. хим. наук: 05.17.01 / С. Л. Канте. — Москва, 1989. — С. 22.

69. Якименко Л. М., Модылевская И. Д., Ткачек З. А. Электролиз воды. — М. : «Химия», 1970. — 264 с.

70. Дикусар А. И., Бобанова Ж. И., Ющенко С. П. Основы электрохимии и электрохимических технологий. — Тирасполь : Изд-во университета, 2005. — 187 с.

71. Кузнецов В. С. Электролитическое получение хлора. — Государственное издательство оборонной промышленности : 1939. — 288 с.

72. Драко И. В. Интенсификация процессов электрохимической очистки воды от фтор-ионов в присутствии различных ингредиентов: дис. канд. техн. наук: 05.23.04 / И. В. Драко; науч. рук.: канд. хим. наук Р. В. Дрондина. — Ровно : 1994. — 225 с.

73. Рекомендации по электрохимической очистке промышленных сточных вод с использованием стальных анодов. // Госстрой СССР, ВНИВODГЕО — М., 1977. — 87 с.

74. Якименко Л. М. Электрохимические процессы в химической промышленности: Производство водорода, кислорода, хлора и щелочей. — М. : Химия, 1981. — 280 с.

75. Фиошин М. Я., Павлов В. Н. Электролиз в неорганической химии. — М. : Наука, 1976. — 106 с.

76. Экология и здоровье человека. Охрана водного и воздушного бассейнов. Утилизация отходов // Сб. науч. трудов. — Харьков-Алушта : 2005. — 959 с.

77. Волошин М. Д., Крюковська О. А., Ружина А. Ю. Технологія отримання суміші оксидантів методом електролізу. КАЗАНТИП-ЭКО-2011. Инновационные пути решения актуальных проблем базовых отраслей, экологии, энерго- и ресурсосбережения: сборник трудов XIX Международной научно-практической конференции // Щелкино, АР Крым: в 3 т. — Т. 3. — УкрГНТЦ “Энергосталь”. — Харьков : НТМТ, 2011. — С. 320—323.

78. Волошин М. Д., Крюковська О. А., Бойко Т. М. Оптимальні умови проведення електролізу для отримання суміші оксидантів. КАЗАНТИП-ЭКО-2011. Инновационные пути решения актуальных проблем базовых отраслей, экологии, энерго- и ресурсосбережения: сборник трудов XIX Международной научно-практической конференции // Щелкино, АР Крым: в 3 т. — Т. 3 — УкрГНТЦ “Энергосталь”. — Харьков : НТМТ, 2011. — с. 324—327.

79. Kruithof J. C. Ozonation and biological activated carbon filtration in Duch drinking water treatment / J. C. Kruithof // Proc. of Regional Conf. on Ozone, Ultraviolet light, Advanced Oxidation in Water Treatment. — Amsterdam, 1996.

80. Malik M. Water purification by electrical discharges / M. Malik // Plasma Sources Science and Technology. — 2001. — № 10. — P. 82—91.

81. Nadine J. Water disinfection with the hydrogen peroxide ascorbic acid-copper / J. Nadine Ragab-Depre // Appl. And Environ Microbial. — 1982. — Vol. 44. — № 3. — P. 555—560.

82. Hargy T. Status of UV Disinfection of Municipal Drinking Water Systems in North America / T. Hargy // Water Conditioning and Purification. — 2002. — № 6. — P. 15—18.

83. Hoebe, W. F. Pulsed corona-induced degradation of organic materials in water: PhD thesis. / W. F. Hoebe TU Findhoven. — 2000. — 164 p.

84. Edebo L. Influence of the conductivity of the discharge liquid on the microbisidal effect of transient electric arcs in aqueous systems / L. Edebo, T. Holme, I. Selin. — Appl. Microb., 1969. — № 17(1). — P. 59—62.

85. Sun B. Use of a pulsed high-voltage discharge for removal of organic compounds in aqueous solution / B. Sun, M. Sato, J. S. Clements // J. Phys. D:Appl. Phys. — 1991. — № 32. — P. 1908—1915.

86. Silver S. Bacterial silver resistance: molecular biology and uses and misuses of silver compounds Simon Silver / S. Silver // Microbiology Reviews. — № 27. — 2003. — P. 341—353.

87. Черниченко І. О., Баленко Н. В., Бабій В. Ф. Хлорування питної води: ризик для здоров'я // Збірка тез доповідей науково-практичної конференції “Актуальні питання гігієни та екологічної безпеки України на рубежі століть”. — Київ : 1999. — Вип. 2.

88. Репин Б. Н. Водоснабжение и водоотведение. Наружные сети и сооружения. Справочник. — М. : Высш. шк., 1995. — 431 с.

89. Свенсон А. Вода и трубы. Справочник (рус. ред. подг. Б. Кузиным). — Изд-во WIRSBO BRUKS AB, Portugal, 2003. — 132 с.

90. Лезнов Б. С. Энергосбережение и регулируемый привод в насосных и воздухоудных установках. — М. : Энергоатомиздат, 2006. — 360 с.

91. Карелин В. Я., Минаев А. В. Насосы и насосные станции. — М. : Стройиздат, 1986. — 320 с.

92. Алексеева Ю. А., Коренькова Т. В. Техническое состояние и технологии управления насосными комплексами коммунального хозяйства // Вісник КДПУ: зб. наук. пр. КДПУ. — Вип. 3. — Ч. 1. — Кременчук : КДПУ, 2008. — С. 135—141.

93. Петросов В. А. Устойчивость водоснабжения. — Харьков : Фактор, 2007. — 357 с.

94. Альтшуль А. Д., Киселев П. Г. Гидравлика и аэродинамика (Основы механики жидкости). Уч. Пособ. для вузов. — М. : Стройиздат, 1975. — 323 с.

95. Алексеева Ю. А., Коренькова Т. В. Требования к построению системы энергоуправления насосным комплексом // Електромеханічні і енергозберігаючі системи. Щоквартальний науково-виробничий журнал. — Кременчук : КДУ, 2010. — Вип. 2/2010 (10). — С. 17—22.

96. Aliksieieva I., Korenkova T. The Structure And Algorithms Of The System Of Pumping Complex Power Control // Conference Archives PTETIS. — Vol. 28. — 2010. — P. 111—115.

97. Алексеева Ю. А., Коренькова Т. В. Система повышения эффективности насосного комплекса с энергонаблюдателем в контуре управления // Проблеми автоматизованого електроприводу. Теорія й практика. Тематичний випуск науково-технічного журналу «ЕЛЕКТРОІНФОРМ». — Львів : ЕКОінформ, 2009. — С. 377—381.

98. Шевелев Ф. А. Таблицы для гидравлического расчета стальных, чугунных, асбестоцементных, пластмассовых и стеклянных водопроводных труб. Изд. 5-е доп. — М. : Стройиздат, 1973. — 112 с.

99. Перешивкин А. К. и др. Монтаж систем внешнего водоснабжения и канализации. Справочник строителя. Изд. 4-е перераб. и доп. — М. : Стройиздат, 1988. — 653 с.

100. Егоров А. И. Гидравлика напорных трубчатых систем в водопроводных очистных сооружениях. Учебное пособие для ВУЗов. — М. : 1984. — 209 с.

101. Канализация. Наружные сети и сооружения: СНиП 2.04.03-85 / Госстрой СССР. — М. : Стройиздат, 1985. — 106 с.

Розділ 3. ПРОМИСЛОВІ ТЕХНОЛОГІЇ НА МІСЬКИХ ВОДОЗАБОРАХ

Господарсько-питні потреби населення міст та населених пунктів України забезпечуються за допомогою водопідготовчих підприємств та станцій. Системи водопостачання водопровідних господарств призначені для забору, підготовки й транспортування споживачам питної води, якість якої повинна задовольняти вимогам санітарних норм і правил [1, 2].

3.1. Технологічна схема водопідготовчого підприємства

Схема водопостачання водопровідного господарства з фактичною продуктивністю 550 тис. м³/добу (проектна становить 810 тис. м³/добу) містить у собі [3]:

- водозабірні споруди відкритого джерела водопостачання (з насосної станції 1-го підйому на очисні споруди вода подається по трьох водоводах: двох водоводах діаметром $D_y = 1600$ мм і одному діаметром $D_y = 1400$ мм);
- комплекс очисних споруд, що забезпечує необхідні технологічні процеси очищення води, й містить у собі:
 - споруду мікрофільтрів (для первинного хлорування);
 - 2 змішувачі — загальна ємність 288 м³;
 - 15 камер реакцій — загальна ємність 9720 м³;
 - 15 горизонтальних відстійників — загальна ємність 71000 м³;
 - 24 швидких безнапірних двошарових фільтри із дренажем великого опору, загальна площа фільтрації 2760 м²;
 - 4 резервуари чистої води по 10000 м³ кожний;
 - реагентне господарство.

Таке підприємство здатне забезпечувати питною водою декілька міст та селищ, й навіть область.

Реагентне господарство описаного водопровідного господарства складається з коагуляторної й хлораторної [4]. Коагуляторна складається зі складу сухо-мокрого зберігання коагулянту на 1675 т (корисний об'єм 2300 м³) — 35 добовий запас.

Стіни баків обкладені кислотостійкою цеглою. На дні баків є повітророзподільна система дірчастих труб, для забезпечення перемішування розчину коагулянту. Над повітророзподільними трубами розташований настил з дерев'яних брусів для захисту від ушкодження під час завантаження коагулянту.

Після розчинення коагулянту і його вироблення проводиться промивання баків, для подальшої нормальної експлуатації баків коагулянту.

Видаткові баки загальною ємністю 75 м³ призначені для готування робочого розчину коагулянту. На дно баків підведений поліетиленовий дірчастий трубопровід $D_y = 100$ мм для подачі повітря від повітродувки, що забезпечує перемішування розчину коагулянту. Для розведення розчину передбачена подача води по трубопроводу $D_y = 50$ мм.

Хлораторна первинного й вторинного хлорування, в якій установлені хлоратори ХТ-2 — 5 одиниць, один з них працює на вторинне хлорування. Продуктивність хлораторів — 100 кг/годину.

Склад хлору розміщений під навісом у торці реагентної споруди за хлораторною, для зберігання хлору до 7 діб.

Добова витрата хлору наступна: узимку — від 2000 до 3000 кг; улітку — від 3000 до 5000 кг.

У випарній хлору контейнер із хлором встановлюється на платформні ваги за допомогою електричної талі. З контейнера по хлоропроводу рідкий хлор подається у випарник, пристрій, у якому відбувається випар хлору.

Як обігрівальне середовище застосовується вода. Випарник являє собою вертикальний циліндричний апарат з розміщеним усередині змійовиком, по якому проходить рідкий хлор.

Необхідний підігрів змішувача досягається за допомогою гарячої води, нагрітої в електричному водонагрівачі до температури не більше 70 °С.

Газоподібний хлор подається до хлоратора через ресивер-грязьовик. Ресивер-грязьовик являє собою циліндричний апарат, у якому затримуються рідкий хлор і випадкові забруднення, наявні в ньому.

Газоподібний хлор по трубопроводах надходить в хлораторну (апаратну хлору), у якій установлені 5 апаратів ХТ-2.

Хлоратор ХТ-2 вакуумного типу. Спеціальна конструкція кільцевого інжектора, із двостороннім усмоктуванням дозволяє при порівняно невеликій величині вакууму одержати значну продуктивність хлоратора. Витрата води 5 м³/год. Напір води, необхідний для роботи інжектора 0,03—0,2 МПа.

Приготовлена хлорна вода по поліетиленовому трубопроводу подається на очисні спорудження для знезаражування води.

Технологічна схема очисних споруд водопровідного господарства наведена у Додатку 1, а матеріальний баланс підприємства — у Додатку 2.

3.2. Опис технологічного процесу

Джерелом водопостачання для водопровідних господарств Дніпропетровської області та міста Дніпропетровська є р. Дніпро. Для прийому води з р. Дніпро служать водозабірні спорудження насосної станції 1-го підйому. З насосної станції 1-го підйому вода подається на очисні спорудження по 3-х водоводах [5].

У споруду мікрофільтрів вода надходить по 4-х водоводах, $D_y = 1400$ мм кожний (по двох на кожен блок). Вода в споруді мікрофільтрів рухається по каналах зі швидкістю 1 м/с. Наприкінці збірних каналів передбачена подача хлору — для первинного хлорування. Після мікрофільтрів вода надходить у будівлю змішувачів, по одному змішувачі на кожен блок фільтрів.

Змішувачі дірчастого типу мають розміри $18 \times 2,5 \times 4,5$ м та три дірчасті перегородки, які служать для швидкого й рівномірного змішування реагентів з усією масою оброблюваної води (рис. 3.1). Відстань між перегородками — 6 метрів, розміри отворів — 50×50 мм, усього 420 штук. Перегородки чистяться не рідше одного разу на рік під час повної зупинки насосної станції 1-го підйому. Час перебування води в змішувачі — 1—2 хвилини, висота стовпа води становить 3,5 м, середня швидкість руху води в потоці — 0,6 м/сек., а в отворах перегородок — 1 м/сек. На початку змішувача передбачене хлорування води. Активний вільний хлор руйнує й окисляє оболонку бактерій і відбувається знезаражування води.

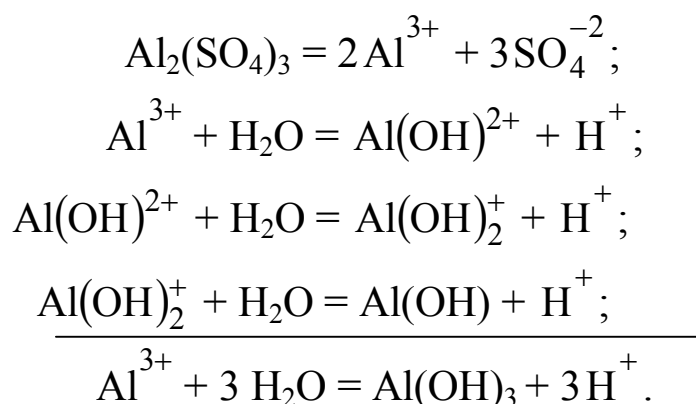
Доза хлору залежить не тільки від бактеріального забруднення води, але й від сполуки води, тому що хлор витрачається не тільки на знезаражування, але й на окислювання органічних і неорганічних речовин. Залишковий хлор після змішувача повинен перебувати в межах 2,0—2,8 мг/л.



Рис. 3.1. Змішувачі дірчастого типу

З невеликим розривом після уведення хлору в змішувач подається 5—7 %-вий розчин коагулянту. Процес коагуляції

забезпечує швидкість і повноту освітлення води у відстійниках. Для здійснення процесу коагуляції у воду вводять хімічний реагент сірчаноокислий алюміній:



Гідрооксид алюмінію $\text{Al}(\text{OH})_3$, що утворився, являє собою колоїдну речовину, частки якої мають позитивні заряди, а колоїди, які є в природній воді, заряджені негативно. Це веде до нейтралізації зарядів часток обох колоїдів, що викликає їхню взаємну коагуляцію з утворенням пластівців (рис. 3.2). Розчин коагулянту готується й визначається оператором коагуляторних установок. Щільність розчину визначається ареометром і переводиться в значення концентрації за допомогою табл. 3.1.



Рис. 3.2. Первинна коагуляція

Таблиця 3.1. Визначення концентрації розчину

Показання ареометра	Концентрація розчину, %
1,0157	4

1,0197	5
1,0237	6
1,0277	7

На рис. 3.3 наведена принципова схема подачі реагентів у змішувач [6].

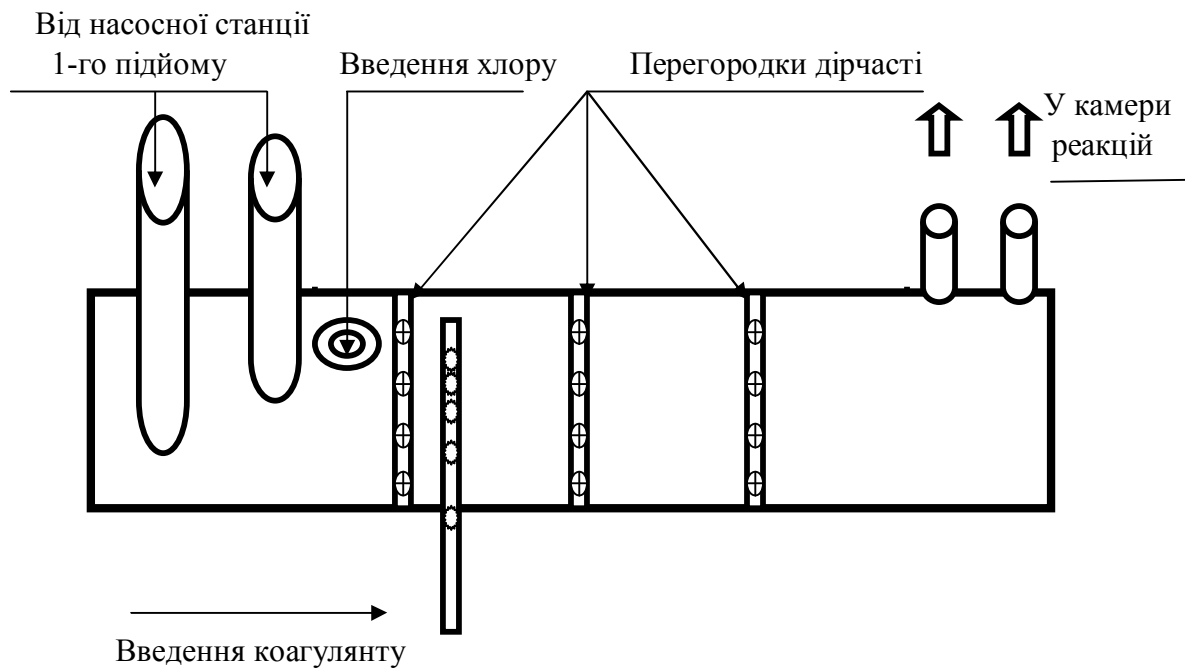


Рис. 3.3. Принципова схема подачі реагентів у змішувач

Зі змішувачів вода надходить у камери реакцій. Діаметр трубопроводу, що підходить, змінного перетину від 1600 до 900 мм. Камери реакцій у кількості 10 камер на 1-ий блок (стара черга) та 5 камер на 2-ий блок (нова черга) вбудовані в горизонтальні відстійники (рис. 3.4). Схема відстійника й камер реакції показана на рис. 3.5.



Рис. 3.4. Приміщення камер реакції

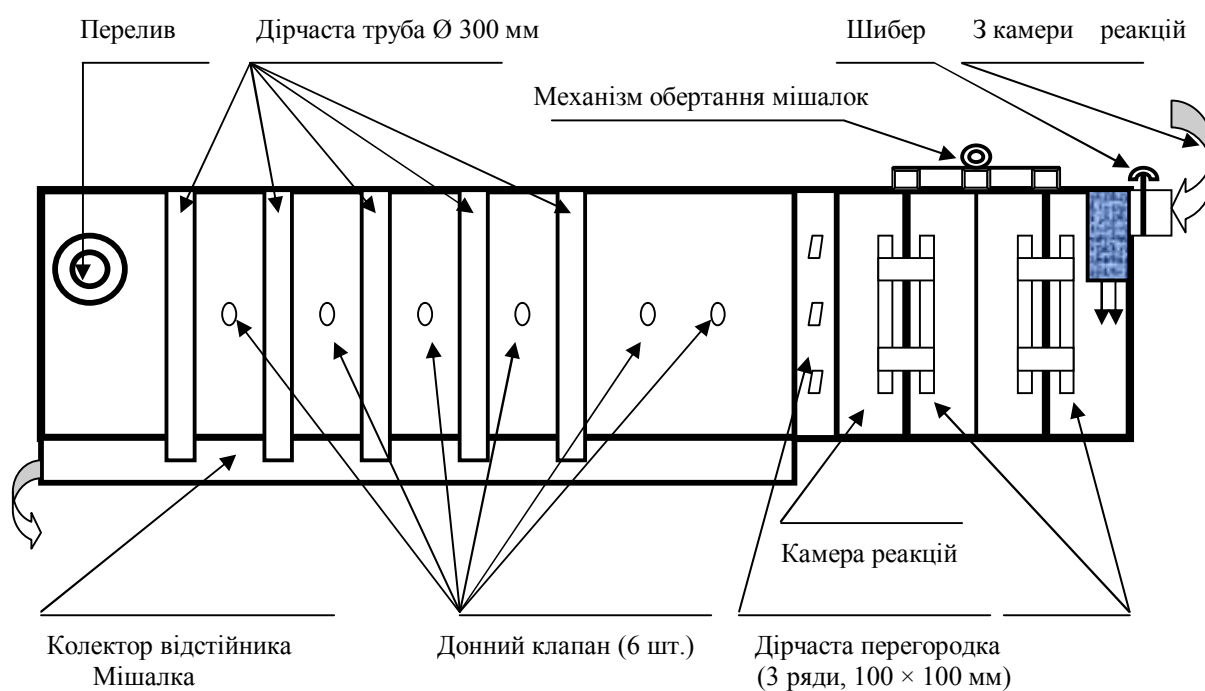


Рис. 3.5. Схема відстійника й камер реакції

Камери реакцій 1-го блоку — лопатевого типу з вертикальною віссю обертання мішалок. Камери реакцій 2-го блоку очисних споруджень — перегородчастого типу з вертикальним попеременно висхідним і спадним рухом води.

Камери призначені для протікання фізико-хімічних процесів, що спричиняють утворенню великих міцних пластівців гідрооксидів металів з домішками, які швидко осідають. Час перебування води в камері від 20 до 30 хв., швидкість руху води — 0,2—0,3 м/сек [7].

З камери реакцій вода через дірчасті перегородки надходить у горизонтальні відстійники, 10 відстійників на 1-ом блоці очисних споруджень й 5 відстійників на 2-ом блоці (рис. 3.6). Ширина відстійника — 12 м, довжина — 87 м, висота стовпа води — 4,5 м. Час перебування води у відстійниках — 2,8 години, швидкість руху води у відстійниках — 31,0—32,0 м/годину.



Рис. 3.6. Горизонтальні відстійники

Осадження зважених часток у відстійниках відбувається під дією сили ваги коагульованих пластівців при безперервному русі води від входу до виходу. По висоті відстійник розділяється на дві частини: зону осадження, де мул осаджується, й у зону нагромадження й ущільнення осаду.

Відбір просвітленої води здійснюється через систему розосереджених дірчастих труб, розташованих угорі відстійника — в останній, третій частині. У кожному відстійнику — 12 збірних труб (крім 2-х експериментальних відстійників з відбором просвітленої води по всій довжині), $D_y = 300$ мм, з

отворами $D_y = 20$ мм, просвердленими по всій довжині паралельно дзеркалу води, із кроком 200 мм.

Зі збірного каналу відстояна вода по трубопроводу $D_y = 900$ мм (від кожного відстійника) і трубопроводу $D_y = 1400—1000$ мм подається на фільтри.

Зміст зважених речовин після відстійників не повинен перевищувати 2,2—2,8 мг/л, залишковий хлор — 1,6—2,2 мг/л.

Промивання й дезінфекція відстійників виробляється за графіком, погодженим з місцевими органами СЕС (2 рази в рік). Зупинка відстійника на промивання не має істотного впливу на роботу інших відстійників. При необхідності можливе часткове скидання осаду з відстійника без його зупинки.

Система видалення осідання складається з залізобетонного каналу перетином 400×200 мм, влаштованого в дні відстійника, з отворами для скидання осаду, які закривають донними клапанами. У кожному відстійнику встановлено 6 донних клапанів, і один клапан — у камері реакцій. Скидання осаду з кожного відстійника здійснюється в загальний мулопровід $D_y = 600$ мм, з'єднаний з каналізаційним колектором після промивання фільтрів. Скидання стічних вод після промивання споруджень виконується в р. Дніпро. Умови випуску виробничих стічних вод у водойми регламентуються відповідними правилами [8]. Якість стічних вод контролюється лабораторією підприємства відповідно до графіка. Зміст шкідливих речовин у скиданнях не повинен перевищувати ГДК.

Фільтри використовуються двошарові, великої брудоемності, швидкі (рис. 3.7).

Перший блок складається з 16 фільтрів із проектною висотою завантаження: цеолітова крихта — 500 мм, активоване ву-гілля — 200 мм; другий блок — 8 фільтрів із проектною висотою завантаження: цеолітова крихта — 900 мм, активоване вугілля — 200 мм (рис. 3.8).

Корисна площа фільтрації — 115 м^2 . Швидкість фільтрації при нормальному режимі 7—9 м/годину, при форсованому 11—

12 м/годину. Продуктивність, швидкість фільтрації й рівень води у фільтрах регулюється засувками сирого й чистої води $D_y = 600$ мм (рис. 3.9). Швидкість фільтрації визначається шляхом виміру зменшення величини об'єму води за одиницю часу. Рівень води на фільтрах повинен бути 1,7—2,0 м над фільтруючим завантаженням (рис. 3.10).



Рис. 3.7. Фільтри



Рис. 3.8. Завантаження фільтрів



Рис. 3.9. Засувки сирої й чистої води



Рис. 3.10. Рівень води на фільтрах

Процес проходження води через фільтри наступний. Від загального колектора відстояної води $D_y = 1400\text{—}1000$ мм, по трубопроводах $D_y = 600$ мм через регульовані засувки вода подається по каналу через жолоби на фільтруючий шар активованого вугілля й цеолітової крихти й розподіляється за допомогою підтримуючого дренажного пристрою — яким є

полімербетонні плити (рис. 3.11). Через збірні жолобки вода попадає в збірний канал чистої води й через засувку з $D_y = 600$ мм надходить у резервуар чистої води.



Рис. 3.11. Заповнення фільтрів водою для фільтрації

При промиванні фільтра його роботу зупиняють, промивна вода подається знизу через дренажний пристрій і проходить через фільтруючий шар у зворотному напрямку (рис. 3.12). Швидкість проходження через фільтр промивної води в кілька разів більше швидкості фільтрування. Вода збаламучує фільтруючий шар й інтенсивно відмиває його від бруду, що накопичився в процесі фільтрування забруднень.



Рис. 3.12. Дренажні пристрої

Інтенсивність промивання 15—17 л/сек. м², час промивання — 6—8 хв. Періодичність промивання встановлюють залежно від втрат напору й швидкості фільтрації. Якщо протягом тривалого часу не спостерігається погіршення якості води, фільтр миється не рідше одного разу на дві доби.

Для промивання фільтрів є 2 промивних баки, ємністю 500 м³ кожний. Подача води в промивні резервуари здійснюється насосами, розташованими в будинку ЦДП, з резервуарів чистої води, або по трубопроводу $D_y = 500$ мм безпосередньо з насосної станції 2-го підйому. Огляд фільтруючого завантаження виконується періодично й довантажуються до проектних відміток. Мийка й дезінфекція фільтрів виконується 1 раз у рік. На рис. 3.13 наведена схема фільтрації води та промивки фільтра.

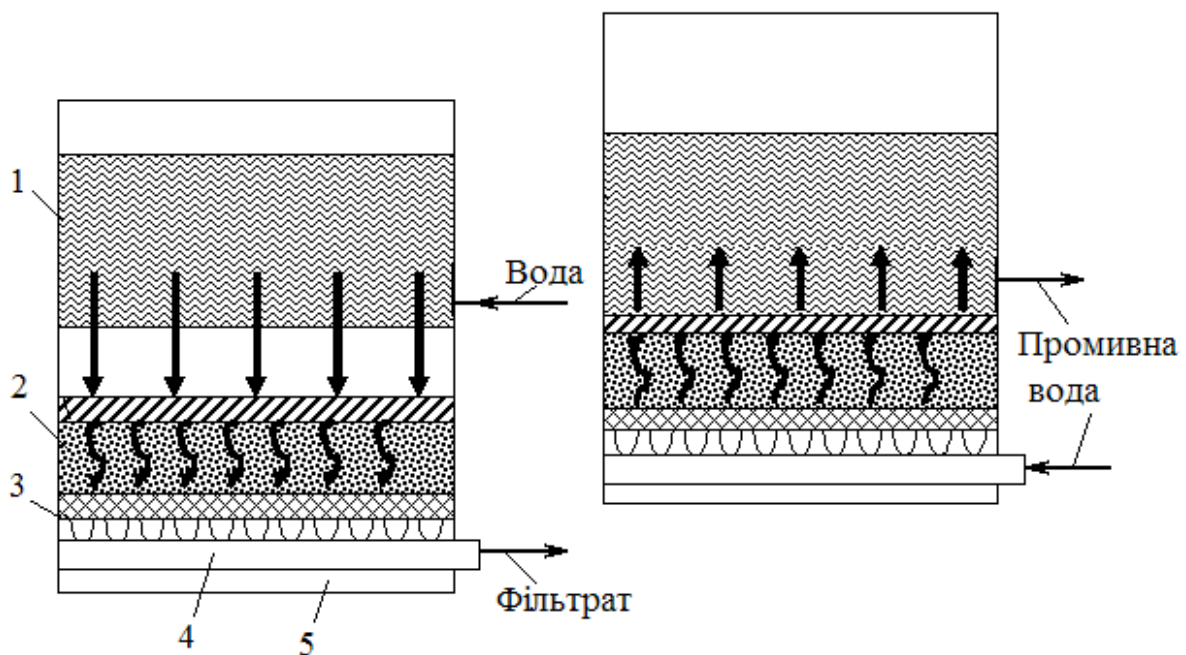


Рис. 3.13. Схема фільтрації води та промивки фільтра: 1 — активоване вугілля; 2 — цеоліт; 3 — бетонна підлога; 4 — збірні жолоба; 5 — збірний канал

Чиста вода від кожного блоку фільтрів передається самопливом по трубопроводу $D_y = 1400$ мм у резервуари чистої води. Залишковий хлор у колекторі фільтрів повинен бути в межах 1,4—1,6 мг/л.

На майданчику очисних споруджень є 4 резервуари чистої води, $48,0 \times 48,0 \times 4,5$ м, ємність 10000 м^3 кожний. Резервуари обладнані вхідними й вихідними засувками $D_y = 1400$ мм, каналізаційними засувками $D_y = 400$, спецвентиляцією, пунктами роздачі води, місцем відбору проб без доступу в РЧВ. У резервуарах встановлені рівнеміри з виносом параметрів на щит диспетчерського пункту.

Час перебування води в резервуарах — $1,5\text{—}2,0$ години, залишковий хлор після резервуарів — $0,8\text{—}1,2 \text{ мг/дм}^3$ по зв'язаному або $0,3\text{—}0,5 \text{ мг/дм}^3$ по вільному. Нормальний робочий рівень води в резервуарах становить $3,5\text{—}4,0$ м. Промивання й дезінфекція РЧВ виконується за графіком, погодженим з місцевими органами СЕС, не рідше 1 разу на рік.

При експлуатації РЧВ обслуговуючий персонал керується «Правилами технічної експлуатації систем водопостачання й каналізації населених пунктів України» [10] й експлуатаційними інструкціями, погодженими з органами СЕС.

Вода з резервуарів чистої води по трубопроводах з $D_y = 1400$ мм надходить на насосну станцію 2-го підйому. Насосами 2-го підйому вода, з напором до $1,0 \text{ МПа}$, по трьох водоводах подається споживачам.

3.3. Норми технологічного режиму

Витрата реагентів на очисній станції залежить від якості вихідної води р. Дніпро з урахуванням пори року й розраховується виходячи з витрати минулого року з урахуванням середніх показників за кілька років. Середньорічна доза хлору складає $8,0\text{—}9,0 \text{ г/м}^3$, а доза коагулянту — $12,0\text{—}15,0 \text{ г/м}^3$. Мінімальна витрата коагулянту становить $5,0 \text{ г/м}^3$, максимальна — $90,0 \text{ г/м}^3$. Концентрація застосовуваних коагулянтів — $5,0\text{—}10,0 \%$ по товарній речовині. Кількість подаваних реагентів наведено в табл. 3.2—3.5.

Табл. 3.2. Розрахунок витрати рідкого хлору залежно від дози хлору й продуктивності насосних агрегатів

Доза хлору, г/м ³	Продуктивність нас. агрегатів, м ³ /год	Витрата хлору, кг /год		
		Загальний	Нова черга	Стара черга
3,0	23000	69	24	45
3,5	23000	80	27	53
4,0	23000	92	30	62
4,5	23000	103	35	68
5,0	23000	115	38	77
5,5	23000	126	42	84
6,0	23000	138	46	92
6,5	23000	150	50	100
7,0	23000	160	53	107
7,5	23000	173	57	116
8,0	23000	184	61	123
8,5	23000	196	65	131
9,0	23000	207	69	138
9,5	23000	219	73	146
10,0	23000	230	77	153

Табл. 3.3. Розрахунок загальної витрати рідкого хлору на первинне хлорування залежно від дози хлору й продуктивності насосних агрегатів

Доза хлору, г/м ³	Продуктивність нас. агрегатів, м ³ /год	Витрата хлору, кг/год
1	2	3
1,0	23000	23
1,1	23000	25
1,2	23000	28
1,3	23000	30
1,4	23000	32
1,5	23000	35
1,6	23000	37
1,7	23000	39
1,8	23000	41

Продовж. табл. 3.3.

1	2	3
1,9	23000	44
2,0	23000	46
2,1	23000	48
2,2	23000	51
2,3	23000	53
2,4	23000	55
2,5	23000	58
2,6	23000	60
2,7	23000	62
2,8	23000	64
2,9	23000	67
3,0	23000	69

Швидкість руху води в змішувачі — 1,0 м/сек, в отворах після камери реакцій перед відстійниками — 0,3 м/сек. Швидкість руху води у відстійниках — 31,0—32,0 м/год. Швидкість фільтрації при нормальному режимі — 8,0—10,0 м/год., при форсованому — 10,0—12,0 м/год. Обмін води в РЧВ — 1,7—2,0 години [11].

Табл. 3.4. Розрахунок витрати рідкого хлору для вторинного хлорування

Доза хлору, г/м ³	Продуктивність нас. агрегатів, м ³ /год	Витрата хлору, кг/год
0,1	23000	2,3
0,2	23000	4,6
0,3	23000	6,9
0,4	23000	9,0
0,5	23000	12,0
0,6	23000	14,0
0,7	23000	16,0
0,8	23000	18,0
0,9	23000	21,0
1,0	23000	23,0

Табл. 3.5. Розрахунок витрати коагулянту залежно від продуктивності насосних агрегатів й дози коагулянту

Доза, г/м ³	Продуктивність тис. м ³ /добу	Витрата коагул., кг/добу	Доза, г/м ³	Продуктивність тис.м ³ /добу	Витрата коагул., кг/добу
5	480	2400	5	550	2750
10	480	4800	10	550	5500
15	480	7200	15	550	8250
20	480	9600	20	550	11000
25	480	12000	25	550	13750
30	480	14400	30	550	16500
35	480	16800	35	550	19250
40	480	19200	40	550	22000
45	480	21600	45	550	24750
50	480	24000	50	550	27500

3.4. Собівартість питної води

Собівартість питної води та повна планова собівартість послуг з централізованого водопостачання та водовідведення визначається підприємством виробником відповідно до Постанови Кабінету Міністрів № 959 від 12 липня 2006 року [12].

До основних складових собівартості відносять витрати з операційної діяльності, адміністративні, загально виробничі та фінансові витрати.

До складу прямих матеріальних витрат включаються витрати, пов'язані з використанням:

1) палива та електроенергії на технологічні потреби (Витрати на паливо та електроенергію визначаються виходячи з обсягу підйому та подачі води, пропуску стічних вод, їх очищення, норм питомих витрат паливно-енергетичних ресурсів, установлених відповідно до законодавства, з урахуванням особливостей

технологічних процесів підприємства і діючих цін (тарифів) на паливно-енергетичні ресурси, але не вище цін, що склалися на відповідному ринку. У розрахунку витрат, пов'язаних з використанням електроенергії на технологічні потреби, також враховуються витрати на зумовлену електромагнітною незбалансованістю електроустановок технологічно шкідливу циркуляцію електроенергії між джерелами електропостачання та приймачами змінного електричного струму);

2) реагентів для очищення і знезаражування питної води та стічних вод (Такі витрати визначаються виходячи з планованого обсягу подачі води, пропуску стічних вод, доз реагентів та цін на них, але не вище ринкових, з урахуванням транспортно-заготівельних витрат. Потреба в реагентах визначається відповідно до порядку, встановленого законодавством, з урахуванням якості вихідної води і прийнятих на підприємстві технологічних схем очищення, що використовуються, та технологічних регламентів);

3) питної води, яка придбавається в інших підприємствах відповідно до укладених договорів (витрати плануються виходячи з обсягу подачі питної води, передбаченого річним планом виробництва і надання послуг з централізованого водопостачання та водовідведення, і цін підприємств-постачальників);

4) матеріалів, запасних частин, купованих комплектувальних виробів, напівфабрикатів та інших матеріальних ресурсів, необхідних для забезпечення технологічного процесу (витрати визначаються на основі норм використання таких ресурсів та планованих цін (тарифів) на них з виключенням вартості зворотних відходів).

Також до основних матеріальних витрат відносять:

1) витрати з основної та додаткової заробітної плати виробничого персоналу, діяльність якого безпосередньо пов'язана з технологічним процесом виробництва і наданням послуг централізованого водопостачання та водовідведення, що визначаються виходячи з чисельності персоналу за штатним розписом, установлених на підприємстві тарифних ставок

(окладів), відрядних розцінок для робітників та посадових окладів для керівників, фахівців, технічних службовців;

2) внески на загальнообов'язкове державне соціальне страхування для виробничого персоналу;

3) амортизація основних виробничих засобів, інших необоротних матеріальних і нематеріальних активів виробничого призначення;

4) плата за оренду об'єктів виробничого призначення (у разі їх наявності);

5) вартість води для промивки мереж та обладнання;

6) витрати на опалення, освітлення, дезінфекцією, дератизацією виробничих приміщень, вивезенням сміття, та інші витрати, пов'язані з експлуатацією виробничих приміщень, які розраховуються виходячи з обсягів зазначених робіт, послуг та цін на них;

7) обслуговування виробничого процесу та інших допоміжних виробництв (використання малоцінних і швидкозношуваних предметів, забезпечення охорони праці, дотримання вимог техніки безпеки, обов'язкове страхування водіїв автотранспортних засобів, послуги інших підприємств, службові відрядження працівників ремонтних цехів та інших допоміжних виробництв, послуги зв'язку);

8) витрати на охорону навколишнього середовища та удосконаленням технології й виробництва;

9) податки, збори (обов'язкові платежі).

Найбільшою складовою собівартості питної води, що виробляється, є витрати на електричну енергію — 59,5 % (табл. 3.6).

Впровадження на водопідготовчих підприємствах енергозберігаючих заходів, таких як встановлення частотних перетворювачів, заміна високовольтних електродвигунів на низьковольтні, дозволять суттєво знизити собівартість питної води.

Таблиця 3.6. Складові собівартості питної води (за даними планово-фінансового відділу водопідготовчого підприємства)

Складові	Відсоток від загальних витрат
Електроенергія	59,5
Утримання основних засобів	0,09
Реагенти	4,59
Ремонт основних засобів	1,01
Фонд оплати праці (ФОП)	9,06
Нарахування на ФОП	3,43
Амортизація	2,56
Загально виробничі витрати	19,7
Інші витрати	0,06
Разом	100

3.5. Напрями удосконалення технології водопідготовки на водозаборах та заходи з енергозбереження

В зв'язку з антропогенною діяльністю, використанням хімічних добрив в сільському господарстві, розвитком транспорту та застосуванням нових технологій в промисловості відбувається постійне забруднення поверхневих джерел водопостачання, що призводить до ускладнення процесу водопідготовки для господарчо-питного водоспоживання Дніпропетровського регіону.

Діючі технологічні схеми водопідготовки на водоводах України запроектовані та задіяні десятки років тому та не можуть забезпечити більшість з вимог до показників якості питної води згідно нових санітарних норм і правил.

Забруднення поверхневих джерел, високозатратність, недостатнє фінансування держави в вирішенні завдань водопостачання і систематичне недофінансування галузі, стримування економічно обґрунтованого зростання тарифів на

послуги водопостачання та каналізування, різке зношення основних фондів та висока аварійність вимагають невідкладних заходів щодо реконструкції та розвитку водопровідних господарств.

В умовах, що склалися, необхідно направляти основні зусилля на удосконалення технологій очищення води на водопровідних станціях. Підвищення бар'єрної ролі очисних споруд та збільшення надійності очищення можливе лише шляхом доповнення існуючих технологічних схем водопідготовки іншими сучасними методами.

Необхідно передбачити заходи щодо реконструкції споруд водопровідних станцій, модернізацію їх обладнання для покращення якості води, яка подається споживачам, підвищення екологічної безпеки і безпечної експлуатації споруд, комплексну реконструкцію існуючих насосних станцій I-го, II-го, III-го підйомів, реконструкцію енергогосподарства. Враховуючи роки введення в експлуатацію споруд водопровідних насосних станцій та терміни експлуатації насосного обладнання, а також виробничу необхідність переходити на енергозберігаючі технології, такі споруди потребують реконструкції та модернізації з заміною існуючого обладнання на сучасне енергозберігаюче з застосуванням частотного регулювання електроприводів насосних агрегатів. При цьому треба врахувати заходи щодо автоматизації, диспетчеризації технологічного процесу насосних станцій і водопровідних мереж, та телемеханізації водопровідних споруд а також реконструкцію резервуарів чистої води.

Для підвищення контролю якості води та збільшення контролюємих показників (ПАВ, тригалометани та ін.) є необхідним переоснащення існуючих лабораторій підприємства відповідно до сучасних вимог та забезпечення новітніми лабораторними приладами.

Крім того необхідно передбачити перспективні споруди забору та подачі води у міську систему водопроводу, що дозволить для водопостачання сезонно використовувати джерела

поверхневих вод гарантовано кращих показників якості сирової води і завдяки цьому економити на застосуванні реагентів та варіантах технологічних ланцюгів.

На початок 2011 року середній відсоток зносу основних засобів водопідготовчих станцій становить 54,2 %; загальний технічний стан деяких діючих споруд незадовільний, обладнання морально застаріле.

Модернізація систем знезараження води на насосних станціях I, II, III-го підйомів з переходом від рідкого хлору на електролізний низько концентрований гіпохлорит, який можна отримувати безпосередньо на місці застосування зі звичайної солі, дозволить забезпечити ефективне знезаражування та захист від відомих патогенних (хвороботворних) бактерій, вірусів, грибкових інфекцій, а також значно зменшити ризики, пов'язані з застосуванням газоподібного хлору. Безпека населення пгт. Аули, а також персоналу на водопровідних спорудах підприємства забезпечиться виключенням транспортування великих партій реагенту, зберігання та дозування висококонцентрованих розчинів реагенту або газоподібного хлору.

Для оптимізації та підвищення ефективності роботи існуючих насосних станцій та можливості здійснення контролю та регулювання гідравлічного режиму водопровідної мережі необхідно передбачити заходи для впровадження автоматизації, диспетчеризації технологічного процесу насосних станцій і водопровідних мереж, організації локального збору телемеханічної інформації, відображення даної інформації на насосних станціях, архівацію даних, ведення ретроспективи для подальшого аналізу, оптимізувати контроль якості води.

Найважливішим елементом системи водопостачання є водопровідна мережа. З моменту потрапляння питної води в мережу безпека питного водовикористання цілком залежить від правильної експлуатації санітарного та технічного стану трубопроводів. Близько 20 % від загальної кількості мереж підприємства мають вичерпаний термін амортизації. Більшість

сталевих та чавунних трубопроводів мають термін експлуатації понад 15 років. Тому необхідно поступово почати замінювати застарілі трубопроводи на нові пластикові. З метою електрохімічного захисту сталевих трубопроводів від корозії на мережі необхідно встановити і задіяти катодні станції, електричні дренажі та протектори. Враховуючи термін експлуатації водопровідних мереж зі сталевих труб існуючі системи електрохімічного захисту теж потребують реконструкції та заміни обладнання.

Одним з елементів удосконалення технології водопідготовки є застосування широкого спектру високоефективних коагулянтів та флокулянтів, які б забезпечували високий ступінь очищення незалежно від джерела природної води, її складу, кліматичних умов. В інституті біоорганічної хімії та нафтохімії НАН України розроблено високоефективний неорганічний коагулянт-флокулянт, до складу якого входять кремнієві кислоти, що отримав технічну назву “Сизол-2500”. Реагент пройшов токсиколого-гігієнічну експертизу та одержав дозвіл МОЗ України для використання за призначенням. Виготовлені технічні умови на реагент. За даними детальних лабораторних досліджень впливу “Сизол-2500” на процес очищення вод різної природи було визначено його високу ефективність. Використання цього реагента порівняно з традиційним коагулянтом — сульфатом алюмінію забезпечує такі переваги: 1) збільшується густина зкоагульованих частинок, процес плас-тівцеутворення і осадження пластівців прискорюється; 2) зростає глибина очищення води за рахунок ефективного видалення в осад зкоагульованих часток і видалення домішок, які погано видаляються іншими реагентами; 3) виключається добавлення підлужуючих розчинів; 4) розширюється область оптимальних значень pH ; 5) суттєво поліпшується процес очищення води в холодний період року; 6) від 2 до 9 разів зменшується вміст залишкового алюмінію в очищеній воді.

Будівництво станцій зневоднення осадів, споруд утилізації та повернення промивних вод на водопровідній станції також є актуальним питанням.

Перелік використаних джерел

1. Вода питьевая. Гигиенические требования и контроль за качеством. ГОСТ 2847-82. — М., 1982. — 5 с.
2. Закон України “Про питну воду та питне водопостачання” від 10 січня 2002 р. № 2918-III.
3. Кульский Л. А. Теоретическое обоснование технологии очистки воды. Текст / Л. А. Кульский. — Киев : Наук. думка, 1968. — 127 с.
4. Кульский Л. А. Справочник по свойствам, методам анализа и очистки воды. — К. : Наукова думка, 1980. — Т. 1.
5. Кульский Л. А. Справочник по свойствам, методам анализа и очистки воды. — К. : Наукова думка, 1980. — Т. 2.
6. Минц Д. М. Теоретические основы технологии очистки воды. — М., 1964.
7. Кузубова Л. И., Кобрина В. Н. Химические методы подготовки воды (хлорирование, озонирование, фторирование): Аналит. обзор / СО РАН, ГННТБ, НИОХ. — Новосибирск : 1996. — 132 с.
8. “Правила приймання стічних вод підприємств у комунальні та відомчі системи каналізації населених пунктів України”, затверджені наказом № 37 Держбуду України 19 лютого 2002 року.
9. Временная инструкция по проектированию сооружений для очистки поверхностных сточных вод: СН 496-77 / Госстрой СССР. — 1977. — № 78. — 25 с.
10. Наказ Державного комітету України по житлово-комунальному господарству № 65 від 01.07.1994р. Режим доступу: <http://zakon.rada.gov.ua>
11. Николадзе Г. И. Коммунальное водоснабжение и канализация: Учебник для техникумов. / Г. И. Николадзе. — М. : Стройиздат, 1983. — 423 с.
12. Постанова Кабінету Міністрів України "Про затвердження Порядку формування тарифів на послуги з централізованого

водопостачання та водовідведення " № 959 від 12 липня 2006 р. Режим доступу: <http://zakon.rada.gov.ua>

13. Лурье Ю. Ю. Унифицированные методы анализа вод. — М. : Химия, 1973.

14. СанПиН 4630-88. Санитарные правила и нормы охраны поверхностных вод от загрязнения: затвердж. МОЗ СРСР 04.07.1988, № 4630-88.

Розділ 4. ПЕРЕДОВІ ТЕХНОЛОГІЇ ВОДОПІДГОТОВКИ ЗА КОРДОНОМ

В даний час у всьому світі все більше уваги приділяється пошуку нових перспективних методів очищення питної води: економічніше вигідних, простих в експлуатації і надійніших в порівнянні з традиційними. Розглянемо технології провідних країн.

4.1. Російські технології

Технології підготовки питної води в Росії, вживані водоканалами для питного водопостачання міст і селищ, багато в чому схожі з методами, вживаними в Україні, але вони мають і ряд істотних особливостей. Ці особливості обумовлені масштабами систем, необхідністю транспортування очищеної води по протяжних мережах та історичними особливостями створення і модернізації подібних об'єктів. У багатьох випадках це промислове очищення води з поверхневих джерел: річок, озер водосховищ. Наприклад, система водопостачання Москви, що історично склалася, на 99,8 % використовує поверхневі водні об'єкти. Гарантована водоотдача Волжської, Моськворецької і Вазузської водних систем складає відповідно 81, 32 і 19 м³/с; корисний об'єм водосховищ — 2262 млн. м³, площа водозбору — більше 55 тис. км² (у Московській, Смоленській і Тверській областях).

Під час руху від водоочисної станції до споживача вода піддається усебічному контролю. 10 лабораторій Мосводоканала щодоби виконують близько 5000 аналізів. Складні дослідження проводяться в спеціалізованих аналітичних центрах. Всього визначається близько 150 фізико-хімічних і 20 біологічних показників якості, а результати автоматично передаються в систему соціально-гігієнічного моніторингу міста. Лабораторіям

допомагають автоматичні аналізатори якості води, які в режимі онлайн визначають основні параметри води по стадіях очищення і у водопровідній мережі. Щоб оперативно реагувати на зміну складу природної води, рік тому на підмосковних річках було встановлено сім станцій автоматичного моніторингу. Вони аналізують якість і по мобільному зв'язку передають інформацію на диспетчерські пульти Мосводоканала. В разі виникнення забруднення природного джерела фахівці, знаходячись за багато кілометрів, можуть оперативно приймати рішення і реагувати на ситуацію, що склалася: змінити технології очищення і обмежити забір води, прийняти заходи по усуненню причини забруднення.

Промислове очищення води з поверхневих джерел в Росії зазвичай включає декілька стадій, визначуваних складом вихідної води. В більшості випадків в ці стадії, як правило, входить первинне хлорування, коагуляція, освітлення води за допомогою завантаження, що фільтрує, дезінфекція і вторинне хлорування для консервації води перед подачею споживачеві. Популярність такої технології в Росії обумовлена тим, що тривалий час вона була поза конкуренцією з економічної точки зору і залишалася при цьому досить ефективною. Останніми роками ситуація змінилася з багатьох причин: унаслідок погіршення якості вихідної води і появи великої кількості забруднень антропогенної природи, із-за появи нових технологій і посилювання екологічних вимог до очищеної води, особливо, по ГДК хлорорганічних з'єднань, що неминуче утворюються при хлоруванні. Тому в багатьох містах Росії стали модернізувати підприємства водопідготовки і використовувати нові методи підготовки питної води. До їх числа відносяться мембранні методи і озонування [1].

4.1.1. Мембранні методи

Довгий час вважалося, що мембранні технології мають високу вартість й тому не придатні для масового вживання у водоочистці. Проте останнім часом стався прорив у виготовленні мембранних матеріалів, різко здешевилися готові елементи, підвищилася їх

продуктивність, знизилася енерговитрати і витрати на обслуговування. Все це дозволило мембранним технологіям, значно перевершуючи по результатах традиційні методи очищення, скласти їм серйозну конкуренцію і витіснити їх з ринку очищення води.

В даний час розроблені і виготовляються різні типи мембран:

- 1) ультрафільтраційні мембрани;
- 2) композитні обратноосмотичні високо-і низьконапірні мембрани;
- 3) мікрофільтраційні мембрани.

Сфери застосування мембранних технологій для очищення води наступні:

- а) очищення поверхневих вод;
- б) очищення стічних вод;
- в) знезараження питної води;
- г) повернення промивної води;
- д) передфільтрація при опрісненні морської води [2].

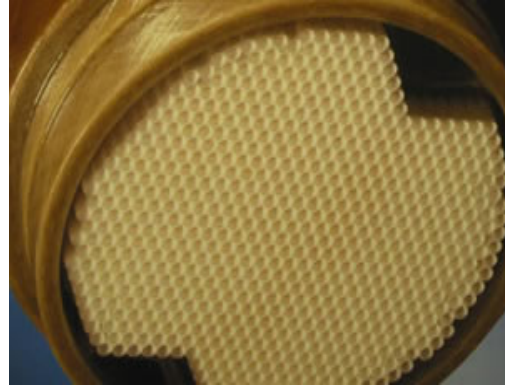
Ультрафільтрація — процес відділення механічних часток від рідини на напівпроникній мембрані. Розміри пір ультрафільтраційних мембран вагаються від 0,01 мкм до 0,1 мкм. Такий розмір пір дозволяє фільтрувати, окрім механічних суспензій, органічні речовини з великою молекулярною масою. Основне призначення ультрафільтрації — захист від бактерій при отриманні питної води [3].

Найбільшого поширення в Росії набули трубчасті і волокнисті ультрафільтраційні мембрани (рис. 4.1), призначені для роботи з великими значеннями каламутності (до 36 г/дм³) й інтервалом робочого тиску 0,5—3 бар. На рис. 4.2 показані конструктивні рішення натискової та вакуумної ультрафільтрації.

Мембранні елементи виготовляються в двох конструктивних виконаннях: рулонні та трубчасті.



a



б

Рис. 4.1. Ультрафільтраційні мембрани: *a* — зовнішній вигляд ультрафільтраційного елемента; *б* — вид з торцю трубчатого мембранного елемента



a



б

Рис. 4.2. Конструктивні рішення натискової (*a*) та вакуумної (*б*) ультрафільтрації

Рулонні мембрани працюють при значенні каламутності вхідної води до $0,5 \text{ мг/л}$ і використовуються для доочистки питної води або для стерилізації розчинів.

Трубчасті і волокнисті мембрани працюють при значенні каламутності вхідної води до 40 мг/дм^3 . Ці елементи можуть працювати з поверхневими і стічними водами. На рис. 4.3 показані вживані на водоочисних станціях Росії схеми фільтрації.

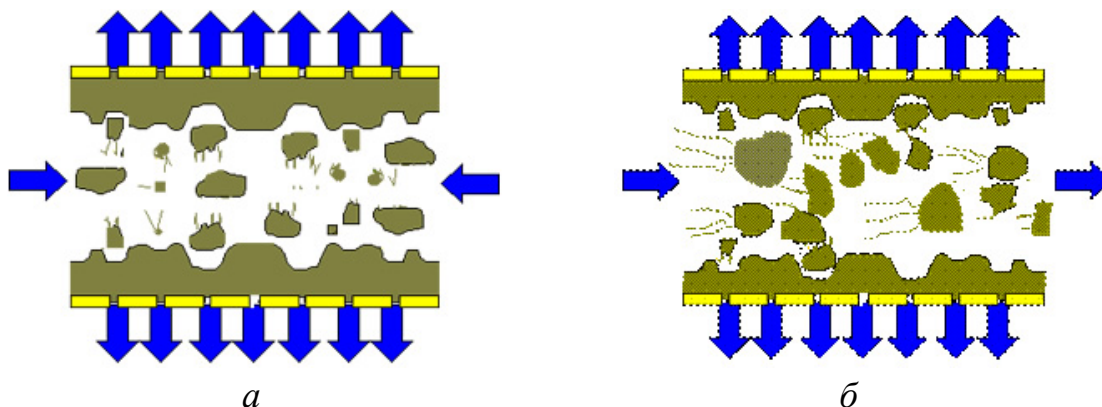


Рис. 4.3. Схеми фільтрації: а — “Тупік”; б — “Наскрізний потік”

Переваги схеми фільтрації “Тупік” наступні:

- 1) проста реалізація процесу;
- 2) низьке споживання енергії;
- 3) невисока вартість проекту;
- 4) фільтрат 92—95 % в один ступінь;
- 5) фільтрат 99—99,2 % в два ступені.

Дану схему застосовують для фільтрації середовищ з мутністю води до 50 мг/дм³.

Переваги схеми фільтрації “Наскрізний потік” наступні:

- 1) швидкий потік уздовж поверхні волокна;
- 2) повільне нарощування шару забруднень на поверхні волокна;
- 3) безперервна зміна концентрату в волокні.

Дану схему застосовують для фільтрації середовищ з мутністю води від 200 мг/л до 40000 мг/л.

Очищаючи вихідну воду від механічних суспензій, колоїдів і органічних речовин, ультрафільтраційні мембрани не змінюють содового складу води.

За капітальними і експлуатаційними витратами ультрафільтраційна технологія стала конкурентоздатною для використання в комунальному водопостачанні з 2008 року, не говорячи вже про спеціальні галузі, де потрібна особливо висока якість води.

Ціна в капітальних витратах на устаткування за ультрафільтраційною технологією аналогічна звичайному капітальному ремонту на станції водопідготовки, але при цьому

капітальні витрати будівельної частини знижуються в 3—4 рази. На рис. 4.4 і рис. 4.5 показані вживані в містах Росії технології водоочисних станцій (ВОС).



Рис. 4.4. Блок напірних засипних фільтрів



Рис. 4.5. Блок напорної ультрафільтрації

На рис. 4.6 показано вертикальне і горизонтальне виконання монтажу блоку ультрафільтрації, а на рис. 4.7 комплекс блоків.



а



б

Рис. 4.6. Вертикальне (*а*) і горизонтальне (*б*) виконання монтажу блоку ультрафільтрації



Рис. 4.7. Комплекс блоків ультрафільтрації на ВОС

Однією із суттєвих переваг ультрафільтрації також є те, що станція з комплексом блоків може займати досить малі площі. На рис. 4.8 показана схема водоочисної станції з продуктивністю 1200 м³/год, яка розміщується в приміщенні з мінімальними розмірами 22,5 м × 30 м × 8 м [4].

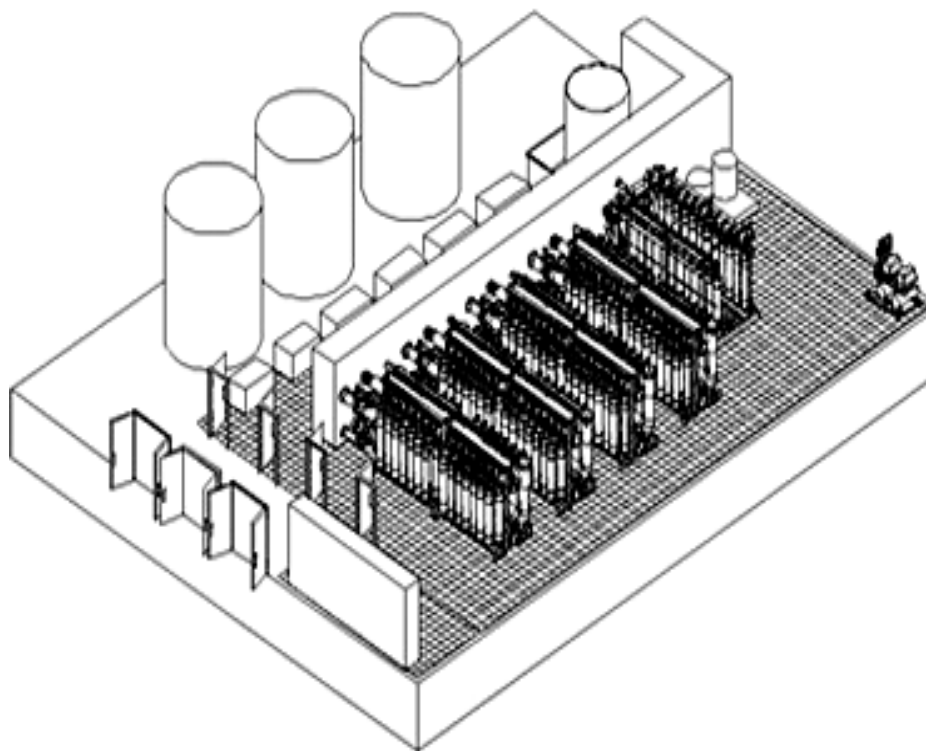
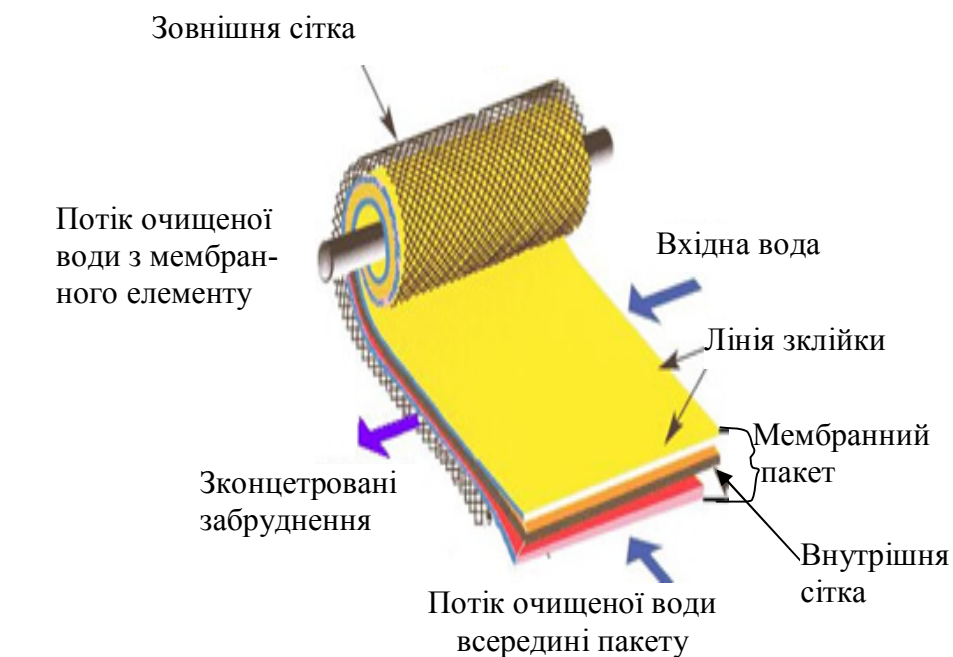


Рис. 4.8. Комплекс блоків ультрафільтрації

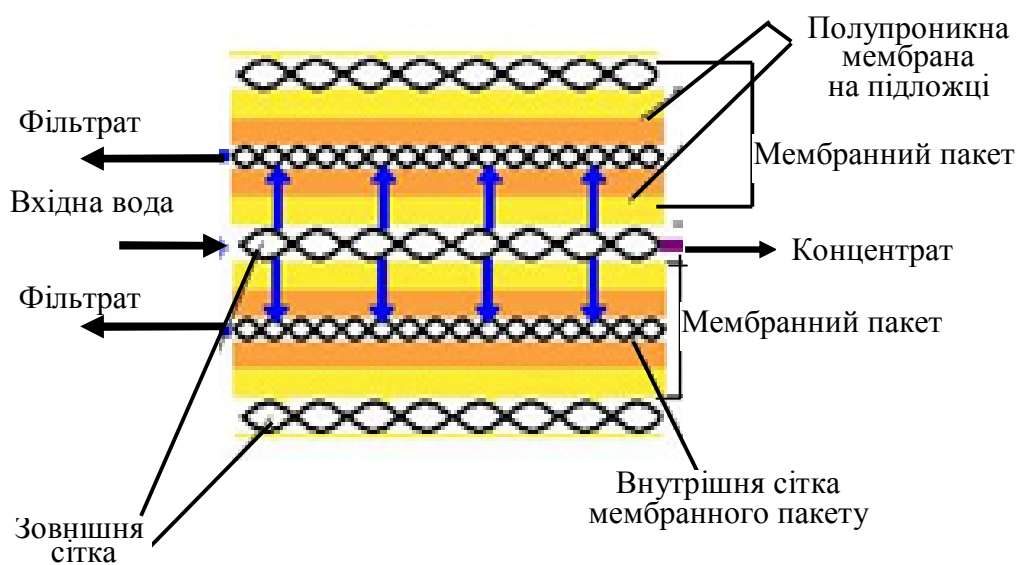
Нанофільтрація і зворотний осмос являє собою очищення води через пори синтетичних композитних мембран, через які проходять молекули чистої води і затримуються солеутворюючі іони і ряд інших мікроелементів, і органічних речовин, що мають значно більший розмір. Області застосування зазначених технологій — підготовка води зі спеціальними характеристиками (для питного водопостачання, виробництва напоїв, фармацевтики, демінералізація, отримання опріснення води, повне видалення органічних речовин і т. п.).

Найбільшого поширення на російських ВОС набули рулонні мембрани, призначені для роботи із значеннями мутності до $0,5 \text{ мг/дм}^3$ з інтервалом робочого тиску 8—40 bar.

На рис. 4.9 показана схема рулонного мембранного елемента.



a



б

Рис. 4.9. Схема рулонного мембранного елементу (*a*) та його поперечний розріз (*б*)

На рис. 4.10 показана установка очищення води зворотним осмосом в контейнерному виконанні [5].



Рис. 4.10. Установка очищення води зворотним осмосом в контейнерному виконанні

Вибір мембранних технологій для очищення води підприємствами водоочищення в Росії викликаний такими їх перевагами: 1) більш висока якість і стабільність технологічного процесу очищення і як наслідок — постійна якість води на виході із системи (тонкість фільтрації зернистих завантажень швидкісних напірних фільтрів становить від 20—30 мкм, а на ультрафільтраційних мембранах 0,05 мкм); 2) більш високий вихід очищеної води в порівнянні зі звичайними технологіями фільтрації (з промивними водами йде від 0,4 до 8 % обробленої води); 3) значне зниження енерговитрат в процесі експлуатації в порівнянні з традиційними схемами фільтрації; 4) значне зниження експлуатаційних витрат (прогнозований термін служби мембран при правильній експлуатації складає 5—10 років, а заміна середовища в сорбційних фільтрах проводиться на підставі результатів дослідження якості води і орієнтовно становить 1 раз в 0,5—2 роки); 5) високий ступінь автоматизації технологічного процесу; 6) зниження дозування хлоровмісного реагенту в очищену воду у зв'язку з тим, що після мембранної фільтрації у воді не містяться мікроорганізми; 7) значне зменшення площ, що

використовуються під очищення стічних вод, що веде до зниження капітальних витрат на будівництво будівель і споруд; 8) зниження питомих навантажень фільтруючих блоків на ґрунт [6].

4.1.2. Озонування

Застосування озонування дозволяє вирішити цілий ряд проблем і значно підвищити якість очищеної води в містах Росії.

Обробкою озону досягаються наступні цілі: 1) зниження кольоровості і збільшення прозорості води; 2) видалення присмаків і запаху (особливо сірководню), обумовлених присутністю сполук мінерального і органічного походження; 3) видалення заліза, марганцю та інших металів (окислення до нерозчинних сполук, схильних до фільтрації, причому, процес окислення озоном проходить набагато швидше, ніж аерація); 4) окислення і розкладання фенольних сполук, сполук азоту (аміак), сірководню, ціанідів тощо; 5) окислення ПАР і нафтопродуктів; 6) значне поліпшення комп-лексних показників вмісту органічних сполук (хімічне поглинання кисню) і сумарного органічного вуглецю за рахунок високої окислювальної здатності; 7) стерилізація і дезінфекція (Практично не відомі мікроорганізми, бактерії, спори і віруси, які стійкі до озону. Дози озону в залежності від складу оброблюваної води, становлять від 0,5 до 5 мг/дм³, час контакту озоноповітряної суміші з водою для ефективного окислення домішок — від 1—2 до 10—15 хв.); 8) значне зменшення кількості токсичних хлорорганічних сполук в очищеній воді; 9) зменшення доз хлору, який додається у воду перед подачею її споживачу за рахунок зниження хлоропоглинаємості води після її озонування.

На рис. 4.11 показаний промислова установка озонування, що застосовується на російських водопідготовчих станціях.



Рис. 4.11. Промислова установка озонування

Однією з переваг озону з гігієнічної точки зору є нездатність, на відміну від хлору, до реакцій заміщення. У воду не вносяться сторонні домішки і не виникають шкідливі для людини сполуки. Особливістю озону є і його швидке розкладання у воді з утворенням кисню, тобто озон володіє повною екологічною безпекою. Час «життя» озону у воді сягає від 10 до 15 хв.

Основні переваги застосування озону в технології промислового очищення води з поверхневих джерел для водоканалів наступні:

- 1) заміна первинного хлорування на первинне озонування;
- 2) запобігання біообрастання фільтруючого завантаження фільтрів-освітлювачів за допомогою їх промивання насиченою озоном водою.

Для озонування на водоочисних станціях в Росії використовуються кисневі озонатори серії К (генератори озону з концентратором кисню). На рис. 4.12 показано зовнішній вигляд кисневого озонатора й розрідна камера.

В установках очищення води генератори озону з концентратором кисню великої і середньої продуктивності мають очевидні переваги перед озонаторами, що використовують повітря як робочу рідину: 1) концентрація озону в кисневих озонаторах в кілька разів більше, ніж у повітряних, що різко зменшує втрати

озону при розчиненні, дозволяє спростити системи введення озону в воду, збільшує надійність обладнання; 2) більша енергетична ефективність, особливо в установках з великою продуктивністю озону.



а



б

Рис. 4.12. Кисневі озонатори серії К: загальний вигляд (*а*), розрядна камера в роботі (*б*)

Розробка енергозберігаючих кисневих озонаторів безпосередньо пов'язана з вибором використовуваного джерела кисню. Це обумовлено тим, що конструкція генератора озону повинна бути узгоджена з якістю використовуваного кисню і тим, що споживача цікавить не енергоспоживання окремо взятого генератора озону, а енергоспоживання всієї системи в цілому (воно може бути в рази більше).

Зараз у Європі широко поширені озонатори, які використовують кисень, випарений з зрідженого (LOX). Такий підхід найбільш енергетично ефективний, але вимагає інфраструктури доставки та зберігання рідкого кисню і пред'являє жорсткі вимоги до організації та безпеки цих процедур.

В Росії та багатьох інших країнах набагато кращим рішенням є автономне виробництво кисню за допомогою короткоциклового концентратора. Енергоспоживання короткоциклового концентратора кисню або осушувача повітря, майже цілком обумовлено енерговитратами компресора, що нагнітає повітря в адсорбери (становить істотну, а іноді, і більшу частину загальних енерго-витрат на виробництво озону). Існують і інші суттєві непрямі витрати енергії, що вносять свій внесок у повне енергоспоживання озонаторної установки. Це можуть бути енерговитрати на додаткову водопідготовку охолоджуючої води озонатора, її додаткове охолодження і т. п.

Суттєву роль також відіграє технологічна простота системи озонування, що включає всі етапи підготовки охолоджуючої води, повітря та інших компонентів. Ці непрямі технологічні процеси можуть істотно впливати на надійність, вартість установки очищення води, складність її обслуговування, кількість персоналу, необхідного для обслуговування, можливість і ступінь автоматизації.

Основну концепція, закладена при розробці кисневих озонаторів нового покоління серії К з вбудованим концентратором кисню — це максимальна енергетична ефективність системи озонування в цілому, а не окремо взятого озонатора, при її максимальній надійності, простоті конструкції та мінімізації обслуговування. Для досягнення цього результату з самого початку оптимізувалася вся система озонування в цілому, а не її окремі складові.

Озонатор має коаксіальну геометрію електродів з водяним охолодженням зовнішніх заземлених електродів. Неохолоджувані високовольтні електроди виготовлені на основі кварцових трубок. Товщина розрядного проміжку близько 1 мм. Така конструкція озонатора забезпечує його високу надійність, невибагливість до параметрів охолоджуючої води і стійкість до пускових режимів. Висока енергетична ефективність досягається оптимізацією форми імпульсів напруги живлення і теплового

розвантаженням розрядного проміжку. ККД джерела імпульсів високої напруги високий за рахунок схеми рекуперації реактивної потужності.

Застосування спеціального типу цеоліту та конструкції концентратора кисню дає можливість різко знизити робочий тиск концентратора кисню до 0,1—0,15 МПа. Це дозволяє не тільки різко знизити енерговитрати на одержання кисню, а й застосувати сучасні нові типи безмасляних компресорів, таких, як двороторний і пластинчато-роторний. Застосування цих компресорів повністю виключає системи конденсато-масловідділення, автоматизує процедуру пуску і вимикання системи і повністю виключає необхідність її обслуговування. Гаряче повітря з компресора відразу подається на вхід концентратора кисню без ризику утворення конденсату в трубопроводах або в адсорберах.

Конструкція озонатора на імпульсному бар'єрному розряді оптимізувалася в найбільш економічну з енергетичної точки зору. Такий підхід дозволив досягти високих концентрацій озону (вище 100 г/м^3), достатніх для мінімізації втрат озону при його використанні, при низьких енергетичних витратах системи (озонатор + концентратор кисню) і повністю виключити всі непрямі витрати енергії. Типові енерговитрати власне генератора озону в такій схемі складають близько $9,5 \text{ кВт}\cdot\text{год/кг}$ озону при концентрації озона 110 г/м^3 , а енерговитрати всієї системи (озонатор + концентратор кисню) не більше $14 \text{ кВт}\cdot\text{год/кг}$. Оптимізація енергетичних витрат системи, а не окремого озонатора, призводить до реальної економії енергії і дозволяє розширити сферу застосування озонаторних установок в областях, де це було неможливо з енергетичних міркувань.

Такі озонатори призначені для завдань, де потрібні озонатори з високою концентрацією озону і високою продуктивністю (очищення питної води міст і селищ, бутілювання води, великі плавальні басейни, виробниче водоспоживання).

Модельний ряд озонаторів серії К включає генератори озону з продуктивністю 10 г/год до 10 кг/год. Можливе об'єднання декількох озонаторів в єдиний модуль із загальним управлінням для отримання генераторів озону більшої продуктивності.

Залежно від складу і кількості забруднень у воді застосовуються озонатори різної продуктивності. Більшість установок на російських водоочисних станціях працюють на озонаторах неосушеного повітря або на озонаторах з концентратором кисню, що значно зменшує розміри і вагу озонатора, споживану електро-енергію і продовжує термін служби установок промислового очищення води. Установки, не вимагають витратних матеріалів. Технічні характеристики озонаторів приведені в табл. 4.1.

Таблиця 4.1. Технічні характеристики озонаторів

Найменування	Розміри, мм	Маса, кг	Потужність, Вт	Продуктивність г/год	Концентрація г/м ³	Зовнішній вигляд
10K	600×500×1250	40	110	10	100	
20K	600×500×1250	45	210	20	100	
30K	600×500×1250	50	310	30	100	
50K	600×600×1300	60	500	50	100	
100K	700×700×1550	80	1000	100	100	
150K	700×700×1550	100	1500	150	100	
200K	800×800×1600	150	2000	200	100	
250K	800×800×1700	200	2500	250	100	

Продовж. табл. 4.1.

300K	800×800×1700	230	3000	300	100	
400K	1500×600×1300	350	4000	400	100	
500K	1500×700×1400	450	5000	500	100	
600K	1500×700×1400	470	6000	600	100	
700K	1500×900×1500	570	7000	700	100	
800K	1500×900×1500	600	8000	800	100	
900K	1500×1200×1550	700	9000	900	100	
1000K	1500×1200×1550	800	10000	1000	100	
1200K	1500×900×1700	900	12000	1200	100	
1500K	1500×900×1700	1200	15000	1500	100	
2000K	1500×1200×1800	1600	20000	2000	100	
2500K	1500×1200×1800	2000	25000	2500	100	
3000K	1500×1200×1800	2300	30000	3000	100	

Розвиток нових технологій і здешевлення виробництва мембран, а також поява нових підходів до їх експлуатації, роблять ультрафільтраційний метод промислового очищення води все більш конкурентоспроможним, особливо, у поєднанні з озонуванням. Застосування цих двох методів має яскраво виражений енергетичний ефект. Ці підходи реалізовані в установках серії Pozitron 1 (рис.4.13).



Рис. 4.13. Установка Pozitron 1

У цих установках використовуються сучасні малонапірні мембрани при двухступенчатому нагнітанні з використанням залишкового тиску після ультрафільтраційної мембрани. Технічні рішення, реалізовані в установках цього типу, роблять застосування зворотнього осмосу доступною і зручною в експлуатації технологією.

На деяких водоочисних станціях додатково використовують ще й ступінь зворотнього осмосу. За допомогою такого методу можуть бути усунені іони металів, амонію, фтору та інші домішки в іонній і молекулярній формі. Ця технологія чудово поєднується з озонуванням і ультрафільтрацією, так як попередня глибоке очищення води перед фільтрацією через мембрану зворотного осмосу у багато разів збільшує термін служби мембран до циклу промивання й повний термін їх експлуатації [8].

4.2. Технології Великобританії

Система водопостачання Лондона або Темзенське водопровідне кільце — це одна з найсучасніших у світі систем водопостачання вартістю у 375 мільйонів доларів.

Забезпечити водою шість мільйонів людей — це складне завдання. Витрата змінюється не тільки від сезону до сезону, але і день у день. Тому ведеться цілодобове стеження за тим, щоб підтримувалися правильний тиск і якість води. Забезпечується подібний контроль за допомогою системи комп'ютерного управління вартістю в 5 мільйонів доларів.

У кожному колодязі насос управляється окремим комп'ютером. Головні комп'ютери встановлені в Хемптоні, на заході Лондона, і керують всією мережею. По трубопроводу пролягає волоконно-оптичний кабель, він посиляє дані в комп'ютери, а вони передають інформацію по замкнутій телемережі.

Якість води в Лондоні перевіряється щодня, щотижня і щомісяця. Контроль якості включає 60 обов'язкових перевірок на

120 речовин. Вода перевіряється на зміст нітратів, мікроелементів, пестицидів та інших хімічних сполук. Вимірювання проводяться автоматично і передаються в головне комп'ютерне управління для розшифровки та вжиття заходів, якщо необхідно. Дегустатори також періодично перевіряють якість води.

Темзенске водопровідне кільце забезпечує мешканців Великого Лондона (площа — 1500 км^2) 583 мільйонами літрів питної води на день.

Наряду з відстоюванням, освітленням, коагуляцією та ін. для очищення води з Темзи використовуються зворотний осмос, електродеіонізація, ультрафільтрація, знезараження [9]. Розглянемо детальніше технологію їх використання.

4.2.1. Зворотний осмос

Зворотний осмос — це процес, при якому молекули розчинника (води) під дією тиску рухаються з розчину (води, яка містить домішки) в чистий розчинник (в воду). Якщо з боку розчину прикласти тиск, що перевищує осмотичний, то молекули води з розчину будуть вільно проникати в чисту воду (рис. 4.14, а).

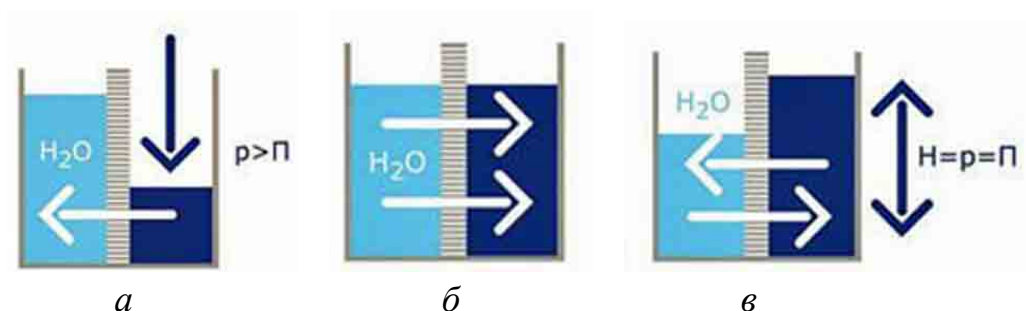


Рис. 4.14. Схеми руху води через мембрану: H — висота стовпа води, P — тиск, Π — осмотичний тиск

Принцип дії осмосу заснований на тому, що рухливість молекул води більше рухливості розчинених у ній речовин. Найбільше застосовують технологію осмосу через напівпроникну мембрану. Така мембрана розділяє розчин (воду з домішками) і чистий

розчинник (воду) внаслідок чого концентрація води в розчині виявляється менш високою, оскільки там частина її молекул заміщена на молекули розчиненої речовини. Тому переходи частинок води з відсіку, що містить чисту воду, в воду з домішками, відбуватиметься частіше, ніж в протилежному напрямку (рис. 4.14, б). Відповідно, обсяг води з розчиненими домішками збільшується, а обсяг чистої води зменшується. Тиск, при якому між двома рідинами настає рівновага, називають осмотичним (рис. 4.14, в).

З огляду на те, що напівпроникна мембрана, що розділяє дві рідини, пропускає в основному тільки молекули води, з одного боку може бути отримана чиста вода без домішок, з іншого боку сконцентрований розчин солей.

Широке впровадження мембранних процесів для очистки води в Англії почалося з використання полімерних мембран — пристроїв, в яких вода проходить фільтрацію через напівпроникну синтетичну плівку. Основна відмінність мембран від звичайних фільтруючих середовищ полягає в тому, що видаляемі домішки затримуються не в обсязі, а лише на поверхні мембрани.

Процес очищення води за допомогою мембран характеризується наявністю трьох потоків: початкового; потоку, що пройшов через мембрану й безперервно відводиться споживачу; потоку, затриманого мембраною - концентрат, який скидається в дренаж.

У сучасних мембранах застосовується «тангенціальна» схема руху води, при якій потік початкової води спрямований уздовж фільтруючого полотна. Цей потік змиває затримані домішки і видаляти їх із зони фільтрації. Таким чином, вузол мембранної фільтрації має один вхід та два виходи.

У загальному випадку система очищення на основі зворотного осмосу включає чотири стадії: 1) попередня очистка води; 2) очистка на установці зворотного осмосу; 3) накопичування очищеної води після зворотного осмосу (пермеат); 4); остаточне доочищення води (при необхідності). Ця

технологія широко використовується на станціях високопродуктивних систем водоочищення для багатонаселених міст Англії, великих промислових виробництв.

4.2.2. Електродеіонізація

Ще одним методом водопідготовки, що поширений в Великобританії, є електродеіонізація. Ця технологія дозволяє отримувати воду якістю до 0,06 мкСм/см (16 МОм·см) без застосування реагентів. В її основі лежить принцип електродіалізу (рис. 4.15).

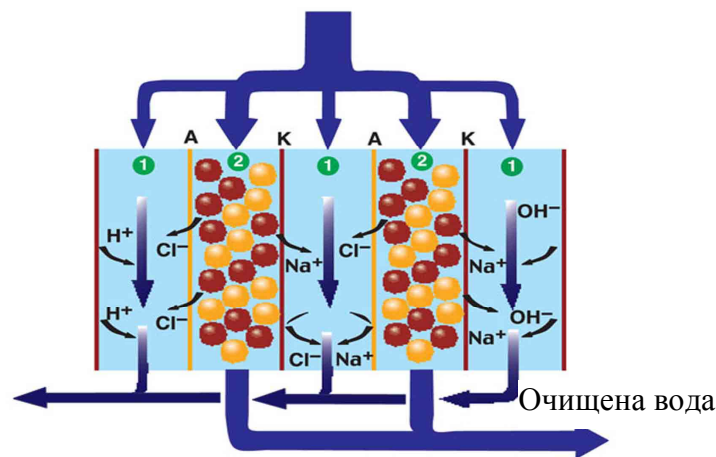


Рис. 4.15. Принципова схема електродіалізу

Принцип дії електродеіонізації наступний. З води, що подається в канали між катионообмінними і аніонообмінними мембранами, під дією постійного електричного струму видаляються іони розчинених солей. Вихідна вода стає знесолею. Пройшовши через іонообмінні мембрани, ці іони накопичуються в іншому потоці вихідної води (5—10 %), який стає концентратом. Зазвичай вихідною водою для електродеіонізації є пермеат зворотного осмосу або еквівалентна йому за якістю вода. Її електричний опір досить великий, і, щоб знизити його, в міжмембранні канали знесолення і концентрування завантажуються суміш катіоніту і аніоніту, що забезпечує глибину знесолення.

Таким чином, в ході процесу електродеонізації здійснюється безперервний іонний обмін на фільтрах змішаної дії з регенерацією електричним струмом. При цьому не потрібно ніяких реагентів, а видалення низькоіонізованих речовин, таких як кремнекислоти, досягається за рахунок надлишку електричного поля.

Залежно від обсягів води, що очищається, використовуються як одиничні пристрої для електродеонізації, так і установки продуктивністю до 2000 м³/год.

4.2.3. Ультрафільтрація

Ультрафільтрація — продавлювання рідини через напівпроникну мембрану (проникну для малих молекул і іонів), але непроникну для макромолекул і колоїдних частинок — застосовується в Англії для водоочистки незначних обсягів води (у пригородах, окремих поселеннях). Розмір отворів (пір) ультрафільтраційних мембран лежить в межах від 5 нм до 0,05—0,1 мкм.

Основна відмінність даного методу від звичайного об'ємного фільтрування в тому, що переважна більшість всіх затримуваних речовин накопичується на поверхні мембрани, утворюючи додатковий фільтруючий шар осаду, який володіє своїм опором.

Мембрани для ультрафільтрації виготовляють зазвичай у вигляді пластин (листів) або циліндричних патронів («свічок») з мікропористих неорганічних матеріалів, продуктів тваринного походження або з штучних і синтетичних полімерів. На рис. 4.16 показані циліндричні мембрани, які пріоритетно встановлюються на водоочисних станціях Великобританії.

Максимальний розмір частинок (молекул), що проходять через мембрану, лежить в межах від 1 до 10⁻³ мкм. Розділяюча здатність (селективність) мембран залежить від їх структури і фізико-хімічних властивостей, а також від тиску, температури, складу фільтрованої рідини та інших зовнішніх факторів.



Рис. 4.16. Циліндричні ультрафільтраційні мембрани

За допомогою ультрафільтрації очищають воду, органічні розчинники, рідкі палива і масла: виділяють ферменти, вітаміни, віруси; стерилізують рідини медичного та фармацевтичного призначення. Її використовують в дисперсійному аналізі, мікробіологічному аналізі, при аналізі забруднень повітряних басейнів і природних водойм промисловими та побутовими відходами.

У Великобританії великі промислові установки ультрафільтрації стали активно вводитися в експлуатацію в кінці XX століття, тому що їх властивості та показники набагато краще їх альтернативних технологій.

До основних властивостей циліндричних ультрафільтраційних мембран відносять: 1) ефективну фільтрацію води (ультратонка фільтрація при робочому тиску до 0,6 МПа); 2) знижену кількість використовуваних реагентів; 3) повне видалення зважених речовин; 4) дезінфекцію (видалення 99,99 % бактерій і вірусів); 5) освітлення води (зниження каламутності та кольоровості води); 6) високий ступінь очищення води від заліза та марганцю; 7) ефективне видалення колоїдного кремнію і органічних речовин; 8) ультратонке очищення питної води

(ступінь фільтрації 0,01 мікрон); 9) збереження сольового складу природної води.

Основні області застосування технології ультрафільтрації: 1) обробка поверхневих вод (забезпечує високу якість питної, оборотної і технологічної води з мінімальними експлуатаційними витратами); 2) передпідготовка води перед знесолюючими установками (заміна традиційної коагуляції і механічної фільтрації ультрафільтрацією дозволяє поліпшити якість освітленої води, зменшити забруднення мембран та іонообмінних смол, збільшити термін їх служби); 3) обробка та вторинне використання господарсько-побутових стічних вод (світові тенденції спрямовані на повторне використання очищених побутових стічних вод, бо вигідніше не скидати їх у відкриту водойму, а направляти після обробки ультрафільтрацією для промислового використання); 4) очищення промислових стічних вод, що забезпечує їх повторне використання і знижує техногенне навантаження на водойми господарсько-питного призначення; 5) обробка промивних вод піщаних фільтрів (дозволяє підвищити ступінь використання води до 99,8 %).

4.2.4. Знезараження

В процесі очищення води затримується до 98 % бактерій, але решту 2 % можуть містити патогенні (хвороботворні) мікроби, для знищення яких потрібна спеціальна обробка води. Для знезараження води на водоочисних станціях Великобританії використовують в основному два методи - хімічний (обробка окислювачами: хлором, озоном і т. п., а також іонами важких металів) і фізичний (знезараження ультрафіолетовими променями або ультразвуком).

Перед знезараженням вода на станціях зазвичай піддається очищенню фільтрацією і (або) коагуляцією, при якій віддаляються завислі речовини, яйця гельмінтів і значна частина мікроорганізмів. Ультрафіолетові промені знищують не тільки вегетативні, але і спорові форми бактерій, і не змінюють

органолептичних властивостей води. Оскільки при УФ-опроміненні не утворюються токсичні продукти, то не існує верхньої межі дози. Збільшенням дози УФ-випромінювання домагаються бажаного рівня знезараження.

На багатьох станціях для досягнення найбільш ефективного результату комплексно застосовують реагентні і безреагентні методи знезараження води. Поєднання УФ-знезараження з подальшим хлоруванням малими дозами забезпечує як найвищу ступінь очищення, так і відсутність вторинного біозабруднення води.

4.3. Технології Німеччини

В даний час Німеччина є однією з найпрогресивніших країн в Європі в галузі водної техніки та управління водними ресурсами. Це поширюється не тільки на охорону водойм із забезпеченням додаткового догляду, наприклад, за рахунок добре розвинутої мережі каналізаційних об'єктів з високим ступенем приєднання споживачів, але також і на економічний витраті питної води.

Вода — дорогий продукт в Німеччині. У 2010 р. жителі Німеччини платили в середньому 1,71 євро за 1м³ питної води вищої якості. Якість питної води і рівень охорони водойм у Німеччині дуже високі, а число протікання в мережах становить всього 4 % [10] (в Україні до 30—40 %).

Водопостачання та видалення стічних вод здійснюється в Німеччині роздільно. Приблизно 6700 підприємств у Німеччині відповідають за водопостачання і 8000 підприємств — за видалення стічних вод. Велика їх частина має комунальні організаційні форми — це державні та унітарні підприємства, профільні об'єднання та унітарні компанії. Третина діючих підприємств мають приватну правову форму, проте саме вони і забезпечують більше половини поставляємої споживачам води. Спостерігається тенденція до зростання числа комерційних підприємств.

Високу якість води в Німеччині забезпечують в основному споживачі, оплачуючи тарифи на водопостачання і збори за видалення стічних вод. Натомість споживачам води надаються хороша інфраструктура (мережа трубопроводів, підготовчі установки, зони санітарної охорони водойм), надійне водопостачання цілодобово, висока якість питної води.

Тарифи залежать не від доходів споживачів води, а від фактичних витрат на її забезпечення (поряд з поточними експлуатаційними витратами повністю покриваються і капітальні витрати — амортизація та відсотки за вкладений капітал).

Для комунального водопостачання в Німеччині використовуються переважно ґрунтові води — приблизно 65 %. Другим важливим ресурсом для отримання питної води є поверхневі води, а також збагачені береговою фільтрацією ґрунтові води.

Паралельно безперервному зниженню витрати води з 1990 р. скорочувалося і постачання води. Німеччина, поряд з Бельгією, відрізняється найнижчою витратою води серед промислово розвинених держав. Зменшення витрати води обумовлено зміненою поведінкою споживачів, застосуванням сучасної техніки, багаторазовим і повторним використанням води у виробничих процесах.

Аналіз властивостей ґрунтових вод здійснюється, як правило, на основі даних точкових вимірів, що проводяться в обраних місцях. Введення в дію Європейської рамкової директиви про водне господарство (директива 2000/60/ЄС) істотно підвищила вимоги до результатів цих точкових вимірів.

Тому в Німеччині проводиться просторова інтерполяція даних про якість ґрунтових вод. Геостатичний метод інтерполяції, який носить назву «звичайний крігінг», базується на числових вимірах просторової варіації точок, що знаходяться на різній відстані. Він виходить з положення, що концентрація речовин у ґрунтових водах має подібну структуру.

Розглянемо водопостачання одного з великих міст Німеччини — Гамбурга. Водопостачання здійснюється одним з найбільших муніципальних підприємств Німеччини з водопостачання та водовідведення «Gamburg Wasser». Цей величезний концерн обслуговує 2 млн осіб, має річний оборот — 70 млн. євро на рік і майна на суму більше 4 млрд. євро.

З точки зору природного простору Гамбург характеризується двома різними гідрогеологічними системами, а саме високим корінним берегом (геестом) і болотистою місцевістю (мершем) в зоні давньої долини річки Ельби. Безнапірні ухили (швидкості течії ґрунтових вод) в районі гееста значно вище в порівнянні з градієнтами на території мершей. Внаслідок глибини і ширини своєї врізки в ландшафт Ельба повністю поділяє гідравлічно прилеглі, близькі до поверхні масиви ґрунтових вод, що зумовило подальший підрозділ мерша ще на три підобласті.

У водах забудованих кварталів міста на північ від Ельби містяться явно високі концентрації сульфатів — більше 240 мг/дм³. Внесені в ґрунтові води сульфати можуть надходити в міські райони в основному з двох джерел: з руїн розбомблених під час війни будівель та каналізаційних трубопроводів. Каналізаційні колектори в Гамбурзі часто пролягають також у ґрунтових водах, через що має місце не вихід назовні забрудненої води, а проникнення в канали ґрунтових вод.

Також в Гамбурзі вже давно будують канали, по яких дощова вода стікає з вулиць в підземні дощезбірники, а не в річки. Зібрана вода, як і інші каналізаційні стоки, проходить повне очищення, в ході якої підприємство видобуває пісок, мідь, важкі метали і навіть газ для виробництва електроенергії. Муловий осад сушать і пресують, а потім їм обігрівають будинки.

Високий стандарт постачання питної води забезпечується за рахунок оптимального розподілу завдань між державою і водопостачальними підприємствами.

Висока якість води в Німеччині досягається за рахунок ряду факторів: 1) грамотного управління ресурсами (моніторинг,

відносини кооперації, план аварійної сигналізації; 2) здійснення постійного контролю за якістю питної води (моніторинг якості води водопровідними станціями плюс аналізи в державних лабораторіях); 3) використання адаптованих з урахуванням конкретного регіону технологій підготовки сирої і чистої води (від знезалізнення до очищення активованим вугіллям, дезінфекція хлором, озоном, ультрафіолетом); 4) забезпечення якості, контролю та регулювання ризиків за допомогою використання сертифікованих продуктів і підприємств, нормативних документів, планів заходів на випадок виникнення екстрених ситуацій і т. п.; 5) ретельної реалізації заходів з технічного обслуговування мереж (промивка, санація та спорудження нових мереж).

В Німеччині виділяють два етапи забезпечення населення якісною водою: перший — постійний захист природних ресурсів, другий — надійний і економічний водозабір, правильні процеси підготовки, зберігання і розподілу води на базі зводу європейських нормативів DVGW.

Етап перший включає: 1) профілактику за рахунок створення водоохоронних зон; 2) співпрацю із сільським господарством (зниження вмісту нітрату і засобів для захисту рослин у водоймах); 3) моніторинг у водозабірних басейнах; 4) управління площами у водоохоронних зонах; 5) робота з громадськістю (передбачає збереження води, зниження дозування миючих засобів, використання засобів для захисту рослин).

Другий етап — водозабір природних і пройшовших берегову фільтрацію ґрунтових вод у долині річки Рур — включає: 1) водозабір річкової води, попередню підготовку, штучне збагачення ґрунтових вод і підґрунтове проходження; 2) водозабір природних і збагачених ґрунтових вод за допомогою колодязних галерей і дренажних труб, 3) додаткову обробку, нейтралізацію і дезінфекцію відібраної води.

Зменшення майбутньої потреби у воді в Німеччині реалізується застосуванням нових стратегій, таких як розтин

додаткових потенціалів скорочення витрат, адаптація розмірів труб щоб уникнути проблем з гігієною, оптимізація матеріалів і технологій відновлення, підвищені вимоги до якості ресурсів, удосконалення управління безпекою та ризиками [11].

Перелік використаних джерел

1. Демин А. П. Водохозяйственный комплекс России: понятие, состояние, проблемы // Водные ресурсы. — 2010. — № 5. — С. 617—632.
2. Брык М. Т., Цапюк Е. А., Твердый А. А. Мембранная технология в промышленности. — К. : Техника, 1990. — 247 с.
3. Первов А. Г., Мотовилова Н. Б., Андрианов А. П. Ультрафильтрация — технология будущего // Водоснабжение и санитарная техника. — 2001. — № 9. — С. 26—33.
4. Хванг С. Т., Каммермейер К. Мембранные процессы разделения: Пер. с англ. Под ред. проф. Дытнерского Ю. И. — М. : Химия, 1981. — 464 с.
5. Дытнерский Ю. И. Обратный осмос и ультрафильтрация. — М. : Химия, 1998. — 352 с.
6. Смирнова И. И. Очистка природных вод биосорбционно-мембранным методом // Водоочистка. — 2010. — № 11. — С. 46—54.
7. Мачилин В. С., Щербакова Л. Н., Лялин В. А. Ультрафильтрационная очистка сточных вод предприятий. — М. : Химия, 2001. — 147 с.
8. Расчет и конструирование обратноосмотической установки: Методические указания / Сост. С. А. Трифонов, МИХМ. — М., 1989. — 54 с.
9. Абрамович С. Ф., Раппорт Я. Д. Тенденции развития водоснабжения городов за рубежом. Обзор. — М. : ВНИИИС, 2007. — 112 с.
10. Mores W. D., Bowman C. N., Davis R. H. Theoretical and experimental flux maximization by optimization of backpulsing // J. Membr. Sci.— 2010. — № 165. — P. 14—22.
11. Laine J.-M., Vial D., Moulart P. Status after 10 years of operation — overview of UF technology today // Proc. of the Conf. on Membranes in Drinking and Industrial Water Production (Paris, 3—6 October). — 2009. — V. 1.— P. 98—117.
12. National Drinking Water Advisory Council, 2004. Report on the CCL Classification Process to the US Environmental Protection Agency. National Drinking Water Advisory Council, Washington, DC. http://www.epa.gov/safewater/ndwac/pdfs/report_ccl_ndwac_07-06-04.

Розділ 5. ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ ПІДГОТОВКИ ПИТНОЇ ВОДИ ТА ТЕХНОЛОГІЧНІ РОЗРАХУНКИ

5.1. Теоретичні основи процесу підготовки питної води

5.1.1. Проблеми водопостачання України

В Україні склалась складана ситуація з постачанням населенню якісної питної води. Критеріями якості питної води є її вплив на здоров'я людини при тривалому вживанні, відсутність шкідливих хімічних елементів, бактерій та інших мікроорганізмів.

Протягом останніх років близько 5,0 % водопроводів не відповідають санітарним нормам. Найбільша їх кількість в Луганській, Донецькій, Херсонській, Миколаївській та Житомирській областях. З комунальних водопроводів не відповідають санітарним нормам — 10,2 %, сільських — 8,1 %, відомчих — 3 %, водопроводів [1].

Підземні води України, зокрема артезіанські, в багатьох регіонах (АР Крим, Донбас, Придніпров'я) за своєю якістю не відповідають нормативам на джерела водопостачання, що пов'язано не тільки з природними умовами їх формування, а й з антропогенним забрудненням і тому потребують очищення. При цьому лише поодинокі артезіанські водопроводи мають споруди для доочищення води.

Особливу занепокоєність викликає стан водопостачання сільського населення 623 сільські водопроводи (8,1 %) з 7676 не відповідають санітарним нормам і правилам (у 2009 — 634, або 8,3 %).

Протягом 2010 року лабораторії санепідемстанцій із джерел централізованого водопостачання відібрали для досліджень за санітарно-хімічними показниками 208 058 проб питної води, за бактеріологічними показниками — 297 107 проб питної води.

Питома вага нестандартних проб питної води, відібраних з джерел централізованого водопостачання, за санітарно-хімічними

та бактеріологічними показниками, за останні роки становить 14,2 % та 3,2 % відповідно.

Найбільшу кількість нестандартних проб питної води з централізованих систем водопостачання реєструють, як і раніше, на сільських водопроводах, найменшу — на комунальних.

Питома вага проб питної води з відхиленнями від нормативів за санітарно-хімічними показниками у Луганській, Дніпропетровській, Житомирській та Рівненській областях, за санітарно-бактеріологічними показниками у Тернопільській, Закарпатській, Миколаївській та Харківській областях у півтора рази і більше перевищує середні показники по країні [1].

Під наглядом держсанепідслужби України у 2010 році перебувало 175 607 джерел децентралізованого водопостачання (у 2009 — 85 426, 2008 — 93 043), з них 171 048 колодязів (у 2009 — 80 862), 3371 артезіанський колодязь (у 2009 — 3378) [1].

У 2010 році питома вага досліджених проб питної води з джерел децентралізованого водопостачання, які не відповідали санітарним вимогам, становила 34,2 % за санітарно-хімічними та 22,3 % за бактеріологічними показниками, у тому числі з колодязів, які не відповідали санітарним вимогам, становила 35,4 % за санітарно-хімічними (трохи вище рівня показників 2009 року) та 23,6 % за бактеріологічними показниками; з артезіанських колодязів, які не відповідали санітарним вимогам, становила 18,2 % за санітарно-хімічними та 6,9 % за бактеріологічними показниками.

У Карпатському, Дніпровсько-Придніпровському, на Поліссі та в деяких інших регіонах України у питній воді реєструють нестачу мікроелементів — I, Zn, Cu, F, що впливає на виникнення ендемічних захворювань. Вплив такої води на поширення ендемічних хвороб в Україні потребує поглибленого вивчення [1].

Спостерігається зростання нітратного забруднення ґрунтових вод [1]. Ефективних методів видалення нітратів з води в умовах децентралізованого водопостачання практично немає. Забруднення

води наднормативним вмістом нітратів призводить до виникнення захворювань на водно-нітратну метгемоглобінемію у дітей, зниження загальної резистентності організму, що зумовлює збільшення рівня загальної захворюваності населення, в тому числі інфекційними та онкологічними хворобами.

Невідповідність якості питної води нормативним вимогам є однією з причин поширення в державі багатьох інфекційних (вірусний гепатит А, черевний тиф, ротавірусна інфекція тощо) та неінфекційних (хвороби системи травлення, серцево-судинної, ендокринної системи тощо) хвороб. Проблемними питаннями залишаються нечітке визначення відомчого підпорядкування громадських колодязів, відсутність спеціалізованих бригад з їх технічного обслуговування, несвоєчасне проведення власниками профілактичних заходів.

Це негативно позначається на якості питної води, призводить до зростання як інфекційної, так і неінфекційної захворюваності населення. Всі ці розглянуті проблеми свідчать про актуальність проблеми удосконалення технологій підготовки питної води.

5.1.2. Оцінка стану р. Дніпра в районі міста Дніпродзержинська

Якість питної води на урбанізованих територіях в останні роки за різними показникам, в тому числі й за фізико-хімічними, має тенденцію до погіршення. Питна вода в багатьох містах України, в тому числі в м. Дніпродзержинськ також не відповідає вимогам державних стандартів «Вода питна. Гігієнічні вимоги до якості централізованого господарсько-питного постачання» [2, 3].

Джерелом питного водозабезпечення населення міста Дніпродзержинська є р. Дніпро. Водопровідні очисні споруди розміщені в селищі Аули. Міжрайонні очисні споруди (введені до експлуатації в 1972 р.) забезпечують питною водою міста Дніпропетровськ, Дніпродзержинськ і прилеглі сільські райони. Проектна потужність — 810 тис. м³/добу, фактична — 550 тис. м³/добу.

До Дніпродзержинська надходить 80—95 тис. м³/добу питної води при необхідній кількості 120 тис. м³/добу, дефіцит водозабезпечення складає 23,3 %.

Лабораторією соціально-гігієнічного відділу відділення комунальної гігієни санепідемстанції м. Дніпродзержинська постійно проводиться контроль складу води в р. Дніпро в різних її точках, в тому числі в Аулах, Романкові, Карнаухівці, в селищі Таромське, на каналі «Дніпро—Донбас». Відбір і аналіз проб лабораторією здійснюється щоквартально, одночасно з відбором в усіх містах Дніпропетровського регіону аналогічними службами, по правому і лівому берегах Дніпра, посередині річки, в поверхневому шарі і на глибині 3 м. Якісний склад води р. Дніпро наведений в табл. 5.1.

Таблиця 5.1. Якісний склад води р. Дніпро (проби відбирались посередині річки на глибині 3 м) [4]

Назва домішок	Одиниця заміру	Показання
Кольоровість	град	21
Завислі	мг/дм ³	2,3
Твердість	моль/м ³	4,1
Сухий залишок	мг/дм ³	312,6
Хлориди	мг/дм ³	25
Азот аміаку	мг/дм ³	0,152
Азот нітритів	мг/дм ³	0,029
Азот нітратів	мг/дм ³	8,10
Марганець	мг/дм ³	0,032
Фтор	мг/дм ³	0,406
Гідрокарбонат	мг/дм ³	237,9
Нафтопродукти	мг/дм ³	0,235
Лужність	мг-еквл	3,9
Кальцій	мг/дм ³	58,12
Магній	мг/дм ³	14,6
Фенол	мг/дм ³	не вияв.

Для покращення якості питної води та вирішення проблеми її дефіциту в місті було розроблено Програму «Питна вода м.

Дніпродзержинська» на 2007—2020 роки, яка спрямована на реалізацію державної та регіональної політики щодо забезпечення населення якісною питною водою відповідно до Закону України «Про питну воду та питне водопостачання» [1].

Програма необхідна для збереження здоров'я, поліпшення умов діяльності і підвищення рівня життя мешканців м. Дніпродзержинська.

Метою розробленої програми є:

- поліпшення фінансового стану комунально-виробничого підприємства «Дніпродзержинськводоканал» та водопровідно-каналізаційного господарства;
- забезпечення підприємства ресурсними та енергозберігаючими технологіями постачання питної води у місто, прийому та очищенню стічних вод;
- реконструкція та розвиток водопровідно-каналізаційного комплексу м. Дніпродзержинська в цілому [2].

5.1.3. Загальна схема водопостачання міст України

Водопостачання — комплекс взаємопов'язаних споруд, призначених для забору води із джерел, очищення її та зберігання запасів і подавання до місця споживання.

Принципову схему водопостачання міста із поверхневих джерел зображено на рис. 5.1 [5].

Вода із джерела збирається водоприймачем і самопливними водоводами надходить у береговий колодязь. Потім насосами першого підйому 2 вона подається в споруди для очищення (прояснення і знебарвлення, фільтрування і знезараження). Очищена вода надходить у резервуари чистої води й насосами другого підйому подається в мережу трубопроводів, причому частина води акумулюється в місткості водонапірної башти. Магістральними трубопроводами вода надходить у райони міста і розподільною мережею — до споживачів.

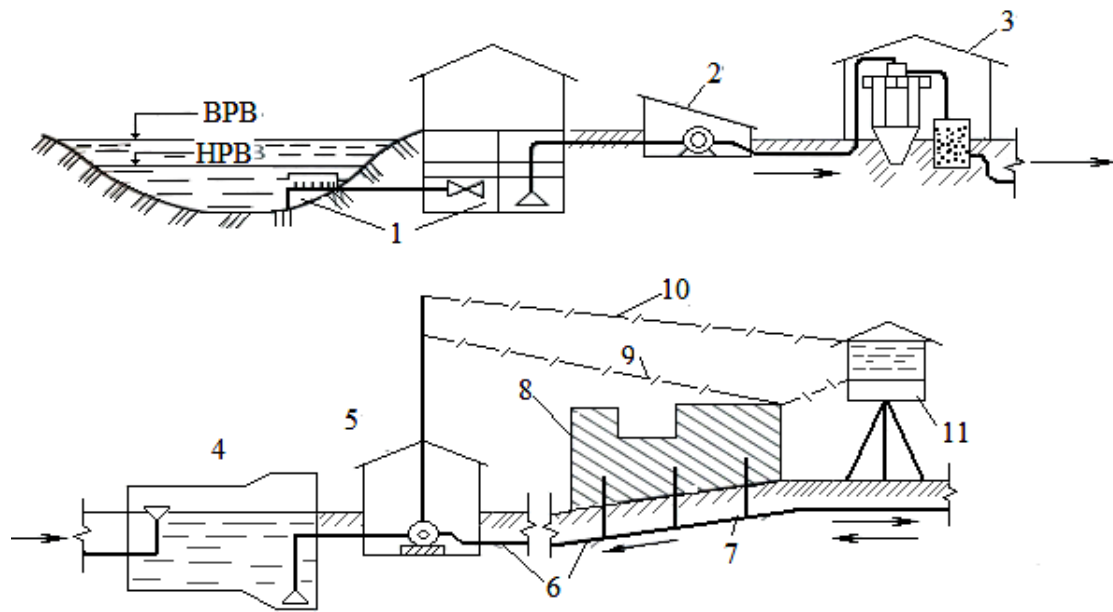


Рис. 5.1. Схема водопостачання з поверхневого джерела [5]: 1 — річковий водозабір; 2 — насосна станція першого підйому; 3 — водоочисна станція; 4 — резервуар чистої води; 5 — насосна станція другого підйому; 6 — водогон; 7 — водопровідна мережа; 8 — об'єкт водопостачання; 9 — п'єзо-метрична лінія за максимального водоспоживання з мережі; 10 — п'єзомет-рична лінія водогону за максимального рівня води у баці башти; 11 — контр-резервуар (водонапірна станція наприкінці мережі); ВРВ, НРВ — відповідно верхній і нижній рівні води

Якщо резервуари чистої води розміщені на достатньо високих позначках місцевості, то очищена вода може передаватися споживачу самопливними водогонами, тобто відпадає потреба у насосній станції другого підйому.

5.1.4. Обробка питної води хлором

Хлорування води являється постійним процесом, що здійснюється на комунальних водопроводах. Крім того, хлорування необхідне при дезінфекції вхідних в експлуатацію ділянок водопровідної мережі, фільтрів, резервуарів чистої води і таке інше. Виходячи із різних цілей хлорування, існують методи обробки води хлором або солями, що містять активний хлор, можна об'єднати в дві основні групи: післяхлорування і передхлорування води. Післяхлорування води — процес

знезараження води, який застосовується після всіх інших методів очищення, тобто є заключним етапом очищення води. Післяхлорування може проводитися як невеликими (нормальне хлорування), так і підвищеними дозами (перехлорування).

Нормальне хлорування використовується при невеликому забрудненні води. При цьому дози хлору встановлюються так, щоб смакові якості води не знижувались. Кількість кінцевого хлору після 30-хвилинного контакту води з хлором допускається не більше $0,5 \text{ мг/дм}^3$.

Передхлорування води застосовується перед іншими методами її обробки або коли нормальне хлорування не дає потрібного бактерицидного ефекту, або призводить до погіршення органолептичних показників якості води. Доза кінцевого хлору при передхлоруванні зазвичай встановлюється в межах $1\text{—}10 \text{ мг/дм}^3$. Відомі випадки, коли передхлорування проводилося дозами 100 мг/дм^3 [6].

Для дозування хлору застосовують вакуумні газодозатори системи ЛОНДІ-100 та системи Л. А. Кульського ЛК-10 і ЛК-11. Схему установки зображено на рис. 5.2 [5].

Із балона, який встановлено на ваги, рідкий хлор надходить у проміжний балон-випарник. Газоподібний хлор проходить крізь фільтр зі скловатою і редуктор у змішувач з водою, внаслідок чого утворюється хлорна вода, яка засмоктується ежектором і спрямовується за призначенням. З одного балона за кімнатної температури отримують близько $0,5\text{—}0,7 \text{ кг}$ газуватого хлору. на потужних водоочисних спорудах, де великі витрати хлору, застосовують підігрівання балонів теплою водою або повітрям до $10\text{—}30 \text{ }^\circ\text{C}$.

Найпоширенішою як у нашій країні, так і за кордоном, є універсальна технологічна схема, зображена на рис. 5.3 [6]. Її можна застосовувати для очищення природної води будь-якої якості.

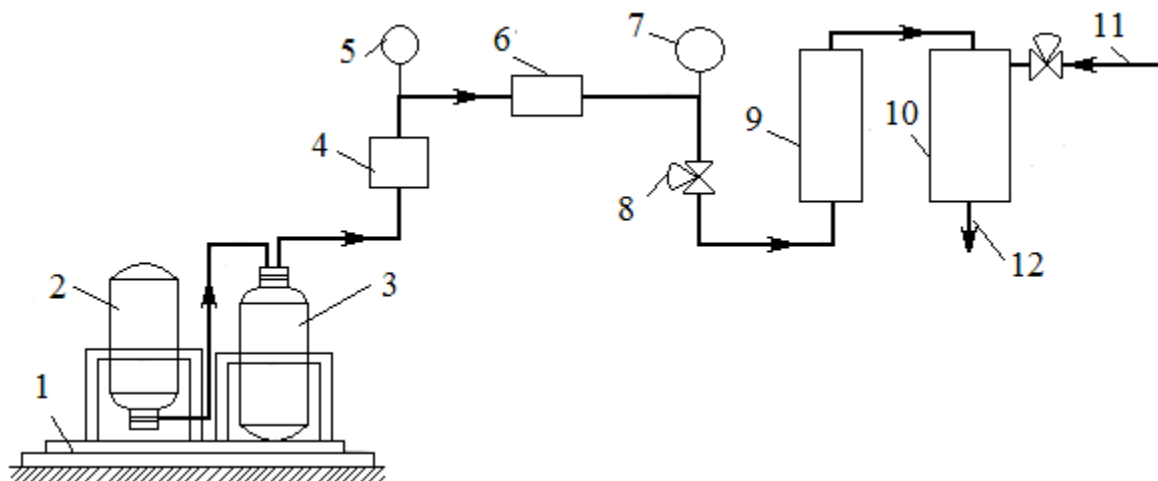


Рис. 5.2. Схема установки для хлорування води [5]: 1 — ваги; 2 — балон з хлором; 3 — проміжний балон; 4 — фільтр; 5 — манометр високого тиску; 6 — редукційний клапан; 7 — манометр низького тиску; 8 — регулювальний вентиль; 9 — лічильник газу; 10 — змішувач газу з водою; 11 — водопровід; 12 — трубопровід з хлорованою водою до резервуара

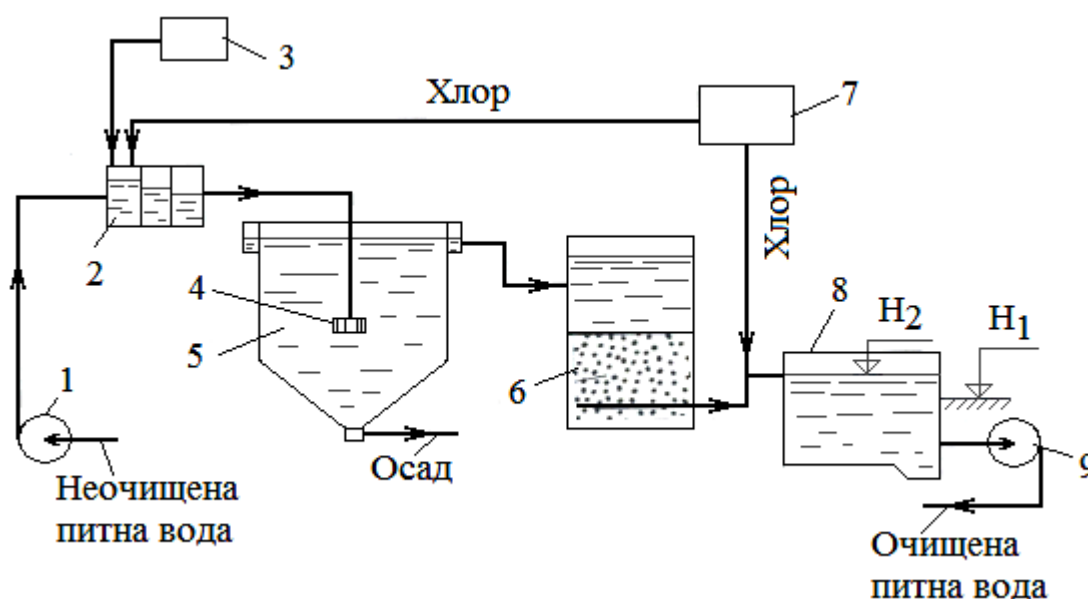


Рис. 5.3. Висотна схема технологічної споруди водоочисної станції з вертикальним відстійником і швидкими фільтрами [6]: 1 — насосна станція першого підйому; 2 — змішувач; 3 — реагентний цех; 4 — коловоротна камера пластівцеутворення; 5 — вертикальний відстійник; 6 — швидкі фільтри; 7 — хлораторна; 8 — резервуари чистої води; 9 — насосна станція другого підйому

Вода, яка очищається під тиском насосів першого підйому подається на барабанні сітки для вилучення крупних завислих речовин. Потім вона надходить у змішувач 2, у який додають хлор (первинне хлорування), коагулянт та за потреби лужні реагенти (підлугування води). Після змішування з реагентами вода надходить до камери пластівцеутворення 4, вмонтованої у відстійнику 5. 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 на швидкий фільтр, перед яким за потреби до неї додають реагенти для дезодорації, фторування чи інтенсифікації процесу фільтрування. Профільтровану воду знезаражують і направляють у резервуар чистої води, звідки насосами другого підйому вона подається в мережу водо споживача. Якщо воду використовують як технічну, то потреба в її дезодорації, фторуванні й знезараженні відпадає.

У роботі [7] наведений спосіб підготовки питної води або харчових водних сумішей, коли принаймні на одній ділянці трубопроводу середовищу надають спіральньо-обертального руху вздовж потоку в напрямку годинникової стрілки, або спіральньо-обертальний рух здійснюють принаймні на один оберт та під кутом від 30 до 60 градусів до напрямку потоку, або під кутом 45 градусів до напрямку потоку. Удосконалена технологічна схема наведена на рис. 5.4. Вона передбачає реагент для обробки води, її прояснення і знебарвлення в шарі завислого осаду та фільтрування на швидких фільтрах. Тут функції камери пластівцеутворення і відстійника поєднуються в одному апараті-прояснювачі із завислим шаром осаду, що дає змогу інтенсифікувати процеси прояснення та знебарвлення. У цій технологічній схемі одночасно застосовують двошарові або двопотокові фільтри конструкції Академії комунального господарства Російської Федерації (АКХ) та фільтри з великозернистим завантаженням. Крім того, у цій схемі

передбачається дезодорація, фільтрування і знезараження. Порівняно з попередньою вона компактніша, апарати (споруди), що входять до складу цієї технологічної схеми, менші за об'ємом, але конструктивно складніші, і це ускладнює їх експлуатацію.

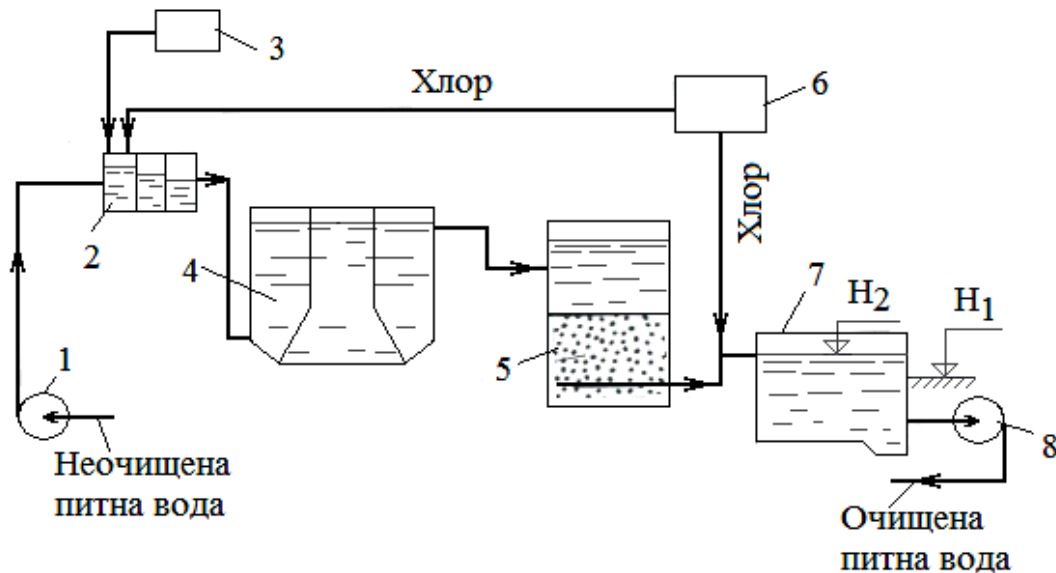


Рис. 5.4. Висотна схема технологічної споруди водоочисної станції з прояснювачами і фільтрами: 1 — насосна станція першого підйому; 2 — змішувач; 3 — реагентний цех; 4 — прояснювачі із завислим осадом; 5 — швидкі фільтри; 6 — хлораторна; 7 — резервуари чистої води; 8 — насосна станція другого підйому

Технологічна схема з флотатором і швидким фільтром передбачає підготовку мало каламутних і дуже забарвлених природних вод зображена на рис. 5.5 [8].

Природну воду спочатку фільтрують на барабанних сітках, а потім додають для змішування з реагентами у вертикальний змішувач. Після цього вода надходить у камеру пластівцеутворення, в якій відбувається коагулювання дрібнодисперсних домішок води 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

пульпу 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.

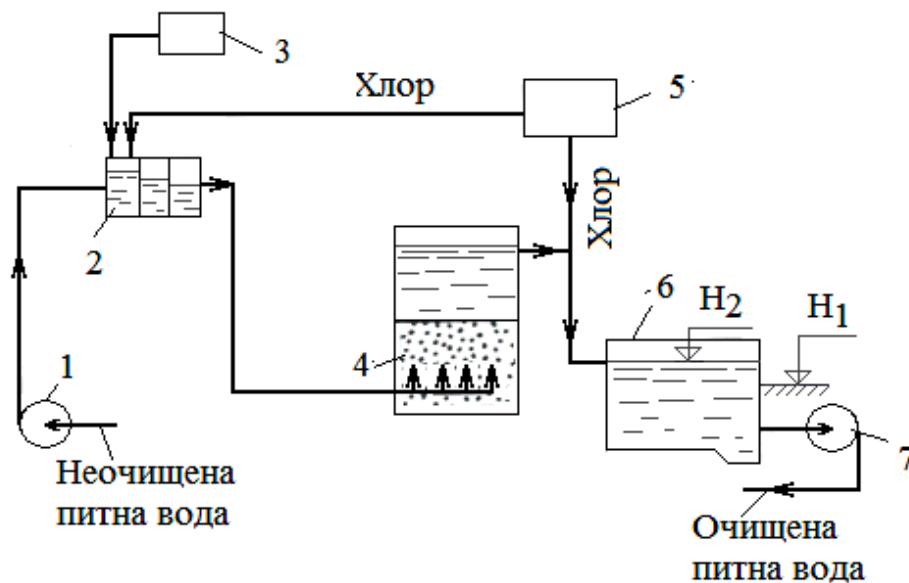


Рис. 5.5. Висотна схема технологічної споруди водоочисної станції з контактними прояснювачами [8]: 1 — насосна станція першого підйому; 2 — змішувач; 3 — реагентний цех; 4 — камера пластівцеутворення; 5 — хлораторна; 6 — резервуари чистої води; 7 — насосна станція другого підйому

У роботі [9] наведений спосіб підготовки питної води у якому використовується знезараження води у гідродинамічному кавітаційному пристрої статичного типу при шестикратній циркуляції, куди одночасно вводять хлорагенти. Це дає можливість підвищити ефективність знезараження.

Проте вчені на сьогодні надають перевагу гіпохлориту кальцію як реагенту для знезараження питної та стічної води, перевагою якого є те, що він порошкоподібний, підлягає легкому транспортуванню і при його використанні досягається високий

ступінь знезараження [10], причому стічну воду необхідно попередньо дегазовувати [11].

5.1.5. Підготовка питної води за допомогою коагулянтів

З метою прискорення процесу осадження, підвищення швидкості фільтрування і взагалі видалення мілко дисперсних частинок з води їх обробляють коагулянтами. В якості коагулянтів використовують солі алюмінію і заліза [12, 13].

Сульфат алюмінію застосовують для очищення кольорових і каламутних вод в інтервалі значень рН 5—7,5. З підвищенням вмісту водорозчинного оксиду алюмінію в коагулянті підвищується його знебарвлююча здатність. Особливо ефективно застосування сульфату алюмінію для обробки води з підвищеним вмістом гумінових і дубильних речовин. При цьому із знебарвленням води значно знижується її окислювальність [14].

У роботі [15] наведений спосіб підготовки питної води у якому замість неіоногенного флокулянту беруть триблоккополімер на основі поліетиленоксиду та поліакриламід, в якому молекулярну масу поліетиленоксиду змінюють від $3 \cdot 10^3$ до $1 \cdot 10^5$, при цьому неіоногенний флокулянт додають у воду у кількості $0,05 \cdot 10^{-3} \text{ кг} \cdot \text{м}^{-3}$ — $0,1 \cdot 10^{-3} \text{ кг} \cdot \text{м}^{-3}$, а перед введенням у воду флокулянта додатково додають низькомолекулярний електроліт сульфат алюмінію.

Із хлоровмісних сполук алюмінію найбільше застосування при очищенні води знайшли хлорид алюмінію і особливо гідроксохлориди $\text{Al}_2(\text{OH})_n\text{Cl}_{6-n}$. В дійсний час у промислових масштабах виготовляють і широко застосовують на практиці водопідготовки пентагідроксохлорид алюмінію $\text{Al}_2(\text{OH})_5\text{Cl}$, що обумовлено рядом його позитивних властивостей. При використанні цього коагулянту йде інтенсивне утворення пластівців і прискорюється осадження коагульованої суміші. Пентагідроксохлорид алюмінію характеризується значно більш

високим вмістом водорозчинного алюмінію, а його розчини не потребують застосування нержавіючих сталей і протикорозійного захисту апаратури і трубопроводів. При зберіганні коагулянт не злежується і не старіє.

В якості коагулянту інколи застосовують алюмінат натрію. Звичайно його використовують в якості домішок для інтенсивного процесу коагуляції суміші води сульфатом алюмінію. Змінюючи відношення сульфату алюмінію і алюмінату натрію, можна досягти значення рН, яке необхідне для гарного коагулювання різних вод при певній лужності. У водах з низьким значенням рН алюмінат натрію застосовується в якості основного реагенту без сульфату алюмінію.

Із солей заліза найбільш застосовують сульфати заліза і хлорид заліза (III). Застосовуються також залізовмісні коагулянти, отримані хлоруванням залізної стружки у водному середовищі і анодним розчиненням заліза в розчинах хлориду натрію або сірчаної кислоти. Солі заліза мають кращі коагулюючі властивості в інтервалі рН 3,5—6,5 або 8—11. Знебарвлення води краще протікає при рН 3,5—5,0. Солі заліза бажано застосовувати при очищенні каламутних жорстких вод з високим значенням рН, а також при очищенні стоків. Вони дозволяють усувати запах і присмак, обумовлений наявністю сірководню, видаляти суміші миш'яку, марганцю, міді, а також впливають на окислення органічних сполук.

При порівнянні з солями алюмінію солі заліза можуть застосовуватись при очищенні вод з більш різноманітним сольовим складом і різними значеннями рН, найкраще діють при низьких температурах, характеризуються більшою міцністю пластівців.

В якості недоліків потрібно відмітити підвищенні кислотні властивості, що негативно впливає на апаратуру. При використанні в якості коагулянту солей заліза (II) необхідно застосовувати вапно і хлор для окислення заліза до

трьохвалентного. Але в іншому випадку сильно сповільнюється утворення пластівців [16].

У роботі [17] наведений спосіб підготовки питної води на водопровідних станціях, у якому використовується неіоногенний внутрішньо молекулярний комплекс у сполученні з низькомолекулярним електролітом, сульфатом алюмінію, який додають у воду, в кількості $10\text{—}25\cdot 10^{-3}$ кг·м⁻³, безпосередньо перед введенням флокулянта. А також неіоногенний внутрішньо молекулярний полі комплекс на основі поліакриламідів та полівінілового спирту додають в кількості $0,01\text{—}0,5\cdot 10^{-3}$ кг·м⁻³.

5.1.6. Сучасні методи підготовки питної води

В практиці підготовки питної води все ширше застосовуються методи, засновані на використанні електричного струму. Бактерицидна дія електричного струму проявляється при градієнтах поля, що вимірюються тисячами вольт.

У роботі [18] наведений спосіб підготовки питної води, у якому приготування питної води проводять в декілька етапів, а саме, спочатку первинну воду очищають, піддаючи її електрохімічній обробці із застосуванням постійного електричного струму, потім воду випаровують за допомогою ламп інфрачервоного та ультрафіолетового випромінювання, отриману пару води пропускають через нанофільтр, після чого її конденсують і мінералізують, додаючи необхідні складники.

При порівняльному вивченні впливу на кишкову паличку катіонів срібла, цинку, олова, міді, заліза встановлено, що в умовах дії електричного поля і без нього найбільш антимікробний ефект мали іони срібла і міді. вихідна концентрація мікроорганізмів у пробах води зменшилась зі збільшенням напруги електричного поля при однаковому часі обробки. В умовах проведення дослідів при напругі поля $10\text{—}30$ В/см знезараження води сріблом в концентрації $0,1$ мг/дм³ досягалося протягом 30 с.

Іони срібла мають цінні властивості не тільки знезаражувати воду, але і консервувати її на довгий термін. Додаткове внесення *E.coli* K-12 у воду, що містить кишкову паличку, оброблену сріблом ($0,05\text{мг/дм}^3$) і піддають дії електричного поля напругою 20 В/см , показало, що консервуючий ефект срібла зберігається і у випадку обробки води електричним полем. Відповідно, описаний метод можна використовувати не тільки для знезараження води, але і для консервування питної води.

Наступний метод вакуумування води. Суть його полягає у впливі процесу кипіння в умовах зниженого тиску. Знезараження відбувається під дією продуктів кавітаційного розкладання води при різних значеннях тиску і температури. Кавітаційно-вакуумна обробка здійснюється при температурі $20\text{—}600\text{ }^\circ\text{C}$ і тиску $17\text{—}100\text{ мм. рт. ст.}$

При дослідженні залежності процесу відмирання бактерій від тривалості обробки при температурі $370\text{ }^\circ\text{C}$ й тиску $35\text{—}40\text{ мм. рт. ст.}$ встановлено, що повний бактерицидний ефект у відношенні основних санітарно-показникових мікроорганізмів досягається протягом $15\text{—}20\text{ хв}$ [19].

На широкому спектрі патогенних і сапрофітних мікроорганізмів, які можуть передаватися через воду і викликати захворювання людини і тварин показана перспективність комбінованого хлор срібного метода знезараження і консервування питної води. При внесенні в питну воду спочатку 1 мг/дм^3 хлору, а потім через $5\text{—}10\text{ хв}$ срібла в дозах $0,05\text{—}0,2\text{ мг/дм}^3$ посилюється бактерицидний ефект обох дезінфектантів. Хлорсрібний спосіб застосовується не тільки для знезараження питної води, але і для запобігання повторного бактеріального зараження. Він ефективний в умовах довгого зберігання очищеної води.

Хлорування з мангануванням застосовується при обробці води з неприємними запахами і присмаками, які зумовлюються наявністю органічних речовин, водоростей. В деяких випадках така суміш діє навіть більш ефективно, ніж передхлорування.

Перманганат калію вводиться до хлорування або після нього. Доза перманганату калію залежить від місця його вводу в оброблену воду за ходом технологічного процесу. Якщо обробці піддається вода перед відстійниками, доза KMnO_4 досягає 1 мг/дм^3 . Надлишковий, невитрачений на окислення перманганат калію відновлюється у воді до двоокису марганцю, який затримується на фільтрах. Якщо перманганат калію вводиться в очищену воду, тобто після фільтрів, концентрація його за для уникнення випадання осаду MnO_2 не повинна перевищувати $0,08 \text{ мг/дм}^3$.

Один із найбільш поширених способів фіксації активного хлору у воді — хлорування з амонізацією. Воно здійснюється додаванням аміаку або солей амонію в знезаражену воду. В залежності від цільового призначення амонізація може проводитись перед хлоруванням (периамонізація) або після нього (постамонізація). При периамонізації аміак вводиться у водоводи від насосної станції першого підйому за 1—2 хв до подачі хлору, при постамонізації — в резервуар чистої води або водоводи другого підйому.

В дійсний час хлорування з амонізацією застосовується на багатьох водопроводах. Для амонізації використовується водний розчин аміаку або газоподібного аміаку. В останньому випадку його розчиняють в оброблюваній воді в апаратах-амонізаторах, устрій яких аналогічно хлораторам.

У випадку комбінованих методів хлорування для індивідуального знезараження води застосовуються таблетизовані препарати речовин, які або містять активний хлор, або утворюють його при розчиненні у воді. Недоліком більшості таблеток являється непостійність їх складу, внаслідок чого виникає складність дозування, що призводить до неповної дезінфекції води або погіршенню її смакових якостей. Основні санітарно-гігієнічні вимоги до таблетизованих препаратів приводяться до повної дезінфекції води протягом 1 год з моменту їх введення, стійкості протягом року і нешкідливості при не змінненні присмаку води. Із

всіх перевірених таблеток найвищу оцінку отримали хлорамінові [20].

Давно було помічено, що світло негативно впливає на розвиток більшості бактерій. Ця властивість притаманна всьому сонячному спектру і природа його на протязі ряду років залишалася нез'ясованою.

В кінці XIX ст. російський вчений А. Н. Маклаков, вивчаючи дію різних ділянок спектру, встановив бактерицидну дію ультрафіолетового випромінювання з довжинами хвиль 2000—2950 Å, причому з'ясувалось, що максимально ефективними являються випромінювання з довжиною хвилі 2600 Å. Результати його роботи свідчили про те, що всі види бактерій і спор гинули вже через декілька хвилин після опромінення.

В результаті багатьох досліджень встановлено, що вода під дією ультрафіолетового випромінювання протягом відносно нетривалого проміжку часу повністю знезаражується. Знезараження ультрафіолетовим випромінюванням краще всього піддавати очищену прозору воду, так як зважені і колоїдні домішки розсіюють світло і заважають проникненню ультрафіолетового випромінювання в товщину води.

В якості джерел цього випромінювання застосовують спеціальні ртутні лампи, принцип дії яких заснований на тому, що пари ртуті по розряджених трубках під впливом електричного струму дають сліпучий зеленувато-білий колір, який має багато ультрафіолетового випромінювання. Перша лампа була сконструйована в 1895 році, а досліді по знезараженню питної води почали проводити в 1909 році. В наш час застосовують лампи двох типів: ртутно-кварцеві високого тиску і аргонортутні низького тиску.

Знезараження випромінюванням не потребує введення у воду хімічних реагентів, не змінює фізико-хімічні властивості домішок і не впливає на смакові якості води. Але використання методу зв'язано зі значними витратами і відсутністю наслідків, що

обмежує його застосування, так як не виключається небезпека повторного зараження води [21].

Термічний метод, звичайно застосовують для знезараження невеликої кількості води, використовується в санаторіях, лікарнях, в поїздах і таке інше. Повне знезараження води, тобто загибель всіх, що знаходяться в ній, патогенних бактерій, досягається 5—10 хвилинним кип'ятінням. Для отримання кип'яченої води у великій кількості застосовують кип'ятильники системи «Вулкан», «Титан». Термічний метод знезараження води не знайшов застосування, навіть на малих водопроводах, із-за його дороговизни, що пов'язана з великими витратами палива і малою пропускною здатністю апаратів. Один з найбільш перспективних методів знезараження води полягає в обробці її озоном. При нормальних температурі і тиску озон являє собою газ слабко-голубого кольору з густиною 1,678. Він має характерний запах, який викликає головну біль і відчуваємо вже при розведенні 1:500000. Озон конденсується в темно-синю рідину, температура кипіння озону складає 112,3 °С. Розчинність його у воді більша, ніж у кисню: одна частина води при температурі 0 °С і тиску 760 мм. рт. ст. розчинює 0,49 частини озону по об'єму (980 мг/дм³). Перші роботи по використанню озону для знезараження води відносяться до кінця XIX ст. Результати проведених випробувань показали, що число бактерій після озонування зменшиться в середньому на 98,8 %, а витрата озону на знезараження води коливається в межах 0,5—4,5 г/м³. Перша велика фільтрувальна станція, що складається із швидких фільтрів, будівель для озонування і озонаторних установок, збудована в 1911 р. в Петербурзі. На початку XX ст. озонування для знезараження води почало широко застосовуватись на закордонних водопроводах [22].

5.2. Експериментальні дослідження процесу підготовки питної води

5.2.1. Використання в якості коагулянту сульфату алюмінію $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18 \text{H}_2\text{O}$

Якість поверхневої води з р. Дніпро, яка використовувалася в даному дослідженні представлена у табл. 5.2 [23].

Останнім часом значно збільшилася різноманітність домішок в природних водах із значним сезонним коливаннями їх складу і кольоровості. Це вимагає великих зусиль по освітленню і знебарвленню води, для чого традиційно використовується сульфат алюмінію.

Таблиця 5.2. Якість поверхневої води з р. Дніпро, яка використовувалася в даному дослідженні

Вода з р. Дніпро		
Каламутність, мг/дм ³	pH	Al^{3+} , мг/дм ³
5,5	7,92	0,5

Сульфат алюмінію — це сіль білого кольору з сірим, блакитним або рожевим відтінком, при звичайних умовах існує у вигляді кристалогідрату $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18 \text{H}_2\text{O}$ — безбарвних кристалів, що зображена на рис. 5.6.



Рис. 5.6. Фотознімок сульфату алюмінію

Основні технічні характеристики сульфату алюмінію, що використовувався при проведенні досліду наведені в табл. 5.3.

Цей коагулянт не у всіх випадках забезпечує необхідну якість очищення. Найскладніше його використовувати при температурах нижче 8 °С, оскільки при даних температурах утворюються такі високодисперсні осідання продуктів гідролізу коагулянту, що їх важко відокремити від води, що очищається, методами відстоювання і фільтрації.

Таблиця 5.3. Основні технічні характеристики сульфату алюмінію $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \times 18\text{H}_2\text{O}$

Найменування показника	Сульфат алюмінію технічний очищений	
	Норма	
	ГОСТ 12966-85	Фактична
Зовнішній вигляд	Незлежувані пластинки і куски невизначеної форми і різного розміру білого кольору. Допускаються мляві відтінки, блакит-ного і рожевого кольорів	
Масова частка оксиду алюмінію (Al_2O_3), %, не більше	15,0	17,0
Масова частка нерозчиненого у воді залишку, %, не більше	0,7	0,3
Масова частка заліза в перерахунку на оксид заліза (III), %, не більше	0,3	0,02
Масова частка вільної сірчаної кислоти (H_2SO_4), %, не більше	0,1	0,0
Масова частка миш'як в перерахунку на оксид миш'яку (III), %, не більше	0,003	0,0
Вага фізична, т	67,10	
Вага базова, т	76,05	
Упакування	Мішок	
Транспортування	Вагон	

Сульфат алюмінію має ряд істотних недоліків: підвищену чутливість до температури та рН води, утворює у результаті гідролізу пухкі частки гідроокису алюмінію. Так, під час обробки води з низькою температурою, коли її в'язкість зменшується, а гідратація часток гідроокису алюмінію підвищується, швидкість

процесів утворення пластівців та їх осадження різко знижується. При цьому відбувається швидке забруднення фільтруючої загрузки, а у воді залишається висока концентрація залишкового алюмінію.

Саме вказані недоліки стали причиною того, що від використання сульфату алюмінію давно відмовилися більшість країн світу. Америка, Англія, Німеччина, Франція, Італія, Іспанія, Японія застосовують для очищення питної води й стічних вод промислових підприємств полігідроксохлориди алюмінію. Якщо за кордоном (у США, Японії й ін.) оксихлориди вже широко застосовують як коагулянти, то в Україні використання оксисульфатів й оксихлоридів для очищення природних і стічних вод перебуває в стадії впровадження.

У табл. 5.4 представлена якість підготовки питної води при її обробці сульфатом алюмінію $Al_2(SO_4)_3 \times 18 H_2O$ залежно від дози.

Таблиця 5.4. Якість підготовки питної води при її обробці сульфатом алюмінію $Al_2(SO_4)_3 \times 18 H_2O$ залежно від дози [23]

Сульфат алюмінію					
Доза коагулянту, мг/дм ³	Якість осадження	Час відстоювання, год	Каламутність, мг/дм ³	pH	Al ³⁺ , мг/дм ³
5	повне	2	1,47	7,9	1,32
12,5	повне	2	1,1	7,7	1,25
17,5	повне	2	1	7,5	1,12

Ефективність вилучення зважених речовин в залежності від дози сульфату алюмінію представлена на рис. 5.6.

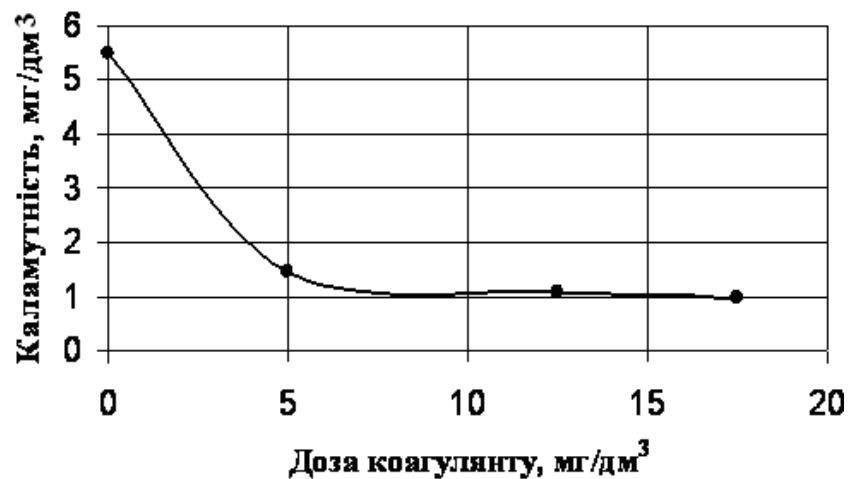


Рис. 5.6. Ефективність вилучення зважених речовин в залежності від дози сульфату алюмінію [23]

Зміну рН середовища в залежності від дози сульфату алюмінію наведено на рис. 5.7.

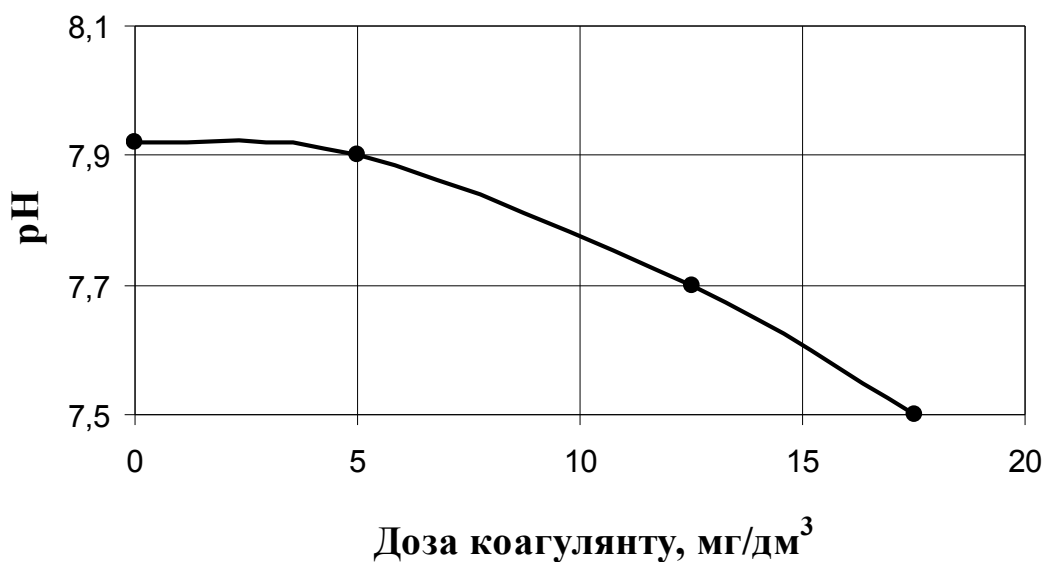


Рис. 5.7. Зміна рН середовища в залежності від дози сульфату алюмінію [23]

Зміну концентрації залишкового алюмінію в залежності від дози коагулянту наведено на рис. 5.8.

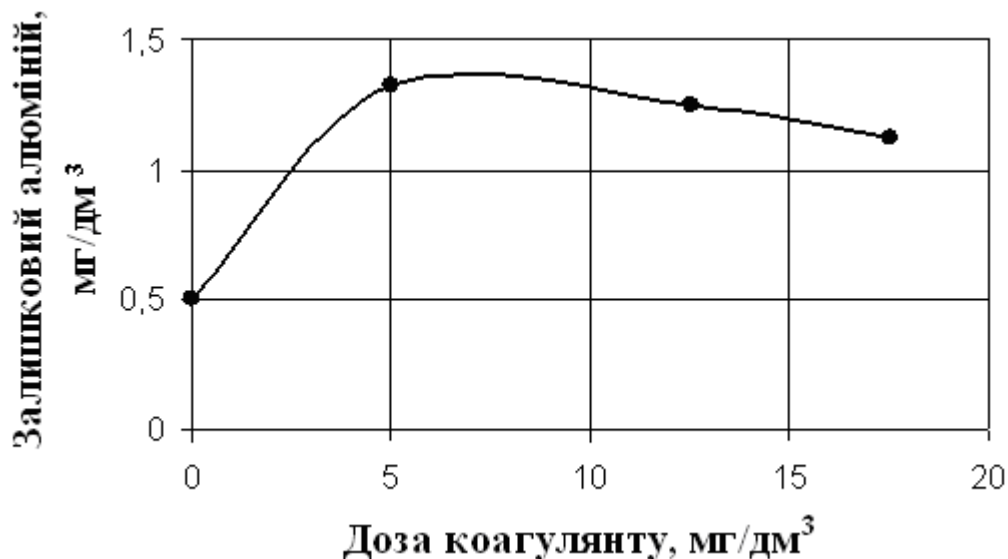


Рис. 5.8. Зміна концентрації залишкового алюмінію залежності від дози коагулянту [23]

5.2.2. Дослідження процесу підготовки питної води за допомогою коагулянту гідроксихлориду алюмінію «ПОЛВАК-68» $\text{Al}_2(\text{OH})_5\text{Cl}$

Коагулянт “ПОЛВАК-68” являє собою водний розчин гідроксихлориду алюмінію. Він виготовляється на ВАТ «Пологівській хімічний завод «Коагулянт» у відповідності до ТУ 19155069.001-1999 та ТУ 24.1-19155069.013:2009, відповідно. Зазначений реагент має відповідний дозвіл МОЗ України і може використовуватися для очищення води господарсько-питного та промислового призначення, стічних вод, а також в технологічних процесах різних галузей промисловості, його фотознімок зображений на рис. 5.9.

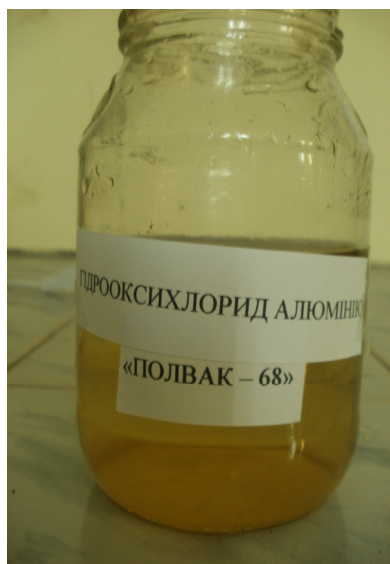


Рис. 5.9. Фотознімок гідрооксихлорид алюмінію «ПОЛВАК-68»

У порівнянні із сульфатом алюмінію для гідрооксихлоридів можливо відмітити наступні технологічні переваги:

- високоосновні гідрооксихлориди алюмінію швидко та повно гідролізуються у холодній воді навіть при температурі нижче 30 °С;
- як частково гідролізована сіль, гідрооксихлориди алюмінію мають більшу здатність до полімеризації, що прискорює утворення пластівців та їх осадження;
- підтверджується робота гідрооксихлоридів алюмінію у більш широкому в порівнянні із сульфатом алюмінію діапазоні рН;
- розширюється, у порівнянні із сульфатом алюмінію, зона оптимуму рН, що призводить до більш повного гідролізу гідроксихлориду і, як наслідок, зменшенню концентрації залишкового алюмінію в питній воді;
- лужність води при коагулюванні гідрооксихлоридами алюмінію знижується істотно менше, що веде до зменшення корозійної активності води;
- осад, що утворюється при використанні гідроксихлоридів алюмінію, більш щільний та займає менший об'єм;
- фільтроцикл при використанні гідроксихлоридів алюмінію у багатьох випадках збільшується;

- гідроксихлориди алюмінію на відміну від сульфату алюмінію мають широкий діапазон оптимальних доз:
- передозування коагулянту не призводить до негативних наслідків — якість очищеної води залишиться високою.

Основні технічні характеристики гідрооксихлориду алюмінію, що використовувався при проведенні дослідів наведені в табл. 5.5.

Коагулянт може зберігатися в будь-яких корозійностійких ємностях, наприклад з поліетилену, поліпропілену, ПВХ, фторопласту та ін. при температурах від -19 до $+45$ °С. Термін використання — 1 рік. Гарантований термін зберігання реагентів «ПОЛВАК» — 6 місяців, але при зберіганні їх у гумованих, поліетиленових ємностях або ємностях з якісним кислотостійким захистом цей строк значно подовжується без втрати коагуляційної активності.

«ПОЛВАК-68» пожежо- та вибуховобезпечний. При транспортуванні, перевантаженні, приготуванні робочих розчинів та праці із ним додержуються таких саме правил та заходів, як і при використанні сульфату алюмінію. Ніяких додаткових заходів з техніки безпеки та охорони праці не потрібно.

Таблиця 5.5. Основні технічні характеристики гідрооксихлориду алюмінію $Al_2(OH)_5Cl$ «ПОЛВАК-68»

Найменування показника	Гідроксихлорид алюмінію «ПОЛВАК-68»	
	Норма	
	ГОСТ 12966-85	Фактична
Зовнішній вигляд	Зелено-жовта рідина. Допускається наявність інших відтінків і помутніння	
Масова частка оксиду алюмінію (Al_2O_3), %, не більше	10,0	13,0
Масова частка нерозчиненого у воді залишку, %, не більше	0,3	0,3
Масова частка хлоридів, %	13 ± 5	14
Густина при 20 °С, г/см ³	1,23—1,40	1,30
Відносна основність, %	65—72	72
Вага фізична, т	70,0	

Вага базова, т	91
Упакування	ЖД цистерна
Транспортування	Цистерна

У табл. 5.6 представлена якість підготовки питної води за допомогою коагулянту гідрооксихлориду алюмінію «ПОЛВАК-68» ($\text{Al}_2(\text{OH})_5\text{Cl}$).

Таблиця 5.6. Якість підготовки питної води за допомогою коагулянту гідрооксихлориду алюмінію «ПОЛВАК-68»

Гідрооксихлорид алюмінію «ПОЛВАК-68»					
Доза коагулянту, мл/дм^3	Якість осадження	Час відстоювання, год	Каламутність, мг/дм^3	pH	Al^{3+} мг/дм^3
5	повне	2	0,56	7	0,29
12,5	повне	2	0,53	6,9	0,24
17,5	повне	2	0,51	6,7	0,21

Ефективність вилучення зважених речовин в залежності від дози гідрооксихлориду алюмінію «ПОЛВАК-68» представлена на рис. 5.9.

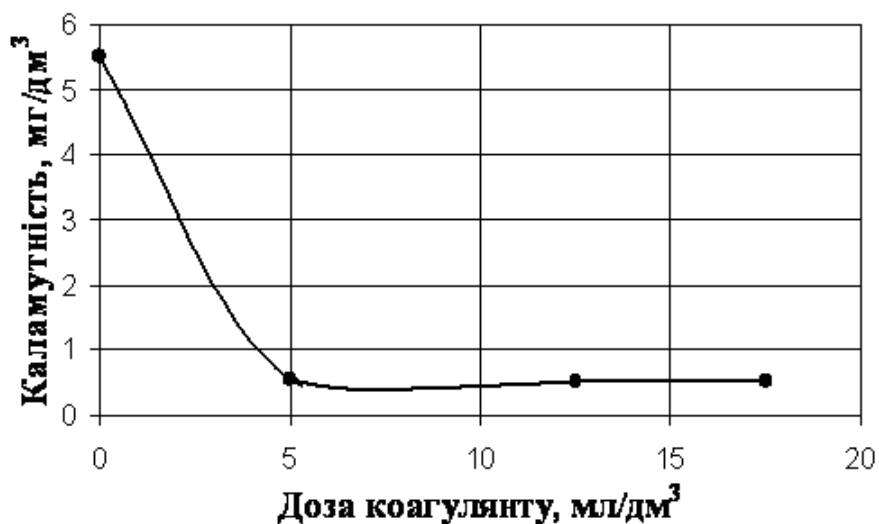


Рис. 5.9. Ефективність вилучення зважених речовин в залежності від дози гідрооксихлориду алюмінію «ПОЛВАК-68» [23]

Зміну рН середовища в залежності від дози гідроксихлориду алюмінію наведено на рис. 5.10.

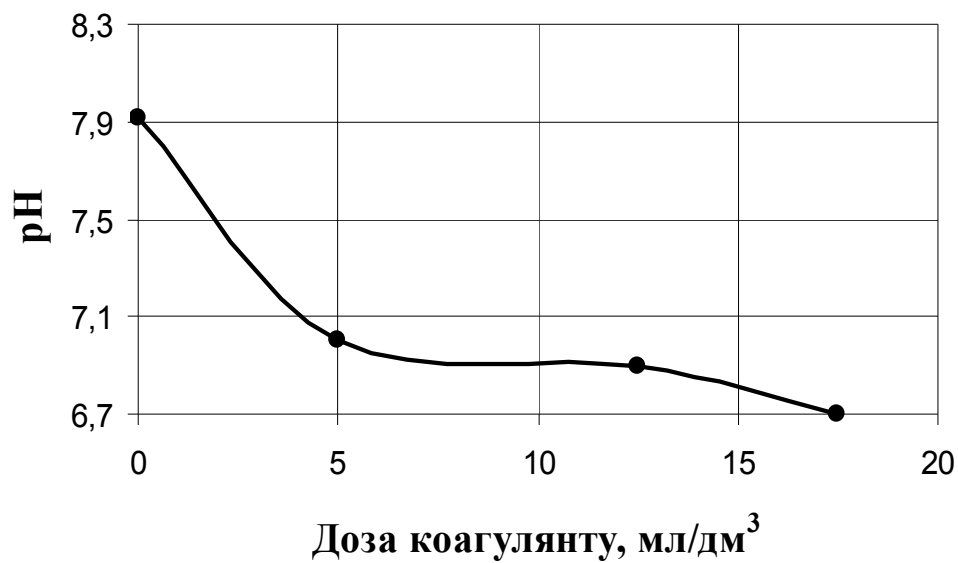


Рис. 5.10. Зміна рН середовища в залежності від дози гідроксихлориду алюмінію [23]

Зміну концентрації залишкового алюмінію в залежності від дози коагулянту наведено на рис. 5.11.

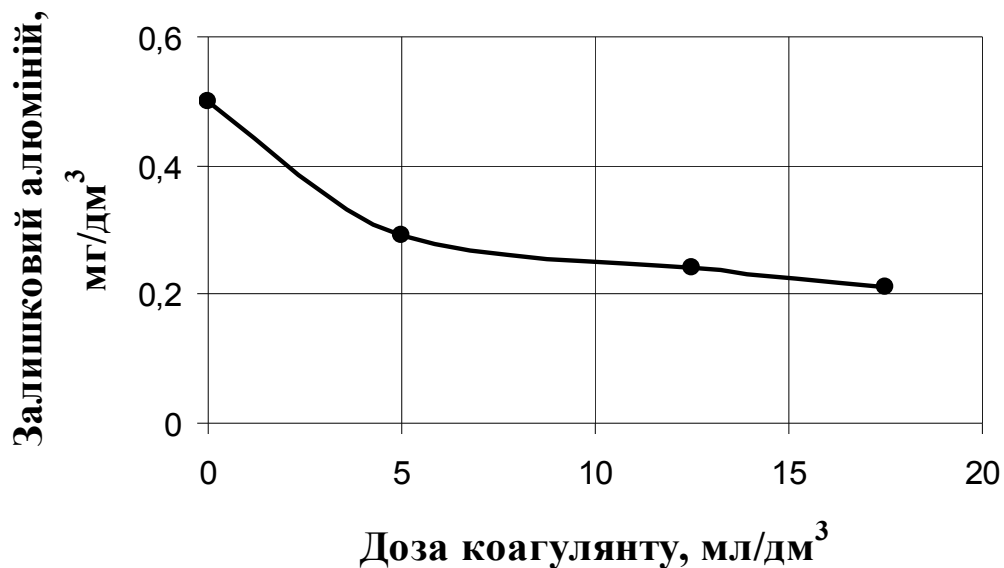


Рис. 5.11. Зміна концентрації залишкового алюмінію в залежності від дози коагулянту [23]

В ході дослідження показано, що коагулянт «ПОЛВАК-68» є більш ефективним ніж сульфат алюмінію. Встановлені оптимальні дози коагулянтів «ПОЛВАК-68», а саме 5 мл/дм³ та сульфату алюмінію 10 мг/дм³, при яких відбувається доведення концентрації зважених речовин у очищеній питній воді до нормативних вимог (0,58 мг/дм³).

5.3. Дослідження процесу вилучення фосфатів з міських стічних вод відпрацьованим коагулянтом на основі сульфату алюмінію станції водопідготовки і порівняння його ефективності з класичними реагентами

В останні роки на діючих міських очисних спорудах спостерігається погіршення якості вихідних стічних вод, зокрема по фосфатам. Більшість споруд очищення міських стоків засновано на традиційній технології біологічної очистки, що не забезпечує доведення концентрації фосфатів до нормативних вимог [24, 25].

Концентрація фосфатів у міській стічній воді, яка надходить на очистку по Україні в середньому складає 6—10 мг/дм³, тобто вміст фосфатів більше цього показника можливо вважати підвищеним.

На багато міських очисних споруд України, зокрема лівого берега Дніпродзержинська, стічні води потрапляють з підвищеним вмістом фосфатів 20—25 мг/дм³, в той час як ступінь видалення цих сполук, при застосуванні діючої технології, в очищених стоках становить в середньому 15 мг/дм³ і перевищує допустиму норму в 4 рази. А враховуючи той факт, що європейські вимоги по фосфатам складають близько 0,2 мг/дм³, то на лівобережних очисних спорудах м. Дніпродзержинська світові нормативи перевищуються в 75 разів. І тому, задля підвищення ступеню видалення фосфатів з міської стічної води на діючих очисних спорудах, необхідне застосування реагентів на стадії доочистки.

Наслідком скиду стічних вод з понаднормовим вмістом фосфатів стала евтрофікація р. Дніпро, тобто бурхливе цвітіння синьо-зелених водоростей з подальшим відмиранням їх

надлишкової біомаси, виділенням токсинів, порушенням кисневого режиму, «заморами» риби [26].

Отже, важливим науковим завданням є розробка нової технології очистки міських стічних вод з підвищеним вмістом фосфатів із застосуванням реагентів з метою покращення екологічного стану р. Дніпро.

В дослідженні показано на скільки можна понизити концентрацію фосфатів в стічних водах при використанні у якості реагенту осаду із станції водопідготовки КП ДОР «Аульський водовід».

Дослідження фізико-хімічних властивостей осаду станції водопідготовки міського водопостачання дозволить розширити коло речовин, використовуваних у промисловості для очищення стічних вод. Тому завдання пошуку ефективних реагентів, у тому числі й на основі відходів водоочищення, є актуальним.

Для проведення досліджень використовували стічну воду, відібрану після вторинних відстійників лівобережних очисних споруд м. Дніпродзержинська (вміст фосфатів становив $12,25 \text{ мг/дм}^3$) та сирий осад зі станції водопідготовки КП ДОР «Аульський водовід», що містить суміш сульфату алюмінію й органічних речовин.

Осад має комплекс фізико-хімічних властивостей, що дозволяють використовувати його в якості реагенту, який при певних умовах може утворювати сполуки з фосфатами у стічній воді. Залежність концентрації фосфатів від часу обробки відпрацьованим коагулянтном на основі сульфату алюмінію та його дози при температурі стічної води 15°C представлено на рис. 5.12.

При цьому вологість відпрацьованого коагулянту становила 86 %, час контактування 3 години.

Встановлено, що зі збільшенням дози відпрацьованого коагулянту з 50 до 150 г/дм^3 , концентрація фосфатів у міській стічній воді знизилася з $10,25$ до $7,75 \text{ мг/дм}^3$ відповідно.

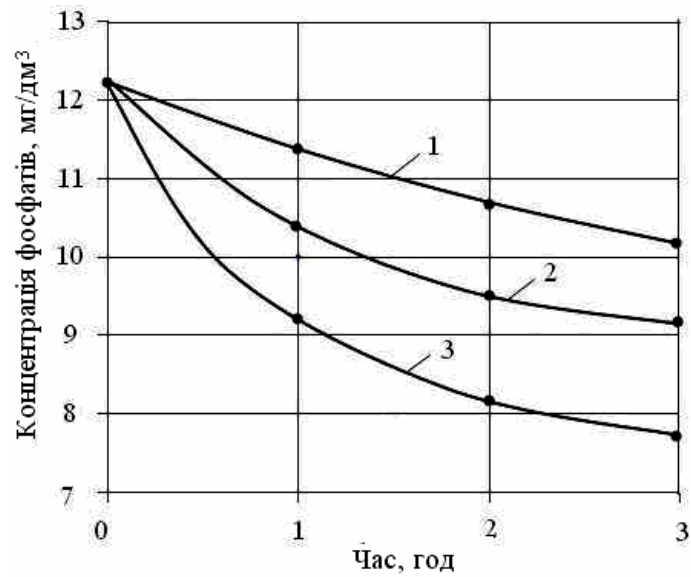


Рис. 5.12. Залежність концентрації фосфатів від часу обробки відпрацьованим коагулянтном на основі сульфату алюмінію при температурі стічної води 15 °С і дозах відпрацьованого коагулянту, г/дм³: 1 — 50; 2 — 100; 3 — 150

Враховуючи той факт, що температура стічних вод, які подаються на лівобережні очисні споруди м. Дніпродзержинська, залежно від пори року є різною, було встановлено залежність залишкової концентрації фосфатів від температури стічної води (10, 15 і 20 °С) при дозі відпрацьованого коагулянту на основі сульфату алюмінію 150 г/дм³ (рис. 5.13).

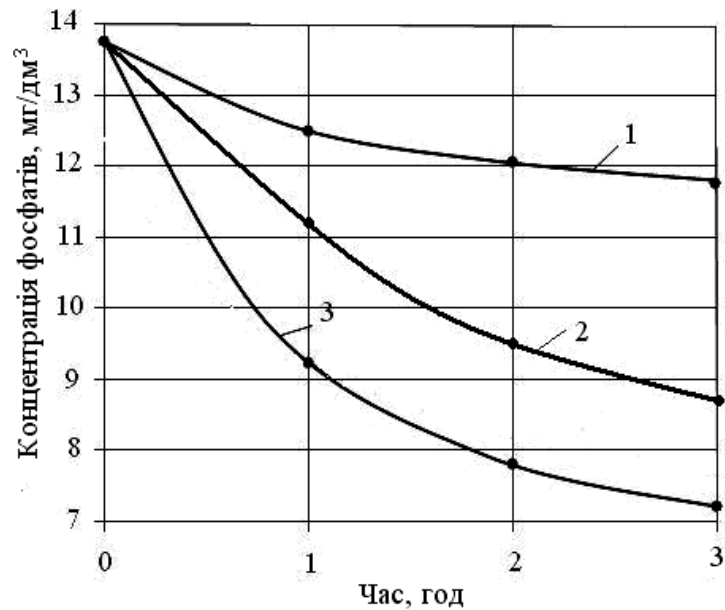


Рис. 5.13. Залежність залишкової концентрації фосфатів від температури стічної води при дозі відпрацьованого коагулянту на основі сульфату алюмінію 150 г/дм^3 , °C: 1 — 10; 2 — 15; 3 — 20

Отже, показано, що температура стічної води суттєво впливає на ступінь вилучення фосфатів з міських стічних вод, а саме: при температурі $10 \text{ }^{\circ}\text{C}$ після 3-х годин контактування залишковий вміст фосфатів становив $11,75 \text{ мг/дм}^3$, при $15 \text{ }^{\circ}\text{C}$ — $8,75 \text{ мг/дм}^3$, та $20 \text{ }^{\circ}\text{C}$ — $7,25 \text{ мг/дм}^3$ відповідно.

Проведені дослідження дають змогу стверджувати, що використання відпрацьованих коагулянтів станції водопідготовки для вилучення фосфатів з міських стічних вод носить позитивний характер з можливістю впровадження на міських очисних спорудах Дніпропетровської області та України в цілому.

Для порівняння ефективності відпрацьованих коагулянтів з класичними реагентами проведені дослідження осадження фосфатів солями феруму, алюмінію та кальцію. Залежність концентрації фосфатів від експериментальної (1) та теоретичної (2) дози реагентів, яка отримана нами, наведено на рис. 5.14 [27].

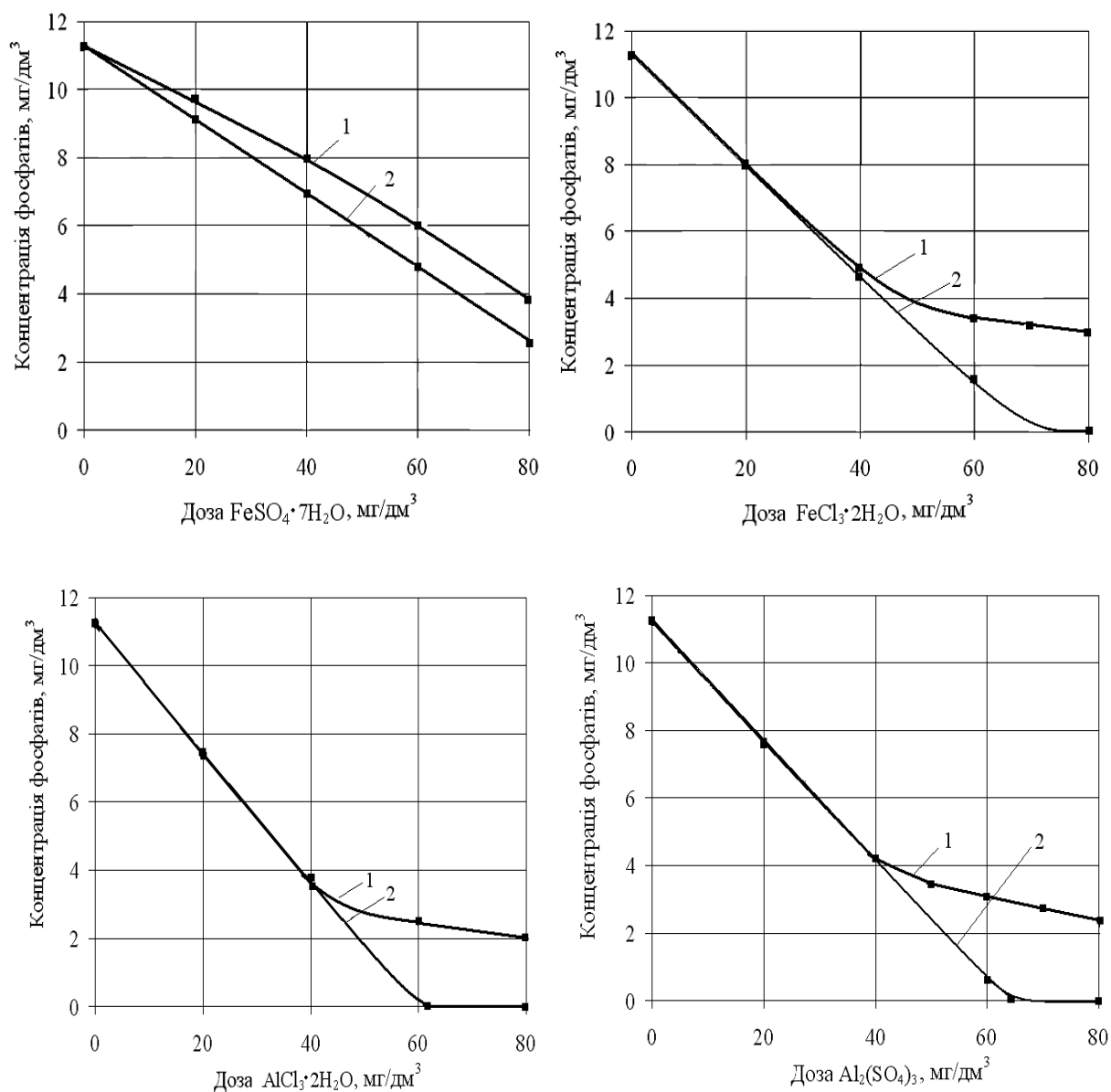
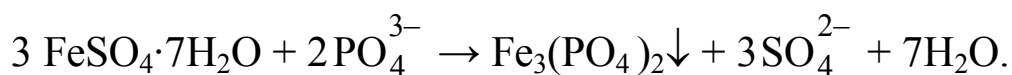
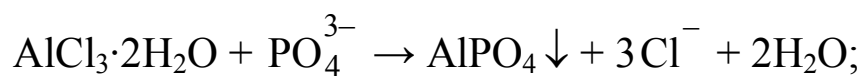
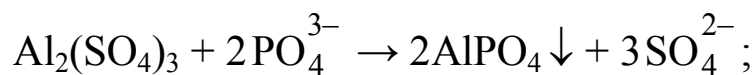
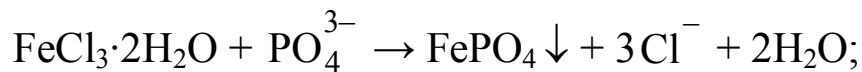


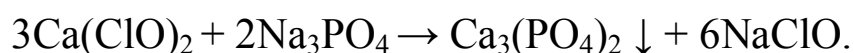
Рис. 5.14. Залежність концентрації фосфатів від експериментальної (1) та теоретичної (2) дози реагентів [27]

Прийнято допущення, що процес реагентного осадження фосфатів зі стічної води відбувається за такими хімічними реакціями:



З експериментальних досліджень слідує, що при дозі $\text{FeCl}_3 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ — 60 мг/дм^3 , $\text{AlCl}_3 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ — 40 мг/дм^3 , $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ — 50 мг/дм^3 , $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ — 80 мг/дм^3 відбувається доведення концентрації фосфатів у міській стічній воді до граничнодопустимої норми України ($3,5 \text{ мг/дм}^3$) при вихідному її вмісті $11,25 \text{ мг/дм}^3$. Визначено оптимальний час, за який досягається зменшення вмісту фосфатів до нормативних вимог: для $\text{FeCl}_3 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ концентрацією 40 мг/дм^3 — 2,5 год, $\text{AlCl}_3 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ дозою 40 мг/дм^3 — 2 год, $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ концентрацією 60 мг/дм^3 — 2 год.

Крім солей алюмінію та феруму для осадження фосфатів використовували гіпохлорит кальцію $\text{Ca}(\text{ClO})_2$. Перевагою гіпохлориту кальцію над іншими реагентами є те, що він крім осадження фосфатів знезаражує стічну воду. Ми припускаємо, що осадження фосфатів гіпохлоритом кальцію протікає за наступною хімічною реакцією:



В результаті хімічної реакції фосфати осаджуються у вигляді фосфату кальцію. На рис 5.15 показана залежність концентрації фосфатів від дози гіпохлориту кальцію через 1 та 3 години контактування реагенту зі стічною водою. Через 4 години концентрація фосфатів не змінилася. Отже, 3 години є оптимальним часом контактування гіпохлориту кальцію зі стічною водою.

Встановлено, що для доведення концентрації фосфатів до нормативних вимог України доза гіпохлориту кальцію повинна становити 100 мг/дм^3 і час контактування 3 години [27].

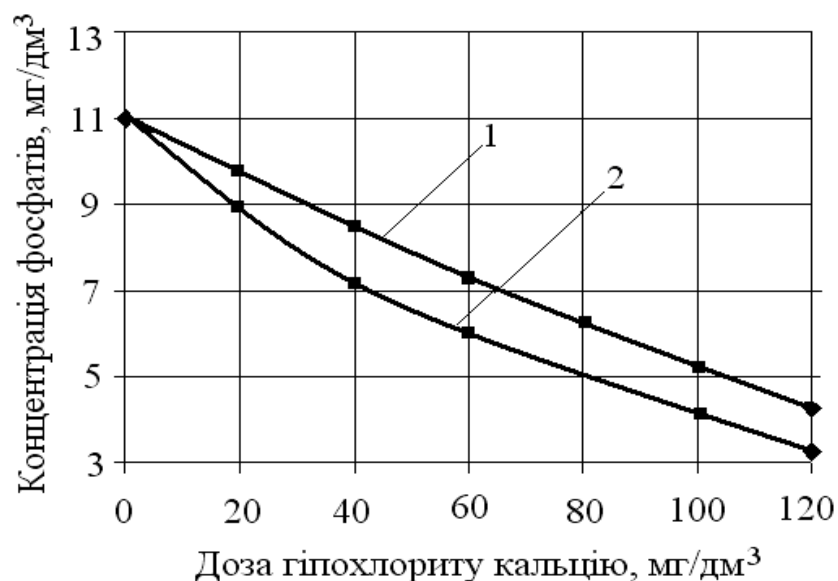


Рис. 5.15. Залежність концентрації фосфатів від дози гіпохлориту кальцію $\text{Ca}(\text{ClO})_2$ через 1 (1) та 3 (2) години контактування реагенту зі стічною водою, [27]

Отже, при порівнянні відпрацьованого коагулянту на основі сульфату алюмінію з класичними реагентами для вилучення фосфатів з міських стічних вод показано, що відпрацьований коагулянт менш ефективний. Проте перевагою відпрацьованого коагулянту є відносно низька вартість, адже він являється відходом станцій водопідготовки і з економічної точки зору його використання є доцільним.

5.4. Розрахунки в технології підготовки питної води

5.4.1. Розрахунок матеріального балансу станції очищення питної води

Вхідні дані для розрахунку [28]: корисна продуктивність водоочисних споруд $Q_{\text{пов}}$ — 550 тис. м³/добу; джерело водопостачання — річка; кількість жителів у місті — 290 тис. чол; забудова — 9 поверхів; коефіцієнт годинної нерівномірності — 1,3; аналіз вихідної води (табл. 5.7):

Таблиця 5.7. Характеристики води

Показник	Значення показника
Концентрація змулених речовин, мг/дм ³	140—410
Кольоровість, град	80—167
Твердість, ммоль/дм ³ (мг-екв/дм ³)	1,59
Твердість некарбонатна, ммоль/дм ³ (мг-екв/дм ³)	0,74
Вміст заліза, мг/дм ³	0,9
Водневий показник рН	7,4—7,75
Окислюваність, мг/дм ³ O ₂	8—11
Колі-індекс	460

Повна розрахункова виробнича потужність водоочисної станції, враховуючи витрати води на власні потреби за формулою:

$$Q = \alpha \cdot Q_{\text{кор}} \quad (5.1)$$

де α — коефіцієнт, що враховує витрати води на власні потреби очисної станції. Згідно зі СНП 2.04.02-84 $\alpha = 1,03$ — $1,04$ за повторного використання промивних вод від фільтрів; $\alpha = 1,10$ — $1,14$ без їх повторного використання; $Q_{\text{кор}}$ — корисна виробнича потужність станції, м³/добу; $Q_{\text{кор}} = 550000$ м³/добу

За вибраної схеми очищення $\alpha = 1,03$. Тоді:

$$Q = 1,03 \cdot 550000 = 566500 \text{ м}^3/\text{добу}.$$

Доза коагулянту в перерахунку на Al₂(SO₄)₃, береться за табл. 5.2 залежно від вмісту (максимального) у воді змулених речовин ($D_K = 45$ мг/дм³) або за формулою:

$$D_K = 4\sqrt{K}, \quad (5.2)$$

де K — кольоровість води, град;

$$D_K = 4\sqrt{167} = 52 \text{ мг/дм}^3.$$

За розрахункове беремо друге значення — 52 мг/дм³. Дозу вапна для підвищення основності води обчислюємо за формулою:

$$D_{\text{вап}} = 28 \cdot (0,0175 \cdot D_{\text{к}} - T + 1),$$

де T — мінімальна твердість води, ммоль/дм³;

$$D_{\text{вап}} = 28 \cdot (0,0175 \cdot 52 - 0,85 + 1) = 30 \text{ мг/дм}^3.$$

Твердість води T визначена як різниця загальної та некарбонатної твердості.

За мокрого зберігання коагулянту його добова витрата за формулою:

$$Q_{\text{к}} = \frac{Q \cdot D_{\text{к}}}{10000 \cdot P}, \quad (5.3)$$

$$Q_{\text{к}} = \frac{566500 \cdot 52}{10000 \cdot 50} = 59 \text{ т/добу.}$$

Чистий коагулянт становить:

$$59 \cdot 0,5 = 29,5 \text{ т/добу.}$$

У баках сховища чистий коагулянт розчиняється до 20 %-ної концентрації.

Таблиця 5.8. Залежність дози коагулянту від каламутності води

Вміст змулених речовин, мг/дм ³	Доза безводного коагулянту для обробки каламутних вод, мг/дм ³	
	Грубо дисперсні змулені речовини	Тонко дисперсні змулені речовини
До 100	25	35
Від 100 до 200	30	40
Від 200 до 300	35	45
Від 400 до 600	45	50
Від 600 до 800	50	60
Від 800 до 1000	60	70
Від 1000 до 1500	70	80

Для отримання 20 %-го розчину потрібна кількість води:

$$Q'_{\text{води}} = \frac{29,5 \cdot 80}{20} - 29,5 = 88,3 \text{ т/добу.}$$

У витратних баках розчин доводиться до концентрації 5 %.
У ці баки потрібно додати води:

$$Q''_{\text{води}} = \frac{29,5 \cdot 95}{5} - (Q'_{\text{води}} + 29,5) = 560,5 - 88,3 - 29,5 = 442,5 \text{ т/добу.}$$

Усього з витратних баків подається розчину, що становить:

$$29,5 + 29,5 + 88,3 + 442,5 = 589,8 \text{ т/добу.}$$

Подача вапна на станції передбачається у вигляді вапняного тіста, вміст безводного продукту в якому дорівнює 40 %.

Добова витрата вапна розраховується за формулою:

$$Q_{\text{вап}} = \frac{D_{\text{вап}} \cdot Q}{10000 \cdot P}, \quad (5.4)$$

де $P = 40 \%$ — вміст безводного продукту;

$$Q_{\text{вап}} = \frac{30 \cdot 566500}{10000 \cdot 40} = 42,5 \text{ т/добу.}$$

Витрата чистого гідроксиду кальцію становить:

$$42,5 \cdot 0,4 = 17 \text{ т/добу.}$$

Вміст води у вапні:

$$42,5 - 17 = 25,3 \text{ т/добу.}$$

З баків сховищ вапно 15 %-ної концентрації подається у витратний бак. Для отримання розчину в бак — сховище треба подати води:

$$Q'''_{\text{води}} = \frac{17 \cdot 85}{15} - 25,3 = 71 \text{ т/добу.}$$

У витратних баках концентрація вапна доводиться до 5 %.
Для отримання розчину потрібно води:

$$Q^{IV}_{\text{води}} = \frac{17 \cdot 95}{5} - 71 = 252 \text{ т/добу.}$$

Усього кількість розчину, що подається з витратних баків вапна, буде:

$$17 + 71 + 25,3 + 252 = 365,3 \text{ т/добу.}$$

Концентрація замулених речовин, що надходить у відстійник, обчислюється за формулою :

$$C = M + K_1 \cdot D_k + 0,25 \cdot K + C_n,$$

де M — вміст замулених речовин у воді, г/м^3 ; K_1 — коефіцієнт для очищеного $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$, що дорівнює 0,5; K — кольоровість води, град; C_n — вміст нерозчинних речовин, що вносяться з вапном;

$$C_n = \frac{D_{\text{вап}}}{K_2} - D_{\text{вап}},$$

K_2 зазвичай дорівнює 0,4—0,6;

$$C_n = \frac{30}{0,6} - 30 = 20 \text{ мг/дм}^3,$$

$$C = 410 + 0,5 \cdot 52 + 0,25 \cdot 167 + 20 = 498 \text{ г/м}^3.$$

Концентрація ущільненого осаду δ при терміні ущільнення 24 години береться такою, що дорівнює 60000 г/м^3 за табл. 5.9. Концентрацію замулених речовин у воді, що виходить з відстійника, беремо 10 г/м^3 .

Таблиця 5.9. Характеристики осаду в залежності від каламутності води

Вміст замулених речовин у воді	Реагент	Середня концентрація твердої фази в осаді, г/м^3 , при інтервалах між вивантаженнями осаду		
		6 годин	12 годин	24 години
До 50	Коагулянт	9000	12000	15000
50—100	Коагулянт	12000	16000	20000
100—400	Коагулянт	20000	32000	40000
400—1000	Коагулянт	35000	50000	60000
1000—1500	Коагулянт	80000	100000	120000
Вище 1500	Флокулянт	90000	140000	160000
Вище 1500	Без реагентів	200000	250000	300000

Отже, кількість шламу за сухою речовиною, що утворюється за добу:

$$M_{\text{ш}} = \frac{(C-10) \cdot Q}{10^6} = \frac{(498-10) \cdot 566500}{10^6} = 276,5 \text{ т/добу.}$$

При $\delta = 60000 \text{ г/м}^3$ об'єм шламу:

$$W_{\text{ш}} = \frac{M_{\text{ш}} \cdot 10^6}{\delta} = \frac{276,5 \cdot 10^6}{60000} = 4607,5 \text{ м}^3/\text{добу.}$$

Об'єм шламу, що перекачується в шламове сховище, потрібно визначити, враховуючи коефіцієнт розчинення осаду, з його транспортування, що дорівнює 1,5 (при гідравлічному транспортуванні шламу):

$$W'_{\text{ш}} = 1,5 \cdot W_{\text{ш}} = 1,5 \cdot 4607,5 = 6911,3 \text{ м}^3/\text{добу.}$$

Для того, щоб обчислити необхідну кількість води для промивання фільтрів, слід розрахувати загальну площу фільтрування за формулою:

$$F = \frac{Q}{T \cdot V_{\text{н}} - n \cdot 3,6 \cdot \omega \cdot t_1 - n \cdot t_2 \cdot V_{\text{н}}}, \quad (5.5)$$

де $Q = 566500 \text{ м}^3/\text{добу}$; T — час роботи станції за добу, $T = 24$ години; $V_{\text{н}}$ — швидкість фільтрування за нормального режиму, м/год; ω — інтенсивність промивання фільтра, л/(с·м³); t_1 — термін промивання, год; n — кількість промивань кожного фільтра на добу за нормального режиму експлуатації (2—3); t_2 — термін простою фільтру у зв'язку з промиванням (при водяному — 0,33 год, при повітряному — 0,5 год).

Беремо одношаровий піщаний фільтр з діаметром зерен 0,7—1,6 мм та висотою шару 1,5 (табл. 5.10).

За табл. 5.10 швидкість фільтрування $V_{\text{н}} = 10 \text{ м/год}$, $\omega = 15 \text{ л/(см}^3\text{)}$, $t_1 = 0,1 \text{ год}$.

При водяному промиванні $t_2 = 0,33 \text{ год}$. Кількість промивань на добу візьмемо $n = 3$:

$$F = \frac{566500}{24 \cdot 10 - 3 \cdot 3,6 \cdot 15 \cdot 0,1 - 3 \cdot 0,33 \cdot 10} = 2648,4 \text{ м}^2.$$

Кількість фільтрів:

$$N = \frac{\sqrt{F}}{2} = \frac{\sqrt{2648,4}}{2} = 26.$$

Площа одного фільтра:

$$\frac{2648,4}{26} = 102 \text{ м}^2.$$

Витрати води на промивання одного фільтру:

$$q_{\text{пром}} = \omega \cdot F_1.$$

де F — площа одного фільтру ($F = 102 \cdot 5 = 510 \text{ м}^2$).

$$q_{\text{пром}} = 15 \cdot 510 = 7650 \text{ дм}^3/\text{с}.$$

Якщо врахувати, що для одного фільтру $t_1 = 0,1 \text{ год} = 6 \text{ хв} = 360 \text{ с}$, а $n = 3$, тоді на добу на промивання одного фільтру витрачається:

$$q'_{\text{пром}} = q_{\text{пром}} \cdot t_1 \cdot n,$$

$$q'_{\text{пром}} = 7650 \cdot 360 \cdot 3 = 8262000 \text{ дм}^3 = 8262 \text{ м}^3.$$

Для 26 фільтрів кількість води на промивання складає на добу:

$$q''_{\text{пром}} = q'_{\text{пром}} \cdot 26 = 8262 \cdot 26 = 214812 \text{ м}^3.$$

Така сама кількість води щодоби після усереднювала подається на початок технологічної схеми.

Витрата хлору за первинного хлорування розраховується за формулою:

$$q'_x = \frac{Q D_x}{1000}, \quad (5.6)$$

де D_x — доза хлору, яка за первинного хлорування може бути 3—10 мг/дм³, для вторинного 1—3 мг/дм³. Візьмемо $D_{x1} = 10 \text{ мг/дм}^3$, $D_{x2} = 3 \text{ мг/дм}^3$;

$$q'_x = \frac{566500 \cdot 10}{1000} = 5665 \text{ кг/добу}.$$

За вторинного хлорування:

$$q'_x = \frac{566500 \cdot 3}{1000} = 1700 \text{ кг/добу.}$$

Таблиця 5.10. Характеристика фільтрів

Тип фільтру	Характер фільтруючого шару		Швидкість фільтрування, м/год, за режиму		Інтенсивність промивання	Терміни промивання, хв	Відносне розширення завантаження,
	Діаметр зерен, мм	Висота шару, м	нормального	форсового			
Одношаровий із піску	0,5—1,2	0,7—0,8	5—6	6—7,5	12—14	6—5	45
	0,7—1,6	1,3—1,5	6—8	7—9,5	14—16	6—5	30
	0,8—2	1,8—2	8—10	10—12	16—18	6—5	25
Одношаровий із подрібненого керамзиту	0,5—1,2	0,7—0,8	6—7	7—9	12—15	7—6	45
	0,7—1,6	1,3—1,5	7—9,5	8,9—11,5	12—15	7—6	30
	0,8—2	1,8—2	9,5—12	12—14	12—15	7—6	25
Двошаровий (верхній шар — антрацит, нижній — пісок)	0,8—1,8 (антрацит)	0,4—0,5	7—10	8,5—12	14—16	7—6	50
	0,5—1,2 (пісок)	0,7—0,8					

Матеріальний баланс станції очищення питної води наведений в табл. 5.11.

Таблиця 5.11. Матеріальний баланс станції очищення питної води

Прихід	м ³ /добу	Витрата	м ³ /добу
Вода з р. Дніпро	550000	Вода зі шламом	4607,5
		Вода на промивання	214812
		Очищена питна вода	330580,5
Всього	550000	Всього	550000

5.4.2. Технологічний розрахунок станції очищення питної води

Вихідні дані: корисна продуктивність водоочисних споруд $Q_{\text{пов}}$ — 550 тис. м³/добу.

Вміст зважених речовин, мг/дм ³	242
Сухий залишок, мг/дм ³	720
pH	6,5—8,5
Вміст кисню O ₂ , мг/дм ³	5,7

Вміст катіонів і аніонів, мг/дм³:

Ca ²⁺	72
HCO ₃ ⁻	147
Mg ²⁺	49
SO ₄ ²⁻	179
Na ⁺	21
Cl ⁻	64
Fe ³⁺	0,2
SiO ₃ ²⁻	23
Температура, °С	14
Запах, присмак, бали	2
Кольоровість, град. п.к.ш.	45

5.4.2.1. Перевірка результатів аналізу вихідної води

Перевірка придатності води для питних цілей і вибір відповідних методів обробки можуть бути здійснені при наявності повного аналізу води з визначенням таких показників: зважені речовини, сухий залишок, рН, кольоровість, окислюваність, вільна вуглекислота, лужність, жорсткість загальна, жорсткість карбонатна, зміст основних катіонів і аніонів. Залежно від виду джерела водопостачання потрібно мати кілька аналізів, що характеризують вихідну воду. При цьому необхідно переконатися в правильності аналізу води.

Вода електронейтральна, тому суми концентрацій катіонів і аніонів, виражені в мг-екв/дм³, розраховується за формулою:

$$\Sigma K = \Sigma A \quad (5.7)$$

$$[Ca^{2+}] + [Mg^{2+}] + [Na^{+}] + [Fe^{2+}] = [HCO_3^{-}] + [SO_4^{2-}] + [Cl^{-}] + [SiO_3^{2-}].$$

Для перерахування концентрацій іонів, виражених у мг/дм³, у мг-екв/дм³, концентрацію треба розділити на еквівалентну масу даної речовини:

$$\frac{Ca^{2+}}{20,04} + \frac{Mg^{2+}}{12,16} + \frac{Na^{+}}{23} + \frac{Fe^{3+}}{27} = \frac{HCO_3^{-}}{61,02} + \frac{SO_4^{2-}}{48,03} + \frac{Cl^{-}}{35,48} + \frac{SiO_3^{2-}}{38};$$

$$\frac{72}{20,04} + \frac{49}{12,16} + \frac{21}{23} + \frac{0,2}{27} = \frac{147}{61,02} + \frac{179}{48,03} + \frac{64}{35,48} + \frac{23}{38};$$

$$3,593 + 4,029 + 0,913 + 0,007 = 2,409 + 3,727 + 1,804 + 0,605;$$

$$8,542 = 8,545.$$

Основною перевіркою правильності аналізу є зіставлення сум концентрацій (у мг-екв/дм³) катіонів і аніонів, при цьому повинна виконуватися нерівність:

$$\frac{\Sigma K - \Sigma A}{\Sigma K + \Sigma A} \cdot 100 \% \leq 5 \%.$$

$$\frac{8,542 - 8,545}{8,542 + 8,545} \cdot 100 \% < 5 \%.$$

Сумарна концентрація катіонів Ca²⁺ і Mg²⁺ визначає загальну жорсткість води за формулою:

$$Ж_o^{вих} = \frac{Ca^{2+}}{20,04} + \frac{Mg^{2+}}{12,16} = \frac{72}{20,04} + \frac{49}{12,16} = 7,62 \text{ мг-екв/дм}^3. \quad (5.8)$$

Знаходимо карбонатну жорсткість за формулою:

$$Ж_K = \frac{HCO_3^-}{61,02} = \frac{147}{61,02} = 2,41 \text{ мг-екв/дм}^3. \quad (5.9)$$

Визначаємо некарбонатну жорсткість за формулою:

$$Ж_{HK} = Ж_o^{вих} - Ж_K = 7,62 - 2,41 = 5,21 \text{ мг-екв/дм}^3. \quad (5.10)$$

Мінеральний залишок:

$$\Sigma K + \Sigma A = 72 + 49 + 21 + 0,2 + 147 + 179 + 64 + 23 = 555,2 \text{ мг/дм}^3.$$

5.4.2.2. Визначення повної продуктивності водоочисних споруд

Повну продуктивність станції обробки господарсько-питної води визначають з урахуванням витрати води на власні потреби

станції (промивання фільтрів, очищення відстійників, камер утворення пластівців, змішувачів, РЧВ та ін.), додаткової витрати води на поповнення протипожежного запасу і приготування розчинів реагентів.

Витрату води на власні потреби станції освітлення при повторному використанні води після промивання фільтрів приймають 3 % від кількості води, подаваної споживачам розраховують за формулою:

$$Q_{\text{ос}} = \frac{\alpha \cdot Q_{\text{пол}}}{24} + Q_{\text{доп}}, \text{ м}^3/\text{год}, \quad (5.11)$$

де $Q_{\text{доп}}$ — додаткова витрата води на поповнення протипожежного запасу, $\text{м}^3/\text{год}$;

$$Q_{\text{дод}} = \frac{Q_{\text{пож}}}{T_{\text{пож}}} = \frac{3,6 \cdot t_{\text{пож}} \left[n \cdot \left(q_{\text{н.пож}}^{\text{нп}} + q_{\text{в.пож}}^{\text{нп}} \right) + n' \cdot \left(q_{\text{н.пож}}^{\text{пп}} + q_{\text{в.пож}}^{\text{пп}} \right) \cdot 0,5 \right]}{T_{\text{пож}}}, \quad (5.12)$$

де $Q_{\text{пож}}$ — витрата води для гасіння пожежі, $\text{м}^3/\text{год}$; n і n' — кількість одночасних пожеж відповідно в населеному пункті і на підприємстві; $q_{\text{н.пож}}^{\text{нп}}$ і $q_{\text{н.пож}}^{\text{пп}}$ — норма витрати води на зовнішнє пожежогасіння відповідно для населеного пункту і підприємства; $q_{\text{в.пож}}^{\text{нп}}$ і $q_{\text{в.пож}}^{\text{пп}}$ — норма витрати води на внутрішнє пожежогасіння відповідно для населеного пункту і підприємства; $t_{\text{пож}}$ — розрахункова тривалість пожежі, год; $T_{\text{пож}}$ — час відновлення пожежного запасу, год.

$$Q_{\text{дод}} = \frac{3,6 \cdot 3 \left[3 \cdot (55 + 10) + 1 \cdot (30 + 10) \cdot 0,5 \right]}{24} = 96,75 \text{ м}^3/\text{год};$$

$$Q_{\text{ос}} = \frac{(1 + 0,03) \cdot 550000}{24} + 96,75 = 23604,17 \text{ м}^3/\text{год};$$

$$Q'_{oc} = 23604,17 \cdot 24 = 566500 \text{ м}^3/\text{добу};$$

$$q_{oc} = \frac{23604,17}{3,6} = 6556,7 \text{ л/с.}$$

5.4.3. Розрахунок реагентного господарства

5.4.3.1. Розрахунок коагуляторного відділення

Вибір дози коагулянту здійснюють згідно з кольоровістю вихідної води та розраховують за формулою:

$$D_K = 4\sqrt{Ц}, \text{ мг/дм}^3, \quad (5.13)$$

При одночасному вмісті у воді зважених речовин і кольоровості приймається найбільша з доз коагулянту.

При кольоровості вихідної води 45 град:

$$D_K = 4\sqrt{45} = 26,8 \text{ мг/дм}^3.$$

Для мутності вихідної води 242 мг/дм^3 доза коагулянту дорівнює 38 мг/дм^3 . Таким чином, приймається доза коагулянту 38 мг/дм^3 .

Доза коагулянту за товарним продуктом зі вмістом безводної солі $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ 45,3 % дорівнює 84, а загальна добова витрата:

$$G_K = \frac{84 \cdot 566500}{10} = 47,6 \text{ т/добу.}$$

Добова витрата води на приготування 5 %-ного розчину коагулянту:

$$Q_{в.к.} = \frac{47,6 \cdot 95}{5} = 904,13 \text{ м}^3/\text{добу.}$$

Приймають мокре збереження коагулянту в баках-сховищах.

Об'єм розчинних баків розрахований на прийом коагулянту від одного самоскида вантажопідйомністю 5 т з розрахунку $1,5 \text{ м}^3$

на 1 т коагулянту. Місткість бака $1,5 \cdot 5 = 7,5 \text{ м}^3$. Розміри бака приймаємо $2 \times 2 \times 1,9 \text{ м}$. До установки запроектовано 4 баки. Тривалість розчинення при температурі води взимку $3 \text{ }^\circ\text{C}$ — 4 години. Для інтенсифікації процесу розчинення в баки подається стиснене повітря.

Місткість баків-сховищ визначаємо з розрахунку $15\text{—}30$ — добової витрати $10\text{—}17 \%$ -го розчину коагулянту за формулою:

$$W_{\text{б.сх}} = \frac{D_{\text{к}} \cdot Q'_{\text{ос}} \cdot T_{\text{сх}}}{10 \cdot C_{\text{б.сх}} \cdot \rho_{\text{б.сх}}}, \text{ м}^3, \quad (5.14)$$

де $D_{\text{к}}$ — доза коагулянту за безводним продуктом, мг/дм^3 ; $Q'_{\text{ос}}$ — повна продуктивність очисних споруд, $\text{м}^3/\text{добу}$; $T_{\text{сх}}$ — розрахункова тривалість збереження розчину коагулянту (15 добу); $C_{\text{б.сх}}$ — концентрація розчину в баках-сховищах (17 %); $\rho_{\text{б.сх}}$ — щільність розчину коагулянту (1150 кг/м^3):

$$W_{\text{б.сх}} = \frac{84 \cdot 566500 \cdot 15}{10 \cdot 17 \cdot 1150} = 3651 \text{ м}^3.$$

Місткість баків-сховищ може бути зменшена на сумарну ємність розчинних баків.

Приймаємо до проектування 4 баки. Місткість витратних баків визначаємо за формулою:

$$W_{\text{б.сх}} = \frac{D_{\text{к}} \cdot Q_{\text{ос}} \cdot T_{\text{сх}}}{10 \cdot C_{\text{б.сх}} \cdot \rho_{\text{б.сх}}}, \quad (5.15)$$

де $Q_{\text{ос}}$ — повна продуктивність очисних споруд, $\text{м}^3/\text{год}$; $T_{\text{сх}}$ — час роботи станції, на який розраховується кількість розчину коагулянту у витратних баках, год., (приймається залежно від продуктивності станції: до $10 \text{ тис. м}^3/\text{добу}$ — $12\text{—}24 \text{ год.}$, $10\text{—}50 \text{ тис. м}^3/\text{добу}$ — $8\text{—}12 \text{ год.}$, більше $50 \text{ тис. м}^3/\text{добу}$ — $6\text{—}8 \text{ год.}$, більше $100 \text{ тис. м}^3/\text{добу}$ — 3 год.), приймаємо 6 год. ; $C_{\text{б.сх}}$ —

концентрація розчину у витратних баках (приймається 4—10 %),
 $\rho_{\text{б.сх}}$ — щільність розчину коагулянту (1050 кг/м^3):

$$W_{\text{б.сх}} = \frac{84 \cdot 23604,17 \cdot 6}{10 \cdot 5 \cdot 1050} = 113,3 \text{ м}^3.$$

Приймаємо до проектування 4 робочих баки.

Для перекачування розчину коагулянту з баків-сховищ у витратні баки використано насос марки 1,5х-6Д-1-41 продуктивністю $8,64 \text{ м}^3/\text{год}$, напором $17,8 \text{ м}$.

Для дозування розчину коагулянту приймаємо плунжерні насоси-дозатори НД-2500/10 у кислотостійкому виконанні. Подача насоса від 600 до 2500 л/год, тиск нагнітання 1 МПа, потужність електродвигуна 3 кВт (3 агрегати робочих, 1 резервний).

Трубопроводи реагентного господарства прокладають з поліетиленових труб. Швидкість руху розчину має бути не менше $0,8 \text{ м/с}$. Для витрати $2,1 \text{ л/с}$ у напірному трубопроводі, що подає коагулянт у змішувач, діаметр трубопроводу 32 мм. Зовнішній діаметр 40 мм.

5.4.3.2. Розрахунок витрати повітря для коагуляторного відділення

Розрахункову витрату стиснутого повітря, яке подається в розчинні баки, визначаємо за формулою:

$$Q_{\text{1пов.к}} = 0,06 \cdot i_{\text{1ппо}} \cdot F_{\text{рооз}}, \text{ м}^3/\text{хв}, \quad (5.16)$$

де $i_{\text{1ппо}}$ — інтенсивність подачі повітря, $10 \text{ л/с} \cdot \text{м}^2$; $F_{\text{рооз}}$ — площа розчинного бака, $2 \times 2 = 4 \text{ м}^2$.

$$Q_{\text{1ппов.}} = 0,06 \cdot 10 \cdot 4 = 2,4 \text{ м}^3/\text{хв}.$$

Кількість стиснутого повітря, подаваного у витратний бак для перемішування розчину розраховують за формулою:

$$Q_{\text{2ппов.}} = 0,06 \cdot i_{\text{2ппо}} \cdot F_{\text{вitr}}, \text{ м}^3/\text{хв}, \quad (5.17)$$

де $i_{2\text{ппо}}$ — інтенсивність подачі повітря, $4 \text{ л/с}\cdot\text{м}^2$; $F_{\text{вир}}$ — площа витратного бака, $3 \times 2,5 = 7,5 \text{ м}^2$.

$$Q_{2\text{ппов.}} = 0,06 \cdot 4 \cdot 7,5 = 1,8 \text{ м}^3/\text{хв.}$$

Загальна витрата стиснутого повітря розраховують за формулою:

$$Q_{\text{пов.к}} = Q_{1\text{ппов.}} + Q_{2\text{ппов.}} = 2,4 + 1,8 = 4,2 \text{ м}^3/\text{хв.} \quad (5.18)$$

Для рівномірного перемішування коагулянту з водою повітророзподільна система повинна бути максимально розгалужена і покладена на всю площу розчинних і витратних баків. Швидкість виходу повітря з отворів повітророзподільної системи 30 м/с . Діаметр труби 40 мм , отворів — 3 мм , крок отворів — 150 мм .

5.4.3.3. Розрахунок відділення поліакриламід у

Приймаємо ПАА технічний марки «А». Доза ПАА $0,5 \text{ мг/дм}^3$. За товарним продуктом зі змістом корисної частини 8% доза ПАА дорівнює $6,25 \text{ мг/дм}^3$.

Добова потреба ПАА:

$$G_{\text{ПАА}} = \frac{0,5 \cdot 566500}{0,08 \cdot 10^6} = 3,54 \text{ т/добу.}$$

Робочий обсяг 1% -го розчину ПАА дорівнює 354 м^3 .

Кількість води, необхідної для приготування $0,4 \%$ -го розчину ПАА:

$$Q_{\text{ПАА}} = \frac{354 \cdot 99,6}{0,4} = 881,5 \text{ м}^3/\text{добу};$$

робочий обсяг 4% -ного розчину ПАА:

$$Q_{\text{ПАА}} = \frac{881,5 \cdot 100}{99,6} = 885 \text{ м}^3.$$

На фільтрувальну станцію поліакриламід надходить у вигляді 8% -ного гелю в бочках або металевих балонах. На складі бочки встановлюють у 2 яруси висотою $2,5 \text{ м}$. Вага однієї бочки 105 кг .

Необхідна кількість бочок у добу $3540 : 105 = 33,7$ (приймаємо 34 бочки). При 15-добовому запасі склад повинен бути розрахований на зберігання 510 бочок. Необхідну площу складу розраховують за формулою:

$$F_{\text{скл}} = \frac{K \cdot n \cdot G}{\rho_{\text{ПАА}} \cdot H \cdot 1000}, \text{ м}^2, \quad (5.19)$$

де K — коефіцієнт, що враховує відстань між бочками і проходи (1,5); n — кількість бочок; G — вага бочки, 105 кг; $\rho_{\text{ПАА}}$ — щільність 8 %-ного гелю ПАА, 1,04 г/мл; H — висота установки тари, 2,5 м.

$$F_{\text{скл}} = \frac{1,5 \cdot 510 \cdot 105}{1,04 \cdot 2,5 \cdot 1000} = 30,9 \text{ м}^2.$$

Час готування робочого розчину (включаючи зважування, завантаження, перемішування і перекачування) складає близько 2 год.

5.4.3.4. Розрахунок відділення вапнування

Вапно на станціях обробки води для господарсько-питних цілей застосовується як для поліпшення умов утворення пластівців, так і для стабілізаційної обробки води.

Визначаємо дозу лугу для поліпшення процесів утворення пластівців за формулою:

$$D_{\text{л}} = K \left(\frac{D_{\text{к}}}{e} - \text{Щ} + 1 \right) = 28 \cdot \left(\frac{38}{57} - 2,41 + 1 \right) = 20,8 \text{ мг/дм}^3, \quad (5.20)$$

де $D_{\text{к}}$ — максимальна в період підлучення доза безводного коагулянту, мг/дм³; e — еквівалентна маса коагулянту (безводного), мг/мг-екв, для $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ — 57; Щ — мінімальна лужність води, мг-екв/дм³; Щ = Ж_к = 2,41; K — коефіцієнт, рівний для вапна (за CaO) 28.

Оскільки розраховане значення дози лугу має негативне значення, то для поліпшення умов утворення пластівців підлучувати не треба.

Стабільність води може бути визначена за індексом насичення. Залежно від отриманого значення J встановлюємо необхідність стабілізаційної обробки води вапном, дозу якого визначаємо за формулою:

$$d_{\text{щ}} = 0,7 \frac{\text{CO}_2}{22} + \text{Щ}, \text{ мг/дм}^3. \quad (5.21)$$

При цьому якщо $D_{\text{щ}} < d_{\text{щ}}$, то як реагент для стабілізаційної обробки води приймається вапно, якщо $D_{\text{щ}} > d_{\text{щ}}$ — сода, доза якої приймається за формулою:

$$D_{\text{с}} = (D_{\text{щ}} - d_{\text{щ}}) \cdot 100. \quad (5.22)$$

5.4.3.5. Розрахунок хлораторного відділення

Для знезаражування передбачена хлораторна установка з вакуумними газодозаторами, розрахована на попереднє хлорування дозою $D_{1\text{x}} = 5 \text{ мг/дм}^3$ і вторинне хлорування дозою $D_{2\text{x}} = 3 \text{ мг/дм}^3$.

Необхідну витрату хлору визначимо за формулою:

$$M_{\text{x}} = M_{1\text{x}} + M_{2\text{x}} = D_{1\text{x}} \cdot Q_{\text{ос}} / 1000 + D_{2\text{x}} \cdot Q_{\text{ос}} / 1000, \quad (5.23)$$

$$M_{\text{x}} = 5 \cdot 23,6 + 3 \cdot 23,6 = 118 + 70,8 = 188,8 \text{ кг/год або } 4531,2 \text{ кг/добу}.$$

Відповідно необхідна кількість рідкого хлору на місяць:

$$M_{\text{x}} = 30 \cdot 4531,2 = 135936 \text{ кг}.$$

Хлор на станцію доставляють у контейнерах (бочках) місткістю 1000 л і зберігають на складі. Через те, що маса рідкого хлору в бочці складає 1250 кг, то на складі має зберігатися $135936 / 1250 = 109$ бочок.

Перетворюють рідкий хлор у газоподібний у випарниках змієвикового типу. Хлор-газ, що утворився, проходить через балон-грязьовик до хлораторів, якими дозують хлор. З хлораторів виходить хлорна вода, яка подається в оброблювану воду.

Витрату води для роботи хлораторів первинного хлорування можна визначити за формулою:

$$Q_{1x} = \frac{D_{1x} \cdot Q'_{oc} \cdot K_x}{1000} = \frac{5 \cdot 566500 \cdot 0,6}{1000} = 1699,5 \text{ м}^3/\text{добу}, \quad (5.24)$$

де K_x — розрахункова витрата води для роботи хлораторів, $0,6 \text{ м}^3$ на 1 кг хлору.

Витрату води для роботи хлораторів вторинного хлорування визначаємо за формулою:

$$Q_{2x} = \frac{D_{2x} (Q_{пов} + Q_{вк} + Q_{ПАА} + Q_{1x}) \cdot K_x}{1000} \text{ м}^3/\text{добу}, \quad (5.25)$$

$$Q_{2x} = \frac{3 \cdot (550000 + 904,13 + 881,5 + 1699,5) \cdot 0,6}{1000} = 996,3 \text{ м}^3/\text{добу}.$$

Для первинного хлорування прийняті три вакуумних хлоратори ЛОНП-100 (один з них резервний) продуктивністю 10 кг/год кожний. Для вторинного хлорування прийняті два хлоратори такої ж марки продуктивністю 10 кг/год кожний. Продуктивність хлораторів ЛОНП-100 змінюється від 1 до 12 кг/год залежно від матеріалу поплавця в ротаметрі.

Хлорна вода подається в оброблювану напірними гумовими рукавами внутрішнього діаметра 25 мм , що прокладені під землею у футлярах з азбестоцементних труб.

5.4.4. Технологічний розрахунок водоочисних споруд

5.4.4.1. Розрахунок швидких фільтрів

До проектування прийняті одношарові швидкі фільтри із завантаженням різної крупності.

Висота фільтруючого шару з кварцового піску 1800 мм з мінімальним діаметром зерен — $0,7 \text{ мм}$, максимальним — $1,6 \text{ мм}$. Еквівалентний діаметр зерен $d_e = 1,0 \text{ мм}$, коефіцієнт неоднорідності — $1,7$. Підтримуючі шари мають загальну висоту 500 мм , крупність зерен — $5—40 \text{ мм}$.

Площу фільтрування знаходимо за формулою:

$$F = \frac{Q_{\text{пов}} + Q_{\text{вк}} + Q_{\text{ПАА}} + Q_{\text{лх}}}{m \cdot V_{\text{рн}} - 3,6 \cdot n \cdot W \cdot t_1 - n \cdot t_2 \cdot V_{\text{рн}}} \text{ м}^2, \quad (5.26)$$

де m — тривалість роботи станції протягом доби, год.; $V_{\text{рн}}$ — розрахункова швидкість фільтрування при нормальному режимі, м/год; n — кількість промивань кожного фільтра за добу при нормальному режимі експлуатації; W — інтенсивність промивання, л/с·м²; t_1 — тривалість промивання, год.; t_2 — час простою фільтра в зв'язку з промиванням, год.

$$F = \frac{550000 + 904,13 + 881,5 + 1699,5}{24 \cdot 8 - 3,6 \cdot 2 \cdot 16 \cdot 0,1 - 2 \cdot 0,33 \cdot 8} = \frac{553485,13}{175,2} = 3159,2 \text{ м}^2.$$

Кількість фільтрів визначаємо за формулою:

$$N = \frac{1}{2} \sqrt{F} = \frac{1}{2} \sqrt{3159,2} = 28,1. \quad (5.27)$$

При виборі кількості фільтрів слід також враховувати особливості компонування станції, тому кількість прийнятих фільтрів може бути як більше, так і менше N .

Приймаємо 28 фільтрів з розмірами 6×9 м, площа кожного фільтра $f = 120 \text{ м}^2$ (повинна бути більше $315962 : 28 = 11283 \text{ м}^2$). Визначимо швидкість фільтрування при нормальному режимі — 1 фільтр у промиванні — $V_{\text{н}}$ і при форсованому режимі — 2 фільтри не працюють (один у промиванні, другий в ремонті) — $V_{\text{ф}}$ за формулою (5.28) та (5.29):

$$V_{\text{н}} = \frac{(Q_{\text{пов}} + Q_{\text{вк}} + Q_{\text{ПАА}} + Q_{\text{лх}}) : 24}{f(N-1)} = \frac{553485,13 : 24}{120(28-1)} = 7,1 \text{ м/год}, \quad (5.28)$$

$$(V_{\text{н}} = 6\text{—}8 \text{ м/год});$$

$$V_{\text{ф}} = \frac{(Q_{\text{пов}} + Q_{\text{вк}} + Q_{\text{ПАА}} + Q_{\text{лх}}) : 24}{f(N-2)} = \frac{553485,13 : 24}{120(28-2)} = 7,4 \text{ м/год}, \quad (5.29)$$

$$(V_{\text{ф}} = 7\text{—}9,5 \text{ м/год}).$$

Швидкості фільтрування не перевищують гранично допустимих величин (інакше треба збільшувати кількість фільтрів або їхні розміри).

Кількість промивної води, необхідної для одного фільтра визначаємо за формулою:

$$q_{\text{пр}} = f \cdot W = 120 \cdot 16 = 533,3 \text{ л/с} = 1920 \text{ м}^3/\text{год.} \quad (5.30)$$

Для рівномірного розподілу промивної води в нижній частині збірного каналу фільтра влаштовують глухий розподільчий канал прямокутного перерізу, до якого підводиться трубопровід промивної води.

Для видалення повітря з трубопроводу, що подає воду на промивання фільтрів, у підвищених місцях розподільчої системи передбачається установка стояків з автоматичним пристроєм для випуску повітря.

Збір і відведення забрудненої води при промиванні швидких фільтрів здійснюються за допомогою жолобів, розташованих над поверхнею фільтруючого завантаження.

При пропуску промивної води треба враховувати втрати напору, що складаються з таких величин:

- втрати напору в отворах труб розподільчої системи фільтра;
- втрати напору у фільтруючому шарі;
- втрати напору в гравійних підтримуючих шарах;
- втрати напору в трубопроводі, що подає промивну воду.

Діаметри трубопроводів, які підводять освітлювану і промивну воду і відводять прояснену і воду після промивання, можуть бути визначені згідно з відповідно до заданої витрати і швидкості руху води, що рекомендується.

5.4.4.2. Розрахунок горизонтальних відстійників і камер утворення пластівців

У даному прикладі прийняті горизонтальні відстійники з вбудованою камерою утворення пластівців.

Спочатку визначаємо кількість води, що надходить у відстійники. Вона дорівнюватиме сумі витрати води, що надходить на фільтр, і води, що скидається з відстійника разом з осадом.

Знаходимо витрату води, що скидається разом з осадом з відстійників.

Обсяг зони нагромадження і ущільнення осаду розраховується за формулою (5.31) та (5.32):

$$W_{з.н.} = \frac{Q_{ос} (C - m) T}{N \cdot \delta} \text{ м}^3, \quad (5.31)$$

де C — загальна кількість осаду, що утворився у відстійнику, мг/л;

$$C = M + K \cdot D_k + 0,25Ц + B \text{ мг/л}, \quad (5.32)$$

де M — масова концентрація зважених речовин у вихідній воді, г/м³; K — перекладний коефіцієнт, який для очищеного сульфату алюмінію дорівнює 0,55; B — кількість нерозчинних речовин, що вводяться з вапном для підлучення води, мг/л розраховуємо за формулою:

$$B = (1 - 0,4) \cdot D_v, \quad (5.33)$$

де D_v — доза вапна, мг/л; 0,4 — вміст СаО у вапні; m — масова концентрація суспензії у відстояній воді, мг/л; T — період роботи між скиданнями осаду, діб, $T = 1$ добу; N — кількість відстійників, приймається рівною кількості фільтрів; δ — середня концентрація ущільненого осаду, г/м³;

$$B = 0, \text{ тому що } D_v = 0;$$

$$C = 242 + 0,55 \cdot 84 + 0,25 \cdot 45 + 0 = 299,45 \text{ г/м}^3;$$

$$W_{з.н.} = \frac{23604,17 \cdot (299,45 - 8) \cdot 1}{28 \cdot 30000} = 8,2 \text{ м}^3.$$

Об'єм осаду, що накопичується протягом доби у всіх відстійниках розраховуємо за формулою:

$$W'_{з.н.} = W_{з.н.} \cdot N = 8,2 \cdot 28 = 229,6 \text{ м}^3. \quad (5.34)$$

Витрату води, що скидається разом з осадом з відстійників, знаходимо за формулою:

$$Q_{\text{о.відст.}} = K_p \cdot W_{\text{з.н.}} \text{ м}^3/\text{добу}, \quad (5.35)$$

де K_p — коефіцієнт розведення осаду, прийнятий згідно;

$$Q_{\text{о.відст.}} = 1,5 \cdot 229,6 = 344,4 \text{ м}^3/\text{добу}.$$

Витрата води, що надходить у відстійники і камери утворення пластівців знаходимо за формулою:

$$Q_{\text{відст.}} = Q_{\text{кх}} = Q_{\text{ф}} + Q_{\text{о.відст.}} = 561158,43 + 344,4 = 561502,83 \text{ м}^3/\text{добу}, \quad (5.36)$$

або 23395695 м³/год.

Приймаємо до проектування горизонтальні відстійники з розосередженим збором води.

Площа горизонтальних відстійників у плані розраховуємо за формулою:

$$F = \alpha \frac{Q_{\text{відст.}}}{3,6 \cdot U_0} \text{ м}^2, \quad (5.37)$$

де α — коефіцієнт, що враховує зважуючий вплив потоку, для відстійників з розосередженим збором води $\alpha = 1$; U_0 — гідравлічна крупність суспензії;

$$F = 1 \frac{23395,95}{3,6 \cdot 0,6} = 10831,5 \text{ м}^2.$$

Ширину відстійника знаходимо за формулою:

$$B_{\text{відст.}} = \frac{Q_{\text{відст.}}}{3,6 \cdot V_{\text{ср}} \cdot H \cdot N} \text{ м}, \quad (5.38)$$

де $V_{\text{ср}}$ — середня горизонтальна швидкість руху води у відстійнику, мм/с; H — середня висота зони осадження, м;

$$B_{\text{відст.}} = \frac{23395,95}{3,6 \cdot 7 \cdot 2,5 \cdot 28} = 13,3 \text{ м}.$$

Приймаємо $B_{\text{відст.}} = 14$ м.

Довжину відстійника знаходимо за формулою:

$$L_{\text{відст.}} = \frac{F}{B_{\text{відст.}} \cdot N} = \frac{10831,5}{14 \cdot 28} = 27,6 \text{ м.} \quad (5.39)$$

Приймаємо $L_{\text{відст.}} = 30$ м.

Висота зони нагромадження осаду розраховуємо за формулою:

$$H_{\text{з.н.}} = \frac{W_{\text{з.н.}}}{L_{\text{відст.}} \cdot N} = \frac{8,2}{30 \cdot 28} = 0,01 \text{ м.} \quad (5.40)$$

Приймаємо $H_{\text{з.н.}} = 1$ м.

Загальна висота відстійника дорівнює $2,5 + 1 = 3,5$ м.

Видалення осаду з відстійників передбачається гідравлічним способом за допомогою дірчастих труб. У кожному відділенні по дну влаштовують дві труби на відстані 3 м одна від одної. Видалення осаду виконують без припинення роботи відстійників. Кількість осаду, що скидається відстійниками, визначаємо за формулою:

$$P_{\text{ос}} = \frac{Q_{\text{відст.}} \cdot T \cdot (C - m)}{N \cdot 1000 \cdot 1000} = \frac{561502,83 \cdot 1 \cdot (299,45 - 8)}{28 \cdot 1000 \cdot 1000} = 5,84 \text{ т.} \quad (5.41)$$

Збір проясненої води розосереджений, здійснюється горизонтальними підвісними жолобами із затопленими отворами діаметром 30 мм. Жолоби встановлюють на ділянці в 2/3 довжини відстійника від торцевої стінки. Використовується жолоб прямокутного перерізу.

5.4.4.3. Розрахунок камери утворення пластівців

Прийнята до проектування камера утворення пластівців із шаром зваженого осаду з розподілом води за площею камери за допомогою перфорованих каналів.

Число камер утворення пластівців $N_{\text{кх}}$ приймаємо рівним числу горизонтальних відстійників — 28.

Витрата води на 1 камеру знаходимо за формулою:

$$q_{\text{кх}} = Q_{\text{відст.}} / N_{\text{кх}} = 561502,83 / 28 = 20053,8 \text{ м}^3/\text{діб} = 835,6 \text{ м}^3/\text{год.} \quad (5.42)$$

Виходячи з якості води (середньої мутності), швидкість вихідного потоку згідно з приймаємо 1,6 мм/с.

Площу камери утворення пластівців знаходимо за формулою:

$$F_{\text{кх}} = \frac{q_{\text{кх}}}{3,6 \cdot V} \text{ м}^2, \quad (5.43)$$

де V — швидкість вихідного потоку води у верхньому перерізі, мм/с;

$$F_{\text{кх}} = \frac{835,6}{3,6 \cdot 1,6} = 145 \text{ м}^2.$$

Розміри камери приймаємо такі: ширина 14 м (за шириною відстійника), довжина $145 / 14 = 10,36$ м, висота камери дорівнює висоті відстійника у віджимного щита (перепад на водозливі вимірюється десятими частками міліметра, його не враховуємо).

Час перебування води в камері утворення пластівців розраховуємо за формулою:

$$t = \frac{W_{\text{кх}}}{q_{\text{кх}}} = \frac{14 \cdot 10,36 \cdot 3,6}{835,6} = 0,625 \text{ год} = 37,5 \text{ хв} \geq 20 \text{ хв}, \quad (5.44)$$

де $W_{\text{кх}}$ — об'єм камери утворення пластівців, м^3 .

Шар зваженого осаду приймаємо 3 м.

Розподіл води за площею камери утворення пластівців передбачений за допомогою перфорованих розподільних труб з отворами, спрямованими горизонтально. У кожній камері розміщують дві труби на відстані за осями 3 м і до стін 1,5 м. Площа отворів діаметром 25 мм у стінці перфорованої розподільної труби складає 30—40 % площі її поперечного перерізу.

З камери в горизонтальний відстійник воду відводять над затопленим водозливом. Верх стінки водозливу розташовують нижче рівня води у відстійнику. За стінкою водозливу встановлюють підвісну перегородку, занурену на $\frac{1}{4}$ висоти

відстійника, щоб відхиляти потік води донизу. Швидкість між стінкою водозливу і перегородкою має бути не більше 0,03 м/с .

5.4.5. Розрахунок вертикального змішувача

Змішування реагентів з оброблюваною водою відбувається у вертикальних змішувачах вихрового типу. Розрахункова витрата 560621,33 м³/добу або 23359,2 м³/год, або 6488,7 л/с. Змішувач, квадратний у плані, складається з прямокутної верхньої і пірамідальної нижньої частин.

Площу горизонтального перетину у верхній частині змішувача розраховуємо за формулою:

$$f_{\text{в}} = \frac{q_{\text{зм}}}{V_{\text{в}} \cdot N_{\text{зм}}} \text{ м}^2, \quad (5.45)$$

де $V_{\text{в}}$ — швидкість руху води на рівні водозбірної лотки, 25 мм/с;
 $N_{\text{зм}}$ — кількість змішувачів, приймаємо 4;

$$f_{\text{в}} = \frac{23359,2}{3,6 \cdot 25 \cdot 4} = 64,9 \text{ м}^2.$$

Ширина верхньої частини змішувача:

$$B_{\text{зм}} = \sqrt{f_{\text{в}}} = \sqrt{64,9} = 8,1 \text{ м}.$$

Висоту нижньої (пірамідальної) частини змішувача знаходимо за формулою:

$$h_{\text{н}} = \frac{(B - 0,53) : 2}{\text{tg} 20} = \frac{(8,1 - 0,53) : 2}{0,36} = 10,5 \text{ м}. \quad (5.46)$$

Повний обсяг змішувача розраховуємо за формулою:

$$W_{\text{зм}} = \frac{q_{\text{зм}} \cdot t}{60 \cdot N_{\text{зм}}} = \frac{23359,2 \cdot 2}{60 \cdot 4} = 194,7 \text{ м}^3, \quad (5.47)$$

де t — тривалість змішування реагенту з масою води, 2 хв.

5.4.6. Розрахунок пісколовки

Розрахункова витрата промивної води, що надходить у пісколовку, дорівнює:

$$q_{\text{пр}} = 533,3 \text{ л/с} = 0,533 \text{ м}^3/\text{с}.$$

Приймаємо два відділення пісколовки. Площу живого перерізу кожного відділення визначаємо за формулою:

$$\omega = \frac{q_{\text{пр}}}{V_n \cdot n} \text{ м}^2, \quad (5.48)$$

де V_n — середня швидкість руху води, 0,3 м/с; n — кількість відділень пісколовки;

$$\omega = \frac{0,533}{0,3 \cdot 2} = 0,89 \text{ м}^2.$$

Глибину проточної частини приймаємо $h_{\text{п}} = 0,8$ м. Ширину відділення розраховуємо за формулою:

$$b_{\text{п}} = \omega / h_{\text{п}} = 0,89 / 0,8 = 1,1 \text{ м}. \quad (5.49)$$

Глибина осадової частини $h_{\text{о.п}} = 0,5 \cdot h_{\text{п}} = 0,5 \cdot 0,8 = 0,4$ м.

Запас висоти над рівнем води в пісколовці $h_{\text{з.п.}}$ беремо рівним 0,2 м. Приймаючи тривалість перебування промивної води в пісколовці $t_{\text{п}} = 30$ с, визначаємо довжину робочої частини пісколовки за формулою:

$$l_{\text{п}} = V_{\text{п}} \cdot t_{\text{п}} = 0,3 \cdot 30 = 9,0 \text{ м}. \quad (5.50)$$

Кут нахилу стінок камер для піску до горизонту 60 градусів. Пісколовку обладнують скребковим механізмом із самохідним візком, що згрібає пісок до напрямка стаціонарного сталевого гідроелеватора, за допомогою якого пісок пульпопроводами транспортується в резервуар, що знаходиться на пісковій площадці й обладнаний дренажною системою, яка складається з труб із щілинними ковпачками.

Відфільтрована вода з резервуара самопливом направляється в пісколовку. Пісок з піскового резервуара тельфером з перекидною баддею подається на піскову площадку.

Об'єм робочої частини піскового резервуара прийнятий рівним двом об'ємам осадової частини обох відділень пісколовки та розраховуємо за формулою:

$$W_{\text{п.рез}} = 2 \cdot 2 \cdot l_{\text{п}} (b_{\text{п}} - h_{\text{о.п}} \cdot \text{ctg } 60) \cdot h_{\text{о.п}} \text{ м}^3, \quad (5.51)$$

$$W_{\text{п.рез}} = 2 \cdot 2 \cdot 9 \cdot (1,1 - 0,4 \cdot 0,578) \cdot 0,4 = 12,51 \text{ м}^3.$$

5.4.7. Вибір схеми і складу водоочисних споруд

Відповідно до продуктивності водоочисних споруд, основних показників якості вихідної води до проектування доцільно приймати двоступінчасту схему очищення, за якою вода, оброблена реагентами, послідовно піддається очищенню в горизон-тальних відстійниках і швидких фільтрах. Для інтенсифікації процесу очищення вихідна вода піддається коагулюванню й обробці флокулянтами. У період нестачі лужності в природній воді і для стабілізації очищеної води передбачається її підлужнення.

Коагулянт приймають очищений, що містить не менше 45,3 % $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$. Як флокулянт беруть поліакриламід (ПАА) у вигляді гелю, що містить 8 % активної частини. Як луг використовують негашене вапно, що містить не менше 70 % CaO в товар-ному продукті. З урахуванням можливості наявності непогашених зерен процентний вміст активного продукту приймаємо $P_{\text{в}} = 60 \%$.

Змішування розчинів реагентів з вихідною водою проектується у вихровому (вертикальному) змішувачі. Перед змішувачем у трубопровід вихідної води вводиться хлор для первинного хлорування, коагулянт, а також, при необхідності підлужнення, вапно. На виході зі змішувача у воду додають

флокулянт (ПАА). Далі вода надходить у камери утворення пластівців зі зваженим осадом, які вбудовані в горизонтальні відстійники.

Після освітлювання на спорудах першого ступеня вода надходить на швидкі фільтри. Проектом передбачається можливість введення флокулянта перед фільтрами. Відфільтрована вода знезаражується хлором. При необхідності стабілізації і фторування після фільтрів у воду додають вапно і кремнефтористий натрій.

Вода від промивання фільтрів надходить у резервуар-усереднювач, з якого рівномірно протягом доби вона перекачується в трубопровід перед змішувачем.

Для видалення піску з промивної води перед резервуаром-усереднювачем влаштовують горизонтальну пісколовку. Пісок з осадової частини пісколовки періодично в міру його нагромадження транспортується гідроелеватором на площадки піскового господарства.

Оброблена чиста вода направляється в резервуари, звідки насосною станцією 2-го підйому подається споживачам.

Складання висотної схеми починають з найбільш низько розташованої споруди — резервуара чистої води (РЧВ). Позначку найвищого рівня води в ньому звичайно приймають з економічних і санітарних міркувань на 0,25—0,5 м вище позначки поверхні землі. Потім, задаючись втратами напору в спорудах і сполучних комунікаціях, знаходять оцінки рівня води в окремих спорудах.

Перелік використаних джерел

1. Національна доповідь про стан навколишнього природного середовища в Україні у 2010 році. — К. : Центр екологічної освіти та інформації, 2011. — 254 с.

2. Програма виходу м. Дніпродзержинська з екологічної кризи на 2006—2010 роки. — Дніпропетровськ—Дніпродзержинськ : Науковий центр чистих технологій, 2005. — 56 с.

3. Волошин М. Д. Рішення проблеми якості питної води у Дніпродзержинському регіоні / М. Д. Волошин, О. А. Крюковська, А. В. Іванченко // Матеріали Міжнародної науково-практичної конференції «Сучасний університет — перспективи розвитку» : Черкаси, 18–21 жовтня 2010 р. — С. 112—116.

4. Огурцов А. П., Мамаєв Л. М., Нагорний Ю. С., Авраменко С. Х., Косарецький В. В. Проблеми екології промислового регіону. — Дніпродзержинськ : ДДТУ, 1994. — 224 с.

5. Николадзе Г. И. Технология очистки природных вод. — М. : Высш. школа, 1987. — 479 с.

6. Кульский Л. А., Строкач П. П. Технология очистки природных вод. — К. : Вища шк. Головное изд-во, 1981. — 338 с.

7. Пат. 9919 B01J19/24. Спосіб підготовки питної води або харчових водних сумішей / Левчук І. М., Друян М. Я., Горбатюк В. В., Селецький В. О., Проценко С. М., Курик М. В.; власник Левчук Ігор Михайлович. — u200503912; Заявл. 25.04.2005; Опубл. 17.10.2005, Бюл. № 10.

8. Запольський А. К., Мішкова-Клименко Н. А., Астрелін І. М. Фізико-хімічні основи технології очищення стічних вод. — К. : Лібра, 2000. — 552 с.

9. Пат. 41748 CO2F1/00. Спосіб підготовки питної води / Гащин О. Р., Вітенько Т. М.; власник Тернопільський державний університет імені Івана Пулюя. — u200813959; Заявл. 04.12.2008; Опубл. 10.06.2009, Бюл. № 11.

10. Пат. 44639 CO2F1/50. Спосіб очистки та знезаражування стічної води / Волошин М. Д., Іванченко А. В.; власник Дніпродзержинський державний технічний університет. — u200904184; Заявл. 28.04.2008; Опубл. 12.10.2009, Бюл. № 19.

11. Пат. 34571 CO2F1/20. Спосіб двоступеневої дегазації стічної води / Волошин М. Д., Іванченко А. В., Кравченко К. А.; власник Дніпродзержинський державний технічний університет. — u200804765; Заявл. 14.04.2008; Опубл. 11.08.2008, Бюл. № 15.

12. Волошин М. Д. Реагентне очищення стічних вод від фосфатів хлоридами алюмінію, заліза та кальцію / М. Д. Волошин, А. В. Іванченко // Вопросы химии и химической технологии. — 2009. — № 1. — С. 127—128.

13. Іванченко А. В. Застосування сульфату заліза (II) для очищення міських стічних вод від фосфатів / А. В. Іванченко, М. Д. Волошин, І. В. Галоньова, Н. П. Макарченко // Збірник наукових праць Дніпродзержинського державного технічного університету (технічні науки). — 2009. — № 1 (14). — С. 206—209.

14. Запольский А. К. Сернокислотная переработка высококремнистого алюминиевого сырья. — Киев : Наукова думка, 1981. — 208 с.

15. Пат. 81717 C02F1/56. Спосіб підготовки питної води / Желтоножка Т. Б., Пермякова Н. М., Федорчук С. В., Загданська Н. Є., Демченко В. Я., Оленченко В. М., Березовська Т. В.; власник Київський національний університет імені Тараса Шевченка. — а 200607240; Заявл. 30.06.2006; Опубл. 25.01.2008, Бюл. № 24.

16. Запольский А. К., Баран А. А. Коагулянты и флокулянты в процессах очистки воды: Свойства. Получение. Применение. — Л. : Химия, 1987. — 208 с.

17. Пат. 29933 C02F1/56, B01D21/01. Спосіб підготовки питної води на водопровідних станціях / Желтоножка Т. Б., Куцевол Н. В., Романкевич О. О., Момот Л. М., Сиромятніков В. Г., Демченко В. Я., Оленченко В. М.; власник Желтоножка Т. Б., Куцевол Н. В., Романкевич О. О., Момот Л. М., Сиромятніков В. Г., Демченко В. Я., Оленченко В. М. — 97105255; Заявл. 29.10.1997; Опубл. 15.03.2002, Бюл. № 3

18. Пат. 62950 C02F3/00, C02F1/32, C02F1/463. Спосіб підготовки питної води / Божидарнік В. В., Григорєва Н. С., Шибайкович В. А., Рудь В. Д., Гулієва Н. М.; власник Луцький національний технічний університет. — u 201101321; Заявл. 07.02.2011; Опубл. 26.09.2011, Бюл. № 18.

19. Кульский Л. А., Даль В. В., Ленчина Л. Г. Вода знакомая и загадочная. — Киев : Радянська школа, 1982. — 120 с.

20. Кульский Л. А. Теоретические обоснования технологии очистки воды. — Киев : Наук. думка, 1968. — 124 с.

21. Соколов В. Ф., Монастырская И. И. Качество подготовки питьевой воды. — М. : Моск. дом. науч.-техн. пропаганды, 1967. — 59 с.

22. Смирнов А. Д. Сорбционная очистка воды. — Л. : Химия, 1982. — 168 с.

23. Семяник С. В. Дослідження та порівняння ефективності підготовки питної води за допомогою коагулянтів сульфату алюмінію і гідроксихлориду алюмінію «ПОЛВАК-68» /С. В. Семяник, А. В. Іванченко // Тези доповідей IV конференції студентів, аспірантів та молодих вчених з хімії та хімічної технології: Київ, КІП, 4—16 квітня 2012 р. — С. 240.

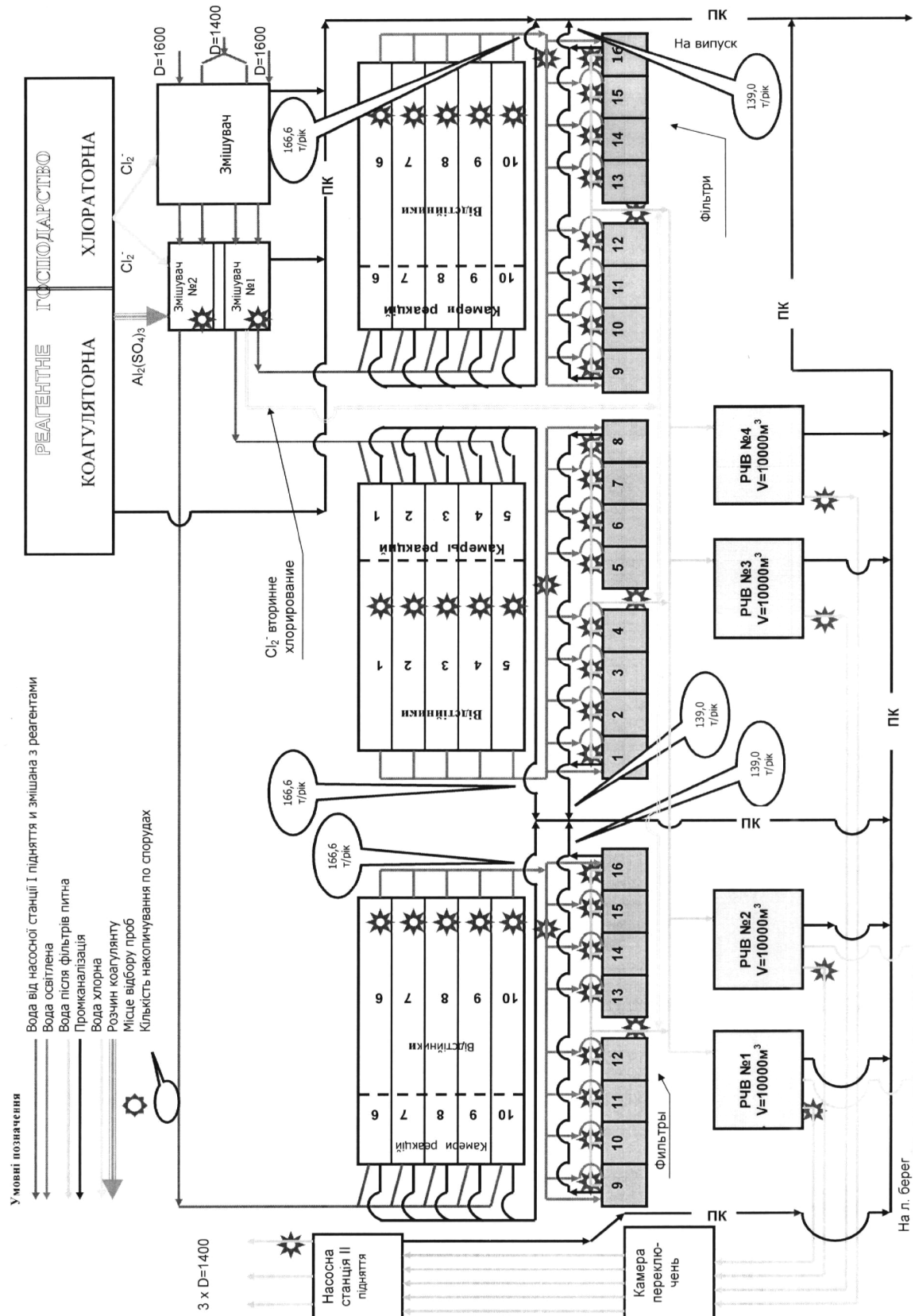
24. Подорван Н. И. Удаление соединений фосфора из сточных вод / Н. И. Подорван, Л. И. Глоба, Н. И. Куликов, П. И. Гвоздяк // Химия и технология воды. — 2004. — Т. 26. — № 6. — С. 591—610.

25. Сиренко Л. А. Цветение воды и эвтрофирование / Л. А.Сиренко, М. А Гавриленко. — К. : Наук. думка, 1978. — 232 с.

27. Іванченко А. В. Одержання органо-мінеральних добрив з продуктів очистки міських стічних вод від фосфатів: автореф. дис. на здобуття наукового ступеня канд. техн. наук: спец. 05.17.01 «Технологія неорганічних речовин» /А. В. Іванченко. — Дніпропетровськ, 2010. — 20 с.

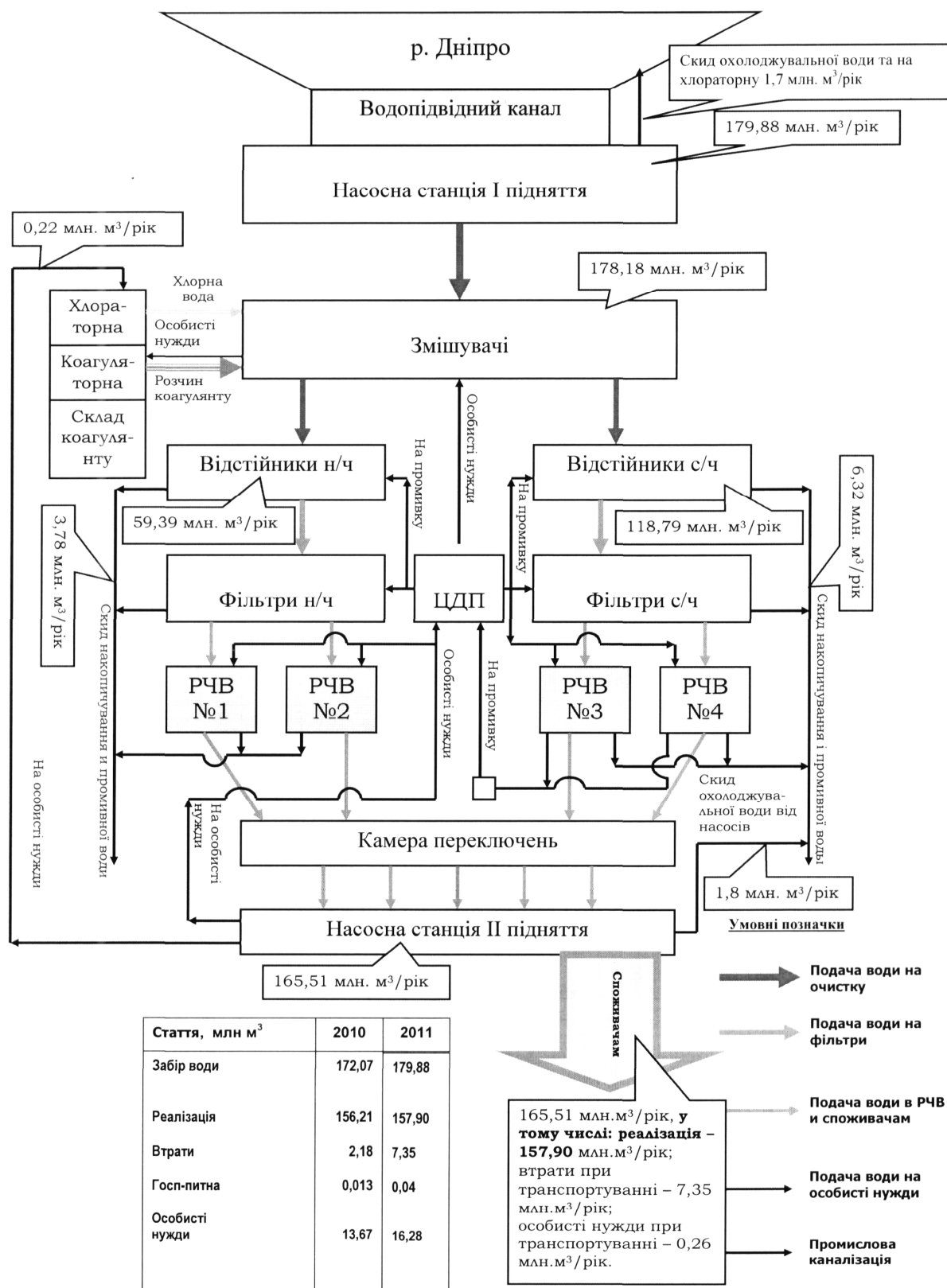
28. Гомеля М. Д., Крисенко Т. В., Дейкун І. М. Очисні споруди. Основи проектування: навч. посіб. — К. : НТУУ «КПІ», 2007. — 176 с.

Технологічна схема очисних споруд



Додаток 2

Матеріальний баланс водопідготовчої станції



Наукове видання

ВОЛОШИН Микола Дмитрович

КРЮКОВСЬКА Ольга Анатоліївна

ІВАНЧЕНКО Анна Володимирівна

ПРОБЛЕМИ ПІДВИЩЕННЯ ЯКОСТІ ПИТНОЇ ВОДИ

Монографія

Підписано до друку 29.06.12 Формат 60×84 1/16
Папір друк. Друк – різнограф. Ум.-друк. 15,58 арк.
Тираж – 300. Зам. №

Видавець і виготовлювач
Дніпродзержинський державний технічний університет
51918, Дніпродзержинськ, вул. Дніпробудівська, 2

Свідоцтво про внесення суб'єкта видавничої справи
до державного реєстру видавництв серія ДК № 1944
від 16.09.2004 р.