

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ**  
**ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**  
**МІСЬКОГО ГОСПОДАРСТВА імені О. М. БЕКЕТОВА**

**МЕТОДИЧНІ РЕКОМЕНДАЦІЇ**

до організації самостійної роботи, проведення практичних занять  
і виконання розрахунково-графічної роботи

з навчальної дисципліни

**«НАДІЙНІСТЬ ВОДОПРОВІДНО-КАНАЛІЗАЦІЙНИХ СИСТЕМ»**

*(для студентів 3, 4 курсу освітньо-кваліфікаційного рівня – «бакалавр» усіх  
форм навчання за спеціальністю 192 – Будівництво та цивільна інженерія)*

**Харків**  
**ХНУМГ ім. О. М. Бекетова**  
**2020**

Методичні рекомендації до організації самостійної роботи, проведення практичних занять і виконання розрахунково-графічної роботи з навчальної дисципліни «Надійність водопровідно-каналізаційних систем» (для студентів 3, 4 курсу освітньо-кваліфікаційного рівня – «бакалавр» усіх форм навчання за спеціальністю 192 – Будівництво та цивільна інженерія) / Харків. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова ; уклад. М. В. Дегтяр. – Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2020. – 63 с.

Укладач канд. техн. наук, доц. М. В. Дегтяр

Рецензент

**Г. І. Благодарна**, кандидат технічних наук, доцент кафедри водопостачання, водовідведення та очищення вод Харківського національного університету міського господарства імені О. М. Бекетова

*Рекомендовано кафедрою водопостачання, водовідведення та очищення вод, протокол № 1 від 30.08.2019.*

## ЗМІСТ

<b>ВСТУП</b> .....	4
<b>1 Практичні заняття</b> .....	5
ЗМ 1 Основні визначення і проблеми надійності водопровідно-каналізаційних систем .....	5
Практичне заняття 1 Випадкові величини і основні теоретичні закони їхнього розподілення .....	5
Практичне заняття 2 Відмова. Спостереження і оцінка їхніх результатів.....	9
Практичне заняття 3 Показники надійності технічних систем. Види резервування .....	17
ЗМ 2 Підвищення ступеня безпеки та надійності систем водопостачання .....	35
Практичне заняття 4 Забезпечення безпеки та надійності систем водопостачання в період проектування та будівництва ...	35
Практичне заняття 5 Сучасні методи будівництва та реконструкції водопровідних мереж та споруд .....	36
ЗМ 3 Підвищення ступеня безпеки та надійності систем водовідведення .....	41
Практичне заняття 6 Методи підвищення надійності систем водовідведення ...	41
<b>2 Розрахунково – графічна робота</b> .....	43
<b>3 Самостійна робота студентів</b> .....	49
Список рекомендованої літератури .....	62

## ВСТУП

Предметом вивчення навчальної дисципліни є методи, що використовуються при розв'язанні інженерних задач, способи їх застосування в галузі (на будь-якому підприємстві) з метою підвищення технічного рівня запропонованих заходів та підвищення надійності та терміну служби об'єктів.

Мета забезпечення майбутніх фахівців знаннями та уміннями, необхідними при розв'язанні інженерних задач, для прийняття вірних проектних та технологічних рішень, з урахуванням економічної складової, та для успішного виконання у майбутньому своїх функціональних обов'язків.

Завдання Основними завданнями вивчення дисципліни «Надійність водопровідно-каналізаційних систем» є теоретична та практична підготовка студентів з наступних питань:

- основні поняття і проблеми надійності ВК-систем;
- визначення стану інженерних систем, терміну їх працездатності за допомогою розрахунків;
- методи дослідження і оптимізації основних вихідних параметрів роботи інженерних систем;
- основні положення та вимоги державних стандартів до надійності систем водопостачання і водовідведення;
- випадкові величини і основні теоретичні закони їх розподілення;
- загальні принципи підвищення надійності. Види резервування;
- показники надійності технічних систем;
- сучасні методи будівництва та реконструкції водопровідних мереж та споруд;
- технічне обслуговування систем водопостачання та водовідведення.

Метою даних методичних вказівок є допомога студентам при виконанні розрахунково-графічної роботи, при вивченні питань, винесених на самостійне вивчення дисципліни, та при виконанні практичних занять.

# 1 ПРАКТИЧНІ ЗАНЯТТЯ

## ЗМ 1 Основні визначення і проблеми надійності водопровідно-каналізаційних систем

### Практичне заняття 1 Випадкові величини і основні теоретичні закони їх розподілення

Випадкові величини можуть бути: – дискретними ( $\xi$ ) – якщо є кінцеве або рахункове число значень  $x_1, x_2, \dots, x_n$  та безперервними, коли випадкова величина може приймати будь-яке чисельне значення.

Дискретну величину, можна приймати з відповідною ймовірністю появи  $P_1, P_2, \dots, P_n$ , причому  $\sum P_n = 1$ .

Ряд розподілу випадкових величин:

$$\begin{aligned} &(x_1, x_2, \dots, x_n, \dots), \\ &(P_1, P_2, \dots, P_n, \dots). \end{aligned}$$

Математичне очікування (середнє значення) випадкової величини –

$$M_\xi = \sum x_k \cdot P_k . \quad (1.1)$$

Наприклад, момент паралельного порядку –  $M^2_\xi = \sum x_k^2 \cdot P_k$ .

При спостереженні змін обсягів водопостачання та водовідведення отримані чисельні значення є випадковими величинами.

Безперервні випадкові величини: обсяг водоспоживання, водовідведення; витрата води джерела; рівень води в річці.

Число відмов (аварій) елементів систем водопостачання та водовідведення є дискретною випадковою величиною.

Дисперсія випадкової величини  $\xi$  –

$$D\xi = M(\xi - M\xi)^2 = M\xi^2 - (M\xi)^2 . \quad (1.2)$$

Дисперсія є мірою розкиду можливих значень випадкової величини – якщо  $D$  мала, то великі відхилення від очікуваного результату малоймовірні.

Безперервна випадкова величина – якщо вона може приймати будь-які чисельні значення з деякого інтервалу (А, В), які можуть бути і нескінченними.

Імовірність безперервної випадкової величини –

$$P_{(a,b)} = \int_a^b f(x)dx, A \leq a \leq b \leq B, \quad (1.3)$$

де  $f(x)$  — щільність ймовірності ( $f(x) \geq 0$ ).

Функція розподілу випадкової величини  $\xi$  –

$$F(x) = \int_a^b f(x)dx, \quad (1.4)$$

### Основні теоретичні закони розподілу випадкових величин

Відомо близько 160 законів розподілу щільності ймовірностей. На практиці використовуються деякі найпоширеніші: біноміальний, Пуасона, експонентний, нормальний розподіл.

Біноміальний розподіл має місце в тому випадку, коли ймовірність появи події (х) в (n) незалежних дослідах постійна й дорівнює (P). Імовірності появи (х) подій у серії з (n) випробувань відповідає функція розподілу:

$$f(x) = \frac{n!}{x!(n-x)!} p^x q^{(n-x)}, \quad (1.5)$$

де  $p$  – імовірність відмови;

$q = 1 - p$  – імовірність появи події.

Середнє значення –  $\mu = n \cdot p$ ; середньоквадратичне відхилення –  
 $\sigma = \sqrt{n \cdot p \cdot q}$ .

Якщо  $p$  дуже мале, наприклад  $p = 0,02$  і  $q = 1$ , а  $\mu$  набагато більше  $p$ , біноміальний розподіл трансформується до такого вигляду:

$$f(x) = \frac{e^{-\mu} (\mu)^x}{x!}; \mu = n \cdot p; \sigma = \sqrt{n \cdot p} = \sqrt{\mu}. \quad (1.6)$$

Це так званий розподіл Пуассона, характерний для числа появи рідких подій дискретної випадкової величини.

Якщо ж величина  $p$  велика й, відповідно,  $n \cdot p$  теж, наприклад:  $p \geq 0,5$ , а  $n \cdot p \geq 5$ , біноміальний розподіл можна подати у такому вигляді:

$$f(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}}; \mu = n \cdot p; \sigma = \sqrt{npq} . \quad (1.7)$$

Це нормальний, або гаусів, розподіл.

Для експонентного закону розподілу

$$\left\{ \begin{array}{l} f(x) = \lambda e^{-\lambda x} \text{ при } x > 0 \\ f(x) = 0 \text{ при } x < 0 \end{array} \right\}; \mu = \frac{1}{\lambda}; \sigma = \frac{1}{\lambda} , \quad (1.8)$$

де  $\lambda$  – параметр, що характеризує частоту відмов.

Під час розв'язання практичних завдань зазвичай достатньо визначити тільки математичне очікування, дисперсію й середньоквадратичне відхилення.

Математичне очікування дискретних випадкових величин визначається так:

$$m_x = M(X) = \sum_{i=1}^n x_i \cdot P_i . \quad (1.9)$$

Математичне очікування безперервних випадкових величин –

$$m_x = M(X) = \int_{-\infty}^{\infty} x f(x) dx . \quad (1.10)$$

Математичне очікування за біноміального розподілу –

$$m_x = n \cdot p . \quad (1.11)$$

Дисперсія дискретних випадкових величин –

$$D(x) = \sum_{i=1}^n (x_i - m_x)^2 P_i . \quad (1.12)$$

Дисперсія безперервних випадкових величин –

$$D(x) = \int_{-\infty}^{\infty} (x - m_x)^2 f(x) dx. \quad (1.13)$$

Дисперсія величин за біноміального розподілу –

$$D(x) = n \cdot p \cdot q . \quad (1.14)$$

Середнє квадратичне відхилення –

$$\sigma_x = \sqrt{D_x} . \quad (1.15)$$

### Приклади розв'язання задач

**Приклад 1.1.** Під час обстеження 100 розприскувачів виявлено  $X$  бракованих виробів. Ймовірність появи бракованого виробу – 0,01. Визначити математичне очікування, дисперсію та середню кількість бракованих розприскувачів.

#### Розв'язання:

Закон розподілення для даної системи – біноміальний. Математичне очікування для такої системи:

$$m_x = n \cdot p = 100 \cdot 0,01 = 1 \text{ розприскувач.}$$

Дисперсія

$$D(X) = n \cdot P \cdot q = 100 \cdot 0,01 \cdot 0,99 = 0,99 .$$

Середнє квадратичне відхилення

$$\sigma_x = \sqrt{D} = \sqrt{0,99} = 0,99 \approx 1 \text{ розприскувач.}$$

### Варіанти задач для розв'язання

Задача № 1.1. Визначити математичне очікування  $m_x$ , дисперсію  $D(X)$ , і середнє квадратичне відхилення  $\sigma_x$  кількості бракованих розприскувачів біофільтра.

**Таблиця 1.1** – Варіанти завдань

Вихідні данні	Номери варіантів				
	1	2	3	4	5
Імовірність, P	0,05	0,08	0,12	0,15	0,20
Кількість розприскувачів, n	80	120	150	175	200



Задача № 1.2 Визначити математичне очікування появи події, q.

Вихідні дання	Номери варіантів				
	1	2	3	4	5
Імовірність появи події, q	0,02	0,04	0,06	0,08	0,1

**Практичне заняття 2 Відмова. Спостереження і оцінка їх результатів**

Відмови системи (події, що полягають у порушенні нормального виконання нею функцій водопостачання та водовідведення об'єкта) досить різноманітні. Ушкодження будь-якого елемента або споруди системи впливає на якість функціонування системи в цілому. Масштаби цього впливу визначаються роллю й значенням елемента, що відмовив.

Поняття надійності об'єкта включає наступні властивості: безвідмовність, довговічність, ремонтпридатність, здатність до збереження, а також ефективність.

Технічні системи залежно від параметрів їхніх елементів можуть перебувати в таких станах:

- справний (працездатний), коли параметри об'єкта відповідають всім вимогам нормативно-технічної й конструкторської документації;
- несправний (непрацездатний), при якому об'єкт не відповідає хоча б одному з вимог нормативно-технічної й конструкторської документації;
- граничний – стан, при якому подальше застосування об'єкта за призначенням неприпустимо або недоцільно, або відновлення його з непрацездатного (несправного) стану недоцільно.

Відмова – це подія, при якому об'єкт переходить у непрацездатний стан.

Ушкодження – об'єкт переходить у несправний, але працездатний стан.

Параметром потоку відмов  $\omega(t)$  називається відношення числа елементів, що відмовили, в одиницю часу до числа випробовуваних елементів за умови, що всі елементи, що вийшли з ладу, замінюються справними:

$$\omega(t) = \frac{n_{\Delta t}}{N \Delta t}, \quad (2.1)$$

де  $n_{\Delta t}$  – число елементів, що відмовили, в інтервалі часу t;

$N$  – кількість випробовуваних елементів;

$\Delta t$  – величина інтервалу часу.

Іноді  $\varpi(t)$  називають середньою частотою відмов.

За визначенням  $\varpi(t)$  за величиною подібна до величини  $\lambda(t)$ , однак теоретично доведено, що  $\varpi(t) = \lambda(t)$  тільки при  $\lambda(t) = const$ . Численні дослідні дані свідчать, що функція  $\lambda(t)$  має три характерні періоди (рис. 2.1).

Перший період від 0 до  $T_n$ , є періодом припрацювання коли відмовляють ті елементи, які мають серйозні дефекти. Інтенсивність відмов досить велика, але швидко зменшується. Час  $T_n$  називається періодом припрацювання.

Другий період від  $T_n$  до  $T_u$  називають періодом нормальної роботи. Він характеризується невеликою постійною величиною інтенсивності відмов. Час  $T_u$  називають часом початку старіння й зношування.

Третій період при  $t > T_u$  є періодом старіння та зношування елементів. Термін служби елементів повинен прийматися не більш ніж  $T_u$ . Тоді при невеликій величині періоду припрацювання можна вважати  $\omega$  величиною постійною, і звідси можна вважати  $\varpi(t) = \lambda(t) = const$ . Така залежність характерна для ремонтованих і неремontованих виробів у більшості технічних систем.

2. Наробітком на відмову  $t_{cp}$  називають середнє значення часу роботи елементів між сусідніми відмовами:

$$t_{cp} = \frac{\sum_{i=1}^n t_i}{n}, \quad (2.3)$$

де  $t_{cp}$  – час справної роботи елемента між  $i$ -ю та  $i+1$ -ю відмовами;

$n$  – кількість відмов за якийсь час  $t$  (період спостережень).



Рисунок 2.1 – Характерна залежність інтенсивності зношування від часу експлуатації

### Приклади розв'язання задач

**Приклад 2.1.** Під час випробовування обладнання було зареєстровано 10 відмов. До початку випробовування обладнання пропрацювало 200 годин. Загальне напрацювання обладнання становить 2 000 годин. Визначити середнє напрацювання на відмову.

#### Розв'язання

Тривалість випробування

$$t = t_1 - t_2 = 2000 - 200 = 1800 \text{ годин.}$$

Середнє напрацювання на відмову:

$$t_{cp} = \frac{\sum_{i=1}^n t_i}{n} = \frac{1800}{10} = 180 \text{ ГОДИН.}$$

**Приклад 2.2.** Під час спостереження за роботою трьох зрошувальних установок було зареєстровано: щодо першої установки – 10 відмов, щодо другої – 12, щодо третьої – 9. Напрацювання першої установки становить – 200 годин, другої – 240 годин, третьої – 180 годин. Визначити середнє напрацювання на відмову для зрошувальних установок.

### Розв'язання

Загальне напрацювання установок –

$$t_{\Sigma} = \sum_{j=1}^N \sum_{i=1}^{n_j} t_{ij} = 200 + 240 + 180 = 620 \text{ годин.}$$

Загальна кількість відмов –

$$n_{\Sigma} = \sum_{j=1}^N n_j = 10 + 12 + 9 = 31 \text{ відмова.}$$

Середнє напрацювання н відмову –

$$t_{cp} = \frac{\sum_{j=1}^N \sum_{i=1}^{n_j} t_{ij}}{\sum_{j=1}^N n_j} = \frac{620}{30} = 20 \text{ годин.}$$

**Приклад 2.3.** Під час випробовування фільтрувальної установки, до складу якої входить 15 фільтрів, встановлено, що за перші 24 години відмовило 6 штук, за наступні 25 днів відмовило 2 фільтри, за останні 4 доби відмовило 5. Весь період експлуатації склав 30 днів. Визначити параметр потоку відмов за період напрацювання (24 години). Напрацювання на відмову в період нормальної роботи, і середнє напрацювання за весь час експлуатації. Згідно з даними задачі побудуйте графік залежності і інтенсивності зношування від часу експлуатації.

### Розв'язання

$$\omega(t) = \frac{n_{\Delta t}}{N \Delta t} = \frac{6}{15 \cdot 24} = 0,017 ,$$

$$t_{cp} = \frac{\sum_{i=1}^n t_i}{n} = \frac{24 \cdot 25}{2} = 300 \text{ годин} ,$$

$$t_{cp} = \frac{\sum_{i=1}^n t_i}{n} = \frac{720}{13} = 55,3 \text{ години} .$$

## Варіанти задач для розв'язання

Таблиця 2.1. – Варіанти завдань

Вихідні дані	Номери варіантів				
	1	2	3	4	5
Загальне напрацювання установки на відмову $t_1$ , год	1 500	1 700	1 900	1 800	2 000
Час роботи установки до початку випробовування $t_2$ , год	150	170	190	200	210
Кількість відмов, $n$	5	7	9	11	13

**Задача № 2.2.** Визначити середнє напрацювання на відмову для розприскувача установок зрошувальної системи.

Вихідні дані	Номери варіантів				
	1	2	3	4	5
Напрацювання першої установки на відмову $t_1$ , год	150	170	190	210	230
Напрацювання другої установки на відмову $t_2$ , год	190	210	230	250	270
Напрацювання третьої установки на відмову $t_3$ , год	165	175	185	195	205
Кількість відмов по першій установці, $n$	5	7	9	11	13
Кількість відмов по другій установці, $n$	7	9	11	13	15
Кількість відмов по третій установці, $n$	8	10	12	14	16

**Задача № 2.3.** Визначити параметр потоку відмов за період напрацювання. Напрацювання на відмову в період нормальної роботи, і середнє напрацювання за весь час експлуатації. Згідно даних задачі побудувати графік залежності і інтенсивності зносу від часу експлуатації.

Вихідні данні	Номери варіантів				
	1	2	3	4	5
Період нормальної роботи $t_1$ , год	1 440	720	2 160	1 200	480
Період інтенсивного старіння та зношування $t_1$ , год	240	480	360	864	480
Період напрацювання $t_1$ , год	25	48	24	56	64
Кількість насосів, $N$	10	20	47	15	28
Кількість відмов в період напрацювання, $n$	2	2	11	4	5
Кількість відмов в період нормальної роботи, $n$	1	3	5	2	2
Кількість відмов в період інтенсивного старіння та зношування, $n$	8	10	23	5	7

Результати спостережень за об'єктами техніки є випадковими величинами, оскільки залежать від випадкової комбінації різних факторів.

Випадкові величини можуть бути безперервними або дискретними.

Безперервна випадкова величина може приймати будь-яке чисельне значення. Дискретна ж приймає тільки цілі значення. Наприклад, число аварій може бути тільки цілим. Випадкова величина позначається (X).

Однією зі статистик є середнє або середньоарифметичне значення вимірів –  $(\bar{x})$ , якщо випадкова величина позначена через  $x$  і називається математичним очікуванням. Якщо вибірка містить всю генеральну сукупність, то середнє значення  $\bar{x}$ , позначається  $\mu$ :

$$\bar{x} = \sum_{i=1}^n \frac{x_i}{n} . \quad (2.4)$$

До характеристик також відносять інтервал значень, медіану, частоту події, імовірність події, дисперсію.

Розглянемо на прикладі, які параметри застосовуються найчастіше і як вони обчислюються.

### Приклади розв'язання задач

#### Приклад 2.4.

Наприклад, у процесі вимірювання терміну служби 50 ртутно-кварцових ламп були отримані такі дані (впорядковані):

$$n = 50$$

3 520	3 710	3 790	3 840	3 890	3 940	3 960	3 980	4 070	4 250
3 570	3 730	3 810	3 850	3 910	3 950	3 960	4 010	4 080	4 280
3 610	3 750	3 810	3 880	3 910	3 950	3 970	4 010	4 130	4 360
3 630	3 770	3 820	3 880	3 910	3 950	3 980	4 020	4 150	4 390
3 670	3 780	3 830	3 880	3 930	3 960	3 980	4 050	4 180	4 460

Тут  $\bar{x} = 3\,854,6$ ,  $\Sigma = 192\,730$ .

Найбільше значення – 4 460

Найменше значення – 3 520

Різниця між максимальним і мінімальним значенням (940) – називається інтервалом або варіацією. Середнє значення цих двох величин називається серединою інтервалу (3 990). Інтервал є характеристикою розкиду значень випадкової величини  $x$ .

Число, що ділить ряд вимірів на дві рівні частини, називається медіаною. У цьому випадку медіаною буде число 3 935, бо воно є середнім між двома центральними 3 930 і 3 940. Якщо  $n$  число непарне, то центральне число і є медіаною.

Існує певна частота появи події на всьому інтервалі виміру, що для зручності розбивають на ряд відрізків, які залежать від кількості вимірів  $n$ . Існують певні рекомендації для вибору інтервалів залежно від кількості числа вимірів, наприклад для  $n = 40 - 100$ ,  $K$  (кількість інтервалів) = 7 – 9;

$$n = 100 - 500, K = 8 - 12\dots;$$

Для простоти і зручності приймаємо  $K = 10$ , а інтервал значень оберемо від 3 500 до 4 500. Потім підрахуємо кількість вимірів, що потрапили в кожний інтервал, ці величини називаються частотою, що спостерігається.

Спостережувану частоту перераховуємо у відносну  $\frac{m_i}{n}$ .

Далі на підставі даних таблиці побудуємо графік змінювання відносної частоти за інтервалами. Отримана діаграма називається гистограмою диференціального розподілу.

#### Результат обробки вимірів терміну служби ртутно – кварцевих ламп

Інтервали	3 500–3 600	3 600–3 700	3 700–3 800	3 800–3 900	3 900–4 000	4 000–4 100	4 100–4 200	4 200–4 300	4 300–4 400	4 400–4 500
Спостережувана частота, $m_i$	2	3	6	0	5	6	3	2	2	1
Відносна частота, $m_i/n$	0,04	0,06	0,12	0,20	0,30	0,12	0,06	0,04	0,04	0,02
Накопичена частота, $\sum m_i/n$	0,04	0,10	0,22	0,42	0,72	0,84	0,90	0,94	0,98	1,00

Ордината на графіку називається відносною частотою. Якщо гістограма будується на основі генеральної сукупності, то відносна частота буде ймовірністю потрапляння виміру усередину певного інтервалу. У цьому випадку число інтервалів повинне бути нескінченно великим, а ширина дуже малою і ламана лінія перетвориться в криву – функцію розподілу щільності ймовірностей  $f(x)$ .

Значення  $x$ , при якому  $f(x)$  досягає максимального значення називається модою розподілу.

За звичай мода відповідає величині, що найбільш часто зустрічається у вимірах. Якщо відносні частоти підсумувати від інтервалу до інтервалу, то одержуємо накопичені частоти. Ламана лінія, що відбиває зміни накопиченої частоти називається *гістограмою інтегрального розподілу*.

### Варіанти задач для розв'язання

**Задача № 2.4.** Результат випробувань терміну функціонування засипки побутових фільтрів.

$$n = 50$$

2 220	2 380	2 340	2 590	2 660	2 740	2 820	2 920	3 010	3 090
2 250	2 420	2 560	2 590	2 680	2 750	2 830	2 940	3 020	3 120
2 290	2 470	2 560	2 610	2 710	2 770	2 840	2 950	3 020	3 150
2 320	2 510	2 560	2 620	2 710	2 780	2 860	2 970	3 050	3 170
2 350	2 530	2 580	2 640	2 730	2 790	2 880	2 990	3 070	3 190

**Задача № 2.5.** Результат випробувань терміну функціонування насосної станції

$$n = 50$$

1 110	1 200	1 310	1 390	1 470	1 530	1 570	1 650	1 750	1 890
1 120	1 220	1 330	1 410	1 490	1 540	1 580	1 660	1 770	1 920
1 140	1 240	1 340	1 420	1 510	1 540	1 590	1 680	1 790	1 950
1 150	1 260	1 350	1 440	1 520	1 550	1 620	1 710	1 830	1 970
1 180	1 280	1 370	1 450	1 520	1 550	1 640	1 730	1 850	1 990

Побудувати гістограму диференціального розподілення і визначити яка ймовірність того, що термін служби елемента не буде перевищувати 1 500 годин.



**Задача № 2.6.** Результат випробувань терміну функціонування водопроводів.

$$n = 30$$

3 610	3 670	3 720	3 760	3 820	3 880	3 930	3 990	4 070	4 120
3 620	3 690	3 730	3 780	3 840	3 890	3 950	4 010	4 090	4 140
3 640	3 710	3 740	3 790	3 860	3 910	3 970	4 040	4 110	4 150

Побудувати гістограму диференціального розподілення

**Задача № 2.7.** Результат випробувань терміну функціонування побутових фільтрів.

$$n = 40$$

520	560	590	650	690	730	760	820	930	980
530	560	620	670	710	730	770	860	950	980
540	560	640	670	710	750	780	880	960	990
550	570	640	670	720	760	790	910	970	990

Побудувати гістограму диференціального розподілення і інтегрального розподілення.

**Задача № 2.8.** Результат випробувань терміну функціонування допоміжного обладнання.

$$n = 30$$

740	760	780	820	870	890	960	980	1 050	1 090
740	760	790	840	880	920	960	1 010	1 050	1 090
750	770	810	860	880	940	960	1 030	1 070	1 110

Побудувати гістограму диференціального розподілення і визначити яку ймовірність того, що термін служби елемента не буде перевищувати 1 000 годин.

### **Практичне заняття 3 Показники надійності технічних систем. Види резервування**

Технічні системи складаються з ряду елементів, поєднаних між собою. Елементами вважаються незалежні складові частини, на які можна розбити систему.

Бувають такі види з'єднань: послідовне, паралельне та комбіноване.

Послідовне з'єднання  $n$  елементів у систему характеризується тим, що вихід з ладу одного будь-якого елемента приводить до виходу з ладу всієї системи (рис. 3.1).

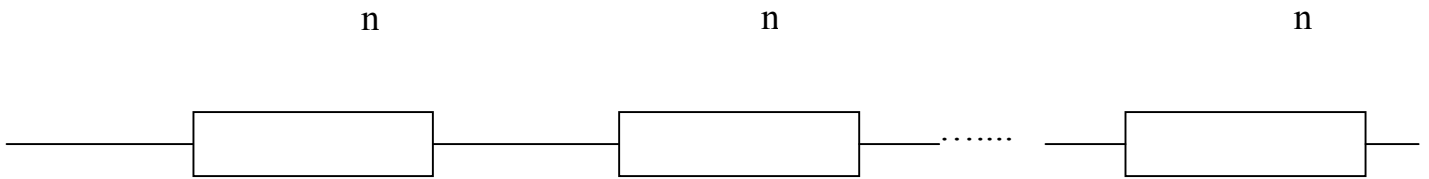


Рисунок 3.1 – Послідовне з'єднання елементів у системі

При паралельному з'єднанні  $n$  елементів до відмови системи приведе відмова всіх елементів (рис. 3.2).

Систему з паралельним з'єднанням називають також системою зі структурним резервуванням елементів (резервованою). Можливі також системи з комбінуванням обох видів з'єднань.

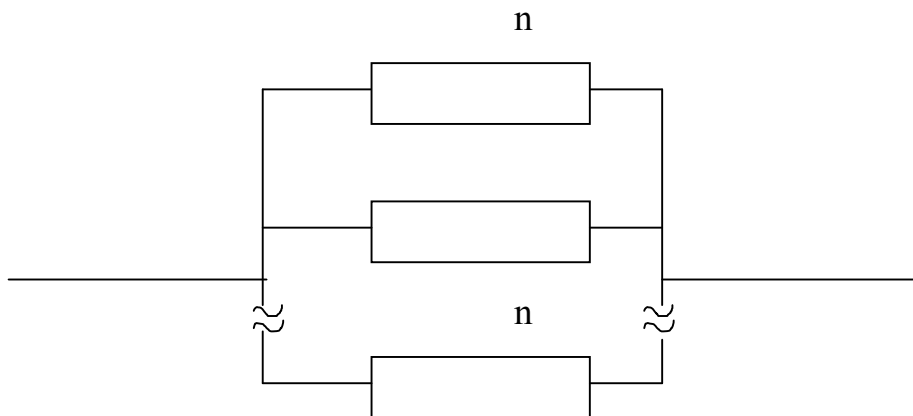


Рисунок 3.2 – Паралельне з'єднання елементів у систему

Резервування є одним з основних методів підвищення надійності технічних пристроїв, який дозволяє, принаймні теоретично, підвищувати надійність виробу до як завгодно великого рівня.

Сукупність основного і резервних елементів називається резервною групою.

При загальному резервуванні підвищення надійності досягається шляхом резервування системи в цілому (рис. 3.3 а), а при роздільному – окремих елементів системи (рис. 3.3 б).

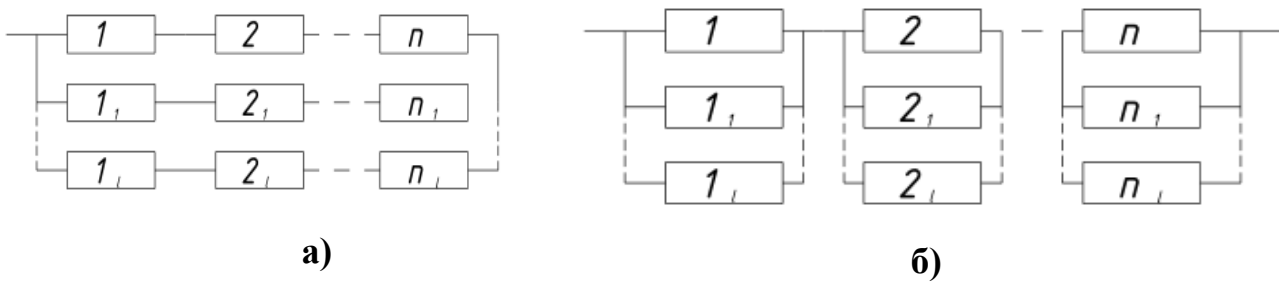


Рисунок 3.3 – Загальне (а) і роздільне (б) резервування

Кратністю резервування називають відношення числа резервних елементів до числа основних, і позначають  $m$ .

Резервування із цілою кратністю означає, що  $m$  є цілим числом, а із дробовою – величина  $m$  є дробовим нескороченим числом. Наприклад  $m = 4/2$  означає резервування із дробовою кратністю, при якому число резервних елементів дорівнює 4, число основних – 2, а загальне число елементів – 6. Якщо скоротити  $4/2 = 2$ , то це вже означає резервування із цілою кратністю, при якому число резервних елементів дорівнює 2, а число основних – 1, загальне число елементів – 3.

За способом включення резерву розрізняють:

- постійне резервування, виконується без перебудови структури у разі виникнення відмови його елемента;
- динамічне резервування, передбачає перебудову структури у разі відмови елемента;

Тимчасове резервування – це спосіб підвищення надійності, при якому системою в процесі функціонування надається можливість витратити якийсь час, званий резервним, для відновлення технічних характеристик. Резерв часу можна витратити на перемикання структурного резерву, виявлення і усунення відмов, повторення робіт, знецінених відмовами, очікування завантаження в працездатному стані. Наприклад тимчасове резервування здійснюється шляхом влаштування, наприклад регулюючих ємностей наприкінці водовода для створення запасу води під час ліквідації аварії.

При резервуванні ймовірність безвідмовної роботи елементів або в цілому всієї системи підвищується. Підвищення  $P_c(t)$  залежить від способу і характеру резервування. Нижче приводяться кілька формул для розрахунку характеристик надійності невідновлюваних зразків при основному з'єднанні елементів, під яким розуміється відмова технічного пристрою при відмові одного з його елементів. При розрахунку надійності таких пристроїв передбачається, що відмова елемента є подією випадковою і незалежною.

Загальне резервування з постійно включеним резервом і із цілою кратністю –

$$P_c(t) = 1 - \left[ 1 - \prod_{i=1}^n P_i(t) \right]^{m+1}, \quad (3.1)$$

де  $P_i(t)$  – ймовірність безвідмовної роботи  $i$ -го елемента протягом часу  $t$ ,

$n$  – число елементів основного або будь-якого резервного ланцюга;

$m$  – кратність резервування.

При експонентному законі надійності

$$P_c(t) = 1 - \left[ 1 - e^{-\lambda_c t} \right]^{m+1}; \quad (3.2)$$

$$T_3 = (1/\lambda_c) \sum_{i=0}^m [1/(i+1)], \quad (3.3)$$

де  $\lambda_c = \sum_{i=1}^n \lambda_i$  – інтенсивність відмов нерезервованої системи.

Роздільне резервування з постійно включеним резервом з цілою кратністю при експонентному законі надійності та ненавантаженому стані резерву –

$$P_c(t) = \prod_{i=1}^n \left\{ 1 - [1 - P_i(t)]^{m_i+1} \right\}, \quad (3.4)$$

або

$$P_c(t) = \left\{ 1 - \left[ 1 - e^{-\lambda t} \right]^{m+1} \right\}^n, \quad (3.5)$$

$$T_3 = \frac{(n-1)!}{\lambda(m+1)} \sum_{i=0}^m \frac{1}{v_i(v_i+1)\dots(v_i+n-1)}, \quad (3.6)$$

де  $v_i = (i+1)/(m+1)$ ;  $i$  - порядковий номер елемента.

Загальне резервування заміщенням із цілою кратністю –

$$P_c(t) = e^{-\lambda_c t} \sum_{i=0}^m \frac{(\lambda_c t)^i}{i!}; \quad (3.7)$$

$$T_{3,c} = T_3(m+1), \quad (3.8)$$

де  $\lambda_c, T_3$  – інтенсивність відмов і середній наробіток до першої відмови основного (нерезервованого) пристрою.

Роздільне резервування заміщенням із цілою кратністю –

$$P_c(t) = \prod_{i=1}^n P_i(t), \quad (3.9)$$

де  $P_i(t)$  – імовірність безвідмовної роботи системи через відмови елементів  $i$ -го типу, резервованих по способі заміщення; обчислюється по формулах загального резервування заміщенням формул (3.7) і (3.8).

Загальне резервування із дробовою кратністю й постійно включеним резервом:

$$P_c(t) = \sum_{i=0}^{l-h} C_l^i P^{l-i}(t)^j C_i^j P_j(t); \quad (3.10)$$

$$T_3 = (1/\lambda) \sum_{i=0}^{l-h} [1/(h+i)], \quad (3.11)$$

де  $P(t)$  – імовірність безвідмовної роботи основного або будь-якого резервного елемента;  $l$  – загальне число основних і резервних систем;  $h$  – число систем, необхідних для нормальної роботи резервованої системи;  $C_l^i$  – число сполучень зі  $l$  зразків по  $i$ . У цьому випадку кратність резервування  $m = (l-h)/h$ .

Імовірність безвідмовної роботи системи дорівнює добутку ймовірностей безвідмовної роботи її елементів –

$$P_c(t) = P_1(t) \cdot P_2(t) \cdot \dots \cdot P_N(t) = \prod_{i=1}^N P_i(t). \quad (3.12)$$

З формули (3.12) видно, що добуток буде тим більше, чим менше елементів ( $P_i < 1$ ). Отже, зниження числа пристроїв приводить до підвищення надійності.

Більше надійне устаткування має менші значення  $\lambda$ . У цьому випадку наробіток до першої відмови буде більшим у пристроїв, у яких  $\lambda$  буде найменшою.

### Приклади розв'язання задач

#### Приклад 3.1.

Визначити імовірність безвідмовної роботи з постійно ввімкненим резервом та з цілою кратністю  $m = 1$  при  $t = 8\,000$  год.

#### Розв'язання:

$$P_c(t) = 1 - [1 - e^{-\lambda t}]^{m+1} = 1 - [1 - 2,72 \cdot 10^{-4} \cdot 8000]^2 = 0,72;$$

$$P_c(t) = 1 - [1 - e^{-2,06 \cdot 10^{-4} \cdot 8000}]^2 = 0,36.$$

#### Приклад 3.2.

Визначити надійність автомобіля (системи) при русі на задану відстань, якщо відомі надійності наступних підсистем: системи запалювання  $p_1 = 0,99$ ; системи живлення паливом і змащенням  $p_2 = 0,999$ ; системи охолодження  $p_3 = 0,998$ ; двигуна  $p_4 = 0,985$ ; ходової частини  $p_5 = 0,997$ .

#### Розв'язання:

Відомо, що відмова будь-якої підсистеми приводить до відмови автомобіля. Для визначення надійності автомобіля використовуємо формулу (3.12)

$$P = P_1 \cdot P_2 \cdot P_3 \cdot P_4 \cdot P_5 = 0,99 \cdot 0,999 \cdot 0,998 \cdot 0,985 \cdot 0,997 = 0,979$$

### Приклад 3.3.

Технічна система призначена для виконання деякого завдання. З метою забезпечення працездатності система спроектована зі змішаним сполучення елементів (рис. 3.4).

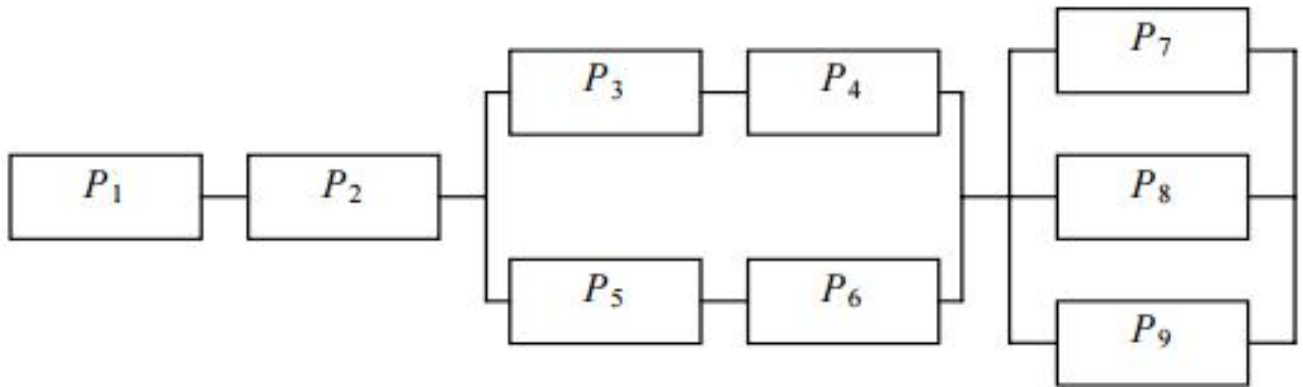


Рисунок 3.4 – Змішане сполучення елементів

Визначити надійність системи, якщо відомо, що надійність її елементів дорівнює:

$$p_1=0,99; p_2=0,98; p_3=0,9; p_4=0,95; p_5=0,9; p_6=0,9; p_7=0,8; p_8=0,75; p_9=0,7.$$

#### Розв'язання:

При розрахунку надійності скористаємося формулами як для послідовного, так і для паралельного з'єднання елементів:

$$P = P_1 \cdot P_2 \cdot [1 - 1 - (1 - P_3 \cdot P_4)(1 - 1 - P_5 \cdot P_6)] [1 - 1 - (1 - P_7)(1 - 1 - P_8)(1 - 1 - P_9)] = 0,99 \cdot 0,98 [1 - 1 - (1 - 0,9 \cdot 0,95)(1 - 1 - 0,9 \cdot 0,9)] [1 - 1 - (1 - 0,8)(1 - 1 - 0,75)(1 - 1 - 0,7)] = 0,927$$

При розрахунку надійності дану систему представляють у вигляді структурної схеми з елементами, відмова яких приводить до відмови всієї системи, зображуються послідовно, а резервні елементи або ланцюги - паралельно. Варто мати на увазі, що конструктивне оформлення елементів, їх послідовне або паралельне з'єднання в конструкції ще не означає аналогічного зображення в структурній схемі надійності. Різницю між конструктивною (монтажною) і структурною схемами можна показати на прикладі роботи двох фільтрів гідросистеми, які для підвищення надійності роботи системи можуть бути встановлені послідовно або паралельно. Відмова фільтра може відбутися в результаті двох основних причин - засмічення сітки і її розриву.

## Варіанти задач для розв'язання

Таблиця 3.1 – Варіанти завдань

Вихідні данні	Номери варіантів			
	1	2	3	4
Надійність елементів	$p1=0,98;$ $p2=0,99;$ $p3=0,89;$ $p4=0,92;$ $p5=0,9; p6=0,9;$ $p7=0,9;$ $p8=0,85;$ $p9=0,75.$	$p1=0,92;$ $p2=0,96;$ $p3=0,9;$ $p4=0,93;$ $p5=0,9;$ $p6=0,94;$ $p7=0,82;$ $p8=0,96;$ $p9=0,7.$	$p1=0,94;$ $p2=0,93;$ $p3=0,9;$ $p4=0,98;$ $p5=0,9;$ $p6=0,91;$ $p7=0,8;$ $p8=0,83;$ $p9=0,7.$	$p1=0,96;$ $p2=0,96; p3=0,96;$ $p4=0,95; p5=0,9;$ $p6=0,86; p7=0,81;$ $p8=0,79; p9=0,74.$

### Приклад 3.5.

У компресорній станції встановлені дві повітродувки, одна з яких є ненавантаженим резервом. Інтенсивність відмови кожної повітродувки –  $1,2 \cdot 10^{-4}$  1/година. Система підкорюється експоненціальному закону розподілення. Визначити ймовірність безвідмовної роботи системи з резервом і без резерву, а також середній час безвідмовної роботи за 5 000 годин.

#### Розв'язання:

Система із загальним резервуванням заміщенням із цілою кратністю. Тоді ймовірність безвідмовної роботи системи без резерву.

$$P(t) = e^{-\lambda \cdot t} = e^{-1,2 \cdot 10^{-4} \cdot 5000} = 0,55 .$$

Ймовірність безвідмовної роботи резервованої системи

$$P(t) = e^{-\lambda \cdot t} \sum_{i=0}^m \frac{(\lambda \cdot t)^i}{i!} = e^{-\lambda \cdot t} (1 + \lambda \cdot t) = e^{-1,2 \cdot 10^{-4} \cdot 5000} (1 + 1,2 \cdot 10^{-4} \cdot 5000) = 0,96 .$$



Середній час безвідмовної роботи системи

$$T_c = \frac{1}{\lambda_0} (m + 1) = \frac{1}{1,2 \cdot 10^{-4}} (1 + 1) = 16667 \text{ годин.}$$

### Варіанти задач для розв'язання

Таблиця 3.2 – Варіанти завдань

Вихідні данні	Номери варіантів				
	1	2	3	4	5
Інтенсивність відмови повітродувки $\lambda$ , 1/год	$1,22 \cdot 10^{-4}$	$1,25 \cdot 10^{-4}$	$1,1 \cdot 10^{-4}$	$1,15 \cdot 10^{-4}$	$1,29 \cdot 10^{-4}$
Кратність резервування, m	1	1	1	1	1
Період роботи системи t, год.	4 000	4 200	4 400	4 600	4 800

### Приклад 3.6.

На фільтрувальній станції встановлені два фільтра (катіонітний і аніонітний). Інтенсивність відмови фільтрів -  $0,2 \cdot 10^{-4}$  1 / год і  $0,4 \cdot 10^{-4}$  1 / год. Кожен фільтр має резервний. Визначити ймовірність безвідмовної роботи системи за 1000 годин.

#### Розв'язання:

Система з роздільним резервуванням заміщенням, тоді ймовірність безвідмовної роботи системи:

$$P(t) = \prod_{i=1}^m P_i(t) = P_1(t) \cdot P_2(t).$$

Імовірність безвідмовної роботи катіонітових фільтрів:

$$P(t) = e^{-\lambda \cdot t} \sum_{i=0}^m \frac{(\lambda \cdot t)^i}{i!} = e^{-\lambda \cdot t} (1 + \lambda \cdot t) = e^{-0,2 \cdot 10^{-4} \cdot 1000} (1 + 0,2 \cdot 10^{-4} \cdot 1000) = 0,99$$

Імовірність безвідмовної роботи аніонітових фільтрів

$$P_2(t) = e^{-\lambda \cdot t} \sum_{i=0}^m \frac{(\lambda \cdot t)^i}{i!} = e^{-\lambda \cdot t} (1 + \lambda \cdot t) =$$

$$e^{-0,4 \cdot 10^{-4} \cdot 1000} (1 + 0,4 \cdot 10^{-4} \cdot 1000) = 0,99$$

Тоді:

$$P(t) = 0,99 \cdot 0,99 = 0,98.$$

### Варіанти задач для розв'язання

Таблиця 3.3 – Варіанти завдань

Вихідні данні	Номери варіантів				
	1	2	3	4	5
Інтенсивність відмови катіонітного фільтра $\lambda$ , 1/год	$0,2 \cdot 10^{-4}$	$0,2 \cdot 10^{-4}$	$0,2 \cdot 10^{-4}$	$0,2 \cdot 10^{-4}$	$0,2 \cdot 10^{-4}$
Інтенсивність відмови аніонітного фільтра $\lambda$ , 1/год	$0,4 \cdot 10^{-4}$	$0,4 \cdot 10^{-4}$	$0,4 \cdot 10^{-4}$	$0,4 \cdot 10^{-4}$	$0,4 \cdot 10^{-4}$
Період безвідмовної роботи $t$ , год.	700	900	1 100	1 300	1 500

### Приклад 3.7.

Система складається з 12 600 елементів, середня інтенсивність відмов  $\lambda_{\text{серед}} = 0,32 \cdot 10^{-6}$  1/год. Необхідно визначити ймовірність безвідмовної роботи протягом 50 годин.

### Розв'язання:

Інтенсивність відмов системи визначається за формулою:

$$\lambda_{\text{сис}}(t) = \lambda_{\text{серед}} \cdot n = 0,32 \cdot 10^{-6} \cdot 12600 = 4,032 \cdot 10^{-3} \text{ 1/год, тоді}$$

$$P_{\text{сис}}(t) = e^{-\lambda_{\text{сис}} \cdot t} = e^{-4,032 \cdot 10^{-3} \cdot 50} = 0,82$$

### Варіанти задач для розв'язання

Таблиця 3.3 – Варіанти завдань

Вихідні данні	Номери варіантів				
	1	2	3	4	5
Середня інтенсивність відмов, 1/год	$0,3 \cdot 10^{-6}$	$0,22 \cdot 10^{-6}$	$0,32 \cdot 10^{-6}$	$0,32 \cdot 10^{-6}$	$0,32 \cdot 10^{-6}$
Час роботи, год	55	62	35	70	105
Кількість елементів	13 000	12 500	10 200	14 150	9 500

### Приклад 3.8.

Система складається з 10 рівнонадійних елементів, середній час безвідмовної роботи елемента  $t = 1\ 000$  годин. Передбачається, що справедливий експоненціальний закон надійності для елементів системи і основна та резервна системи рівнонадійні. Необхідно знайти середній час безвідмовної роботи системи  $t_c$ , а також частоту відмов  $a(t)$  і інтенсивність відмов  $\lambda_c(t)$  в момент часу  $t = 50$  годин, якщо система є нерезервованою –

$$\lambda_c = \sum_{i=1}^n \lambda_i,$$

де  $\lambda_c$  – інтенсивність відмови системи;

$\lambda_i$  – інтенсивність відмов  $i$ -го елемента.

#### Розв’язання:

$$\lambda_i = \frac{1}{T_i} = \frac{1}{1000} = 0,001$$

$$\lambda_c = \lambda n = 0,001 \cdot 10 = 0,01 \text{ 1/год}$$

$$T_c = \frac{1}{\lambda_c} = \frac{1}{0,01} = 100 \text{ год}$$

$$a(t) = \lambda_t \cdot P_t;$$

$$P_t = e^{-\lambda_c t}$$

$$a(t) = 0,001 \cdot 2,72^{-0,01 \cdot 50} = 6 \cdot 10^{-3} \text{ 1/год}$$

#### Варіанти задач для розв’язання

Таблиця 3.5 – Варіанти завдань

Вихідні данні	Номери варіантів				
	1	2	3	4	5
Кількість рівнонадійних елементів	20	25	45	8	12
Середній час безвідмовної роботи	900	1200	1500	700	850
Час, год	100	150	125	80	60

## Показники надійності технічних систем

Показники кількісно характеризують надійність об'єкта. Вид залежностей для обчислення параметрів надійності визначається конфігурацією і умовами експлуатації системи. Варто розрізняти за цією ознакою такі види об'єктів:

невідновлювальні – це об'єкти, які в процесі експлуатації не підлягають ремонту; при відмові такого об'єкта робота всієї системи буде порушена (наприклад, відмова греблі викликає відмову системи водопостачання);

відновлюваними є об'єкти, які при виконанні своїх функцій допускають ремонт (автомобілі, насоси).

Надійність оцінюється наступними параметрами:

1. Імовірність безвідмовної роботи  $P(t)$ :

$$P(t) = \frac{N_o - n_t}{N_o}, \quad (3.13)$$

де  $N_o$  – кількість однотипних об'єктів на початку періоду випробувань  $t$  (наприклад, число однотипних насосів, машин і т.п.);

$n_t$  – число елементів, що відмовили за час  $t$ .

Індекс  $P(t)$  означає, що це статистична оцінка, а не сам параметр, тому що для одержання значення параметра необхідно, щоб  $N_o \rightarrow \infty$ . Завжди  $P(t) \leq 1$ .

Наприклад, якщо через рік після початку робіт з 500 одиниць устаткування відмовило 100, то:

$$P(t) = \frac{500 - 100}{500} = 0,8 .$$

2. Імовірністю відмови  $Q(t)$  називається імовірність того, що за певних умов експлуатації протягом заданого інтервалу часу  $T$  виникає хоча б одна відмова. Відмова і безвідмовна робота є несумісними і протилежними подіями. Імовірність відмови являє собою різницю –

$$Q(t) = 1 - P(t) . \quad (3.14)$$

Для обчислення імовірності відмови за даними спостережень використовується формула:

$$Q(t) = \frac{n_t}{N_0} . \quad (3.15)$$

Для умов приклада для визначення  $P(t)$  імовірність відмови:

$$Q(t) = \frac{100}{500} = 0,2 .$$

3. Частота відмов  $a(t)$  являє собою відношення числа елементів, що відмовили за одиницю часу до початкового числа елементів:

$$a(t) = \frac{n_{\Delta t}}{N_0 \cdot \Delta t} , \quad (3.17)$$

де  $n_{\Delta t}$  – число елементів, що відмовили, в інтервалі  $\Delta t$  часу ;

$\Delta t$  – величина тимчасових інтервалів, на які розбитий період спостереження  $t$ .

Частота відмов має розмірність, зворотну часу (1/рік або 1/міс.).

4. Інтенсивністю відмов –  $\lambda(t)$  називається відношення числа елементів, що відмовили, в одиницю часу до середнього числа елементів, що справно працювали в даний відрізок  $\Delta t$  часу .

$$\lambda(t) = \frac{n_{\Delta t}}{N_{cp} \cdot \Delta t} . \quad (3.18)$$

$$N_{cp} = \frac{N_i + N_{i+1}}{2} ,$$

де  $N_i$  і  $N_{i+1}$  – число справно–працюючих елементів, на початку і наприкінці відрізка часу  $\Delta t$ .

Інтенсивність відмов також має розмірність, зворотну часу  $t$  (1/рік), тобто шт./рік.

Теоретично ж інтенсивність відмов являє собою умовну імовірність відмови елементів і інтервалі часу  $(t; t + \Delta t)$  за умови, що до моменту часу  $t$  елементи працювали безвідмовно –

$$\lambda(t) = \frac{a(t)}{P(t)} = \frac{f(t)}{P(t)} = -\frac{P'(t)}{P(t)} = -\frac{dP}{dtP(t)}, \quad (3.19)$$

5. Середнім наробітком до першої відмови або середнім часом безвідмовної роботи  $T_{cp}$ :

$$T_{cp} = \frac{\sum_{i=1}^{N_0} t_i}{N_0}, \quad (3.20)$$

де  $t_i$  – час безвідмовної роботи  $i$ -го елемента (до першої відмови).

### Приклад 3.9.

Каналізаційна мережа складається з 85 ділянок. Тривалість експлуатації мережі 12 років, вона підпорядковується експоненціальному закону з параметром  $\lambda = 0,25 \cdot 10^{-4}$  1 /год. Визначте імовірність безвідмовної роботи, частоту відмов і кількість відмов. Вкажіть кілька способів підвищення надійності каналізаційної мережі.

#### Розв'язання:

$$P(t) = e^{-\lambda t} = 2,73^{-0,25 \cdot 10^{-4} \cdot 12 \cdot 365 \cdot 24} = 0,071$$

$$\lambda(t) = \frac{a(t)}{P(t)} \quad a(t) = \lambda(t) \cdot P(t) = 0,25 \cdot 10^{-4} \cdot 0,071 = 1,78 \cdot 10^{-6}$$

$$n(t) = N_0 \cdot Q(t) = 85 \cdot (1 - 0,071) = 79$$

#### Варіанти задач для розв'язання

Вихідні данні	Номери варіантів				
	1	2	3	4	5
Кількість ділянок, n	50	70	35	120	89
Тривалість експлуатації, рік	10	20	15	19	25
Інтенсивність відмов, $\lambda$	$0,25 \cdot 10^{-4}$				

### Приклад 3.10.

У зонній системі водопостачання будівлі встановлені дві різнотипних насоса. Інтенсивність відмови першого насоса –  $1,2 \cdot 10^{-4}$  1 / год ,

другий  $-2 \cdot 10^{-4}$  1 / год. Визначте середній час і ймовірність безвідмовної роботи системи протягом 300 годин.

**Розв’язання:**

Умовно вважаємо, що система складається з двох невідновлювальних елементів, робота до відмови яких підпорядковується експоненціальному закону, тоді ймовірність безвідмовної роботи системи:

$$P(t) = e^{-\lambda t} = 2,73^{-(1,2 \cdot 10^{-4} + 2 \cdot 10^{-4}) \cdot 300} = 0,91$$

Середній час безвідмовної роботи системи:

$$T_c = \frac{1}{\lambda_c} = \frac{1}{1,2 \cdot 10^{-4} + 2 \cdot 10^{-4}} = 3125 \text{ год}$$

**Варіанти задач для розв’язання**

Вихідні данні	Номери варіантів				
	1	2	3	4	5
Інтенсивність відмови 1 насосу, $\lambda$	$1,3 \cdot 10^{-4}$	$1,4 \cdot 10^{-4}$	$1,7 \cdot 10^{-4}$	$1,25 \cdot 10^{-4}$	$1,1 \cdot 10^{-4}$
Інтенсивність відмови 2 насосу, $\lambda$	$3,2 \cdot 10^{-4}$	$1,5 \cdot 10^{-4}$	$2,5 \cdot 10^{-4}$	$4 \cdot 10^{-4}$	$3 \cdot 10^{-4}$
Час роботи, год	350	120	240	820	760

**Приклад 3.11.**

Трубопровід діаметром 400 мм і 600 мм для передачі води з фільтрувальної станції населенню, прокладений в різні райони міста на глибині 1,7 і 2,1 м, відповідно протяжність даного водоводу 50 км, кожен складається з 15 ділянок. У першому випадку (400 мм) на 3-х ділянках було зафіксовано відмову, у другому випадку на 1 ділянці. Визначити ймовірність безвідмовної роботи і частоту відмови водоводу з діаметром 400 мм і 600 мм, за умови, що час до відмови в першому випадку перевищує в 10 разів час необхідний для ліквідації аварій, а в другому випадку в 7 разів.

Діаметр трубопроводу, мм	Час, необхідний для ліквідації аварій на трубопроводі (год.), при глибині залягання, м	
	до 2-х м	>2м
<400	8	12
400-1200	12	18
>1200	18	24

**Розв'язання:**

$$P(120) = \frac{N_o - n_t}{N_o} = \frac{15 - 3}{15} = 0,8$$

$$P(90) = \frac{N_o - n_t}{N_o} = \frac{15 - 1}{15} = 0,93$$

$$a(120) = \frac{n_{e,\Delta t}}{N_{om} \cdot \Delta t} = \frac{3}{15 \cdot 120} = 1,6 \cdot 10^{-3}$$

$$a(90) = \frac{n_{e,\Delta t}}{N_{om} \cdot \Delta t} = \frac{1}{15 \cdot 90} = 7,4 \cdot 10^{-4}$$

**Варіанти задач для розв'язання**

Таблиця 3.6 – Варіанти завдань

Вихідні данні	Номери варіантів				
	1	2	3	4	5
Для першого випадку					
Діаметр трубопроводу	500	600	700	1 250	1 300
Глибина залягання, м	1,9	2,0	1,8	2,2	2,5
Кількість відмов, п	2	3	1	5	4
Час до відмови, (кількість разів )	5	7	9	10	2
Для другого випадку					
Діаметр трубопроводу	400	600	1 000	1 400	1 500
Глибина залягання, м	1,4	1,6	1,9	2,2	2,6
Кількість відмов, п	3	2	5	7	1
Час до відмови, (кількість разів )	5	6	2	3	4

**Приклад 3.12.**

При спостереженні за роботою 4-х фільтрувальних установок котеджного типу для очистки підземних вод було зареєстровано по 1-шій установці 7 відмов, при цьому до початку випробування установка пропрацювала 20 годин, загальне напрацювання складає 70 годин, по 2-й – 5 відмов, і до випробування установка не працювала, напрацювання 80 годин, по 3-й – 2 відмови, причому до початку випробування установка пропрацювала 10 годин, а загальне напрацювання 70 годин, по 4-й – 6 відмов и до випробування установка пропрацювала 1 годину, а загальне напрацювання 46 годин.

Визначте середнє напрацювання на відмову для фільтрувальних установок.



Розв'язання:

Тривалість випробувань для 1 установки  $t = t_1 - t_2 = 70 - 20 = 50$  годин

Тривалість випробувань для 2 установки  $t = 80$  годин

Тривалість випробувань для 3 установки  $t = t_1 - t_2 = 70 - 10 = 60$  годин

Тривалість випробувань для 4 установки  $t = t_1 - t_2 = 46 - 1 = 45$  годин.

$$\sum t = 50 + 80 + 60 + 45 = 235 \text{ годин}$$

$$\sum n = 7 + 5 + 2 + 6 = 20 \text{ відмов}$$

$$t_{cp} = \frac{\sum_{i=1}^n t_i}{n} = \frac{235}{20} = 12 \text{ годин}$$

### Варіанти задач для розв'язання

Таблиця 3.7 – Варіанти завдань

Вихідні данні	Номери варіантів				
	1	2	3	4	5
Кількість відмов по 1 установці, n	6	5	2	3	8
Кількість відмов по 2 установці, n	5	4	3	8	7
Кількість відмов по 3 установці, n	1	5	2	3	7
Кількість відмов по 4 установці, n	10	9	11	6	5
Кількість годин до початку роботи/загальне напрацювання по 1 установці, год	30/80	5/15	0/60	5/100	10/35
Кількість годин до початку роботи/загальне напрацювання по 2 установці, год	5/20	1/95	25/60	5/60	30/250
Кількість годин до початку роботи/загальне напрацювання по 3 установці, год	10/100	0/100	20/220	25/80	10/90
Кількість годин до початку роботи/загальне напрацювання по 4 установці, год	20/120	25/300	1/96	0/50	5/95

### Приклад 3.13.

Зміна пропускної здатності фільтра підпорядковується експоненціальному закону з параметром  $\lambda = 1,25 \cdot 10^{-4}$  1/год. Визначити

імовірність безвідмовної роботи системи , частоту відмов і середній наробіток до першої відмови за 120 годин. Під час роботи фільтр не регенерувався.

**Розв’язання:**

Імовірність безвідмовної роботи фільтра –

$$P(t) = e^{-\lambda \cdot t} = e^{-1,25 \cdot 10^{-4} \cdot 120} = 0,98.$$

Частота відмови –

$$a(t) = \lambda(t) \cdot P(t) = 1,25 \cdot 10^{-4} \cdot 0,98 = 1,23 \cdot 10^{-4} \text{ 1/год.}$$

Напрацювання до першої відмови –

$$T = \frac{1}{\lambda} = \frac{1}{1,25 \cdot 10^{-4}} = 8000 \text{ год.}$$

**Варіанти задач для розв’язання**

Вихідні данні	Номер варіантів				
	1	2	3	4	5
Інтенсивність відмов, $\lambda$	$1,2 \cdot 10^{-4}$	$1,3 \cdot 10^{-4}$	$1,45 \cdot 10^{-4}$	$1,65 \cdot 10^{-4}$	$1,15 \cdot 10^{-4}$
Час роботи, год	120	150	320	60	80

**Приклад 3.14.**

Для досліджень на трубопровід встановили 100 однакових розприскувачів. Конструкція розприскувачів дозволяє проводити їх прочищення, тому ті, що вийшли з ладу після прочищення поверталися в роботу. У процесі випробувань встановлено, що в перші 100 годин з ладу вийшло 10, за період 100-200 годин – 12, за період 200-300 годин – 9 розприскувачів . Визначити ймовірність безвідмовної роботи за інтервали: 0-100 , 100-200 і 200-300 годин.

**Розв’язання:**

Розприскувачі після ремонту повертаються в роботу, тому можна визначити систему , як відновлювану.

Імовірність безвідмовної роботи системи

$$P_1(t) = 1 - \frac{n_1(t)}{N_0} = 1 - \frac{10}{100} = 0,9;$$

$$P_2(t) = 1 - \frac{n_2(t)}{N_0} = 1 - \frac{12}{100} = 0,88;$$

$$P_3(t) = 1 - \frac{n_3(t)}{N_0} = 1 - \frac{9}{100} = 0,91.$$

### Варіанти задач для розв'язання

Таблиця 3.8. – Варіанти завдань

Вихідні данні	Номери варіантів				
	1	2	3	4	5
Кількість елементів, N	105	150	120	98	85
Кількість відмов 0-100 годин, n	12	10	8	6	9
Кількість відмов 100-200 годин, n	10	6	5	11	12
Кількість відмов 200-300 годин, n	5	8	12	13	8

## ЗМ 2 Підвищення ступеня безпеки та надійності систем водопостачання

### Практичне заняття 4 Забезпечення безпеки та надійності систем водопостачання в період проектування та будівництва.

При проектуванні систем питного водопостачання повинні виконуватися вимоги законодавства з санітарно-епідеміологічного благополуччя населення, а також необхідно дотримуватися норми земельного, лісового, водного законодавства, законодавства про надра, про тваринний світ, про охорону навколишнього середовища, про особливо охоронювані природні території, про лікувально-оздоровчі місцевості і курорти, про захист населення і територій від надзвичайних ситуацій природного і техногенного характеру.

Для забезпечення населення питною водою на випадок виникнення надзвичайних ситуацій проектуються системи резервного водопостачання по нормах надзвичайних ситуацій.

Слід зазначити, що на даний момент проектування нових систем і схем водопостачання населених пунктів здійснюється на основі ДБН В.2.5-74:2013 «Водопостачання зовнішні мережі та споруди» [5].

Ці будівельні норми встановлюють основні вимоги до проектування нових систем і схем водопостачання населених пунктів, реконструкції та технічного переоснащення існуючих споруд, мереж і окремих елементів

зовнішнього водопостачання населених пунктів, груп підприємств, окремих підприємств, будинків, інших об'єктів.

Ці будівельні норми поширюються на проектування централізованих і нецентралізованих зовнішніх систем, мереж та споруд водопостачання населених пунктів, а також виробничих підприємств, для яких не встановлені особливі вимоги з проектування.

#### **Завдання на виконання практичного заняття 4**

1. Назвіть основні фактори, що впливають на зниження надійності роботи водопровідно-каналізаційних систем, та віднесіть їх до відповідної категорії. Отримані данні занесіть до таблиці 4.1.

2. Проаналізуйте основні групи факторів, що впливають на надійність роботи водозабірних споруд, та віднесіть їх до певної групи факторів (табл. 4.2).

Таблиця 4.1 – Аналіз факторів впливу на надійність ВК систем

<b>Зовнішні фактори (випадкові)</b>	<b>Внутрішні фактори (ті, що можна спрогнозувати)</b>

Таблиця 4.2 – Аналіз факторів впливу на надійність ВК систем

<b>Фактори</b>	<b>Аналіз фактору</b>
Фактор часу	
Метеорологічний фактор	
Біохімічний фактор	
Механічний фактор	
Гідрологічний і гідрогеологічний	

#### **Практичне заняття 5 Сучасні методи будівництва та реконструкції водопровідних мереж та споруд**

##### **Вибір матеріалу труб для проектування водопровідних мереж**

У цей час для виробництва труб використовуються різноманітні матеріали: метали, пластмаси, кераміка, азбестоцемент, бетон і композиції з

декількох матеріалів. Кожен матеріал трубопроводів має свої переваги та недоліки. Щоб зорієнтуватися в цьому різноманітті та обрати потрібний тип труби, необхідно знати призначення трубопроводу, параметри його роботи та необхідну довговічність.

Для зовнішніх водопровідних мереж застосовують: чавунні, сталеві та неметалеві (залізобетонні, азбестоцементні та поліетиленові – з вініпласту, поліетилену та інших пластичних матеріалів) труби.

У світі, зокрема в Україні, у системах водопостачання найбільшого застосування набули труби з високоміцного чавуну та полімерних матеріали, такі як поліетилен і полівінілхлорид.

Полімерні труби мають суворі обмеження за робочим тиском, що прямо залежить від середньої температури всього терміну експлуатації та максимального діаметра труби. Із цими обмеженнями треба рахуватися. Розрахунок експлуатаційних характеристик здійснюється відповідно до вимог стандарту ISO 13760 «Пластмасові напірні труби для транспортування рідин».

#### *Основні способи ремонту та санації труб:*

Відкритий спосіб ремонту, який дає змогу:

- без особливих проблем збільшувати поперечні перерізи трубопроводу;
- проводити ремонтно-відбудовчі роботи незалежно від поперечного переріза відновлюваної ділянки, розмірів траси;
- здійснювати роботи незалежно від геологічних і гідрогеологічних умов і глибини залягання трубопроводу;
- вибирати найбільш зручну трасу.

Відкритий спосіб прокладання труб виконується в 5 етапів:

- розкопування траншеї потрібної глибини
- підготовка підвалин трубопроводу;
- укладання нової труби,
- зворотне засипання;
- відновлення ґрунту та зелених насаджень, благоустрій об'єкта.

Однак відкритий спосіб має певні недоліки:

- створюються незручності для мешканців даного району, і в першу чергу для пішоходів;
- необхідність вживати заходів до зниження рівня ґрунтових вод, і особливо дощових вод;
- при веденні робіт доводиться враховувати паралельні і пересічні комунікації міського господарства;
- необхідно вирішувати проблеми, пов'язані з водовідливом і зміцненням стінок розроблювальних траншей.

Під час ремонту та відновлення трубопроводів відкритим способом застосовуються норми та правила для нового будівництва:

- розробляють систему об'їздів і заходи безпеки для пішоходів;
- локально знижують рівень ґрунтових вод і вод, які накопичилися після аварії;
- вживають заходів, щоб запобігти пошкодженню паралельних і пересічних трубопроводів різного призначення, у тому числі водопроводу, газопроводу, тепломереж і ін.

**Безтраншейна санація** – ремонт відбувається шляхом протягання полімерного рукава в пошкоджену або зруйновану трубу.

Спосіб придатний для напірних і безнапірних трубопроводів.

Зниження діаметра труби в результаті санації компенсується гладкою внутрішньою поверхнею полімерних труб з коефіцієнтом шорсткості 0,01 мм (завдяки зменшенню тертя рідини об стінки пропускна здатність трубопроводу практично не міняється).

У цей час існує п'ять основних способів безтраншейного ремонту трубопроводів:

«труба в трубі» – протаскування усередину трубопроводу, що ремонтується нового рукава труб з поліетилену. При цьому зовнішній діаметр поліетиленового рукава близький до внутрішнього діаметра ділянки, що ремонтується але завжди менше діаметра останнього;

«виламування» – віброударне або гідравлічне руйнування ділянки, що ремонтується з метою протаскування нового поліетиленового трубопроводу або відрізків труб, при цьому діаметр трубопроводу після ремонту стає на один типорозмір більше вихідного діаметра трубопроводу;

«панчоха» – протаскування усередину ділянки, що ремонтується трубопроводу - панчохи зі спеціальних матеріалів, при цьому після спеціальної обробки «панчоха» щільно прилягає до внутрішньої поверхні труби, що ремонтується;

«U-лайн» – протаскування усередину трубопроводу, що підлягає ремонту U-образної труби з поліетилену з наступним її розпрямленням по внутрішній поверхні ділянки за допомогою теплоносія певної температури;

локальний ремонт - закладення стикових з'єднань, місць підключення бічних відводів і невеликих тріщин за допомогою робототехнічних пристроїв.

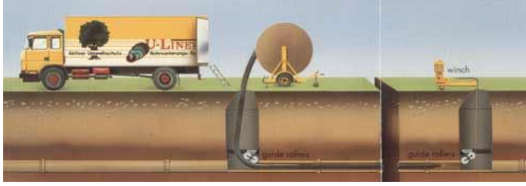


### **Завдання на практичну роботу 5**

Проаналізуйте наведені способи санації трубопроводів, назвіть основні переваги та недоліки. Для наведених варіантів порекомендуйте та обґрунтуйте способи прокладання та санації трубопроводів.

Таблиця 5.1 – Способи санації та прокладання трубопроводів

Спосіб прокладання чи санації	Аналіз методу
	
	

## Продовження таблиці 5.1

### **Варіант № 1**

- Глибина залягання трубопроводу 2 м, має значні локальні ушкодження у вигляді тріщин та свищів, корозійні пошкодження.

### **Варіант № 2**

- Глибина залягання трубопроводу 5,5 м, ділянка має повороти, довжина ділянки 300 м.

### **Варіант № 3**

- Каналізаційний трубопровід, діаметром 300 мм, прямолінійна ділянка.

### **Варіант № 4**

- Прокладання трубопроводу під автострадою з великим потоком машин, діаметр трубопроводу 300 мм, глибина залягання – 4,5 м.

### **Варіант № 5**

- Прокладання газопроводу на території щільної міської забудови.



### **ЗМ 3 Підвищення ступеня безпеки та надійності систем водовідведення**

#### **Практичне заняття 6 Методи підвищення надійності систем водовідведення**

##### **Вимоги до якості будівельно-монтажних робіт**

Якість будівельно-монтажних робіт істотно впливає на умови наступної експлуатації об'єктів, особливо з показників надійності та економічності.

В процесі будівництва та монтажу можуть виникнути такі порушення, які здаються несуттєвими, але насправді значно погіршують умови експлуатації.

Порядок проведення якісного будівництва каналізаційних мереж.

Для надійної експлуатації каналізаційних мереж надзвичайно важливе створення стійких підвалин для труб і каналів. Осідання підвалин не тільки може викликати пошкодження труб і їхніх стиків, але і порушити проектні ухили, у результаті чого буде відбуватися засмічення мереж.

На економічність і екологічність експлуатації каналізації істотно впливає водонепроникність мережі. При її недостатності спостерігається інфільтрація ґрунтових вод з усіма негативними наслідками цієї ситуації.

Вимоги до якості будівництва та монтажу насосних станцій.

Насосні агрегати, вантажопідйомне устаткування і арматура оглядаються перед монтажем, проводиться випробування насосів, у необхідних випадках виконуються ремонти або відбраковування.

Усмоктувальні лінії насосів, особливо встановлених не під затокою, прокладаються з підйомом не менш 0,005 убік руху води, ці умови необхідні для виключення повітряного засмічення труб. Природно, що контруклони на усмоктувальних лініях неприпустимі. Щоб уникнути підсмоктування повітря забір води усмоктувальними лініями проходить із глибини не менше 0,5-1,0 м.

##### **Вимоги до якості будівництва очисних споруд водовідведення**

Як відомо, у міських очисних спорудах водопроводу і каналізації передбачається самопливна схема руху. Тому одна з головних вимог до якості будівництва полягає в точному дотриманні висотної схеми, тобто повній

відповідності натурних оцінок окремих споруд або конструкцій робочим кресленням проекту. При неправильному виконанні висотної схеми змінюється продуктивність або взагалі стає неможливим робота очисних споруд.

### **Пуско-налагоджувальні роботи на об'єктах водовідведення**

Нові або реконструйовані об'єкти, що вводяться в експлуатацію, водопроводу та каналізації повинні бути пристосовані до сформованих умов роботи, без чого неможливе досягнення високої якості експлуатації.

Пуско-налагоджувальні роботи проводяться після завершення будівельно-монтажних робіт, прийнятих комісією в тимчасову експлуатацію та включають два етапи: підготовчий і основний.

Проведення оцінки якості експлуатації при плануванні робіт по вдосконаленню технічної експлуатації

Комплексна оцінка якості експлуатації, проводиться постійно та на всіх рівнях (від майстерної ділянки до всієї системи в цілому), узагальнення і аналіз результатів такої оцінки дозволяє адресно виявити недоліки в експлуатаційному процесі.

Рішення, прийняті на основі оцінки якості експлуатації, можуть бути чисто організаційними, або вимагають витрат на капітальні ремонти, реконструкцію і реновацію.

### **Завдання на практичну роботу 6**

Використовуючи отриманні знання, згідно свого варіанту, який видає викладач навести основні причини зниження надійності роботи об'єктів водопровідно-каналізаційного господарства та назвати методи підвищення надійності об'єктів та можливі джерела фінансування.

Варіант № 1 – каналізаційні мережі.

Варіант № 2 – насосні станції.

Варіант № 3 – очисні споруди водовідведення.

Варіант № 4 – арматура на мережах.

Варіант № 5 – водозабірні споруди.

## 2 РОЗРАХУНКОВО-ГРАФІЧНА РОБОТА

Навчальним планом передбачено виконання розрахунково-графічної роботи «Підвищення надійності роботи водопровідно-каналізаційних (далі ВК) систем».

**Мета роботи** – оволодіння і закріплення навичок вирішення практичних занять та самостійна робота з додатковою літературою при виконанні теоретичної частини. Розрахунково-графічна робота складається з двох частин: 1 – теоретична, 2 – розрахункова.

Теоретична частина передбачає розгляд двох проблемних питань з курсу . При виконанні розрахункової частини студент студент розв'язує п'ять задач з конкретних ситуацій в галузі надійності роботи ВК систем.

Нижче наведені варіанти питань з теоретичної частини та варіанти завдань. При виконанні роботи необхідно використовувати рекомендовану літературу.

### **Теоретична частина**

#### **Варіант № 1**

1. Категорії надійності роботи системи водопостачання та водозабірних споруд.
2. Загальна і роздільне резервування.
3. Тривалість ліквідації аварій на водогонах, аналіз показників надійності для водоводу.

#### **Варіант № 2**

1. Характеристика функцій систем водопостачання та її основних станів.
2. Математичне очікування безперервних випадкових величин.
3. Надійність роботи водопровідних очисних споруд.

#### **Варіант № 3**

1. Класифікація відмов (за часом виникнення, за характером виникнення, по зв'язку між собою, з причини виникнення).

2. Поняття елемента, системи, послідовне, паралельне, паралельно - послідовне з'єднання елементів.

3. Оцінка факторів надійності і довговічності каналізаційних мереж .

#### **Варіант № 4**

1. Безтраншейна санація та прокладання трубопроводів.

2. Ковзаюче та тимчасове резервування.

3. Основні фактори надійності роботи водозабірних споруд.

#### **Варіант № 5**

1. Шляхи підвищення надійності каналізаційної мережі.

2. Поняття елемента, системи, послідовне, паралельне, паралельно - послідовне з'єднання елементів.

3. Зниження впливу біологічної корозії при експлуатації каналізаційних трубопроводів.

#### **Варіант № 6**

1. Системи з керованим процесом.

2. Надійність роботи насосних станцій.

3. Надійність роботи водопровідних очисних споруд.

#### **Варіант № 7**

1. Показники надійності невідновлювальних елементів.

2. Відмова, види станів технічної системи (справний, несправний , граничний).

3. Рівноможлива та несумісна подія.

#### **Варіант № 8**

1. Ковзаюче та тимчасове резервування.

2. Класифікація відмов (за часом виникнення, за характером виникнення, за зв'язком, за причиною виникнення).

3. Оцінка факторів надійності і довговічності каналізаційних мереж.

#### **Варіант № 9**

1. Класифікація відмов.

2. Поняття елемента, системи, послідовне, паралельне, паралельно - послідовне з'єднання елементів.

3. Показники надійності невідновлювальних елементів.

### **Варіант № 10**

1. Рівноможлива та несумісна подія.

2. Параметр потоку відмов.

3. Корозія бетонних каналізаційних трубопроводів під дією біологічних факторів.

### **Варіант № 11**

1. Класифікація відмов.

2. Основні фактори надійності роботи водозабірних споруд.

3. Системи з роздільним резервуванням.

### **Варіант № 12**

1. Категорії надійності роботи системи водопостачання та водозабірних споруд.

2. Загальне і роздільне резервування.

3. Безтраншейна санація та прокладання трубопроводів.

### **Варіант № 13**

1. Рівноможлива і несумісна подія.

2. Параметр потоку відмов.

3. Основні фактори надійності роботи водозабірних споруд.

### **Варіант № 14**

1. Резервовані системи з паралельним включенням елементів.

2. Інтенсивність відмови.

3. Оцінка факторів надійності і довговічності каналізаційних мереж.

### **Варіант № 15**

1. Системи, що складаються з послідовно і паралельно включених комбінацій елементів.

2. Дефектоскопія, втрати води.

3. Резервування в системах з резервуарами.

### **Варіант № 16**

1. Забезпечення безпеки і надійності систем водопостачання в період проектування і будівництва.
2. Показники якості функціонування систем КГ.
3. Системи з керованим процесом водопостачання.

### **Варіант № 17**

1. Визначення показників надійності найпростіших резервованих систем з відновлюваних елементів.
2. Ковзаюче резервування.
3. Системи з випадковим некерованим процесом.

### **Варіант № 18**

1. Динамічне резервування (резервування заміщенням, навантажений, полегшений, ненавантажений резерв).
2. Стохастична і функціональна залежності.
3. Випадкові величини і закони їх розподілення.

### **Варіант № 19**

1. Основні фактори надійності роботи водозабірних споруд.
2. Забезпечення безпеки і надійності систем водопостачання в період проектування і будівництва, показники якості функціонування систем.
3. Імовірність відновлення і невідновлення ВК системи.

### **Варіант № 20**

1. Способи прокладки і санації трубопроводів.
2. Випадкові величини і закони їх розподілення.
3. Втрати води.

### **Варіант № 21**

1. Дефектоскопія, витіки води (видимі, приховані).
2. Забезпечення безпеки і надійності систем водопостачання в період проектування і будівництва.
3. Надійність роботи насосних станцій.

### Варіант № 22

1. Системи з керованим процесом водопостачання.
2. Імовірність відновлення і невідновлення ВК системи.
3. Стохастична і функціональна залежності.

### Варіант № 23

1. Основні фактори надійності роботи водозабірних споруд.
2. Безтраншейна санація та прокладання трубопроводів.
3. Системи з випадковим некерованим процесом водопостачання.

### Варіант № 24

1. Показники надійності невідновлювальних елементів.
2. Відмова, види станів технічної системи (справний, несправний, граничний).
3. Коефіцієнт готовності, коефіцієнт простою.

### Варіант № 25

1. Стохастична і функціональна залежності.
2. Динамічне резервування (резервування заміщенням, навантажений, полегшений, ненавантажений резерв).
3. Основні фактори надійності роботи водозабірних споруд.

### Розрахункова частина

Варіанти обираються згідно зі списком групи (табл. 2.1), задачі та приклади розв'язання задач наведені в цих методичних рекомендаціях у розділі «Практичні заняття».

Таблиця 2.1 – Варіанти завдань

Номер варіанта за списком	Номер задачі									
	2.1	2.2	3.5	4.6	4.7	5.1	5.2	5.3	5.4	5.6
1	5	–	3	–	1	–	3	–	–	1
2	–	3	–	1	–	1	2	–	3	–
3	3	–	5	–	2	5	–	3	–	–
4	–	1	–	4	–	–	4	–	1	3

Продовження таблиці 2.1

5	1	–	4	–	4	–	5	–	2	–
6	–	–	5	–	1	–	2	1	–	1
7	–	–	4	–	3	4	–	2	–	2
8	3	–	3	–	2	–	3	–	–	4
9	–	–	2	1	5	–	4	4	–	–
10	5	5	–	4	–	1	–	–	1	–
11	1	2	–	–	5	–	–	3	2	–
12	4	–	5	–	–	3	–	–	–	4
13	–	4	–	3	2	–	–	5	2	–
14	1	–	3	–	–	4	2	–	–	2
15	–	4	–	3	4	–	–	3	5	–
16	3	–	5	–	–	2	4	–	–	1
17	–	2	–	1	–	1	–	2	4	–
18	5	–	4	–	2	–	1	–	–	5
19	–	5	–	4	–	4	–	3	–	4
20	3	–	1	–	5	–	3	–	1	–
21	–	3	–	3	–	2	–	1	–	2
22	4	–	4	–	5	–	1	–	4	–
23	–	1	–	5	–	5	–	5	–	5
24	2	–	5	–	3	–	5	–	1	–
25	–	4	–	2	–	2	–	3	–	4



## **САМОСТІЙНА РОБОТА СТУДЕНТІВ**

### **ЗМ 1 Основні визначення і проблеми надійності ВК систем**

#### **Тема 1 Загальні відомості і проблеми надійності**

Поняття надійності. Фізичний зміст надійності. Поняття системи. Поняття об'єкту. Властивості, події, стани. Безвідмовність. Довговічність. Ремонтпридатність. Ефективність. Зберігаємість. Справний, несправний стан. Працездатний стан. Граничний стан.

#### **Контрольні питання для самоперевірки**

1. Надайте визначення надійності.
2. Дайте оцінку об'єкту і системі.
3. Основні етапи розвитку теорії надійності.
4. Поняття системи і об'єкта.
5. Технічні стани об'єкта з позицій надійності.
6. Справний та несправний стан об'єкта.
7. Працездатний та непрацездатний стан об'єкта.
8. Граничний стан об'єкта.
9. Дайте визначення відмові системи.

#### **Тема 2 Випадкові величини і основні теоретичні закони їх розподілення**

Функції розподілення щільності ймовірності. Дискретні та неперервні випадкові величини. Ряд розподілення випадкових величин. Математичне очікування випадкових величин. Дисперсія. Біномінальний розподіл. Розподіл Пуассона. Нормальний або гаусовий розподіл. Використання експонентного закону розподілу. Математичне очікування безперервних випадкових величин. Математичне очікування за біномінального розподілу. Дисперсія дискретних випадкових величин. Дисперсія безперервних випадкових величин.

## **Контрольні питання для самоперевірки**

1. Поняття випадкових величин, їхні види.
2. Фактори залежності зміни обсягу водопостачання та водовідведення.
3. Поняття надійності, відмови.
4. Біноміальний розподіл.
5. Розподіл Пуассона.
6. Нормальний розподіл.
7. Експоненціальний закон розподілу.
8. Математичне очікування для біноміального закону розподілу, для дискретних, безперервних випадкових величин.
9. Дисперсія величин для біноміального закону розподілу, для дискретних, безперервних випадкових величин.

### **Тема 3 Відмова. Вплив відмов на показники якості функціонування систем водопостачання і водовідведення**

Аварійний стан. Кризовий стан. Ремонтний стан. Відмова. Повна відмова. Ушкодження. Відмови системи. Перебування системи в стані неповної працездатності. Відмова природних джерел води. Відмова системи енергопостачання. Відмова системи матеріального обслуговування. Закономірність виникнення відмов та періоди роботи об'єкту. Період монтажу й пуску. Період нормальної роботи. Період граничного стану. Залежність інтенсивності відмов від природних умов. Безвідмовність. Класифікація відмов за часом виникнення. Класифікація відмов за характером виникнення. Класифікація відмов по зв'язку між собою. Класифікація відмов за причиною виникнення. Класифікація відмов за Є.С. Переверзіним. Класифікація відмов, пов'язаних з людьми. Відмови за рівнем шкоди.

### **Контрольні питання для самоперевірки**

1. Поняття безвідмовності, довговічності, ремонтпридатності, здатності до збереження, ефективності.
2. Види станів технічних систем.
3. Класифікації відмов.
4. Класифікація відмов Є.С. Переверзєва.
5. Невідновлювальні і відновлювальні системи.
6. Основні причини відмови системи водопостачання.
7. Охарактеризуйте закономірність виникнення відмов.
8. Залежність інтенсивності відмов від природних умов.
9. Безвідмовність системи.

### **Тема 4 Спостереження і оцінка їх результатів**

Генеральна сукупність. Вибірка обсягу. Параметри та статистики. Математичне очікування. Інтервал значень, медіана, частота події, ймовірність події, дисперсія. Інтервал або варіація спостереження. Середина інтервалу. Спостережувана частота. Накопичена частота. Ймовірність потрапляння виміру усередину певного інтервалу. Мода розподілу. Функція розподілу щільності ймовірностей. Побудова гістограми інтегрального розподілу. Побудова діаграми диференціального розподілу.

### **Контрольні питання для самоперевірки**

1. Поняття генеральної сукупності;
2. Поняття вибірки, параметра і статистики;
3. Математичне очікування;
4. Поняття ймовірності події;
5. Поняття інтервалу, варіації, середини інтервалу;
6. Побудова діаграми диференціального та інтегрального розподілу

## **Тема 5 Загальні принципи підвищення надійності. Види резервування**

Обчислення показників надійності систем залежно від виду з'єднання елементів (структури, конфігурації) у системі. Послідовне та паралельне з'єднання. Шляхи підвищення надійності систем. Види резервування. Загальне резервування Роздільне резервування. Кратність резервування. Резервування за способом включення. Постійне резервування. Заміщене резервування. Стани резервних елементів при заміщенні. Полегшений стан. Навантажений стан. Ненавантажений стан. Тимчасове резервування.

### **Контрольні питання для самоперевірки**

1. Поняття «елемента» і «системи».
2. Послідовне з'єднання елементів.
3. Паралельне з'єднання елементів.
4. Резервування елементів, його види.
5. Класифікація за способом включення резерву.
6. Ковзаюче резервування.
7. Постійне резервування.
8. Динамічне резервування.
9. Тимчасове резервування.

## **Тема 6 Показники надійності технічних систем**

Види показників (параметрів) надійності. Невідновлювальні об'єкти. Відновлювальні об'єкти. Одиничні й комплексні показники надійності. Показники надійності не відновлювальних елементів. Ймовірність безвідмовної роботи. Ймовірність відмови. Частота відмов. Інтенсивністю відмов. Залежність інтенсивності відмов і ймовірності безвідмовної роботи. Середній наробіток до першої відмови або середній час безвідмовної роботи. Показники надійності відновлюваних елементів. Параметр потоку відмов. Три характерні періоди інтенсивності відмов. Період припрацювання.

Період початку старіння й зношування. Період старіння. Характерна залежність інтенсивності зношування від часу експлуатації. Наробіток на відмову. Комплексні показники безвідмовності й ремонтпридатності. Коефіцієнт готовності. Коефіцієнт простою. Ймовірність відновлення. Ймовірність не відновлення. Частота відновлення. Інтенсивність відновлення. Середній час відновлення.

### **Контрольні питання для самоперевірки**

1. Види показників (параметрів) надійності.
2. Невідновлювальні об'єкти.
3. Відновлювальні об'єкти.
4. Одиничні і комплексні показники надійності.
5. Показники надійності не відновлювальних елементів.
6. Імовірність відмови та безвідмовної роботи.
7. Частота відмов та інтенсивність відмов.
8. Параметр потоку відмов.
9. Три характерних періоди роботи елементів.
10. Поняття коефіцієнта готовності та простою.
11. Показники ремонтпридатності елементів.
12. Ймовірність відновлення та не відновлення.
13. Частота та інтенсивність відновлення.

## **ЗМ 2 Підвищення ступеня безпеки та надійності систем водопостачання**

### **Тема 7 Основні цілі та задачі експлуатації систем водопостачання**

Основні задачі експлуатації водозабірних споруд поверхневих та підземних джерел. Експлуатація очисних споруд. Водоводи та водопровідна мережа. Реагентне господарство. Насосні станції водопостачання.

### **Контрольні питання для самоперевірки**

1. Основні завдання служб експлуатації систем водопостачання.
2. Основні завдання експлуатації водозабірних споруд.
3. Водозабірні споруди поверхневих джерел водопостачання.
4. Водозабірні споруди підземних джерел водопостачання.
5. Очисні споруди та установки.
6. Реагентне господарство.
7. Насосні станції.

### **Тема 8 Забезпечення безпеки та стабільності роботи систем водопостачання**

Порівняльний аналіз відмов і порушень в роботі систем водопостачання. Водопровідні мережі та споруди. Аналіз відмов та порушень в роботі водоочисних споруд та систем подачі води. Аналіз вимог та правил по нормуванню експлуатаційних заходів для систем водопостачання. Основні положення та заходи по забезпеченню безпеки експлуатаційної діяльності систем водопостачання. Порядок проведення паспортизації та інвентаризації споруд. Проведення оцінки та контролю показників надійності споруд водопостачання. Окремих споруд та обладнання водопостачання. Порядок проведення заходів по визначенню фактичного технічного стану системи подачі та розподілення води окремих споруд.

### **Контрольні питання для самоперевірки**

1. Основні фактори, що впливають на технічний стан водогінних мереж і споруд.
2. Документи, згідно яких здійснюється прокладання внутрішнього водопроводу та каналізації.
3. Аналіз причин аварій на трубопроводах.
4. Водопровідні мережі та споруди.

5. Причини відмов і порушень у роботі водопровідних споруд і систем подачі води.
6. Тупикові мережі та кільцеві мережі.
7. Комбіновані мережі.
8. Аналіз вимог та правил по нормуванню експлуатаційних заходів для систем водопостачання.
9. Основні положення та заходи по забезпеченню безпеки експлуатаційної діяльності систем водопостачання.

### **Тема 9 Сучасні методи визначання технічного стану мереж водопостачання**

Аналіз статистичної інформації про мережі і споруди водопостачання. Аналіз статистичних даних по водоспоживанню. Методика комплексної діагностики водопровідних систем. Дефектоскопія. Математичне моделювання трубопроводних мереж. Розробка програми організаційно-технічних заходів з підвищення експлуатаційної надійності водопровідних мереж і споруд водопостачання. Підвищення ефективності роботи водопровідних мереж та насосних станцій.

#### **Контрольні питання для самоперевірки**

1. Спрацьованість систем водопостачання України;
2. Аналіз ступеню зношеності мереж.
3. Аналіз статистичних даних по водоспоживанню.
4. Водоспоживання та невиробничі втрати в мережах водопостачання;
5. Дефектоскопія.
6. Математичне моделювання трубопроводних мереж.

## **Тема 10 Забезпечення безпеки та надійності систем водопостачання в період проектування та будівництва**

Загальні вимоги до проектування. Загальні вимоги до будівництва систем водопостачання. Сучасний монтаж систем водопостачання. Забезпечення надійності систем водопостачання. Надійність водозабірних споруд. Планування розвитку систем водопостачання. Підтримання надійності систем та об'єктів при експлуатації. Використання оцінки якості експлуатації при планування робіт по вдосконаленню технічної експлуатації.

### **Контрольні питання для самоперевірки**

1. Вимоги до будівництва та проектування.
2. Надійність водозабірних споруд (фактор часу, гідрологічні та гідрогеологічні фактори, метеорологічні, біохімічних механічні фактори).
3. Підтримання надійності систем та об'єктів при експлуатації.
4. Використання оцінки якості експлуатації при планування робіт по вдосконаленню технічної експлуатації.

## **Тема 11 Сучасні методи будівництва та реконструкції водопровідних мереж та споруд**

Вибір матеріалу труб для проектування водопровідних мереж. Відкритий спосіб ремонту. Безтраншейний спосіб ремонту. Класифікація безтраншейних методів.

«Труба в трубі». «Руйнація». Метод «панчоха». «U-лайнер». Локальний ремонт. Метод горизонтального буріння. Попередня підготовка трубопроводів. Гідравлічне очищення внутрішньої поверхні трубопроводу, що ремонтується. Телевізійна інспекція очищеної поверхні для прийняття рішення, щодо способу та методу ремонту. Обладнання для реалізації способів безтраншейного ремонту.



### **Контрольні питання для самоперевірки**

1. Вибір матеріалу труб для проектування водопровідних мереж.
2. Відкритий спосіб ремонту.
3. Переваги та недоліки відкритого способу ремонту.
4. Безтраншейна санація.
5. Основні способи безтраншейного ремонту трубопроводів.

### **Тема 12 Технічне обслуговування систем водопостачання**

Загальні положення. Система планово-попереджувального ремонту. Класифікація ремонтних робіт. Планування і організація ремонтних робіт. Розрахунок графіку ремонтного циклу з використанням теорії ймовірності. Тривалість міжремонтних періодів. Тривалість поточного ремонту. Тривалість капітальних ремонтів.

### **Контрольні питання для самоперевірки**

1. Види ремонтів і структура ремонтного циклу.
2. З яких етапів складається планування ремонтних робіт.
3. Як розраховується тривалість міжремонтних періодів;
4. Класифікація ремонтних робіт.
5. Тривалість поточного ремонту.

### **ЗМ 3 Підвищення ступеня безпеки та надійності систем водовідведення**

#### **Тема 13 Основні параметри надійності каналізаційних мереж**

Довговічність. Частота аварій. Вплив різноманітних факторів на довговічність каналізаційних мереж (за І. О. Абрамовичем). Вплив різноманітних факторів на частоту аварій каналізаційних мереж. Шляхи підвищення надійності каналізаційних мереж. Кільцювання та дублювання мереж. Надійність та безаварійність каналізаційних тоннелей. Категорії

каналізаційних тунелів. Оцінка факторів аварійності тунелів. Графік проведення поточного та капітального ремонту. Показники капітальності каналізаційних тунелів.

### **Контрольні питання для самоперевірки**

1. Основні параметри надійності каналізаційних мереж.
2. Фактори, що впливають на довговічність каналізаційних мереж.
3. Фактори, що впливають на частоту аварій каналізаційних мереж.
4. Способи підвищення надійності каналізаційних мереж.
5. Надійність та безаварійність каналізаційних тунелів.
6. Категорії аварійності та капітальності каналізаційних тунелів.

### **Тема 14 Основні причини зниження надійності каналізаційних мереж. Підвищення надійності та довговічності роботи мереж водовідведення за рахунок санації**

Фактори, що впливають на надійність систем водовідведення. Випадкові та прогнозовані фактори. Основні причини відмови мереж. Механічні пошкодження. Корозійні пошкодження. Розриви стиків. Відмови арматури. Проектні, технологічні, будівельні і експлуатаційні фактори надійності і довговічності. виключення ризику аварій на колекторах. Поліпшення гідравлічного функціонування колекторів. Поліпшення фізичного стану колекторів. Зниження витрат на ремонт мереж, енерговитрат, скорочення термінів виконання робіт.

### **Контрольні питання для самоперевірки**

1. Фактори, що впливають на надійність систем водовідведення.
2. Основні причини відмов мереж.
3. Групи факторів причин зниження надійності водовідвідних мереж.
4. Зниження витрат на ремонт мереж, енерговитрат, скорочення термінів виконання робіт.

5. Безвитратні, мало витратні, середньо витратні та високо витратні енергозберігаючі заходи.

### **Тема 15 Технічне обслуговування систем водовідведення**

Порядок розрахунку показників надійності технічних систем. Планування і організація ремонтних робіт. Показники якості функціонування систем водовідведення. Показники надійності системи водовідведення. Розрахунок графіку ремонтного циклу з використанням теорії ймовірності. Тривалість міжремонтних періодів. Тривалість поточного ремонту. Тривалість капітальних ремонтів.

#### **Контрольні питання для самоперевірки**

1. Порядок розрахунку показників надійності технічних систем.
2. Планування і організація ремонтних робіт.
3. Рекомендації, щодо періодичності оглядів і ремонтів споруд і устаткування.
4. Показники якості функціонування систем водовідведення.
5. Структура ремонтного циклу.

### **Тема 16 Організація роботи та експлуатація систем водовідведення**

Аналіз умов функціонування водопровідно-каналізаційних систем. Оперативне керування системами водопостачання та каналізації. Контроль за експлуатацією та експлуатаційна документація. Збереження надійності систем та об'єктів при експлуатації. Екологічність процесу експлуатації. Економічність, як показник якості експлуатації.

### **Контрольні питання для самоперевірки**

1. Аналіз умов функціонування водопровідно-каналізаційних систем.
2. Оперативне керування системами водопостачання та каналізації.
3. Контроль за експлуатацією та експлуатаційна документація.
4. Екологічність процесу експлуатації.
5. Види екологічного впливу системи водовідведення на навколишнє середовище.
6. Економічність як показник якості експлуатації.

### **Тема 17 Зниження надійності каналізаційних мереж внаслідок корозії трубопроводів**

Основні закономірності корозійних руйнувань бетонних і залізобетонних самопливних колекторів. Основні причини виникнення агресивного середовищу в трубопроводі. Хімізм корозії бетонних трубопроводів. Стадії біоруйнування каналізаційних труб. Етапи утворення агресивного середовища та їх вплив на матеріал труб. Заходи по захисту трубопроводів. Заходи по зниженню агресивності стічних вод. Натурні обстеження аварійних каналізаційних мереж. Склад і концентрація забруднень у стічних водах різних підприємств та їх вплив на каналізаційну мережу.

### **Контрольні питання для самоперевірки**

1. Основні причини виникнення агресивного середовищу в трубопроводі.
2. Хімізм корозії бетонних трубопроводів.
3. Превентивні заходи.
4. Аналіз складу і концентрації забруднень у стічних водах різних підприємств та їх вплив на каналізаційну мережу.

## **Тема 18 Методи підвищення надійності систем**

Шляхи збільшення виробничого потенціалу систем каналізаційних мереж за умови досягнення потрібної якості експлуатації. Вимоги до якості будівельно-монтажних робіт. Порядок проведення якісного будівництва каналізаційних мереж. Вимоги до якості будівництва та монтажу насосних станцій. Вимоги до якості будівництва очисних споруд водовідведення. Пуско-налагодочні роботи на об'єктах водовідведення. Проведення оцінки якості експлуатації при плануванні робіт по вдосконаленню технічної експлуатації.

### **Контрольні питання для самоперевірки**

1. Вимоги до якості будівельно-монтажних робіт.
2. Порядок проведення якісного будівництва каналізаційних мереж.
3. Вимоги до якості будівництва та монтажу насосних станцій.
4. Вимоги до якості будівництва очисних споруд водовідведення.

## СПИСОК РЕКОМЕНДОВАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. ДСТУ-НБУ.2.5 40:2009 Проектування та монтаж мереж водопостачання та каналізації з пластикових труб, [Чинний від 2009–12–21]. / Вид. офіц. – Київ : Нац. стандарт України, 2009. – 44 с.
2. ДСанПін 2.2. 4-171-10 Державні санітарні норми та правила «Гігієнічні вимоги до води питної, призначеної для споживання людиною» – [Чинний від 2010–01–07]. – Київ : 2010. – 25 с.
3. Про забезпечення надійності і безпечної експлуатації будівель, споруд та інженерних мереж : Постанова Кабінету Міністрів України від 05.05.97 р. № 409 // Офіційний вісник України. – Київ : 2010.
4. Селезнев В. Е. Математическое моделирование трубопроводных сетей и систем каналов: методы, модели, алгоритмы / В. Е. Селезнев, В. В. Алешин, С. Н. Прялов. – М. : МАКС Пресс, 2007. – 695 с.
5. ДБН В.2.5-74:2013 Водопостачання зовнішні мережі та споруди. – Вперше ; чинний від 2014–01–01. – Київ, 2013. – 168 с.
6. Пластмасові напірні труби для транспортування рідин. Метод розрахунку накопичених ушкоджень : Стандарт ISO 13760.
7. Основы надежности инженерных систем коммунального хозяйства / А. Я. Найманов., Н. Г. Насонкина, В. Н. Маслак, Н. И. Зотов. – Донецк : ИЭП НАН Украины, 2001. – 152 с.
8. Душкін С. С. Надійність водопровідно-каналізаційних систем : Конспект лекцій з дисципліни / С. С. Душкін, М. В. Дегтяр ; Харків. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова. – Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2015. – 116 с.
9. Абрамов Н. Н. Надежность систем водоснабжения / Н. Н. Абрамов. – М. : Стройиздат, 1984. – 216 с.

*Виробничо-практичне видання*

Методичні рекомендації

до організації самостійної роботи, проведення практичних  
занять і виконання розрахунково-графічної роботи

з навчальної дисципліни

**«НАДІЙНІСТЬ ВОДОПРОВІДНО-КАНАЛІЗАЦІЙНИХ СИСТЕМ»**

*(для студентів 3, 4 курсу освітньо-кваліфікаційного рівня «бакалавр» усіх  
форм навчання за спеціальністю 192 – Будівництво та цивільна інженерія)*

Укладач **ДЕГТЯР** Марія Володимирівна

Відповідальний за випуск *Г. І. Благодарна*

*За авторською редакцією*

Комп'ютерне верстання *М. В. Дегтяр*

План 2019, поз. 117М

---

Підп. до друку 28.12.2020. Формат 60 × 84/16.

Друк на ризографі. Ум. друк. арк. 3,7.

Тираж 50 пр. Зам. № .

Видавець і виготовлювач:

Харківський національний університет  
міського господарства імені О. М. Бекетова,  
вул. Маршала Бажанова, 17, Харків, 61002.

Електронна адреса: [rectorat@kname.edu.ua](mailto:rectorat@kname.edu.ua)

Свідоцтво суб'єкта видавничої справи:

ДК № 5328 від 11.04.2017.