

### Тема 3. Головні показники систем водопостачання як одного з головних елементів міського господарства

1. Загально-екологічні показники.
2. Санітарно-гігієнічні показники.
3. Енергетичні показники.
4. Експлуатаційні показники.
5. Економічні показники.

Характерною рисою сучасного розвитку суспільства є урбанізація, тобто процес зосередження промисловості і населення у великих містах. Наслідком такої урбанізації є виникнення гігантських житлових і промислових районів з населенням у мільйони і десятки мільйонів чоловік. Населення шести міст світу має більш 20 млн. жителів: Сан-Паулу (~26 млн.), Шанхай, Токіо-Йокогама (по ~24 млн.), Нью-Йорк (~22,5 млн.), Пекін (~21 млн.), Мехіко (~31 млн.) [1]. Процес урбанізації висуває ряд надзвичайно складних проблем. В даний час міста земної кулі займають близько 1 млн. км<sup>2</sup> суші, що складає менш 1% її поверхні. У містах проживає близько 1,5 млрд. людей, або майже 1/3 населення світу.

Для забезпечення міст водою необхідно мати потужні системи водопостачання і джерела води, які їх забезпечують. Водоспоживання ряду закордонних міст характеризується даними, які наведені в табл. 1.

Водоспоживання міст України подібне водоспоживанню аналогічних міст колишнього Радянського Союзу. Наприклад, добове водоспоживання м. Одеси ~600 тис. м<sup>3</sup>, м. Запорозжя – 570 тис. м<sup>3</sup>, м. Дніпропетровська – 708 тис. м<sup>3</sup>/добу.

Структура водорозбору в Україні характеризується наступними відносними величинами:

- промисловість – 61,3% (РСФСР – 53%, СРСР – 31%) від загального водорозбору,
- комунальне господарство – 4% (РСФСР – 8,5%, СРСР – 4%) від загального водорозбору,
- с/х – 19,2% (РСФСР – 22%, СРСР – 54%),
- втрати на випарювання з поверхні водоймищ, ставків і невраховані втрати – 14% (РСФСР – 17%) від загального водорозбору.

**Таблиця 1 – Характеристика водоспоживання міст світу**

Місто	Чисельність населення, тис. мешк.	Середньодобове водоспоживання тис.м <sup>3</sup> /добу
1. Амстердам	1100	230

2. Антверпен	1000	329
3. Барселона	3147	855
4. Брюссель	2100	304
5. Будапешт	2100	875
6. Варшава	1552	532
7. Відень	1600	441
8. Гамбург	1950	430
9. Копенгаген	850	263
10. Лісабон	2000	411
11. Лондон	5989	2020
12. Мадрид	3990	1216
13. Мюнхен	1359	375
14. Париж	2100	800
15. Рим	2912	1534
16. Роттердам	1300	296
17. Софія	1116	582
18. Стокгольм	926	385
19. Хельсінки	486	191
20. Цюріх	400	171
21. Бомбей	8200	2000
22. Кіото	1432	507
23. Токіо	10635	4943
24. Хіросіма	800	370
25. Денвер	952	713
26. Чикаго	4670	3801
27. Олександрія	3600	830
28. Туніс	1000	-
29. Бразилія	910	328
30. Ріо-де-Жанейро	4209	2365
31. Сан-Паулу	8025	1975
32. Мельбурн	2470	1220
33. Сідней	3300	1626
34. Москва	-	5700

Для забезпечення цих потреб Україна має в розпорядженні водозабезпеченість загального стоку 4,42 тис. м<sup>3</sup>/мешк. і 0,34 км<sup>3</sup>/км<sup>2</sup>, що приблизно відповідає світовому рівню, але вдвічі нижче, ніж у Франції й у ~1,5рази нижче, ніж у США. При цьому усередині республіки спостерігається різка диференціація водозабезпеченості: якщо в Закарпатській області на 1 км<sup>2</sup> території приходить 625 тис. м<sup>3</sup>/рік водяного стоку, то в Херсонській області – лише 5,4 тис. м<sup>3</sup>/рік.

Для одержання необхідних витрат води, крім поверхневого стоку, використовуються підземні води. Дані, що характеризують використання різних джерел, приведені в табл. 2.

### **Таблиця 2 – Використовувані джерела і питоме водоспоживання**

Місто	Джерело і його частка в загальній подачі, %	Питоме водоспоживання, л/добу*мешк.	
		Усього	У тому числі населенням
1. Амстердам	ШППВ-74, озеро-24, ПВ-2	204	100
2. Антверпен	Суд. канали-100	329	85
3. Барселона	Ріки-91, ПВ-9	272	106
4. Брюссель	Ріка-35, ПВ-65	304	200
5. Будапешт	ПВ-92, Ріка-8	417	192
6. Варшава	Ріка-100	343	230
7. Відень	ПВ-98,5, Вдх-1,5	276	113
8. Гамбург	ПВ-100	221	181
9. Копенгаген	ПВ-84, Озера-16	309	173
10. Лісабон	Ріка-45, ПВ-55	210	73
11. Лондон	Ріки-87, ПВ-13	337	-
12. Мадрид	Вд-97, ПВ-3	305 276	162 -
13. Мюнхен	ПВ-100	380	179
14. Париж	Ріки-40, ПВ-60	-	-
15. Рим	ПВ-97, Озеро-3	369	257
16. Роттердам	Вд-100	228	100
17. Софія	Вд-100	522	-
18. Стокгольм	Озера-100	416	208
19. Хельсінки	Вд-95,4, Ріка-4,2, ПВ-0,4	393	212
20. Цюріх	Озеро-78, ПВ-22	428	223
21. Бомбей	Вд-100	244	180
22. Кіото	Озеро-100	354	200
23. Токіо	Ріки-99,8, ПВ-0,2	496	321
24. Хіросіма	Вд-100	440	-
25. Денвер	Вд-98,5, ПВ-1,5	749	419

26. Чикаго	Озера-100	814	-
27. Олександрія	Канали-100	230	130
28. Туніс	Ріки, Вд-100	300	-
29. м. Бразилія	Вд-100	361	245
30. Ріо-де-Жанейро	Вд-100	562	489
31. Сан-Паулу	Ріки і Вд-100	246	-
32. Мельбурн	Вд-100	489	-
33. Сідней	Вд-100	532	-

ПВ – підземні води

### **ШППВ – штучно поповнювані підземні води**

#### **Вд- водоймища**

В Україні експлуатаційне питоме забезпечення підземними водами оцінюється цифрою 110 м<sup>3</sup>/рік\*мешк., а прогнозне – 416 м<sup>3</sup>/рік\*мешк.

Частина води, яка споживається містом, використовується для поліпшення його санітарного стану (фонтани, ставки, миття вулиць і тротуарів, поливання зелених насаджень і т.п.). Змиваючи пил і поверхневі забруднення ґрунту на території міста, вода з однієї сторони поліпшує санітарний стан міста, а з іншої негативно впливає на водойми на території міста. Зараз вважається доцільним створення в межах міста системи ставків, використовуючи для цієї мети балки і копані в межах міста і на його окраїнах, які обладнані водозливними греблями. У цих ставках буде акумулюватися частина дощових і поталих вод і звільнитися від наносів перед скиданням їх у водойму.

Подача в місто необхідної кількості води – це тільки перша частина задачі. Друга задача системи водопостачання – забезпечення необхідної якості води. Це задачу вирішують за допомогою очисних споруд. Рішення цієї задачі тим простіше, чим чистіша забирається вода. Вода, що подається в місто повинна задовольняти ДСТ 2874-82 «Вода питна», а якість води для промислових підприємств визначається вимогами технології. Найчастіше вимоги до води на виробничі потреби нижче вимог до питної води. Тому основний потік на виробничі потреби організується окремо від системи господарсько-питного водопостачання міста. Якщо ж для окремих виробничих процесів потрібно вода за окремими показниками вище питної, то спочатку забирається вода питна, котра потім очищається до необхідного рівня (наприклад, водопостачання котелень, знесолення води в радіопромисловості і т.п.).

Для забезпечення необхідних показників якості води в більшості економічно розвинутих країн розроблені стандарти (США, Канада, Японія й ін.). Крім того, у США існують стандарти окремих штатів і деяких великих міст. Європейські країни – члени ЄЕС установили загальний стандарт. У країнах, що розвиваються, користаються рекомендаціями Всесвітньої організації охорони здоров'я (стандарти ВОЗ). Зіставлення різних стандартів приведені в табл. 3.

Перше значення показника в табл. 3 є таким, що рекомендується, а друге – гранично допустимим (за винятком фтору, для вмісту якого вказані гранично допустимі значення в залежності від кліматичних умов.). При особливих умовах, що обмовляються, допускається відхилення від величин окремих показників, або вказується припустима частота відхилень. Стандартом ЄЕС вміст фекальної групи кишкової палички при визначенні за допомогою мембранних фільтрів у 100-мл пробі не допускається, а при визначенні за допомогою бродильних проб повинне бути не більш 1 од. у 100-мл пробі.

Як видно з табл. 3, у ряді стандартів допускається велике значення каламутності (5-10 мг/л), хоча й в окремих пробах.

**Таблиця 3 – Показники якості питної води в різних стандартах**

Показники	Стандарт							
	ГОСТ 2874-82	ЭС	Испания	Швеция	Швей-	Канада	США	ВОЗ
Каламутність, мг/л	1,5	1-10	5-10	-	1	5	1-5	1-5
Кольоровість, град	20	1-20	5-15	20-40	-	15	3-15	-
pH	6,0-9,0	6,5-8,5	7-9,2	7-9,5	-	6,5-8,3	-	6,5-8,5
Жорсткість загальна, мг-екв/л	7,0	7,5-9,0	10	4-8	-	3,6-10	5-10	10
Сульфати, мг/л	500	25-250	200-400	100-200	-	500	250	400
Хлориди, мг/л	350	25	250-350	100-300	10	250	250	250
Азот нітратів, мг/л	45	6-10	6,8	-	4,5	-	10	10
Азот аммонійний, мг/л	-	0,05-0,5	-	0,05	-	0,5	-	-
Окислюваність (пермаганатна), мг/л	3 (по водойм.)	2-5	12	-	-	-	-	-
Сухий залишок, мг/л	1000	1500	-	-	-	-	-	1000
Залізо загальне, мг/л	0,3	0,05-0,2	0,2-0,3	0,2-0,4	0,1	0,3	0,05-0,3	0,3
Марганець, мг/л	0,1	0,02-0,05	1,5 (Fe+Mn)	0,1	-	-	-	0,1
Фтор, мг/л	0,7-1,5	0,7-1,5	1,5	1,5	-	-	1,4-2,4	1,5
Фенол, мг/л	0,001	0,0005	0,001	0,001	-	0,002	0,001	-
СПАР, мг/л	по ГДК	0,2	-	0,5	-	0,2-0,5	0,5	-
Загальний рахунок бактерій при 37 °С. од/мл	10	10	-	-	-	-	-	-
Кишкова паличка фекальної групи	3 в 1 л	0; <1	0-2	-	0	-	1-4	0

Нажаль, вода, яка після очисних споруд задовольняє вимогам стандартів, до споживача доходить часто зі зміною окремих показників. Це викликається великою довжиною водопровідних мереж і нестабільністю води. Наприклад, обстеження Ішимського групового водопроводу довжиною 1749 км (без розводящих мереж), з діаметрами 100-700 мм зі сталевих труб без внутрішнього покриття показало, що за 3 роки експлуатації вміст заліза у воді в споживача виріс з 0,23 мг/л до 2,47 мг/л. [2].

Залежність швидкості корозії  $K_1$  від швидкості потоку води, відповідно до досліджень Батлера, виражається рівнянням

$$K_1 = k_0 U^n,$$

де  $k_0$  і  $n$  – константи.

Для ламінарного потоку швидкість корозії можна визначити за формулою:

$$K_1 = \beta \cdot 7.72 \cdot 10^{11} d^{2/8} D^{-1/3} l^{-1/3} C_o U^{1/3} \text{ г/ (доб*дм}^2\text{)},$$

а для турбулентного потоку

$$K_1 = \frac{\beta}{\alpha} \cdot 1.74 \cdot 10^{11} \nu^{-5/8} d^{3/4} D^{-1/8} C_o U^{7/8} \text{ г/ (доб*дм}^2\text{)},$$

де  $D$  – діаметр труби;

$l$  – довжина труби;

$U$  – середня швидкість потоку, см/с;

$\alpha$  – кінематична в'язкість;

$d$  – коефіцієнт дифузії;

$C_o$  – об'ємна концентрація кисню;

$\beta$  – емпірична постійна.

Передбачається, що 1 моль кисню еквівалентний  $\alpha$  молям заліза, де  $2 \geq \alpha \geq 1,33$ .

Для температури 25°C ці формули мають вигляд

$$K_1 = \beta \cdot 2,11 \cdot U^{1/3},$$

$$K_1 = \beta \cdot 5.62 \cdot U^{7/8}$$

В області швидкостей потоку 0,05-100 см/с, тобто в області ламінарного і турбулентного потоків, експериментальні значення в чистій воді описуються формулою

$$K_1 = 28.2 \cdot U^{1/3}$$

Експериментальні значення  $K_1$  змінюються від 20 до 2000 мг/(дм<sup>2</sup>·доб) і зростають при збільшенні концентрації хлориду, швидкості руху і температури.

При відомій швидкості корозії, довжині і діаметрі сталевого трубопроводу можна оцінити можливість збільшення концентрації заліза у воді по формулі

$$C = 0.1 \cdot \pi \cdot D \cdot l \cdot K_1 / Q_{\text{доб}} \quad \text{мг/дм}^3,$$

де  $D$  – діаметр трубопроводу в м;

$l$  – довжина трубопроводу в м;

$K_1$  – швидкість корозії в мг/(дм<sup>2</sup>·доб);

$Q$  – добова витрата води по трубопроводу в м<sup>3</sup>/добу.

Тоді загальний вміст заліза у воді буде дорівнює

$$C_{\text{заг}} = C_{\text{висх}} + C,$$

де  $C_{\text{висх}}$  – концентрація заліза на початку ділянки.

Підвищення вмісту у воді іонів заліза не тільки погіршує якість води, але приводить до можливості її забруднення сульфідом заліза Fe (тонкий порошок чорного кольору), а іноді і сіркою, що може з'являтися за певних умов (наявність сірководню й окислювання його киснем повітря до сірки). Сірководень у воді може з'являтися внаслідок відновлення сульфатів, що містяться у воді в результаті життєдіяльності сульфатредукованих бактерій. У трубах при транспортуванні по них води, що містить залізо, чи при збагаченні води залізом у результаті корозії труб розвиваються залізобактерії, що окисляють закисне залізо в окисне і сприяють тим самим виділенню осаду гідрату окису заліза.

Збільшення інтенсивності корозії приводить до нерівномірного зносу трубопроводу, коли знос в окремих його місцях значно перевищує знос по



поверхні трубопроводу. Це у свою чергу приводить до «свищів» у трубопроводі, що можуть бути причиною не тільки підвищених витоків, але і вторинних забруднень питної води, що можуть викликатися витоками з мереж водовідведення, які проходять у безпосередній близькості від водопроводу.

Величина витoku з мережі водовідведення, що може бути причиною забруднення питної води, може бути визначена з наступних міркувань. За ДСТ2874-82 у 1 л питної води припустима наявність 3 паличок фекальної групи. Тому при відомому об'ємі трубопроводу можна визначити об'єм стоків, який приводить до вторинного забруднення. Для застійної ділянки об'єм води в трубопроводі дорівнює

$$W_{тр} = 0,785 D^2 \cdot l$$

де  $D$  – діаметр трубопроводу;

$l$  – довжина ділянки.

При допустимості колі-індексу «3» максимальна кількість кишкових паличок у ділянці не повинне перевищувати величини

$$W_{забр} = 3 \cdot W_{тр} = 3 \cdot 0,785 \cdot 10^3 \cdot D^2 \cdot l = 2355 D^2 \cdot l$$

де  $D$  – діаметр трубопроводу, м;

$l$  – довжина ділянки, м.

Тоді неприпустиме забруднення води в трубопроводі наступить, якщо в нього потрапить об'єм забрудненої води

$$W_{забр.ст} = 2355 D^2 \cdot l / C_{забр} \quad \text{л,}$$

де  $C_{забр}$  – концентрація забруднень в стоках (для побутових стічних вод  $C_{забр} \sim 10^8$  1/л [3];

$D$  – діаметр трубопроводу в м;

$l$  – довжина трубопроводу в м.

З цієї формули видно, що навіть при діаметрі трубопроводу 1 м і довжині 1 км у нього неприпустиме надходження стоків, забруднених кишковою паличкою, більш, ніж 2,36 мл. Таким чином, чим менша можливість точкових ушкоджень трубопроводів, тим менша можливість вторинного забруднення.

Для того щоб контролювати якість питної води, яка подається місту, організується систематичний контроль показників якості. При цьому динамічні характеристики вимірюються частіше (1 раз на годину), а показники,

що підтримуються стабільно, виміряються 1 раз на добу. Для цього на очисних спорудах є лабораторія, що стежить за показниками якості води на виході з очисної станції. Крім цього, в Управліннях «Водоканал» є центральна лабораторія, яка з певною періодичністю контролює якість води у визначених точках мережі. Усе це дає впевненість Управлінням «Водоканал» у тім, що вони випускають доброякісну продукцію.

Незалежним контролером виступають відповідні підрозділи санітарно-епідеміологічних служб. Таким чином, забезпечується безпека водопостачання.

Системи водопостачання є великими споживачами енергії і можуть істотно впливати на загальноміське енергетичне споживання. При цьому часто буває складно зіставити між собою енергоспоживання різних міст, тому що воно визначається не тільки характеристиками міста, але також і характеристиками джерела водопостачання. Оцінити порядок споживання енергії системами водопостачання можна за даними табл. 5. Хоча споживана потужність досить велика, але в місті з розвинутою промисловістю вона не може бути визначальною. Однак важливість системи водопостачання для життєдіяльності міста вимагає особливої уваги міської влади до надійності її енергопостачання. З іншого боку кожен систему водопостачання необхідно оптимізувати по споживанню електричної енергії.

**Таблиця 5 – Потужність двигунів у системах водопостачання**

<b>Місто</b>	<b>Потужність двигунів насосних станцій, кВт</b>
1. Лондон (I підйом)	7850
2. Мадрид (усього в системі)	20978
3. Париж (без пригородів)	18000
4. Бомбей ( II підйом)	6765
Чикаго: електродвигунів	33120
6. Сан-Паулу	60000
7. Запоріжжя $N_{роб}/N_{устан}$	35320/65820
8. Дніпропетровськ	35000

Для цього у всіх елементах системи в першу чергу треба ліквідувати надлишкові напори, по-друге, необхідно проаналізувати вплив невігідних точок в окремих елементах на необхідні напори на вході в них, по-третє, зробити необхідне зонування і ввести місцеві підкачування, які дозволяють зменшити необхідні напори, по-четверте, використовувати устаткування з більш високим ККД.

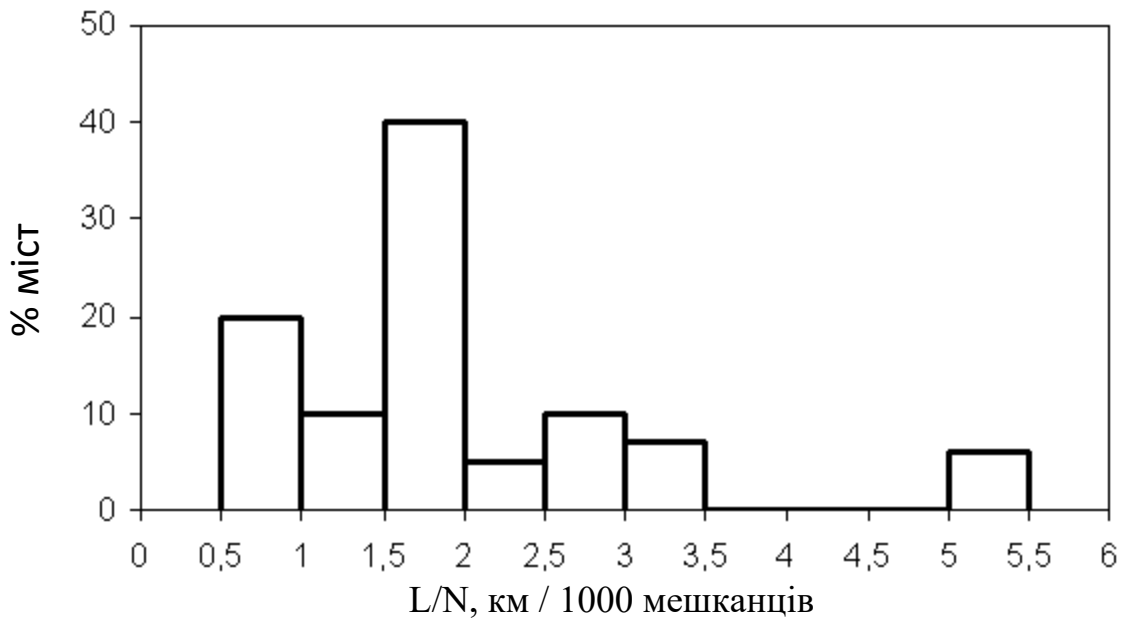
Крім енергетичних витрат, системи водопостачання для ефективної роботи вимагають великих матеріальних витрат як на стадії їхнього створення, так і в процесі експлуатації. Тому вони можуть характеризуватися показниками, що дають уявлення про розміри системи. Деякі з цих показників для закордонних і наших країн приведені в табл. 6 [1].

Таблиця 6 – Довжини водопровідних мереж і об'єми резервуарів чистої води

Місто	Довжина водоводів і вуличних мереж, км	Об'єм РЧВ, Тис. м <sup>3</sup>
1. Амстердам	1795	130
2. Антверпен	1924	155
3. Барселона	3156	676
4. Брюссель	3986	530
5. Будапешт	4100	298
6. Варшава	1333	140
7. Відень	3112	-
8. Гамбург	5132	280
9. Копенгаген	855	441
10. Лісабон	1108	520
11. Лондон	16000	1985
12. Мадрид	3814	2074
13. Мюнхен	2302	306
14. Париж	1817	1200
15. Рим	3700	210
16. Роттердам	2366	155
17. Софія	2609	282
18. Стокгольм	1710	277
19. Хельсінки	950	188
20. Цюрих	1020	270

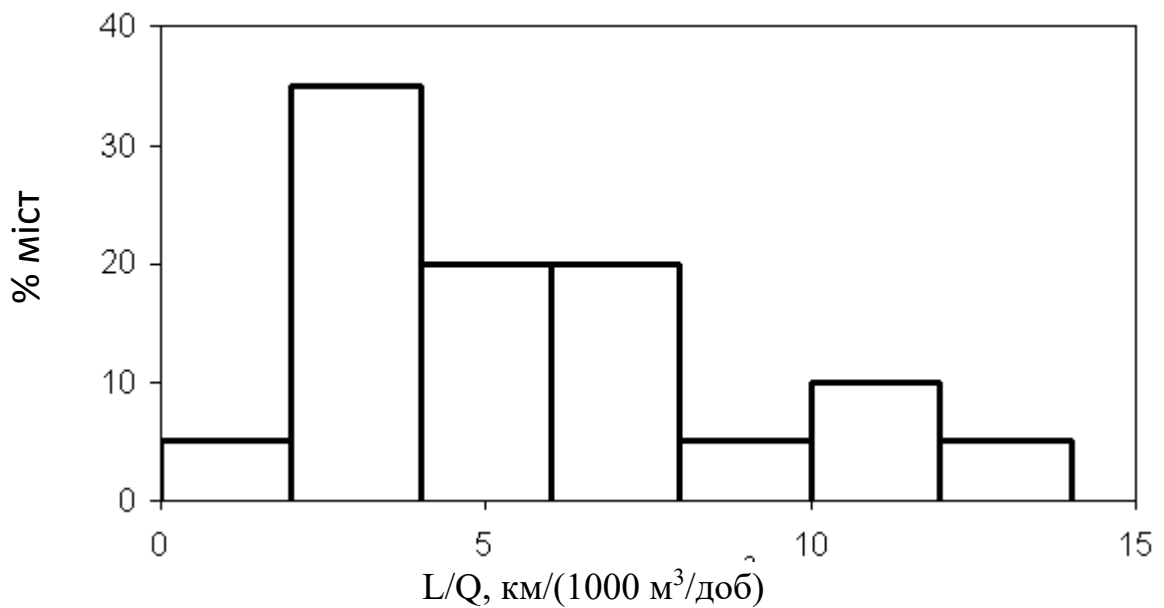
21. Кіото	3069	387
22. Токіо	17335	1395
23. Хіросіма	2000	-
24. Денвер	3200	2466
25. Чикаго	6700	1004
26. Олександрія	2500	-
27. м. Бразилія	3026	150
28. Ріо-де-Жанейро	6400	330
29. Сан-Паулу	14000	1113
30. Мельбурн	13000	-
31. Сідней	17000	4470
32. Запоріжжя	1000	-
33. Москва	4282	-

Крім абсолютної довжини мереж систем подачі і розподілу води, для характеристики останніх використовуються також їхня питома довжина в розрахунку на одного мешканця. Середня довжина водоводів і вуличної водогінної мережі в розрахунку на 1000 жителів по 30 закордонних країнах склала ~2км із мінімальними значеннями 0,6-0,7 у Лісабоні й Олександрії і максимальними – 5,2км у Мельбурні і Сідней. Розподіл питомих показників для цих міст приведено на рис. 20.



**Рисунок 20 – Розподіл міст по питомій довжині водоводів і водогінної мережі**

Іноді використовується такий показник, як довжина трубопроводів на 1000 м<sup>3</sup>/доб води. Так для Брюсселя, Копенгагена, Мельбурна і Сіднея цей показник вище 10 км, а менше 3 км – для Парижа, Рима, Ріо-де-Жанейро і деяких інших міст. Розподіл цього показника показано на рис.21.



**Рисунок 21 – Розподіл міст по питомій довжині водоводів і мереж на 1000 м<sup>3</sup>/доб подачі води**

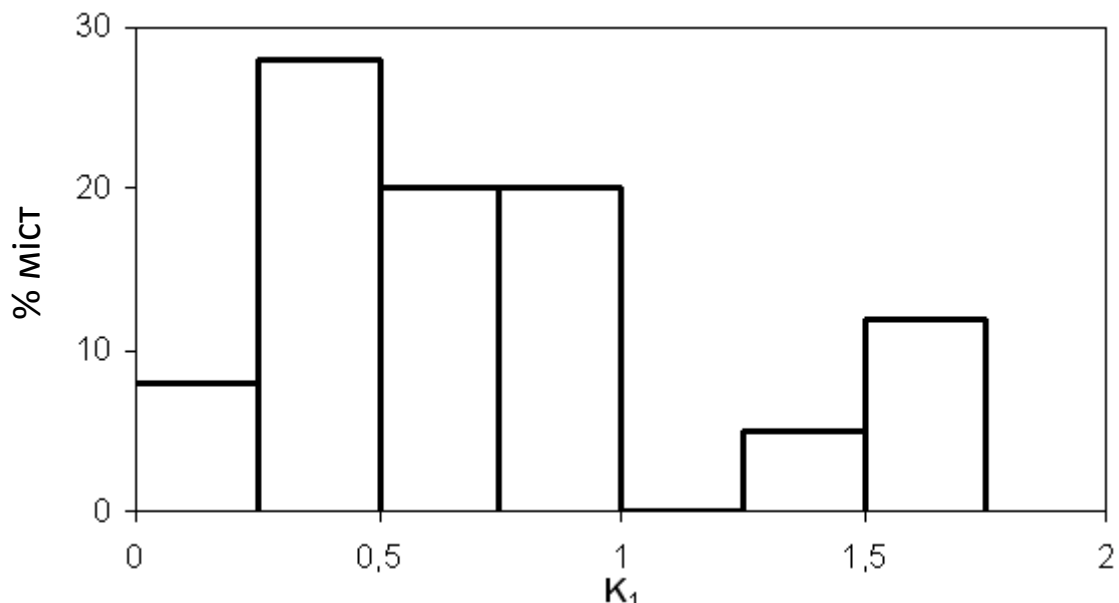
Для характеристики наявних у системі запасів води використовується коефіцієнт

$$K_1 = \sum W_{pчв} / Q_{сер.доб} ,$$

□  $W_{pчв}$  – сумарна ємність резервуарів чистої води;

$Q_{сер.доб}$  – середньодобове водоспоживання.

Більшість великих міст за рубежом має у своєму розпорядженні значну місткість резервуарів чистої води. Зміна коефіцієнта  $K_1$  для 25 закордонних міст показана на рис. 22. З цього рисунка видно, що в більшості міст  $K_1 > 0,5$ , а в деяких містах він дорівнює 1,5 і більше (Брюссель, Копенгаген, Мадрид, Париж, Цюріх).



**Рисунок 22 – Розподіл міст за коефіцієнтом запасу  $K_1$  місткості РЧВ**

Розміри системи водопостачання і її досконалість якоюсь мірою характеризуються також кількістю обслуговуючого персоналу на кожні 10 тис. мешканців. Статистика показує, що в основному цей показник знаходиться на рівні 4-10 працюючих. Менша чисельність відноситься до систем із самопливною подачею підземної води (Відень, Мюнхен), а також до високоавтоматизованої системи водопостачання Стокгольма.

Міська система водопостачання повинна бути надійною. З цією метою використовуються традиційні методи забезпечення надійності такі, як кільцювання, дублювання, створення запасів води і т.п. [4, 5].

У закордонній практиці розрізняють технологічну і санітарну надійність, що тісно зв'язані між собою. У системах водопостачання великих закордонних міст до заходів щодо підвищення технологічної надійності відносяться такі заходи:

- використання не менше двох джерел;
- регулювання запасів води в джерелі водопостачання;
- збільшення кількості головних споруд;
- улаштування кільцевого водовода навколо міста, яке забезпечується водою, подачею води в нього з головних споруд;
- збільшення об'ємів запасно-регулюючих резервуарів в системі водопостачання;
- дублювання електропостачання;
- установка резервних теплових двигунів в якості приводів насосів чи генераторів електроенергії;
- автоматизація технологічних процесів;
- удосконалювання служби експлуатації з метою запобігання аварій і швидкої їхньої ліквідації.

До заходів щодо підвищення санітарної надійності систем водопостачання відносяться:

- улаштування прибережних (наливних) водоймищ при заборах води з рік і каналів, підданих випадковим, залповим забрудненням;
- застосування біотестів для безупинного контролю наявності токсичних забруднень у джерелі водопостачання;
- організація зон санітарної охорони джерел водопостачання;
- складання банку даних про потенційно небезпечні речовини, які зберігаються чи транспортуються на водозбірній площі і які в аварійних ситуаціях можуть забруднити джерело водопостачання;
- розробка моделей ймовірних забруднень джерела;
- розробка технології очищення води на очисній станції в умовах аварійного забруднення;
- улаштування автоматизованих постів контролю якості води в джерелі водопостачання вище водозабору;
- запобігання вторинного забруднення води в розподільній мережі;
- забезпечення населення питною водою в умовах катастроф і особливо великих аварій у системі водопостачання.

Зазначені заходи забезпечують високу надійність водопостачання споживачів. У системах водопостачання Антверпена, Лондона, Парижа, Роттердама, Хельсінки та ін. прибережні водоймища дозволяють

регулювати водовідбір з ріки і поліпшувати якість річкової води, а також дають можливість тимчасово припиняти забір річкової води у випадку її залпового забруднення. Система водопостачання м. Роттердам має такі водоймища біля основного джерела р. Маас і біля резервних джерел – двох рукавів Рейну, на берегах яких розміщені водоочисні станції Кралинген і Беренплаат.

Велику роль у підвищенні надійності систем водопостачання грають і великі запаси води в РЧВ (іноді до  $1,5Q_{\text{доб}}$ ). У Брюсселі, Лондоні, Роттердамі, Цюріху на додаток до двостороннього забезпечення електроенергією додані резервні дизель-генератори і теплові двигуни до насосів. У Цюріху для подачі підземної води місту в особливий період дизель-генератори встановлені в підземній станції, яка захищена від впливу ударної хвилі інтенсивністю  $0,5 \text{ кг/см}^2$  і радіації.

Кільцеві тунелі глибокого закладення запроектовані і частково побудовані в Лондоні, Римі, Цюріху і Нью-Йорку. Кільцеві водоводи виконані в Парижі, Денвері та в інших містах.

Дослідження показали, що «випадкові» забруднення в 69% випадків є результатом недбалості і можуть бути легко відвернені. У 20% випадків забруднення були наслідком непередбачених обставин, у 9% причини цього не встановлені, тільки в 2% випадків забруднення викликані аваріями під час перевезення шкідливих речовин автомобільним і водним транспортом. При цьому в 39% випадків забрудненнями були нафта і нафтопродукти, у 26,5% - продукти хімічної промисловості (кислоти, луги, феноли й ін.) у 34,5% випадків – різні речовини (шлам, папір, пластмаса і т.п.).

З закордонного досвіду становить інтерес розробка математичних моделей поширення забруднення і перевірка їх за допомогою барвників і аналізів. На водоочисних станціях практикують біотестування вихідної води з використанням райдужної форелі в спеціальних проточних садках, обладнаних аварійною сигналізацією, що спрацьовує при неспокійному поведженні форелі, що дуже чутлива до забруднення води.

Для запобігання вторинного забруднення води на її шляху до абонентів домагаються глибокого очищення води з максимальним видаленням розчинених органічних сполук і, крім того, проводять поетапне хлорування в різних точках мережі (наприклад, у пригородах Парижа таких точок 15). Вторинне забруднення може бути пов'язано не тільки з конструкцією і довжиною водопровідних мереж, але і з їх аварійністю. Аварії на мережах



також негативно позначаються на житті міста. Частота ушкоджень елементів мереж визначається за формулою [6]

$$Z_i = m_i / n_i ,$$

де  $m_i$  – число несправних  $i$ -тих елементів (стики, труби і т.п.);

$n_i$  – загальна кількість  $i$ -тих елементів.

По дослідженнях [6] у залежності від виду ушкоджень частота коливається в межах від  $0,0003 \cdot 10^{-3}$  (тріщини магістральних чавунних трубопроводів) до  $0,06 \cdot 10^{-3}$  (розлад стиків на азбестоцементних трубах), а імовірність порушення роботи мережі через відмовлення  $i$ -го елемента коливається в межах від  $0,006 \cdot 10^{-5}$  до  $1,37 \cdot 10^{-5}$ . Частота відмовлення в цілому для мережі різних міст колишнього СРСР коливається від  $0,54 \cdot 10^{-3}$  (м. Березники Пермської обл.) до  $1,79 \cdot 10^{-3}$  (м. Казань). Час ліквідації аварії коливається в широких межах для різних міст у залежності від виду аварії й умов її усунення. При цьому нижня межа для всіх міст складає 1-3 години, а верхня змінюється від 120 годин (м. Свердловськ, тепер Екатеринбург) до 1484 годин (м. Омськ). Разом з тим середній час ліквідації аварій на водоводах складає 10,7 годин (м. Омськ), 13,3 годин (м. Свердловськ), 20,3 годин (м. Горький, тепер Набережні челни) [6].

Для контролю за роботою мережі в ній періодично в намічених точках виконується вимір напорів. Періодичність визначається організацією системи контролю. В даний час із упровадженням систем АСУ контроль ведеться практично безупинно. Наприклад, у ДП «Водоканал» м. Запоріжжя в 5 контрольних точках на території міста через кожні 3 хвилини в ПЕОМ фіксується тиск, який також відображається на дисплеї в графічному вигляді.

За кордоном практикується оцінка роботи водопровідної мережі по співвідношенню нічної і денної витрати води. При цьому вважається, що коли нічна витрата складає менше 35% денної, мережа знаходиться у відмінному стані; при 35-50% - мережа в гарному стані, але в окремих випадках необхідно провести дослідження для встановлення можливих витоків; при 50% - іспити на герметичність необхідні. Ці цифри усереднені і можуть мінятися в широких межах у залежності від досліджуваних ділянок трубопроводів (мережа промислових підприємств чи житлових кварталів).

Якість води контролюється на очисних спорудах лабораторією з періодичністю від однієї години до 24 годин в залежності від виду аналізів.

Крім того, центральною лабораторією підприємства в основних точках мережі на території міста щодоби виконується відбір проб води на аналіз.

Економічна ефективність роботи системи водопостачання оцінюється собівартістю подачі води споживачам. Рівень собівартості в доперебудований період характеризується такими цифрами:

- система «Донбасводтресту»:

питна вода – 3,09 коп/м<sup>3</sup>,

технічна вода – 1,59 коп/м<sup>3</sup>;

- система водопостачання м. Запоріжжя – 4,89 коп/м<sup>3</sup>.

Структура собівартості системи Донбасводтресту:

амортизація ..... 41%,

електроенергія ..... 35%,

поточний ремонт ..... 5%,

заробітна плата ..... 4%,

реагенти ..... 3%,

цехові, заводські та інші витрати ..... 12%.

У післяперебудований період ціни за воду сильно виросли. Так тариф на воду в м. Дніпропетровську для населення 14,3 коп/м<sup>3</sup>, у м. Запоріжжя 12 коп/м<sup>3</sup>. Тарифи на воду в закордонних країнах приведені в табл. 7.

Таблиця 7 – Тарифи на воду за кордоном

Місто	Тариф на воду, коп/м <sup>3</sup>	Місто	Тариф на воду, коп/м <sup>3</sup>	Місто	Тариф на воду, коп/м <sup>3</sup>
Барселона	14,5	Гамбург	45,5	Софія	6,5
Брюссель	82	Копенгаген	16,5	Стокгольм	20,5
Будапешт	19,9	Мюнхен	31,8	Цюріх	28,1
Варшава	40,5	Рим	7,7	Токіо	36

У більшості міст тарифи прогресивно зростають із зростанням водоспоживання.

Витрата електроенергії визначається за рік або як деяка питома витрата. Рівень енергоспоживання визначається характеристиками системи.

Наприклад, енергоспоживання в Дніпропетровському Водоканалі складає 219МкВт\*год/рік, у Запорізькому – 224МкВт\*год/рік.

#### **Питання для повторювання**

1. Проаналізуйте об'єми водопостачання різних міст.
2. Як коливається питоме водоспоживання у різних містах?
3. Які задачі виконує система водопостачання?
4. Як змінюється швидкість корозії?
5. Як впливають іони заліза на якість питної води?
6. Як часто вимірюють показники якості води?
7. Як контролюється робота водопровідної мережі?