

Міністерство освіти і науки України  
Інженерний навчально-науковий інститут  
Запорізького національного університету

О. Г. Добровольська

**МЕТОДОЛОГІЯ ОПЕРАТИВНОГО УПРАВЛІННЯ СИСТЕМАМИ  
ІНЖЕНЕРНИХ МЕРЕЖ І ОЧИЩЕННЯ РЕЧОВИН, ЩО  
ТРАНСПОРТУЮТЬСЯ**

Конспект лекцій

для підготовки здобувачів третього (освітньо-наукового) рівня вищої освіти  
ступеня доктора філософії

спеціальності 192 «Будівництво та цивільна інженерія»

Затверджено  
вченою радою ЗНУ  
Протокол №\_ від  
\_\_\_\_\_ р.

Запоріжжя  
2021

УДК 628.1/.2(075)

Д 560

Добровольська О. Г. Методологія оперативного управління системами інженерних мереж і очищення речовин, що транспортуються : конспект лекцій для здобувачів ступеня вищої освіти бакалавра спеціальності 192 «Будівництво та цивільна інженерія» за освітньо-професійною програмою «Міські інженерні мережі». Запоріжжя : ЗНУ, 2021. 106 с.

В рукопису подано в систематизованому вигляді стислий виклад курсу лекцій дисципліни «Методологія оперативного управління системами інженерних мереж і очищення речовин, що транспортуються», теоретичні основи управління потокорозподілом в інженерних мережах; нормативні документи з влаштування та прокладання мереж різного призначення, зроблено акцент на устрої аналітичних систем управління роботою інженерних мереж та систем інженерного забезпечення міст для забезпечення надійної експлуатації цих систем. Містить ілюстративний (рисунки, схеми) і табличний матеріали.

Для здобувачів третього (освітньо-наукового) рівня вищої освіти ступеня доктора філософії спеціальності 192 «Будівництво та цивільна інженерія».

Рецензенти:

*В. А. Банах*, доктор технічних наук, професор, проректор з науково-педагогічної роботи та технічної освіти Запорізького національного університету

*Є. А. Манідіна*,

кандидат технічних наук, доцент кафедри прикладної екології та охорони праці Запорізького національного університету

Відповідальний за випуск

*А. В. Банах*, кандидат технічних наук, доцент, завідувач кафедри міського будівництва і архітектури

## ЗМІСТ

|                                                                                                                    |    |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Вступ.....                                                                                                         | 4  |
| Тема 1. Система водопостачання як об'єкт оперативного управління.....                                              | 5  |
| Тема 2. Принципи автоматизованого управління системами<br>водопостачання.....                                      | 11 |
| Тема 3. Інформаційні функції систем оперативного управління<br>водопроводом .....                                  | 17 |
| Тема 4. Принципи оптимального управління системами водопостачання .....                                            | 23 |
| Тема 5. Інформаційно-аналітичні системи диспетчерського управління.<br>Автоматизоване робоче місце диспетчера..... | 29 |
| Тема 6. Оптимальне управління насосними станціями.....                                                             | 39 |
| Тема 7. Алгоритмізація режимів водопостачання                                                                      |    |
| Тема 8. Оперативне управління системами водопостачання в аварійних<br>ситуаціях і відновлюваних режимах.....       | 52 |
| Список використаних джерел .....                                                                                   | 55 |
| Додаток.....                                                                                                       | 56 |

## **ВСТУП**

Курс "Методи оперативного управління системами водопостачання" є однією з дисциплін вільного вибору студентів. У ньому вивчаються види систем оперативного управління, їхні функції й особливості. Розглядаються питання оперативного управління системами розподілу води, насосними станціями систем водопостачання очисними спорудами водопідготовки в різних реальних ситуаціях .

Курс читається в 10 семестрі і включає 36 годин аудиторних занять, з яких 18 годин- лекції і 18 годин - практичні заняття. Закінчується вивчення дисципліни заліком.

# ТЕМА 1

## СИСТЕМА ВОДОПОСТАЧАННЯ ЯК ОБ'ЄКТ ОПЕРАТИВНОГО УПРАВЛІННЯ.

1. Загальні уявлення про управління системами водопостачання. Диспетчеризація.
2. Завдання диспетчерського управління.
3. Структура диспетчерського управління.

Системи водопостачання і водовідведення є одними з найважливіших чинників забезпечення життєдіяльності людини в сучасних умовах і разом з електро- і газопостачанням визначають рівень розвитку суспільства.

В управлінні системами водопостачання виділяють три види управління : адміністративно – господарське, технічне і оперативне.

В даному курсі лекцій розглядається, в основному, останній вид управління – оперативне. Оперативне управління часто називають диспетчерським, оскільки воно реалізується за допомогою спеціальної диспетчерської служби.

Далі розглянуті організаційна структура, завдання, функції, технічні засоби і інші аспекти забезпечення диспетчерського управління системами водопостачання.

Диспетчерське управління – це централізоване управління режимами системи водопостачання, здійснюване вищим оперативним керівником системи – диспетчером. Диспетчерське управління проводиться безперервно.

### ***Управління режимами системи водопостачання і керовані параметри.***

Функціонуючою системою водопостачання можна управляти двома способами:

1. Відключити (включити) який-небудь елемент системи – насосну станцію, насосний агрегат, водовод, споживача води.
2. Змінити деякі параметри режиму – тиск на виході насосної станції і на мережах, витрату води на насосній станції і на мережах, рівень води в резервуарах і ін.

При оперативному управлінні системами водопостачання виділяються ситуативна і часова ієрархії. Потреба в часовій ієрархії пов'язана з необхідністю виділення різних по тривалості відрізків часу при плануванні розвитку і режимів системи водопостачання. Виділяють два часові рівні – планування режимів системи і оперативне управління, що забезпечує виконання планових режимів.

Ситуативна ієрархія виділяє три ранги управління – нормальний, аварійний і післяаварійний режими.

### ***Завдання диспетчерської служби.***

Головне завдання диспетчерського управління – це розробка режимів системи водопостачання і їх оперативне ведення. Розроблені режими повинні забезпечити безперебійне постачання споживачів водою при стандартній її якості і бути максимально економічними для системи.

Завдання управління системами водопостачання достатньо різноманітні. До їх числа входять:

- підтримка напорів і витрат води на насосних станціях і в мережі;
- підтримка рівнів води в резервуарах;
- прогноз добових графіків споживання води;
- оптимальне планування режиму на майбутній період;
- аналіз відхилень поточного режиму від планового, корекція і оптимізація режимів;
- ведення диспетчерської документації;
- інші.

Більшість цих завдань є складними оптимізаційними задачами. Для їх вирішення застосовуються математичні моделі керованих процесів. Управління проводиться за допомогою ЕОМ.

### ***Організація диспетчерської служби.***

Комплекс інженерних споруд, що виконують завдання забезпечення водою різних споживачів, називають **системою водопостачання**. Централізована система водопостачання повинна забезпечувати прийом води з джерела, її очищення, якщо це необхідно, і подачу споживачу. З цією метою в систему водопостачання включаються наступні елементи:

- 1) водоприймальні споруди;
- 2) насосні станції;
- 3) споруди для очищення води;
- 4) запасні і регулюючі ємності;
- 5) водоводи і розподільні мережі.

Головним завданням експлуатації систем водопостачання є:

- 1) забезпечення безперебійної подачі води споживачам у необхідній кількості і під достатнім напором;
- 2) забезпечення належної якості води;
- 3) забезпечення оптимальних режимів роботи всіх елементів системи в цілях високої економічної ефективності.

Не дивлячись на різноманітність умов роботи, будь-яка система водопостачання працює як єдине ціле і має потребу як в організаційно-адміністративному, так і в оперативному управлінні. Оперативне управління системою водопостачання покладається на диспетчерську службу.

Метою діяльності диспетчерської служби є встановлення найбільш економічного режиму роботи устаткування, що забезпечує безперебійну роботу водопроводу в ув'язці з графіком подачі води. Для досягнення вказаної мети диспетчерська служба вирішує наступні основні задачі:

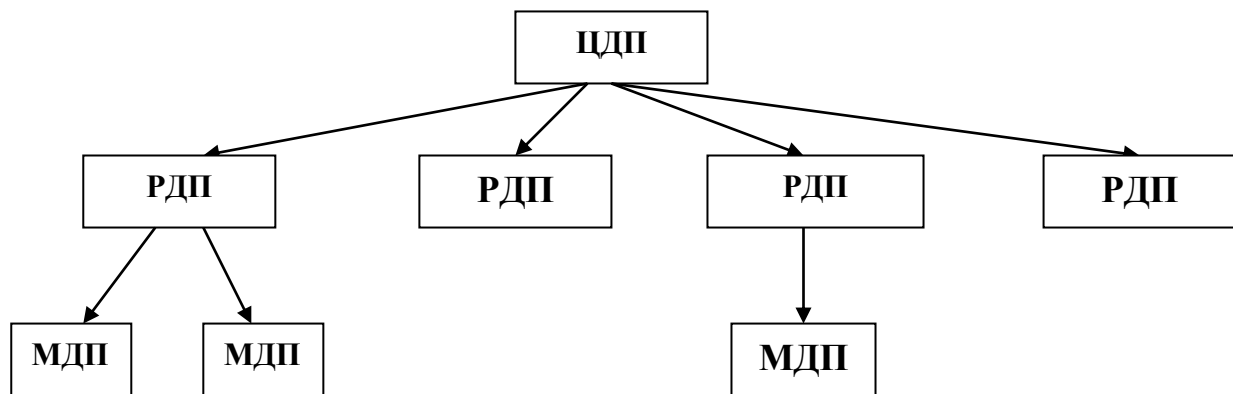
- узгодження роботи всіх споруд з роботою мережі;
- санкціонування відключення устаткування і ділянок мережі для виконання ремонту;
- керівництво локалізацією і ліквідацією аварій;
- нагляд за засобами автоматики, телемеханіки і зв'язку;
- оперативна зміна графіків роботи системи;

- складання технічної звітності.

Диспетчерська служба виявляє основні якісні і кількісні показники роботи системи водопостачання, координує санітарний контроль за роботою споруд. В обов'язки диспетчера входить вирішення всіх оперативних питань, пов'язаних із забезпеченням надійності, безперебійності і економічності роботи споруд, цехів і всієї системи загалом.

Рациональна організація структури диспетчерського управління створюється з урахуванням технологічного взаємозв'язку водопровідних споруд, їх територіального розташування, вживаної стратегії оперативного управління, а також технічних можливостей сучасних засобів збору і передачі інформації.

У сучасних умовах, як правило, створюється двоступінчата диспетчерська служба, але може мати місце і одноступінчата (зазвичай в малих містах) або триступінчата (у найбільших містах). Організаційна структура диспетчерського управління представлена на рис.1.1



ЦДП – центральний диспетчерський пункт.

РДП – районний диспетчерський пункт

МДП – місцевий диспетчерський пункт

Рис.1.1 - Організаційна структура диспетчерського управління.

Одноступінчата схема - один диспетчерський пункт керує роботою всіх споруд, що входять в систему.

Двоступінчата схема - ЦДП координує роботу МДП, що керують роботою окремих споруд або груп споруд.

Триступінчата схема - ЦДП керує роботою районних ДП, а РДП - роботою окремих споруд або груп споруд.

Верхнім ступенем оперативного управління є центральний диспетчерський пункт (ЦДП), наступні ступені - районні диспетчерські пункти (РДП) і місцевий диспетчерський пункт (МДП). ЦДП призначений для контролю і оперативного управління всією системою водопостачання, збору і реєстрації інформації про основні технологічні параметри по водопровідним спорудам, розрахунку оптимальних режимів роботи споруд, оперативного координованого управління всіма спорудами в нормальних і аварійних умовах, оцінки якості експлуатації, керівництва локалізацією і ліквідацією аварій.

Диспетчеру ЦДП функціонально підпорядковані диспетчери РДП і МДП.

РДП здійснює безперервний контроль і управління технологічним процесом на групі водопровідних споруд (водопровідні станції, групи свердловин і т.д.), збір і попередню обробку даних про технологічні параметри і стан устаткування, виявлення аварій і управління в цих умовах. Диспетчер РДП підтримує зв'язок з диспетчером ЦДП і керує диспетчером МДП.

МДП призначений для управління найбільш складними технологічними об'єктами (цехом фільтрів, насосною станцією і т.п.), що входять до складу групи споруд. МДП є нижнім ступенем системи диспетчерського управління і забезпечує управління там, де немає можливості обійтися без чергового персоналу. По суті, функції оператора МДП аналогічні функціям РДП стосовно контролюваного ним об'єкту. Оператор МДП функціонально підпорядкований диспетчеру РДП, виконує його вказівки по управлінню і передає йому інформацію. МДП оснащується приладами контролю, апаратурою дистанційного керування устаткуванням і сигналізацією його стану.

До складу диспетчерської служби входять:

- оперативна група змінних диспетчерів;
- група профілактичного огляду обладнання споруд;

- група профілактичного огляду обладнання мережі;
- аварійна бригада;
- група автоматики, телемеханіки і зв'язку.

Наявність і штати вказаних груп і бригад залежать від потужності і розмірів системи, кількості споруд і протяжності мережі.

### ***Технічне забезпечення диспетчерських служб.***

Для здійснення безперервного контролю і управління системою водопостачання найширше застосовуються засоби телефонного і радіо зв'язку. За допомогою телефонів, як правило здійснюється зв'язок з диспетчерами МДП. Радіозв'язок забезпечує постійний контакт з аварійно – відновними бригадами. Для оперативного управління ЦДП забезпечується спеціальним автомобільним транспортом.

## ТЕМА 2

# ПРИНЦИПИ АВТОМАТИЗОВАНОГО УПРАВЛІННЯ СИСТЕМАМИ ВОДОПОСТАЧАННЯ

1. Загальні завдання автоматизованих систем оперативного управління (АСОУ).
2. Функції АСОУ.
3. Режими функціонування АСОУ.
4. Класифікація АСОУ водопостачання.
5. Види АСОУ водопостачання і їх особливості.

Системи водопостачання є дуже складним комплексом взаємозв'язаних і взаємозалежних споруд. Тому СНіП 2.04.02-84 вимагає створення систем автоматичного управління на всіх водопровідних спорудах.

Рекомендований ступінь і способи автоматизації елементів водопроводу залежать від конкретних особливостей об'єкту. Визнано доцільним створення локальних автоматизованих систем управління (АСУ) окремими технологічними спорудами (водозаборами, насосними станціями), систем диспетчерського управління з дистанційним і телемеханическим контролем, а також автоматизованих систем управління технологічними процесами (АСУТП) водопостачання. При цьому АСУТП - це вищий етап автоматизації системи диспетчерського управління, створюваний на базі використання ЕОМ, апаратури телемеханіки, засобів зв'язку і пристроїв локальної автоматики.

АСОУ вирішують наступні задачі:

- отримання інформації від встановлених на водопровідних спорудах датчиків про витрати, тиск, рівні і інші параметри;
- передача одержаної інформації в диспетчерський пункт;
- обробка одержаної інформації за допомогою ЕОМ для вибору оптимальних режимів роботи технологічного устаткування;

- видача результатів розрахунків диспетчеру або безпосередньо виконавчим механізмам, що керують роботою насосів, засувок і інших пристроїв.

Важлива роль в оперативному управлінні належить людині. Вона сприймає інформацію і результати її обробки, ухвалює остаточні рішення по вибору керуючих дій і віддає команди на їх реалізацію. Тому в число завдань, що вирішуються АСОУ, входять зручне представлення контролюючих параметрів, видача графіків, розрахунок техніко-економічних показників і т.д.

В якості критерія оптимального управління в АСУТП застосовується мінімум собівартості подаваної води за умови забезпечення її належної якості і задоволення потреб всіх споживачів.

Функції автоматизованих систем оперативного управління можна розділити на керівники, інформаційні і допоміжні.

До керівних функцій відносяться:

- регулювання або стабілізація окремих технологічних параметрів (наприклад, тиск в диктуючих точках водопровідної мережі);
- оптимальне управління технологічними процесами, тобто режимами роботи насосних станцій, очисних споруд і т.д.

До складу інформаційних функцій входять:

- централізований контроль і облік технологічних параметрів;
- обчислення техніко-економічних параметрів (наприклад, питома витрата електроенергії);
- формування і видача даних диспетчеру;
- узагальнена оцінка стану технологічних об'єктів;
- підготовка і передача інформації в організаційно-економічну систему управління підприємствами водопостачання.

Допоміжні функції включають рішення внутрісистемних задач контролю за станом технічних засобів, зберігання інформації і т.д.

Функції АСУ взагалі можуть виконуватись в автоматизованому (за участю людини) або автоматичному (без участі людини) режимах. Для АСОУ водопостачання характерний автоматизований режим реалізації функцій, при якому

комплекс технічних засобів автоматично представляє оперативному персоналу інформацію, а вибір і здійснення керівних дій проводить людина - диспетчер.

Слід зазначити, що на перших етапах створення АСОУ можливий не автоматичний, а автоматизований режим реалізації інформаційних функцій, коли людина бере участь в операціях по отриманню і обробці інформації, тобто здійснюється передача даних від окремих об'єктів по телефону і ручне введення їх в ЕОМ.

При подальшому розвитку АСОУ передбачається режим «порадника диспетчера», при якому комплекс технічних засобів виробляє рекомендації по управлінню, а рішення по їх використанню ухвалюється і реалізується диспетчером.

Перспективним напрямом розвитку автоматизованого управління є діалоговий режим, при якому оперативний персонал бере участь у виробітку рекомендацій по оптимальному управлінню, має можливість коректувати умови завдання і навіть їх постановку.

Для окремих груп водопровідних споруд (група артезіанських свердловин, що працюють на РЧВ, цех фільтрів і ін.) можуть створюватися АСОУ з автоматичним режимом реалізації керівних функцій. При цьому можливий режим непрямого управління (коли керівні дії змінюють установки регуляторів) або режим прямого цифрового управління (коли керівні дії направлені безпосередньо на виконавчий механізм). При автоматичному режимі реалізація функцій АСОУ здійснюється без участі людини.

Виходячи з викладеного вище, АСОУ водопостачання по типу функціонування можна класифікувати на такі групи:

- 1) інформаційні системи, що здійснюють автоматичний збір і обробку технологічної інформації; рішення по управлінню ухвалює і реалізує диспетчер;
- 2) локально-автоматичні системи, в яких автоматично виконуються інформаційні функції, а також функції локального управління окремими об'єктами; рішення по управлінню технологічним процесом в цілому приймає і реалізує диспетчер;
- 3) системи - порадики, які автоматично виконують інформаційні функції і формують поради диспетчеру по вибору керівних дій;

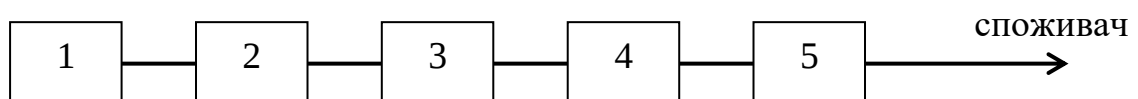
4) автоматичні системи, в яких всі функції (і інформаційні і керівні) виконуються автоматично, а диспетчер здійснює нагляд за ходом технологічного процесу і втручається в управління тільки у разі потреби.

Відзначимо, що автоматизація технологічних об'єктів, як правило, упроваджується поетапно і розвивається шляхом нарощування нових функцій управління, підвищення ступеня автоматизації об'єктів, вдосконалення технічних засобів контролю і управління. При цьому АСОУ проходять шлях від систем інформаційного типу до автоматичних систем.

Про діючі зараз системи оперативного управління слід сказати, що вони є в основному інформаційними системами з окремими елементами систем-порадників або автоматичних систем.

Перераховані вище системи управління можуть створюватися як для водопроводу в цілому, так і для окремих груп водопровідних споруд.

Склад споруд і структура кожної конкретної системи водопостачання залежать від характеру джерела і якості води в ньому, а також характеристик водоспоживача (об'єм споживаної води, вимоги до якості води, рельєф місцевості, протяжність, віддаленість від джерела). Як правило, споруди по підйому і очищенню води мають типову структуру, показану на рис.2.1.



1 - водозабір; 2 - насосна станція I підйому; 3 - очисна станція;  
4 - резервуари чистої води ; 5 - насосна станція II підйому.

Рис.2.1 – Типова структура споруд підйому і очищення води

А ось структури споруд подачі і розподілу води (ПРВ) вельми різноманітні. Вони створюються індивідуально для кожного міста. Проте для переважної більшості

споруд ПРВ можна виділити характерні елементи, поєднання яких дає структуру найскладніших систем ПРВ, а саме:

- 1) одна насосна станція працює на мережу або ізольовану зону мережі;
- 2) декілька насосних станцій подають воду в мережу або ізольовану зону мережі;
- 3) декілька окремо розташованих артезіанських свердловин подають воду в мережу;
- 4) насосна станція подає воду в мережу через напірний резервуар. При цьому можливі два варіанти:
  - а) вода подається від насосної станції в резервуар, а з нього самотією потрапляє в мережу;
  - б) напірний резервуар використовується як регулююча ємність;
- 5) насосна станція подає воду в мережу з контррезервуаром;
- 6) на мережі є один або декілька вузлів регулювання, кожний з яких включає безнапірний резервуар з підкачуючою насосною станцією. Ця структура може бути зведена до схеми 2 в режимі максимального водоспоживання і до схеми 5 в режимі заповнення резервуару (транзит);
- 7) складні структури ПРВ, що включають будь-які комбінації описаних вище схем.

У ряді випадків (для групових систем водопостачання) до складу об'єктів водопостачання входять споруди дальнього транспорту води, а саме: насосні станції перекачки, водоводи, резервуари. Вони призначені для транспортування води від джерел водопостачання до міст-споживачів.

З урахуванням перерахованих особливостей технологічних споруд водопостачання і рівня організаційно-виробничої підлеглості управління можна виділити наступні види АСОУ водопостачання:

- 1) АСУ нижнього рівня;
- 2) АСУ середнього рівня;
- 3) АСУ верхнього рівня.

До АСУ нижнього рівня відносяться системи, що здійснюють управління окремими групами водопровідних споруд:

- АСУ підйому води (управління групами артезіанських свердловин, насосними станціями I підйому);

- АСУ очищення води;
- АСУ ПРВ;
- АСУ дальнього транспорту води.

Необхідно відзначити, що автоматизації в основному піддаються системи ПРВ і дальнього транспорту. Причини тому наступні:

- 1) відносна стабільність роботи очисних споруд ( $K_{\text{год}} = 1$ , якість води по сезонам відносно постійна);
- 2) відсутність датчиків для поточного контролю більшості фізико-хімічних параметрів, необхідних для управління очисними спорудами.

Більшість токсикологічних і санітарно-гігієнічних показників визначаються зараз в лабораторії аналітичними методами. Тому в даний час можлива лише автоматизація окремих процесів (дозування реагентів, промивка фільтрів і т.п.) і контролю за технологічними параметрами, для яких є датчики: витрата води, рівень, рН, стан устаткування, витрата реагентів.

Системи середнього рівня створюються на водопровідних підприємствах міст і групових систем водопостачання і включають різні системи нижнього рівня (залежно від складу технологічних споруд). Вони здійснюють координацію роботи всіх об'єктів водопостачання.

До систем управління верхнього рівня відносяться регіональні системи управління водопостачанням, що включають АСУ групових і міських систем водопостачання, а також системи диспетчерського управління водопостачанням середніх і малих міст. Регіональні АСУ забезпечують централізоване виконання розрахунків оптимальних режимів роботи водопроводів для типових умов експлуатації.

### ТЕМА 3

## ІНФОРМАЦІЙНІ ФУНКЦІЇ

## СИСТЕМ ОПЕРАТИВНОГО УПРАВЛІННЯ ВОДОПРОВОДОМ

1. Централізований контроль і облік.
2. Діагностика протікання технологічного процесу водопостачання.
3. Забезпечення диспетчера оперативною інформацією.

Основою для реалізації оптимального оперативного управління водопроводом в цілому і його окремими елементами є інформаційні функції АСУТП і перш за все - централізований контроль і облік технологічних параметрів і стану устаткування.

На водозабірних спорудах, насосних станціях, в резервуарах, водоводах і водопровідній мережі контролюється цілий ряд параметрів. А саме:

- 1) на водозабірних спорудах поверхневих вод:
  - рівень води у водоймищі і водоприймальному колодязі;
  - перепад тиску на сітках, що обертаються.
- 2) на водозаборах підземних вод:
  - температура повітря в наземному павільйоні і заглибленій камері;
  - витрата води свердловини (або іншої споруди);
  - аварійний рівень води в свердловинах і приймальних колодязях (якщо вони є);
  - тиск в напірному трубопроводі на кожній свердловині;
  - відкриття дверей.
- 3) у насосних станціях:
  - тиск в напірних водоводах;
  - витрата води по кожному водоводу;
  - тиск на виході з кожного насосного агрегату;
  - вакуум на всмоктуючих лініях насосів і у вакуум-установках;
  - рівень води в резервуарах;

- рівень води в дренажних приямках;
- температура підшипників насосних агрегатів;
- температура в приміщеннях насосних станцій;
- рівень води у вакуум-котлі;
- аварійний рівень затоплення машинного залу.

4) у водоводах, водопровідній мережі і резервуарах:

- тиск і витрата води у водоводах;
- аварійне пошкодження водоводів;
- тиск в контрольованих точках водопровідної мережі;
- витрата води на окремих відповідальних ділянках магістральної водопровідної мережі;
- рівень води в резервуарах і водонапірних баштах;
- витрата води у водоводах, що підключають башти і резервуари.

Більшість названих параметрів служать для контролю за окремими показниками і використовуються на місцевому рівні. Диспетчеру ж передаються найбільш важливі показники, що характеризують роботу устаткування і споруд:

- 1) миттєва і інтегральна подача води по водоводам;
- 2) витрата активної і реактивної потужності;
- 3) струм електродвигунів насосних агрегатів;
- 4) рівень води в резервуарах;
- 5) величина залишкового хлора у воді;
- 6) тиск води в напірних водоводах;
- 7) сигналізація стану насосних агрегатів;
- 8) сигналізація положення регульованих засувки;
- 9) аварійна сигналізація.

У комплекс централізованого контролю і обліку входять наступні завдання, що вирішуються за допомогою ЕОМ:

- 1) безперервні, періодичні і (або) по виклику вимірювання, оперативне віддзеркалення і реєстрація технологічних параметрів і показників стану устаткування;

- 2) виявлення, оперативне відображення, реєстрація і сигналізація відхилень технологічних параметрів і показників стану устаткування від заданих значень (або положень);
- 3) контроль, оперативне відображення, реєстрація і сигналізація спрацьовування блокувань і захисту;
- 4) оперативне відображення і реєстрація результатів математичних і логічних операцій, що виконуються комплексом технічних засобів системи.

Комплекс технічних засобів системи забезпечує організацію періодичного опитування стану датчиків, прийом інформації і її обробку за допомогою ЕОМ. При прийомі інформації контролюється її достовірність, а у разі невірогідності слідує повторне опитування відповідного датчика. У разі непрацездатності яких-небудь датчиків комплекс технічних засобів видає диспетчеру відповідну інформацію.

В автоматизованих системах оперативного управління водопостачанням ряд технологічних параметрів може отримуватись на основі непрямих вимірювань і обчислень, вироблюваних за допомогою ЕОМ. Непрямі вимірювання і розрахунки технологічних параметрів менш точні, чим безпосередні виміри і проводяться для отримання необхідної диспетчеру інформації у разі відсутності яких-небудь датчиків, або у разі виходу їх з ладу. Як правило, непрямі розрахунки необхідні для обчислення інтегральних показників. Таких як:

- 1) споживання електроенергії по спорудам;
- 2) кількість поданої насосної станцією води;
- 3) витрата реагентів по спорудам.

На перших етапах створення і впровадження АСУТП частина необхідної оперативної інформації збирається операторами відповідних споруд в неавтоматизованому режимі, тобто шляхом прочитування показань приладів і передачі їх диспетчеру телефоном. Як правило, в режимі «ручного введення» реалізуються наступні функції:

- 1) прийом добового графіка роботи об'єкту;
- 2) прийом відомості перемикачів і ремонтів насосних агрегатів;
- 3) прийом годинних інтегральних показників роботи об'єкту;

- 4) прийом планових показників роботи об'єкту;
- 5) прийом інформації про дози реагентів.

Оперативне управління технологічними процесами водопостачання здійснюється по відхиленням вихідних параметрів від заданих меж. Процеси подачі і розподілу води можуть характеризуватися тиском в контрольованих точках водопровідної мережі. В умовах АСУТП доцільно, щоб збирала від датчиків інформація про тиск в мережі автоматично аналізувалася з метою видачі диспетчеру сигналів про виникнення відхилень, що вимагають його втручання. Для прикладу розглянемо алгоритм аналізу тиску в контрольованих точках з метою вибору диктуючої точки. Він зводиться до наступного. Значення тиску в контрольованих точках водопровідної мережі поступають в ЕОМ, де здійснюється їх порівняння з допустимими межами. Якщо зміряні значення в  $i$ -й точці  $H_i$  більше  $H_i^{\max}$  або менше  $H_i^{\min}$ , то визначається знак відхилення, тобто

$$\Delta H_i = (H_i - H_i^{\max}) > 0 \text{ або } \Delta H_i = (H_i - H_i^{\min}) < 0$$

Одночасно визначаються тривалість і монотонність відхилень (тобто: чи має на певному часовому інтервалі відхилення  $H_i$  один і той же знак). Ініціативний сигнал для оперативного управління виробляється у тому випадку, коли величина монотонних відхилень  $H_i$  і їх тривалість більше заданих значень. Короточасні зміни тиску в диктуючих точках, викликані коливаннями водоспоживання (або іншими причинами) не потребують втручання диспетчера.

Наступним етапом аналізу тиску є вибір диктуючої точки з числа контрольованих точок мережі. Тут можливі три варіанти:

1. Монотонні і тривалі відхилення тиску  $H_i > 0$ , тобто коли тиск в одній або декількох контрольованих точках більше  $H_{i\max}$ . Як диктуючу для кожного інтервалу часу слід прийняти точку з найменшим відхиленням  $H_i$ , а величину  $(\Delta H_i + H_i^{\max} - H_i^{\min})$  вважати величиною коректуючої дії. Таке рішення обумовлено необхідністю зниження тиску у всіх контрольованих

точках мережі, причому це зниження не повинне привести до того, щоб  $H_i$  стало менше необхідного значення.

2. Монотонні і тривалі відхилення тиску  $H_i < 0$ , тобто в одній або декількох точках мережі тиск менше потрібного:  $H_i < H_i^{\min}$ . В цьому випадку за диктуючу приймається точка з найбільшим по величині відхиленням, тобто з найменшим тиском. Виходячи з необхідності забезпечити в мережі тиски, не менші потрібних, як коректуючу слід прийняти величину  $H_i + H_i^{\max} - H_i^{\min}$ .
3. Монотонні і тривалі відхилення тиску, причому в одних точках  $H_i > 0$ , а в інших -  $H_i < 0$ . В цьому випадку з необхідності забезпечення надійного водопостачання диктуючою приймається точка з найменшим тиском, тобто з найбільшим негативним відхиленням  $H_i < 0$ . Коректуючою дією також слід рахувати величину  $H_i + H_i^{\max} - H_i^{\min}$ . Проте треба мати на увазі, що така ситуація вимагає детального аналізу поточкорозподілення в мережі і виявлення необхідності і доцільності розділення її на дві зони живлення. Причиною такого положення може бути також і аварія.

Для оцінки ходу технологічного процесу водопостачання диспетчеру необхідний також ряд техніко-економічних показників, що характеризують економічність роботи споруд, запаси води в резервуарах тощо. Це наступні показники:

- 1) фактичні питомі витрати електроенергії;
- 2) кількість поданої води;
- 3) фактична собівартість води;
- 4) фактичні питомі витрати реагентів;
- 5) запаси води в резервуарах і водосховищах;
- 6) питоме водоспоживання на одну людину;
- 7) питома витрата води на власні потреби.

Початковою інформацією для цих розрахунків служать дані, занесені в пам'ять ЕОМ за результатами рішення задач обліку. Вихідна інформація необхідна диспетчеру для оцінки якості експлуатації і виявлення причин втрат води,

неекономічної роботи насосів, а також для оцінки можливостей покриття «пікових» періодів водоспоживання.

Оперативна інформація про роботу технологічних споруд, зібрана за допомогою засобів телемеханіки або така, що передається диспетчеру телефоном, а також результати непрямих вимірювань або розрахунку техніко-економічних показників повинні бути представлені диспетчеру в зручній формі. Це може бути набір необхідних показників, режимний лист, діаграми, умовні схеми технологічного об'єкту або його частин і т.п.

До характерних повідомлень, що видаються на відеомонітор для диспетчера, відносяться наступні:

- 1) показання датчиків поточного вимірювання по певній споруді (з вказівкою дати і часу видачі довідки);
- 2) довідка про стан насосних агрегатів (включений, вимкнений, в ремонті);
- 3) довідка про запас води в резервуарах;
- 4) перелік сигналів, прийнятих від даного об'єкту за поточну (або минулу) добу;
- 5) перелік параметрів, що вийшли за задані межі;
- 6) довідки про несправні датчики;
- 7) графіки погодинного коливання водоподачі протягом доби;
- 8) графік погодинного зміни напорів в диктуючих точках мережі.

Зібрана і та, що зберігається в ЕОМ, інформація дозволяє готувати і видавати диспетчеру і керівництву підприємства водопостачання наступні довідки і звіти:

- про виконання виробничої програми за добу, за місяць;
- про витрату електроенергії за добу, за місяць;
- про роботу устаткування і необхідність його ремонту;
- про витрату і рух реагентів.

## ТЕМА 4

### ПРИНЦИПИ ОПТИМАЛЬНОГО УПРАВЛІННЯ СИСТЕМАМИ ВОДОПОСТАЧАННЯ

1. Цілі і методи оптимального планування
2. Класифікація математичних моделей елементів систем водопостачання
3. Методи побудови математичних моделей систем водопостачання

Оптимальне управління системами водопостачання досягається шляхом послідовного рішення задач оперативного планування оптимальних режимів роботи споруд, постійного контролю за ходом технологічного процесу, аналізу контрольованих показників в цілях виявлення відхилень від оптимальних умов експлуатації і корекції режиму при виникненні таких відхилень. При цьому в інформаційно-порадних АСУ оперативне управління технологічним устаткуванням в цілях підтримки розрахункового оптимального режиму проводиться диспетчером, а в інформаційно-управляючих - автоматично. Таким чином, оперативне планування є необхідної частиною системи оптимального управління, забезпечуючи інформаційно-порадні АСУ оптимальними графіками роботи устаткування, а інформаційно-управляючі АСУ - оптимальними установками для автоматичного регулювання параметрів роботи технологічних об'єктів (наприклад, насосних станцій, резервуарів). Оперативне планування проводиться на майбутній період часу (доба або частина доби).

Мета оперативного планування полягає в розрахунку оптимальних режимів роботи водопровідних споруд. Під оптимальним режимом роботи системи подачі і розподілу води слід розуміти такі умови експлуатації, при яких забезпечення водою споживачів досягається з найменшими витратами електроенергії на насосних станціях і втратами води у водопровідних мережах. Завдання оптимізації режимів

роботи системи подачі і розподілу води можна сформулювати як мінімізацію на певному інтервалі часу експлуатаційних витрат при дотриманні умов:

$$H_{д.т.} \geq H_{д.т.потр} ;$$

$$Q = Q_{розр.}$$

Розрахунок оптимальних режимів роботи необхідно проводити як для нормальних умов експлуатації систем подачі і розподілу води, так і для аварійних ситуацій, тобто при відключенні пошкоджених ділянок трубопроводів, пожежогасінні і т.п. Крім управління експлуатацією насосних станцій і водопровідних мереж, перед АСУТП водопостачання ставляться завдання розрахунку поточного розвитку водопровідних споруд у зв'язку з житловим будівництвом, що постійно ведеться, введенням в дію нових або розширенням існуючих промислових підприємств.

Оптимальне рішення задач управління як в нормальних, так і в аварійних умовах експлуатації вимагає відповідних математичних моделей і алгоритмів розрахунку.

Математичні моделі служать основою для розробки алгоритмів оптимального управління водопровідними спорудами в АСУТП водопостачання і повинні створюватися для кожного технологічного об'єкту - споруди, технологічної процесу. Математична модель є системою математичних виразів, що описують характеристики модельованого об'єкту. Вид математичної моделі залежить не тільки від природи реального об'єкту, але і від тих завдань, заради рішення яких вона створюється, а також від необхідної точності рішення цих задач. При цьому модель, як правило, будується так, щоб вона відображала характеристики об'єкту, які здійсненні для вирішення конкретних завдань дослідження або управління.

Математична модель описує реальний об'єкт лише з деякою мірою точності. Звідси витікає, що залежно від цілей моделювання і ступеня точності одному об'єкту може відповідати велика кількість моделей.

Математичні моделі можуть бути класифіковані по цілому ряду ознак. Розглянемо найважливіші з них:

1) *за способом побудови математичні моделі ділять на:*

- теоретико-фізичні;
- ситуаційні;
- формальні;

2) *за принципом моделювання моделі ділять на:*

- стохастичні;
- детерміновані;

3) *в залежності від змін вихідних параметрів в часі моделі бувають:*

- статичні;
- динамічні;

4) *в залежності від пристосовності розрізняють моделі:*

- адаптивні;
- неадаптивні.

Необхідно відзначити, що більшість моделей мають статичний характер. Моделі процесів очищення води в більшості випадків є статичними із-за значної їх інерційності. Моделі систем подачі і розподілу води при невеликій місткості регулюючих резервуарів також слід розглядати як статичні. Це пояснюється тим, що хоча процеси водоспоживання і є динамічними, режими роботи системи подачі і розподілу води можна вважати умовно-постійними, оскільки велику частину доби можна розділити на періоди часу, впродовж яких умови залишаються практично незмінними. Наприклад, безперервний змінний графік подачі води в мережу замінюють ступінчастим графіком. Така заміна дає допустиму погрішність для більшої частини доби, за винятком ранкового зростання і вечірнього спаду водоспоживання, коли його зміни відбуваються достатньо швидко.

Динамічні моделі необхідні для розрахунку оптимальних режимів роботи систем подачі і розподілу води з крупними резервуарами, а саме:

- 1) насосні станції I підйому, що працюють на резервуари або очисні споруди;
- 2) системи дальнього транспорту води з резервуарами при насосних станціях;

3) водопровідні мережі з крупними резервуарами, і т.д.

Для моделювання технологічних процесів подачі і розподілу води можна використовувати як теоретико-фізичні, так і формальні моделі. Теоретико-фізичні моделі будуються на основі співвідношень, що витікають з фізичних законів і характеризують технологічні процеси. Формальні моделі засновані на принципі «чорного ящика», тобто дають формальний зв'язок між вхідними і вихідними параметрами роботи системи.

Як правило, в АСУТП водопостачання використовуються детерміновані моделі, тобто моделі, вихідні параметри яких однозначно визначаються через вхідну інформацію і початкові умови. Проте, в деяких випадках (наприклад, для процесів водоспоживання і в алгоритмах управління, заснованих на методах динамічного прогнозування) використовуються стохастичні, або імовірнісні моделі, в яких дається лише вірогідність знаходження систем в тому або іншому стані. Ці моделі застосовуються для опису складних процесів, для яких виявляється неможливим опис всіх вхідних дій, а вплив неспостережених змінних факторів на поведінку об'єкту значний.

Принципово детерміновані моделі теоретико-фізичного типу мають ряд істотних переваг: вони якісно правильніше відображають характеристики об'єкту і дають обширнішу вихідну інформацію про його поведінку. Проте практичні можливості побудови таких моделей для цілей оперативного управління обмежені. Такі моделі зручні для аналізу і розрахунку режимів роботи систем подачі і розподілу води в характерних аварійних ситуаціях, а також для вирішення завдань їх наладки і розвитку. Подібні моделі - або розрахункові схеми - застосовуються в проектуванні водопровідних мереж.

Детерміновані моделі відображають структуру систем подачі і розподілу води, хоча, як правило, вони також мають умовний характер і є еквівалентом відображення складної реальної структури магістральних і розподільних водопровідних ліній. Ці моделі ефективні також при рішенні задач оптимального управління системами дальнього транспорту води - магістральних водоводів з насосними станціями перекачування.

Для розрахунку оптимальних режимів роботи систем подачі і розподілу води в умовах нормальної експлуатації доцільніше використання формальних статистичних моделей, побудованих на основі експериментально-статистичних методів і дозволяючих за допомогою регресійного аналізу встановити зв'язок між вихідними і вхідними параметрами (наприклад, між тисками в диктуючих точках водопровідної мережі і тисками і витратами насосних станцій). Досвід показує, що для оперативного управління формальні моделі ефективніші детермінованих з цілого ряду причин.

По-перше, для розрахунку по теоретичним детермінованим моделям потрібні дані про вузлові витрати для кожного з режимів водоспоживання, а це практично можливо тільки для характерних режимів внаслідок трудомісткості збору початкових даних.

По-друге, одночасно з корисною інформацією про тиск в диктуючих точках мережі в результаті розрахунків одержують надмірну інформацію про витрати і втрати тиску на всіх ділянках мережі і тиску у всіх вузлах. Ця інформація корисна при проектуванні, але не потрібна для вибору оптимальних режимів роботи насосних станцій.

По-третє, для оперативного проведення розрахунків по таким моделям потрібні значно потужніші обчислювальні засоби, ніж для формальних моделей.

Для управління системами подачі і розподілу води в аварійних умовах застосовуються ситуаційні моделі, що використовують причинно-наслідкові логічні зв'язки.

Необхідно відзначити, що моделі, використовувані в АСУТП водопостачання, повинні мати здатність пристосовуватися до умов перемінних експлуатації, тобто вони повинні бути адаптивними.

На підставі викладеного математичні моделі, використовувані при рішенні задач оптимального управління для характерних видів об'єктів і режимів роботи, можуть бути класифіковані відповідно до табл.4.1.

Табл.4.1 – Класифікація математичних моделей,  
використовуваних в АСУТП водопостачання

| №   | Основні задачі                                                                                                                                                                                                      | Типи математичних моделей                                                                                                                                                                   |
|-----|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1.  | Системи подачі і розподіли води                                                                                                                                                                                     |                                                                                                                                                                                             |
| 1.1 | Розрахунок прогнозованого графіка водоспоживання                                                                                                                                                                    | Стохастичні моделі                                                                                                                                                                          |
| 1.2 | Розрахунки оптимальних режимів роботи в нормальних умовах:<br>а) системи водопостачання без регулюючих ємностей;<br>б) системи з регулюючими ємностями;<br>в) системи дальнього транспорту води розгалужених систем | Формальні статичні моделі експериментально-статистичного типу<br>Теоретико-фізичні динамічні моделі детермінованого типу<br>Теоретико-фізичні детерміновані моделі (динамічні або статичні) |
| 1.3 | Розрахунки раціональних режимів роботи в аварійних умовах:<br>а) моделювання і аналіз характерних ситуацій;<br>б) вибір дій, що управляють                                                                          | Теоретико-фізичні моделі детермінованого типу<br>Формальні статистичні ситуаційні моделі (логічні причинно-наслідкові моделі)                                                               |
| 1.4 | Розрахунки по інтенсифікації роботи і розвитку водопровідних мереж і насосних станцій                                                                                                                               | Теоретико-фізичні статистичні моделі детермінованого типу                                                                                                                                   |
| 2.  | Системи підйому і обробки води                                                                                                                                                                                      |                                                                                                                                                                                             |
| 2.1 | Розрахунки оптимальних графіків роботи насосних станцій і підйому                                                                                                                                                   | Теоретико-фізичні детерміновані моделі                                                                                                                                                      |
| 2.2 | Розрахунки оптимальних доз реагентів                                                                                                                                                                                | Формальні статистичні моделі                                                                                                                                                                |
| 2.3 | Розрахунки режимів роботи фільтрів                                                                                                                                                                                  | Формальні статистичні моделі                                                                                                                                                                |

Методи побудови і аналізу математичних моделей розглянуті в курсі «Математичні методи рішення інженерних задач».

**ТЕМА 5**  
**ІНФОРМАЦІЙНО-АНАЛІТИЧНІ СИСТЕМИ**  
**ДИСПЕТЧЕРСЬКОГО УПРАВЛІННЯ.**  
**АВТОМАТИЗОВАНЕ РОБОЧЕ МІСЦЕ ДИСПЕТЧЕРА.**

1. Геоінформаційні системи (ГІС).
  - 1.1. Принципи створення і функції ГІС.
  - 1.2. Практика впровадження і використання ГІС.
2. Розподілена система збору, передачі і відображення інформації.
  - 2.1. Методи збору і відображення інформації.
  - 2.2. Функції систем збору, передачі і відображення інформації.
  - 2.3. Практика впровадження і використання систем збору, передачі і відображення інформації.

Починаючи з 90-х років ХХ століття, в світовій практиці почалися інтенсивні пошуки методів підвищення ефективності управління системами водопостачання великих міст. До теперішнього часу більшість підприємств, що експлуатують інженерні мережі, затвердилися в думці про необхідність впровадження комплексних інформаційних систем. Комплексні системи, як правило, включають дві підсистеми: геоінформаційну систему і систему збору і відображення технологічної інформації.

**1. Геоінформаційні системи (ГІС) у водопостачанні.**

*Терміни і визначення:*

- Електронна топологічна основа — це цифрова модель, план місцевості, що представляється в електронному вигляді на моніторах ЕОМ в масштабах М1:500, 1:2000 .Електронная топооснова містить всі об'єкти міського господарства, міську забудову і атрибутивні бази даних цих об'єктів.
- Топологічний граф міської мережі водопостачання — це математична модель мережі. Топологічний граф є зв'язковий

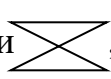
орієнтований планарний граф з поміченими ребрами і вершинами, що представляють на площині просторову структуру міської мережі водопостачання.

В додатку представлений фрагмент топографічного плану.

Вершинами графа є наступні об'єкти мережі водопостачання:

- точка живлення – насосна станція, представлена умовним позначенням, – шестикутником з написом НС і інвентарним номером (  ). Позначкою вершини є значення атрибутів: координат розташування умовного знаку в місцевій системі координат і геодезичної відмітки висоти в міській системі висот, максимальної продуктивності ( $\text{м}^3/\text{г}$ ), типу (першого, другого, третього підйому, підкачки), оперативних даних напора (витрати) на виході насосної станції;
- абонент мережі водопостачання, представлений умовним знаком  і міткою – сукупністю значень атрибутів: координатами точки підключення і відміткою висоти, висотою будівлі, номером і найменуванням абонента, функціонально – часовою залежністю об'єму відбору від часу доби, показаннями витратомірів про фактичне споживання води;
- колодязь – вузол перемикання мережі водопостачання, представлений на плані місцевості умовним знаком  топографічної основи. Міткою вершини є значення атрибутів: координат розташування умовного знаку, геодезичних відміток висоти люка, землі, верху труби, відстані до найближчої будівлі, інвентарного номера, матеріала колодязя, діаметра (розмірів) камери, числа вузлів перемикань, графічні схеми вузлів перемикання, наявність пробовідбірників, гідрантів, випусків, вантузів, зворотних клапанів, наявність і стан запірної арматури на виходах вузлів перемикання; для засувок – марка, діаметр, робочий тиск, загальне число витків, число витків закриття,

номерів колодязів і вузлів перемикання в них, з якими даний колодязь сполучений ребрами (ділянками мережі) Е;

- витратоміри, розташовані на виходах насосних станцій, межах районів, в місцях підключення абонентів в міську мережу водопостачання, вказані умовним знаком  . Міткою вершини є значення атрибутів: координат розташування, номера виходу насосної станції, типа (на виході насосної станції), показань витрати за вказаний період;
- засувки і зворотні клапани ,  . Міткою засувки є значення атрибутів: діаметра, числа витків і витків закриття, робочого тиску; для зворотного клапана – діаметра, наряду закриття, робочого тиску.

Ребрами (ділянками) топологічного графа є лінії ділянок водопостачання, розташовані між двома сусідніми вершинами. Ребра топологічного графа представлені лінією траси ділянки водопроводу, що сполучає дві вершини графа, і позначені умовним знаком --В-- . Міткою ребра є наступні атрибути: координати лінії траси, геодезичні відмітки глибини прокладки труб, довжина ділянки, кількість труб в трасі, діаметр і матеріал труб, рік спорудження, інвентарний номер колодязів – вершин початка і кінця ділянки, наявності зворотного клапана, засувки і дані про неї (справна/ несправна, марка, робочий тиск, кількість витків загальна і на закриття).

Вибір топооснови, на яку наноситься графічна інформація про мережі – це перший етап впровадження інформаційної системи у ВКГ.

Від правильного його рішення залежать: вартість проекту, його принципова реалізованість і можливі терміни реалізації, життєздатність системи і можливість її інтеграції з іншими інформаційними системами (тепло-, газо-, електропостачання).

Якщо електронна топооснова є і доступна для декількох міських служб, то їй слід віддати перевагу в порівнянні з «паперовою» картографічною інформацією. Використання в першому наближенні нехай навіть неточного, але електронного плану міста дає можливість паспортизувати мережі, не втрачаючи основної інформаційної суті, якою є не

вивірене до метра нанесення зображення мережі на топооснові, а змістовний опис цієї мережі як об'єкту управління і експлуатації. Після цього електронну топооснову можна в міру необхідності уточнювати.

Якщо електронної топооснови немає, то її слід створювати самостійно. Початковою основою слугуватимуть паперові планшети, які є на підприємстві. Їх оцифрування в мінімально необхідному об'ємі може бути виконане власними силами без великих трудовитрат. Надалі графічну інформацію можна уточнювати.

Необхідно відзначити, що процес наповнення бази даних паспортизації, введення графічної інформації і процедуру опису зв'язності об'єктів необхідно проводити паралельно. Послідовне виконання цих робіт виходить малоефективним, оскільки це дуже велика робота, причому «ручна», що вимагає докладного опису, як мінімум кожного колодязя, в якому є запірна арматура. Візуально пов'язані один з одним на схемі мережі вузли (колодязі) зовсім не обов'язково зв'язані потоком води. Все залежить від наявності і положення запірної арматури в цих і проміжних вузлах і їх динамічні зв'язки необхідно спеціальним чином описувати. Виходить, що велику частину вже одного разу виконаної роботи по інформаційному опису (паспортизації) вузлів і ділянок мережі треба виконати повторно, маючи на увазі побудову опису зв'язності. При цьому неминуче впливають погано пропрацьовані раніше питання, виникає плутанина, інформаційна система залишається в недопрацьованому стані і виявляється позбавленою принципової можливості гідравлічних розрахунків, моделювання і аналізу режимів, аналізу відключень, вироблення рекомендацій по локалізації аварійних ситуацій і з інших важливих питань.

Як показує практика, наявність, достовірність і якість інформації про мережі сьогодні на більшості підприємств не витримує ніякої критики. Стабільно і надійно управляти мережами в умовах гострого нестатку в ресурсах і крайньому ступені їх фізичного зносу практично неможливо. Паспортизація водопровідних мереж середнього міста (100 – 200 тыс.чел.)

при інтенсивній організації робіт займає від трьох до п'яти років, але роботи по інформатизації мереж проводити вкрай необхідно. Щонайменші помилки в оперативному управлінні, плануванні режимів можуть привести до незворотних наслідків.

Розглянемо можливість застосування ГІС при деяких видах оперативного управління мережами водопроводу.

### ***Гідравлічний розрахунок.***

Визначення надмірної водоподачі проводиться послідовно перевірочним розрахунком, що визначає потокорозподілення в мережі, а потім конструкторським розрахунком водопровідної мережі, метою якого є визначення економічних діаметрів трубопроводів, що забезпечують пропуск розрахункових витрат води із заданим тиском.

Завданням перевірного розрахунку мережі є визначення потокорозподілення в мережі, подачі і тиску джерел при відомих діаметрах труб і відборах води у вузлових точках. При перевірочному розрахунку відовими величинами є: діаметри і довжини всіх ділянок мережі і, отже, їх гідравлічні опори, фіксовані вузлові відбори води, напірно-витратні характеристики всіх джерел, геодезичні відмітки всіх вузлових точок, стан запірно – регулюючої арматури. В результаті перевірного розрахунку повинні бути визначені: витрати і втрати напору на всіх ділянках мережі, подачі джерел, п'єзометричні напори у всіх вузлах системи.

Перевірочний розрахунок витрати, напору і напряду потоків води проводиться в наступній послідовності:

- з топологічного графа всієї мережі водопостачання виділяється підграф, відповідний актуальній ділянці і стану мережі. По виділеному підграфу формуються матриці вершин і контурів;
- обчислюються площі перетинів засувки вузлів перемикачів;
- визначається об'єм відбору N-ого абонента або групи абонентів по функціонально – часовій залежності об'єму відбору від часу доби;

- по заданому напору/витраті точок живлення проводиться гідравлічний розрахунок мережі.

При конструкторському розрахунку у напрямі протитечії, встановленої при перевірочному розрахунку, визначається новий економічний стан засувки вузлів розподілу і нове число витків закриття.

### ***Локалізація аварійних ситуацій на мережі водопроводу.***

Обробка аварійної ситуації проводиться в інтерактивному режимі диспетчером в наступному порядку:

- по координатно – адресній прив'язці проводиться пошук плану місцевості з місцем аварії;
- диспетчер указує на електронному плані місцевості ділянку, що локалізується;
- модуль ГІС формує підграф закриття:
  - а– засувки колодязів початку і кінця ділянки закриваються на 100%, ділянка і колодязі стають ребром і вершинами підграфа закриття;
  - б – за відсутності засувки проводиться пошук всіх колодязів, пов'язаних з даною ділянкою, окрім аварійного. За наявності засувок проводиться їх закриття, ділянки і колодязі додаються в підграф закриття. Процес формування підграфа завершується після повної локалізації ділянки.
- підраховуються абоненти, підключені до підграфа закриття і оцінюється виключений об'єм водопостачання;
- модуль гідравлічного моделювання на підставі вихідних значень напору/витрати точок живлення проводить на топологічному графі мережі гідравлічний розрахунок з урахуванням виключеної ділянки;
- отримані розрахункові значення напору порівнюються з паспортними значеннями  $P_y$  засувок і труб ділянок;
- надмірний напір, за умови нормативного часу локалізації аварійної ділянки, перерозподіляється зміною числа витків закриття засувок вузлів перемикань, знайдених в напрямках протитечії. У разі перевищення часу усунення аварії – знижується вихідний напір точки живлення.

План усунення аварії і фрагмент електронного плану місцевості з підграфом виключення і новим станом засувок вузлів перемикання видається аварійній бригаді при виїзді на місце аварії.

***Параметричний контроль якості питної води і пошук джерел вторинного забруднення.***

Проведення контролю якості води, пошук вторинних джерел забруднення і ухвалення рішення по управлінню якістю питної води проводиться в наступному порядку:

- відповідно до графіка проводиться відбір проб питної води в контрольних точках мережі водопостачання;
- у топологічному графі мережі водопостачання автоматично виділяється підграф, відповідний поточному стану і площі перетину засувок у вузлах перемикачів;
- за показаннями витратомірів, встановлених на виходах точок живлення, на виділеному підграфі мережі проводиться гідравлічний розрахунок об'ємів і напрямів потоків води;
- на підставі даних параметричного контролю проб води і за розрахунковими обсягами і напрямками потоків проводиться пошук джерел вторинного забруднення.

Пошук вторинного джерела забруднення проводиться по наступному алгоритму:

- у контрольній точці проводиться відбір проби і проводиться її параметричний контроль;
- за наявності відхилень в пробах, проводиться відбір проб у всіх вершинах, пов'язаних з даною вершиною ребрами у напрямі протитечії;
- відібрані проби порівнюються, після чого вибирається вершина, в якій ненормативне відхилення параметра контролю максимальне, після чого повторюється відбір проб у вершинах, пов'язаних з цією вершиною ребрами у напрямі протитечії.

Для усунення знайденого джерела вторинного забруднення ухвалюється рішення по нормалізації якості питної води – заміна забрудненої ділянки новими трубами, відключення забрудненої ділянки, додаткове хлорування і інші заходи.

Підводячи підсумок по ГІС необхідно відзначити, що використання таких інформаційних систем є одним з найважливіших інструментів в повсякденній роботі диспетчерських служб підприємств ВКГ.

## **2. Розподілена система збору, передачі і відображення інформації.**

Розподілені системи збору, передачі і відображення інформації або інакше розподілені інформаційно–управляючі системи (РІУС), є одним з найбільш могутніх інструментів, що забезпечують ефективне оперативне управління системами водопостачання. Останнім часом спостерігається активний розвиток РІУС про стан віддалених об'єктів на диспетчерський пульт для аналізу і оперативного управління.

Розглянемо принципи і методи побудови таких систем.

На першому етапі визначають об'єм та види інформації, необхідної на різних рівнях управління.

Для диспетчерських нижнього рівня управління (насосні станції, очисні споруди водопроводу) необхідні наступні дані:

- ◆ напір на виході насосних станцій ;
- ◆ витрата води по кожному вихідному трубопроводу на насосній станції;
- ◆ рівень води в резервуарах;
- ◆ струми електродвигунів насосних агрегатів;
- ◆ споживана потужність;
- ◆ стан (включений – вимкнений) насосних агрегатів;
- ◆ Температура підшипників насосних агрегатів;
- ◆ мнемосхема насосної станції;
- ◆ витрата коагулянта;
- ◆ витрата хлора;

- ◆ стан фільтрового господарства;
- ◆ фізико – хімічний склад води;
- ◆ мнемосхема очисних споруд.

Для диспетчерських пунктів верхнього рівня:

- ◆ доступ до баз даних телеметричної інформації диспетчерських нижнього рівня (за винятком окремих);
- ◆ відображена на екрані монітора оперативна інформація у вигляді таблиць і графіків контрольованих параметрів;
- ◆ мнемосхеми насосних станцій і очисних споруд відповідно до поточного стану запірної–регулюючої арматури, насосного і фільтруючого устаткування;
- ◆ відображена на мнемосхемах інформація про фактичні значення вимірюваних параметрів;
- ◆ можливість ретроспективного перегляду архівів телеметричної інформації у вигляді таблиць і графіків;
- ◆ можливість ретроспективного аналізу аварійних ситуацій;
- ◆ фактичні значення вимірюваних параметрів мережі в контрольних точках;
- ◆ можливість ретроспективного перегляду телеметричних параметрів стану мережі;
- ◆ інші.

Система збору, обробки і передачі телеметричної інформації в своєму складі має:

#### 1. Устаткування нижнього рівня:

- ◆ встановлене на насосних станціях: датчики тиску, витратоміри, датчики рівня рідини, датчики включення електродвигунів і іншого електроустаткування, датчики температури;
- ◆ контролери збору і накопичення інформації, обладнані модемами передачі інформації, пристрої безперебійного електроживлення, ЕОМ.

#### 2. Устаткування верхнього рівня:

- ◆ сервер диспетчерської;
- ◆ пристрої безперебійного електроживлення;
- ◆ модеми .

Зв'язок між верхнім і нижнім рівнями управління може здійснюватись одним з таких способів:

- по виділеним або комутованим телефонним лініям зв'язку;
- по електричним або радіоретрансляційним мережам;
- по радіоканалу;
- по кабельним лініям, прокладеним спеціально для цієї системи;
- GSM – зв'язок.

При виборі каналу передачі даних керуються наступними вимогами:

- висока надійність;
- прийнятна вартість реалізації і експлуатації;
- допустима пропускна спроможність;
- легка нарощуваність системи.

В додатку представлені різні види даних з якими працює диспетчер верхнього рівня.

## ТЕМА 6

### ОПТИМАЛЬНЕ УПРАВЛІННЯ НАСОСНИМИ СТАНЦІЯМИ

1. Цілі і критерії оптимізації управління насосними станціями.
2. Прогнозування графіка водоспоживання.
3. Методи розрахунку оптимальних параметрів насосних станцій.
4. Формування графіка роботи насосної станції.

Як наголошувалося раніше, під оптимальним режимом роботи системи подачі і розподілу води слід розуміти такі умови експлуатації, при яких забезпечення водою споживачів досягається з мінімальними витратами електроенергії на насосних станціях і найменшими втратами води в мережах, тобто при

$$Q_c - \sum_{i=1}^m Q_i = 0$$

$$H_{д.т.} \geq H_{д.т.потр.}$$

де  $Q_c$  - повна необхідна подача води в мережу за даний відрізок часу;

$Q_i$  - подача  $i$ -ї насосної станції за даний відрізок часу;

$m$  - кількість насосних станцій, що подають воду в мережу;

$H_{д.т.}$  - фактичний вільний напір в диктуючій точці;

$H_{д.т.потр.}$  - необхідний вільний напір в диктуючій точці.

Розглянемо, які ж чинники впливають на вказані параметри (витрати електроенергії і втрати води в мережах).

Витрати електроенергії на насосних станціях залежать від їх подачі ( $Q_i$ ) і напору на виході насосної станції ( $H_i$ ), а також від ККД насосного агрегату. Причому, подача  $Q_i$  визначається вимогами споживача, а напір  $H_i$  -

необхідним вільним напором в диктуючій точці мережі  $H_{д.т.потр.}$ , втратами напору на шляху від насосної станції до диктуючої точки, різницею геодезичних відміток насосної станції і диктуючої точки, а також надмірними напорами в диктуючій точці. При відомій подачі  $Q_i$  в мережу найменші витрати електроенергії будуть у тому випадку, коли напір в диктуючій точці буде рівний потрібному, тобто при надмірних напорах, рівних нулю.

Крім того, втрати електроенергії на насосних станціях викликаються роботою насосів в неоптимальних режимах, тобто при неоптимальних значеннях ККД. Такі умови можуть виникати при паралельній роботі насосних агрегатів в різних комбінаціях, а також при інших способах регулювання параметрів насосів для забезпечення необхідних значень  $Q_i$  і  $H_i$  на виході насосної станції. Скорочення цих втрат досягається підбором найбільш економічної комбінації працюючих насосів, що забезпечує підтримку  $Q_i$  і  $H_i$  з найменшими витратами електроенергії.

При виборі комбінації насосів необхідно враховувати ще один чинник - обмеження числа перемикачів насосних агрегатів. При включенні в роботу нового насоса мають місце певні витрати електроенергії на пуск агрегату. Ці витрати особливо помітні для насосних агрегатів з двигунами великої потужності. Крім того, необхідно враховувати нормативне число міжремонтних перемикачів насосів, а також обмеження за тривалістю міжремонтної роботи насоса.

Натурні дослідження режимів роботи систем подачі і розподілу води показують, що надмірні напори в мережі викликають значні втрати води за рахунок витоків з мережі, витоків в санітарно-технічній і водорозбірній арматурі і ін. За даними АКГ СРСР, надмірний тиск в 0,1 Мпа (10 м) приводить до збільшення витрати води у споживачів на 5-8%. Отже, ліквідація надмірних напорів в мережі дає не тільки економію електроенергії, але і скорочує втрати води. Крім цього, зниження напорів в мережі сприяє зменшенню кількості аварій, а отже, втрат води при розривах трубопроводів і витрат на ремонтно-відновні роботи.

З урахуванням викладеного завдання оптимізації роботи насосних станцій доцільно розділити на два етапи.

На першому слід визначити умови, що забезпечують роботу насосної станції з мінімальними витратами електроенергії і мінімальні втрати води в мережі. Це досягається при мінімальних (у ідеалі - нульових) надмірних напорах в мережі. Коротко це можна записати таким чином:

$$\sum_{i=1}^m Q_i H_i \rightarrow \min$$

$$\text{при} \quad Q_c - \sum_{i=1}^m Q_i = 0 \quad H_{д.т.} \geq H_{д.т.потр.}$$

В результаті рішення цієї задачі визначаються необхідні напори насосних станцій.

На другому етапі визначаються оптимальні значення керуючих дій ( $U_i$ ), що забезпечують реалізацію необхідних умов роботи насосної станції при мінімальних втратах електроенергії усередині насосної станції.

Враховуючи викладене вище, оперативне планування оптимальних режимів роботи насосних станцій повинне здійснюватися в наступному порядку:

- 1) визначення (прогнозування) необхідної подачі води в мережу  $Q_c$  на кожну годину наступної доби;
- 2) розрахунок оптимальних значень напору  $H_i$  і подачі  $Q_i$  (у разі декількох насосних станцій) на кожну годину наступної доби;
- 3) формування погодинного графіка оптимальних значень  $H_i$  і  $Q_i$  насосних станцій;
- 4) визначення оптимальних комбінацій працюючих насосів для реалізації погодинних графіків  $Q_i$  і  $H_i$ .

Останній етап розрахунків необхідний в тих випадках, коли на насосній станції немає технічних засобів плавного регулювання продуктивності насосів (синхронно-вертикальних каскадів, частотних перетворювачів і т.п.) і є достатня кількість (більше 2) резервних агрегатів.

Прогнозування графіка водоспоживання на наступну добу є першим етапом оперативного планування оптимальних режимів роботи насосних станцій. При цьому приймається, що зміну умов експлуатації можна здійснювати з певною тривалістю (наприклад, не частіше чим через 1 годину). На підставі цього допущення безперервний добовий графік водоспоживання замінюється дискретним (з кроком 1 година).

Як відомо, процес водоспоживання є нестаціонарним, випадковим процесом. На нього впливає безліч чинників як зовнішніх, так і внутрішніх. До зовнішніх чинників можна віднести хронологічні, метеорологічні, організаційні. До внутрішніх - параметри системи водопостачання, категорії водоспоживачів і їх співвідношення в загальному об'ємі водоспоживання і ін.

Вплив великої кількості чинників на процес водоспоживання призводить до того, що в ньому завжди присутня частка невизначеності, яку усунути неможливо. Тому завдання і полягає в мінімізації цієї невизначеності з метою максимального наближення прогнозованого графіка до фактичного.

До теперішнього часу розроблено безліч методів прогнозування. Всі вони можуть бути об'єднані в декілька груп:

- 1) регресійні методи;
- 2) метод моделей трендів;
- 3) методи авторегресії.

Використання регресійних методів в прогнозуванні водоспоживання засноване на визначенні залежності величини водоспоживання від зовнішніх чинників. Використання регресійних моделей припускає рішення двох задач:

- 1) вибір чинників, що істотно впливають на водоспоживання і визначення форми рівняння регресії;
- 2) оцінювання параметрів за допомогою статистичних методів обробки даних спостережень.

Як чинники впливу в регресійних моделях приймаються метеорологічні параметри для різних сезонів року і днів тижня. Лінійні рівняння регресії (окремо для літа і зими) добре описують формування

витрати води залежно від впливу метеопараметрів. Як «незалежні» перемінні в регресійних моделях використовуються значення годинних величин водоспоживання в попередні моменти. Одним з різновидів регресійного методу є метод експоненціального згладжування. Суть його полягає в наступному.

Для прогнозування об'єму годинної водоподачі насосної станції за даними найближчих 14 діб до прогнозованої доби складається статистичний ряд годинних об'ємів подачі води. Загальна кількість годин цього ряду  $14 \cdot 24 = 336$  г. Далі визначаються часткові суми об'ємів водоподачі за l-у годину періоду 14 діб.

$$S_l = \sum_{i=1}^{14} Q_{il}$$

де l - номер години (змінюється від 1 до 24);

i - номер доби (змінюється від 1 до 14);

$Q_{il}$  - фактичний об'єм водоподачі за l-ий година i-х доби.

Потім визначаються середньогодинні об'єми водоподачі за годину l-у періоду 14 діб:

$$Q_l^{cp} = S_l / 14$$

Далі визначається значення середньогодинного об'єму водоподачі періоду 14 діб:

$$Q^{cp} = \frac{\sum_{l=1}^{14} \sum_{i=1}^{24} Q_{il}}{336}$$

Після чого визначається коефіцієнт згладжування годинних об'ємів водоподачі за l-у годину i-ї доби періоду 14 діб

$$W_{il} = Q_{il} / Q^{cp} - 0,5$$

Обчислюються середні коефіцієнти згладжування годинних об'ємів за l-у година

$$W_l^{cp} = \sum_{i=1}^{14} W_{il} / 14$$

Після цього визначаються прогнозовані значення годинної подачі води насосною станцією за  $(l+1)$  годину даної доби. При цьому за основні величини беруться розраховані параметри  $Q_l^{cp}$  і  $W_l^{cp}$ . Причому, за наявності тенденції до зростання коефіцієнта згладжування  $W_{lcp}$  розрахункова формула має вигляд:

$$Q_{l+1} = W_{l+1}^{cp} Q_l^F + (1 - W_l^{cp}) Q_l^{cp}$$

а за наявності тенденції до пониження коефіцієнта згладжування

$$Q_{l+1} = W_{l+1}^{cp} Q_l^{cp} + (1 - W_l^{cp}) Q_l^F$$

де  $Q_l^F$  - об'єм водоподачі для даного дня тижня, визначуваний після однієї з формул:

$$Q_l^F = Q_{i,l} + Q_{i+7,l} / 2$$

або

$$Q_l^F = Q_{i,l} + Q_{i-7,l} / 2$$

Необхідні для прогнозу дані про погодинні значення подачі насосної станції у водопровідну мережу міста беруться з баз даних обліку подачі води насосною станцією, що зберігаються в ЕОМ. Помилка методу не перевищує 6%. Результати прогнозування графіка водоспоживання є початковими даними для визначення оптимальних напорів насосної станції для кожної години.

Окрім описаного методу, при прогнозуванні можуть використовуватися моделі трендів, що обумовлено збереженням загальної тенденції розвитку процесу водоспоживання в часі. В цьому випадку прогнозування зводиться до підбору функції, що відбиває зміну

водоспоживання в часі. Наприклад, в методі «граничних циклів» як модель тренда використовується синусоїдальна залежність об'єму водоспоживання від години доби.

При прогнозуванні водоспоживання застосовується метод авторегресії або метод проінтегрованого ковзаючого середнього. Метод заснований на переході від нестационарного ряду водоспоживання до стаціонарного ряду його різниць.

Для розрахунку оптимальних режимів роботи насосних станцій діючих систем подачі і розподілу води використовують формальні статистичні моделі експериментально-статистичного типу. Причому, система ПРВ розглядається як кібернетичний «чорний ящик», а для математичного опису об'єкту використовуються залежності між вхідними і вихідними параметрами. При цьому виділяються:

- вхідні керовані перемінні  $X = (X_1, \dots, X_n)$ , під якими розуміють напори і насоси насосних станцій;
- вхідні керуючі перемінні  $U = (U_1, \dots, U_n)$ , під якими розуміють склади груп працюючих насосів, положення регулюючих засувок;
- вхідні збуджуючі перемінні  $Z = (Z_1, \dots, Z_n)$ , обумовлені випадковими зовнішніми діями: коливаннями водоспоживання, аварійними ситуаціями на насосних станціях і т.п., а також чинниками виробничого характеру: підключенням нових споживачів або знов побудованих ліній мережі, зміною характеристик насосів і трубопроводів і т.п.;
- вихідні перемінні  $Y = (Y_1, \dots, Y_n)$ , в якості яких приймаються напори в диктуючих точках водопровідної мережі, що характеризують забезпеченість водою споживачів;
- вихідні параметри  $E = (E_1, \dots, E_n)$ , під якими розуміють деякі узагальнені техніко-економічні показники роботи системи, а саме: питома витрата електроенергії, собівартість подачі води і т.п.

Зв'язки між вхідними і вихідними перемінними і утворюють модель об'єкту:

$$Y = \Pi(A, X, U, Z)$$

$$E = M(B, X, U, Z)$$

де  $\Pi, M$  - оператори, що надають форму залежності;

$A=A_1, \dots, A_c, B=B_1, \dots, B_d$  - вектори невідомих параметрів, залежні від конкретних особливостей модельованої системи і визначувані шляхом її ідентифікації.

Аналізуючи перераховані групи перемінних можна зробити наступні висновки.

Збуджуючі чинники  $Z$ , за винятком зміни водоспоживання, міняються поволі і при оперативному управлінні ними можна нехтувати. Водоспоживання ж всієї системи в цілому можна контролювати і розглядати як стаціонарний випадковий процес, що піддається прогнозуванню. Це дозволяє будувати прогнозовані графіки водоспоживання і використовувати їх при оперативному плануванні оптимальних режимів. Графіки ці носять стійкий характер. Отже, добовий графік зміни вхідних і вихідних показників може бути розділений на ряд інтервалів  $\Delta t_i (\Delta t_i < T=24, \Delta t_i = T)$ , протягом яких залежності між вихідними і вхідними параметрами залишаються практично незмінними для декількох днів (а у ряді випадків - декількох місяців).

Це дозволяє спростити модель, виключивши з неї збуджуючі дії  $Z$ :

$$Y = \Pi'(A, X, U)$$

$$E = M'(B, X, U)$$

Практично це означає, що моделі повинні будуватись для кожного інтервалу  $\Delta t_i$  окремо, і в межах доби необхідно мати сімейство моделей.

Якщо врахувати, що енергетичні втрати усередині насосної станції, пов'язані з реалізацією різних рівнянь, значно менші втрат у водопровідних мережах, то і керівники перемінні  $U$  з моделі можуть бути виключені і вона прийме вигляд:

$$Y = \Pi''(A, X) \quad (*)$$

$$E = M''(B, X)$$

Таким чином, модель системи подачі і розподілу води для кожного режиму роботи (інтервалу  $\Delta t_i$ ) визначається зв'язками між параметрами роботи насосних станцій і напорами в диктуючих точках або узагальненими техніко-економічними показниками. Ці залежності будуються у вигляді рівнянь регресії на підставі збору і обробки статистичних даних про вхідні (X) і вихідні (Y, E) параметри. Збір інформації здійснюється шляхом як пасивних, так і активних експериментів. Пасивні експерименти передбачають спостереження при звичайних режимах експлуатації систем водопостачання. Практично збір інформації здійснюється при цьому шляхом безперервного запису даних (за допомогою самописних приладів), або організацією реєстрації персональних показань приладів з певною періодичністю.

Активний експеримент припускає отримання інформації при спеціально організованих режимах експлуатації (наприклад, при аваріях).

Зібрані в ході експериментів дані використовуються для розрахунку коефіцієнтів рівнянь регресії.

Виходячи з вимог алгоритмів розрахунку оптимальних режимів, статистичні моделі (\*) доцільно представляти в наступному вигляді:

$$H_{н.с.} = H_{д.т.} + a + bQ_{н.с.} \text{ (лінійний)}$$

або

$$H_{н.с.} = H_{д.т.} + a + bQ_{н.с.} + cQ_{н.с.}^2 \text{ (нелінійний)}$$

Необхідно відзначити, що отримання рівнянь другої частини моделі (\*) не обов'язково, оскільки для оцінки енергетичних витрат в системі ПРВ можна скористатися функцією:

$$\sum_{i=1}^n K_i H_i Q_i$$

$$N = i=1$$

Відзначимо, що для систем з декількома насосними станціями, що живлять загальну водопровідну мережу, необхідно будувати моделі для кожної з насосних станцій відносно однієї і тієї ж диктуючої точки. Якщо в системі ПРВ не можна знайти таку загальну диктучу точку, то це означає, що насосні станції незалежні по режиму і розрахунки оптимальних умов роботи можуть виконуватися окремо по кожній станції.

Маючи дані про прогнозоване водоспоживання і математичні моделі системи ПРВ, можна розрахувати параметри оптимальних режимів роботи насосних станцій.

Для випадку однієї насосної станції, що живить мережу, необхідні напори насосів підраховують для кожної години доби безпосередньо по адекватній моделі:

$$H_{н.с.i} = H_{д.т.} + (Z_{д.т.} - Z_{н.с.}) + a + bQ_{н.с.i}$$

або

$$H_{н.с.i} = H_{д.т.} + (Z_{д.т.} - Z_{н.с.}) + a + bQ_{н.с.i} + cQ_{н.с.i}^2$$

де  $Z_{д.т.}$  і  $Z_{н.с.}$  - геодезичні відмітки диктуючої точки і насосної станції;

$Q_{н.с.i}$  - прогнозоване значення водоподачі для і-го години.

Розрахунок оптимальних умов роботи декількох насосних станцій, що живлять загальну мережу, передбачає оптимальний розподіл навантаження (загальної подачі води в мережу) між насосними станціями з урахуванням допустимих інтервалів зміни їх продуктивності. У разі використання лінійних моделей пошук оптимальних умов роботи може бути здійснений на основі методів лінійного програмування. Завдання формулюється таким чином: потрібно знайти мінімум функціонала енерговитрат

$$F = \sum_{i=1}^N Q_i H_i$$

з урахуванням обмежень

$$Q_{i \min} \leq Q_i \leq Q_{i \max}$$

$$\sum_{i=1}^N Q_i - Q_c = 0$$

$$H_i - H_{д.т.} - (Z_{д.т.} - Z_{н.с.}) - a - bQ_i = 0$$

У тих випадках, коли використовується нелінійна модель, доцільно користуватися іншими методами оптимізації функціонала  $F$ , зокрема, методом невизначених множників Лагранжа.

У реальних умовах експлуатації систем ПРВ положення диктуючої точки може мінятися, тому необхідно мати сімейство характеристик насосних станцій стосовно всіх можливих диктуючих точок. Перед розрахунком оптимального режиму повинен проводитися аналіз тиску в мережі і вибір диктуючої точки, характерної для кожного режиму.

Результати розрахунку оптимальних режимів роботи насосних станцій компонуються у вигляді таблиці, в якій для кожного  $i$ -го години доби вказані значення подачі  $Q_i$  і напору  $H_i$ . Для зручності сприйняття ці дані можуть бути представлені у формі графіка. У тих випадках, коли необхідно здійснювати вибір економічних комбінацій працюючих насосів, розрахунки проводяться в наступній послідовності:

- побудова характеристик раціональних комбінацій насосів для типових режимів роботи насосної станції;
- відбір комбінацій, які можуть бути реалізовані для різних режимів за умовами можливості включення насосів;
- побудова послідовності комбінацій на планований період, що відрізняється найменшим числом перемикачів і найбільшою економічністю.

Перша частина розрахунків - побудова характеристик комбінацій насосів проводиться на етапі підготовки до рішення задачі. Вона у свою чергу складається з декількох етапів:

- 1) виділення типових режимів роботи насосної станції. На цьому етапі весь діапазон подач і напорів насосної станції розділяється на ряд відрізків, що відрізняються на 5-10%.
- 2) побудова характеристик насосів. Характеристики аналітично представляються в наступному вигляді:

$$H_i = H_{oi} - S_i Q_i^2$$

$$N_i = N_{oi} - K_i Q_i$$

Параметри  $H_{oi}$ ,  $S_i$ ,  $N_{oi}$ ,  $K_i$  визначаються по графічним характеристикам насосних агрегатів, знятим експериментально або узятим з паспорта (каталога).

- 3) Побудова характеристик комбінацій насосів. Для цього по необхідному напору  $H_{потр}$  розраховується подача насоса  $Q = \sqrt{(H_{oi} - H_{потр}) / S_i}$ . Далі проводиться підсумовування подачі декількох насосів  $\sum Q_i$  до досягнення  $\sum Q_i \geq Q_{потр}$ . Доцільно для кожного режиму побудувати декілька комбінацій, що відрізняються номерами працюючих насосів. Для скорочення числа можливих комбінацій слід обмежитися такими з них, які забезпечують подачу не більш  $Q = 1,1 Q_{тр}$ . Для кожної комбінації насосів підраховується сумарна витрата електроенергії  $N_{\Sigma} = \sum_{i=1}^m (N_{oi} + K_i Q_i)$ .

- 4) На підставі виконаних розрахунків будується таблиця, в якій для кожного режиму ( $H_{тр}$ ,  $Q_{тр}$ ) дано декілька можливих комбінацій насосів (вказуються номери насосів і сумарні витрати

електроенергії по кожній комбінації). Ці дані готуються до розрахунків по оперативному плануванню. Для другої частини розрахунків - відбору можливих комбінацій - використовуються дані про насоси, які з різних причин (ремонт, аварія, профілактика і т.п.) не можуть бути включені в роботу. За цими даними формується нова таблиця, що відображає тільки реально можливі комбінації.

Третя частина - побудова послідовностей комбінацій, що відрізняються найменшим числом перемикачів і найбільшою економічністю, - здійснюється таким чином. Як основна приймається комбінація насосів для безпосередньо попереднього режиму. Потім розглядаються комбінації для першої ділянки планованого режиму ( $\Delta t_1$ ), що відрізняються від передуючої мінімальним числом перемикачів (одним насосом або без перемикачів). З одержаної групи можливих комбінацій насосів відбирається найбільш економічна, тобто з мінімальним значенням  $N_{\Sigma} = \sum_{i=1}^m (N_{oi} + K_i Q_i)$ .

Потім вказана процедура повторюється для другої ділянки ( $\Delta t_1$ ) планованого режиму і т.д. В результаті одержують послідовність комбінацій насосів, що забезпечує реалізацію необхідного графіка роботи насосів з найменшим числом перемикачів і найменшими витратами електроенергії.

Слід зазначити, що перераховані завдання вирішуються за допомогою ЕОМ, але вибір оптимальної послідовності комбінацій насосів проводиться диспетчером. Він відбирає комбінації для подальших режимів, а ЕОМ видає витрати електроенергії на планований режим.

## ТЕМА 7

### **ОПЕРАТИВНЕ УПРАВЛІННЯ СИСТЕМАМИ ВОДОПОСТАЧАННЯ У АВАРІЙНИХ СИТУАЦІЯХ І ПІСЛЯАВАРІЙНИХ РЕЖИМАХ.**

1. Класифікація аварійних ситуацій.
2. Аварійні ситуації на спорудах.
3. Аварійні ситуації на мережі водопроводу.
4. Організаційні заходи, що виконуються при аваріях на мережі водопроводу.
5. Роботи, що виконуються при виведенні системи водопостачання на нормальний режим функціонування.

Аналіз технічного стану основних фондів підприємств водопровідно – каналізаційного господарства України показує, що за період з 1985р. по 2000р. кількість аварійних водопровідних мереж збільшилася з 3,3тис.км до 17,1тис.км, а на початок 2005р. складає більш 20тис. км.; насосне устаткування, що вимагає заміни відповідно з 891од. до 3523 од. і на початок 2005р. – більш 4500од. Спостерігаючи таку динаміку нескладно дійти висновку про те, що диспетчерським службам і всьому експлуатаційному персоналу підприємств ВКГ доводиться все більше і більше працювати в аварійно–відновних режимах.

Аварійні ситуації (АС) в системах водопостачання можна розділити на два види:

- АС на спорудах – водозаборах, очисних спорудах, насосних станціях;
- АС на мережах водопостачання.

Характерною особливістю АС першого виду є, як правило, локальний характер аварії з незначним впливом на всю систему подачі і розподілу води.

До АС першого виду відносяться: відмова насосного агрегату, обумовлена неполадками в подачі електроживлення, перегрівом підшипників, відмовою запірно-регулюючої арматури (ЗРА) на насосній

станції; вихід з ладу очисного устаткування і ін. Мінімізація втрат в таких ситуаціях для всієї системи подачі і розподілу води досягається введенням в роботу резервного устаткування, включенням в роботу дублюючих схем подачі води на очисні споруди, перерозподілом навантаження на системи очищення води тощо.

До цього ж виду АС слід віднести і аварії, що виникають на внутрішньоквартальних мережах водопостачання.

Локалізуються і усуваються такі АС силами диспетчерських служб нижньої ланки управління і персоналом, обслуговуючим споруди і мережі.

До другого виду АС слід віднести аварії, що виникають на мережах водопостачання – на крупних магістральних і вуличних водоводах великих діаметрів. Причинами таких АС можуть бути розриви трубопроводів, пошкодження трубопроводів іншими міськими службами (енергомережі, теплові мережі, телефонні мережі і ін.).

Як правило, такі аварії зачіпають життєві інтереси значного числа споживачів і при локалізації і усуненні наслідків таких АС необхідно провести ряд великих організаційно – технічних заходів, які виконуються силами центральних диспетчерських служб, керівництва підприємства, міських властей.

Розглянемо порядок і види робіт, що виконуються центральною диспетчерською службою при локалізації і ліквідації аварій на мережах водопроводу. Він наступний:

- оцінка масштабів АС;
- організація локалізації аварії: ЦДС керує перекриттям головної ЗРА і контролює перекриття другорядних водоводів, яке виконують експлуатаційні бригади ;
- оповіщення керівництва підприємства і, при необхідності, інших міських служб;
- організація аварійно-відновних робіт (забезпечення технікою, персоналом);

- оповіщення населення і підприємств – споживачів води про виниклу аварійну ситуацію;
- забезпечення населення водою по альтернативним варіантам (наприклад, підвезення води на спеціальних машинах).

Залежно від масштабів АС роботи по їх ліквідації можуть займати значні проміжки часу.

Одним з найбільш відповідальних періодів по ліквідації АС є вихід на нормальний режим роботи мережі. Основними видами робіт по оперативному управлінню є:

- відновлення первинного (доаварійного) стану запірно – регулюючої арматури на мережах (випуски, засувки, вантузи);
- контроль заповнення водоводів по напорам в диктуючих точках;
- управління режимами насосних станцій для досягнення необхідного тиску в мережі;
- контроль поповнення резерву води;
- вихід на нормальний режим функціонування.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

### ОСНОВНІ ДЖЕРЕЛА

#### Модуль 1

1. Arun K. Guidance for management of distribution system operation and maintenance / K. Arun // Prepared by sponsored by AWWA Research Foundation. 2008. 185 p.
2. Butler D. Leakage detection and management. A comprehensive guide to technology and practice in the water supply industry. / D. Butler // Published by Palmer Environmental. 2000. 124 p.
5. Liu Zheng Condition Assessment Technologies for Water Transmission and Distribution Systems / Zheng Liu, Yehuda Kleiner, and Balvant Rajani //Institute for Research in Construction National Research Council Canada. – Ottawa: Ontario K1A 0R6 Canada, 2012. – 149 p.
6. Калініченко О. В., Плотник О. Д. Економіка підприємства. Практикум : [навчальний посібник]. К. : Кондор, 2012. 600 с.
7. Ліпич Л.Г., Буняк Н.М., Геліч Н.В. та інші. Економіка підприємства: навч. посіб. Луцьк: Східноєвроп. нац. ун-т ім. Лесі Українки. 2014. 608 с
8. Новохатній В.Г. Надійність водопостачання малих населених пунктів : навч. посібник. Полтава : ПНТУ, 2019. 102 с. URL : <https://www.twirpx.com/file/3063065/>.
9. Орлов В. А. Стратегия и методы восстановления подземных трубопроводов. М.: Стройиздат, 2001. 96 с.
10. Орлов В. О. Водопостачання та водовідведення: підручник. Київ : Знання, 2011 359 с.
16. . Хоружий П. Д., Ткачук О.А. Водопровідні системи і споруди : навч. посібник. Київ : Вища школа, 1993. 230 с.
19. Шульга М. О., Алексахін О.О., Шушляков Д. О. Теплогазопостачання та вентиляція : навч. посібник. Харків : ХНУМГ, 2015. 191 с.

6. Програма для проектування та аналізу роботи водопровідних мереж-Epanet.  
www.epanet.com/
7. Програма для проектування та аналізу роботи водопровідних мереж-WaterCAD@6.0/ /  
Haestad Methods. – www.haestad.com/watercad.
8. Ramesha Chandrappa. Sustainable and water engineering : theory and practice. Chichester,  
West Sussex : Wiley, 2014.  
URL : [https://www.worldcat.org/title/sustainable-and-water-engineering-theory-and-practice/oclc/866766820&referer=brief\\_results](https://www.worldcat.org/title/sustainable-and-water-engineering-theory-and-practice/oclc/866766820&referer=brief_results).
11. Степанова Н. Д., Степанов Д. В. Теплові мережі : навчальний посібник. Вінниця :  
ВНТУ, 2009. 135 с.
12. Ткачук О.А. Шадура В.О. Водопровідні мережі : навчальний посібник. Рівне :  
НУВГП, 2010. 148 с.  
URL : <http://ep3.nuwm.edu.ua/5163/1/V83.pdf>.
13. Ткачук О.А. Міські інженерні мережі : навчальний посібник. Рівне : НУВГП, 2015.  
412 с.  
URL:[http://ep3.nuwm.edu.ua/3674/1/%D0%9C%D0%86%D0%9C\\_%D0%A2%D0%BA%D0%B0%D1%87%D1%83%D0%BA\\_%D0%92%20%D0%B7%D0%B0%D1%85.pdf](http://ep3.nuwm.edu.ua/3674/1/%D0%9C%D0%86%D0%9C_%D0%A2%D0%BA%D0%B0%D1%87%D1%83%D0%BA_%D0%92%20%D0%B7%D0%B0%D1%85.pdf).
14. Ткачук О. А. Удосконалення систем подачі і розподілення води населених пунктів.  
Рівне: НУВГП, 2008. 301с.
16. Шульга М.О, Деркач І.Л., Алексахін О.О. Інженерне обладнання населених місць :  
підручник. Харків : ХНАМГ, 2007. 259 с.
17. Федулова С.О. Економіка підприємств водопостачання та водовідведення : навч.  
посіб. – Дніпро: ДВНЗ УДХТУ, 2017.300 с.  
URL:[https://udhtu.edu.ua/wp-content/uploads/2019/03/Ekonomika-pidpr.-vodopid.-ta-vodovid\\_Pivovarov\\_Fedulova.pdf](https://udhtu.edu.ua/wp-content/uploads/2019/03/Ekonomika-pidpr.-vodopid.-ta-vodovid_Pivovarov_Fedulova.pdf).

### **Модуль 3**

1. Баладінський В. Л., Лівінський О. М., Хмара Л. А. Будівельна техніка : навч. посіб. для  
студ. вузів. Київ : Либідь, 2001. 368 с.
2. Возняк О.Т. Теплогазопостачання і вентиляція: навчальний посібник. Львів, 2013. 273  
с.
4. Кравченко В. С. Водопостачання та каналізація: підручник для внз. Київ, 2003. 286 с.
5. Кульський Л.А. Строкач П. П. Технология очистки природных вод. Київ : Вища школа,  
1986. 352 с.
6. Лівінський О.М. та ін. Конструкції та технологія будівництва інженерних мереж та  
споруд : підручник. Київ : МП Леся, 2013. 232 с.
7. Линник І.Е., Завальний О.В. Проектування міських територій : підручник : [у 2 ч.].  
Харків : ХНУМГ ім. О.М. Бекетова, 2019. Ч. 2. 544 с.
8. Мешкова-Клименко Н.А., Косогіна І. В Толстопалова Н.М. Технологія та обладнання  
одержання питної та технічної води : конспект лекцій. Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського,  
2018. 141 с.  
URL: <http://tnr.kpi.ua/images/Methodichki/OSV.pdf>.

9. Сашко В.О., Терещенко Т.М. Водопостачання : навчальний посібник. Київ : Ресурсний центр ГУПТ, 2019 рік. 114 с.  
URL:  
<https://mon.gov.ua/storage/app/media/news/%D0%9D%D0%BE%D0%B2%D0%B8%D0%BD%D0%B8/2020/04/28/4vodopostachannya.pdf>
10. Cheryl Jakab. Water Supply. Mankato, Minn. : Smart Apple Media. 2010.32 p. URL:  
<https://archive.org/details/watersupply0000jaka/page/n1/mode/2up>.
11. Сафранов Т.А. Раціональне використання і охорона водних ресурсів: підручник. Київ : Либідь, 2006.
12. Сіденко.Т.А. Водопостачання та водовідведення : анотований бібліографічний покажчик. Чернігів : Наукова бібліотека ЧНТУ, 2017. 24 с.  
URL  
[http://library2.stu.cn.ua/Files/downloadcenter/%D0%92%D0%BE%D0%B4%D0%BE%D0%BF%D0%BE%D1%81%D1%82%D0%B0%D1%87%D0%B0%D0%BD%D0%BD%D1%8F%20%D1%82%D0%B0%20%D0%B2%D0%BE%D0%B4%D0%BE%D0%B2%D1%96%D0%B4%D0%B2%D0%B5%D0%B4%D0%B5%D0%BD%D0%BD%D1%8F%20\(2\).pdf](http://library2.stu.cn.ua/Files/downloadcenter/%D0%92%D0%BE%D0%B4%D0%BE%D0%BF%D0%BE%D1%81%D1%82%D0%B0%D1%87%D0%B0%D0%BD%D0%BD%D1%8F%20%D1%82%D0%B0%20%D0%B2%D0%BE%D0%B4%D0%BE%D0%B2%D1%96%D0%B4%D0%B2%D0%B5%D0%B4%D0%B5%D0%BD%D0%BD%D1%8F%20(2).pdf)
13. Сокольник В.І., Пієнко К.С. Експлуатація водопровідно – каналізаційного господарства. Частина 1. Експлуатація систем водопостачання: навчально – методичний посібник. ЗДІА, 2011. 133 с.
14. Сокольник В.І., Пієнко К.С. Експлуатація водопровідно – каналізаційного господарства. Частина 2. Експлуатація систем водовідведення: навчально – методичний посібник. ЗДІА, 2013. 151 с.

#### **Модуль 4**

1. Кудінов В.А. Гідравліка : підручник он-лайн, 2015.  
URL : <https://stud.com.ua/33902/tovarovnavstvo/odravlika>.
2. Константінов Ю. М. Технічна механіка рідини і газу: підручник . Київ, 2002. 358 с.
3. .Krasowski E., Nikolenko I, Gliński J, Dashchenko A., Hydraulics. Hydraulics machines. Lublin : 9.Polish Academy of Sciences Branch in Lublin, 2011. 350 p.
6. Мандрус В.І. Гідравлічні та аеродинамічні машини (насоси, вентилятори, компресори): підручник. Львів, , 2005. 338 с.

11. Прокопчук І. Т. Зміна гідравлічних та енергетичних характеристик насосів ЕЦВ і трубопроводів в процесі експлуатації свердловин / І. Т. Прокопчук, Ю. О. Береговий // Наук. техн. зб. «Проблеми водопостачання, водовідведення та гідравліки». – Вип. 2. – К: КНУБА, 2003. – С. 21-25.
12. Срібнюк С.М. Гідравлічні та аеродинамічні машини. Основи теорії та застосування : навчальний посібник. Київ : Центр навчальної літератури, 2004. 328 с
13. Ткачук О. А. Зміни робочих характеристик насосних агрегатів систем подачі і розподілу води. Зб. наук. праць «Гідромеліорація та гідротехнічне будівництво». Вип. 30. Рівне : НУВГП, 2005. С. 233-240.
14. Ткачук О. А., Шадура В. О., Новицька О. С. Скорочення енерговитрат та шляхи зменшення втрат води в системах водопостачання. Міжвідомчий. наук. зб. «Меліорація і водне господарство». Вип. 92. Іїв : Вища школа, 2005. С. 165-173.
15. Garr M. Jones, Robert L. Sanks. Pumping Station Design, 3rd Edition. Butterworth-Heinemann; 2011. 1104 p.  
URL: <https://www.elsevier.com/books/pumping-station-design/jones-pe-dee/978-1-85617-513-5>.
16. Холоменюк М. В., Ткачук А. В., Онопрієнко Д.М. Гідравлічні та аеродинамічні машини : навч. посібник. Херсон : ОЛДІ-ПЛЮС, 2017. 356 с.
18. Шевченко Т.О., Ярошенко Ю.В. Насосні та повітрорудні станції : навч. посібник. Харків : нац. ун-т міськ. госва ім. О. М. Бекетова. Харків : ХНУМГ, 2015. 195 с URL : <https://core.ac.uk/reader/33755331>.

## ІНФОРМАЦІЙНІ РЕСУРСИ

1. Водний кодекс України. URL :<https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/213/95-%D0%B2%D1%80#Тех>.
2. ДСТУ 7525:2014 Національний стандарт України. Вода питна. Вимоги та контролювання якості. [Чинний від 2015-02-01]. Вид. офіц. Київ : Міністерство економічного розвитку України, 2014. 26 с. URL: [http://icccwc.org.ua/docs/dstu\\_7525\\_2014.pdf](http://icccwc.org.ua/docs/dstu_7525_2014.pdf) (дата звернення: 21.01. 2021).
3. ДБН В.2.5-67:2013 Опалення, вентиляція та кондиціонування. [Чинний від 2014-01-01]. Вид. офіц. Київ : Міністерство регіонального розвитку будівництва та житлово-комунального господарства України, 2013. 172 с. (Інформація та документація). URL: <https://dbn.co.ua/load/normativy/dbn/1-1-0-1018>.
4. ДБН В.2.5-20:2018 Газопостачання. Основні положення проектування. [Чинний від 2014-01-01]. Вид. офіц. Київ : Міністерство регіонального розвитку, будівництва та житлово-комунального господарства України, 2013. 128 с. (Інформація та документація). URL: [https://dreamdim.ua/wp-content/uploads/2019/04/DBN-V2520-18\\_Gas.pdf](https://dreamdim.ua/wp-content/uploads/2019/04/DBN-V2520-18_Gas.pdf).
5. ДСанПіН 2.2.4-171-10. Державні санітарні норми та правила «Гігієнічні вимоги до води питної, призначеної для споживання людиною». [Чинний від 2010-05-12]. Вид. офіц. Київ

- : Держспоживстандарт України, 2010. 35 с. (Інформація та документація). URL: [https://dbn.co.ua/load/normativy/sanpin/dsanpin\\_2\\_2\\_4\\_171\\_10/25-1-0-1180](https://dbn.co.ua/load/normativy/sanpin/dsanpin_2_2_4_171_10/25-1-0-1180).
6. Кабінет Міністрів України. URL : <https://www.kmu.gov.ua/>.
7. Законодавство України.. URL : <http://www.rada.kiev.ua>.
8. Наукова бібліотека Запорізького національного університету.  
URL: <http://library.znu.edu.ua/>
9. Національна бібліотека України імені В. І. Вернадського. URL: <http://www.nbuv.gov.ua/>
10. Система електронного забезпечення навчання ЗНУ. URL: <https://moodle.znu.edu.ua/>
11. Правила технічної експлуатації систем водопостачання та водовідведення населених пунктів України: зміни, внесені згідно з Наказом Міністерства регіонального розвитку, будівництва та житлово-комунального господарства № 302 від 27.11.2015.  
URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0231-95>.