

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

**МЕТОДИЧНІ РЕКОМЕНДАЦІЇ**

до вивчення курсу  
та організації самостійної роботи  
з навчальної дисципліни

**«НАДІЙНІСТЬ СИСТЕМ У ЦИВІЛЬНОМУ, ПРОМИСЛОВОМУ  
ТА ГІДРОТЕХНІЧНОМУ БУДІВНИЦТВІ»**

*(для здобувачів третього (освітньо-наукового) рівня вищої освіти  
денної форми навчання зі спеціальності 192 – Будівництво та  
цивільна інженерія)*

**Харків**  
**ХНУМГ ім. О. М. Бекетова**  
**2026**

Методичні рекомендації до вивчення курсу та організації самостійної роботи з навчальної дисципліни «Надійність систем у цивільному, промисловому та гідротехнічному будівництві» для здобувачів третього (освітньо-наукового) рівня вищої освіти денної форми навчання зі спеціальності 192 – Будівництво та цивільна інженерія / Харків. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова ; уклад. А. О. Мозговий. – Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2026. – 37 с.

Укладач д-р техн. наук, доц. А. О. Мозговий

#### Рецензент

**І. В. Храпатова**, кандидат технічних наук, доцент кафедри геотехніки, підземних споруд та гідротехнічного будівництва Харківського національного університету міського господарства імені О. М. Бекетова

*Рекомендовано кафедрою геотехніки, підземних споруд та гідротехнічного будівництва, протокол № 6 від 27.11.2025*

## ЗМІСТ

Вступ.....	5
1 Основні поняття і характеристика надійності гідротехнічних споруд.....	5
1.1 Завдання теорії надійності.....	5
1.2 Стохастична природа властивостей будівельних матеріалів.....	8
1.3 Методи розв'язання задач теорії надійності.....	9
1.4 Імовірності руйнування систем із різними типами з'єднання елементів.....	10
1.5 Показники ймовірнісних властивостей ґрунтових матеріалів основ та ґрунтових гідротехнічних споруд, неґрунтових матеріалів гідротехнічних споруд, навантажень та впливів на гідротехнічні споруди... ..	10
1.6 Закони розподілу двох випадкових величин. Кореляційний зв'язок між випадковими величинами.....	11
2 Аналіз статистичних даних аварій гідротехнічних споруд.....	13
2.1 Аналіз статистичних даних аварій бетонних гравітаційних, аркових, контрфорсних глухих та водозливних гребель, гребель із ґрунтових матеріалів.....	13
2.2 Заходи з усунення пошкоджень, руйнувань і аварій гідротехнічних споруд.....	14
3 Імовірнісне представлення температурних впливів по гідровузлах Дніпровського каскаду.....	15
3.1 Аналіз статистичних даних температурних впливів по гідровузлах Дніпровського каскаду.....	15
3.2 Вибір параметрів функцій розподілу температурних впливів за статистичними даними.....	16
3.3 Результати розрахунків імовірності щорічних температурних впливів по гідровузлах Дніпровського каскаду.....	17
3.4 Критерії оцінювання точності параметрів функцій розподілів.....	18
4 Імовірнісне представлення гідрологічних характеристик р. Дніпро.....	20
4.1 Розрахункові максимальні витрати води.....	20
4.2 Вибір параметрів водосховищ.....	21
4.3 Паводкові гідрографи.....	22
5 Імовірнісне представлення інтенсивності землетрусів на території України.....	23
5.1 Аналіз статистичних даних сейсмічної активності на території України.....	23
5.2 Сейсмічні шкали.....	24

5.3 Зв'язок між інтенсивністю (бальністю), магнітудою й енергетичним класом землетрусу.....	25
5.4 Статистичні дані сейсмічної активності на території України.....	26
5.5 Вибір параметрів функції розподілу інтенсивності землетрусів за статистичними даними.....	27
6 Дослідження кореляційних залежностей між природно-кліматичними факторами впливу на гідротехнічні споруди каскаду гідроелектростанцій.....	29
6.1 Функціональне призначення гідровузлів Дніпровського каскаду.....	29
6.2 Характеристика водосховищ Дніпровського каскаду.....	30
6.3 Статистичні дані максимальних витрат р. Дніпро.....	31
6.4 Результати статистичної обробки витрат р. Дніпро.....	32
6.5 Результати кореляційного аналізу статистичних вибірок максимальних витрат р. Дніпро.....	32
Список рекомендованих джерел.....	35

## ВСТУП

Оцінка ризиків аварійних ситуацій у будівництві та моделювання надійності будівельних систем є ключовими напрямками сучасної інженерної науки. Випадкові явища, величини та події, що виникають у процесі експлуатації споруд, потребують застосування методів теорії ймовірностей та математичної статистики [4, 6]. Це забезпечує інструменти для кількісної оцінки ймовірності відмови конструкцій та рівня надійності [3, 5]. У навчальних курсах з надійності систем у цивільному, промисловому та гідротехнічному будівництві [1, 2] підкреслюється важливість використання законів розподілу випадкових величин, числових характеристик та статистичних параметрів для навантажень і впливів різного типу.

Мінливість фізичних характеристик ґрунтів, їх міцності та деформативності, а також мінливість зовнішніх впливів на основи споруд є визначальними факторами у проектуванні [9, 10]. Державні будівельні норми України, зокрема положення щодо навантажень і впливів [9], загальних принципів забезпечення надійності та конструктивної безпеки [10], а також норм для гідротехнічних споруд [11], формують нормативну базу для практичного застосування ймовірнісних методів. Важливим є також врахування кліматичних чинників, які регламентуються стандартами будівельної кліматології [12].

У міжнародній практиці значну роль відіграють документи JCSS Probabilistic Model Code, що визначають основи проектування [13], моделі навантажень [14] та моделі опору матеріалів [15]. Вони дозволяють уніфікувати підходи до оцінки надійності та забезпечення безпеки споруд. Додатково незалежні технічні огляди, такі як звіт BRE щодо часткових коефіцієнтів у EN 1990 [16], підтверджують важливість системного аналізу ризиків.

Моделювання надійності гідротехнічних систем передбачає аналіз основних понять і характеристик надійності споруд, а також причин їхньої аварійності [5, 7]. Ймовірнісний опис гідрологічних характеристик, випадкових величин кліматичних впливів необхідний для прогнозування поведінки систем у реальних умовах [12]. Особливу увагу приділяють статистичним даним сейсмічної активності на території України [8], даним температурних впливів і товщини льоду по гідровузлах Дніпровського каскаду [11]. Кореляційні залежності між температурами, товщиною льоду та витратами річки Дніпро дозволяють створювати моделі, що враховують комплексний вплив природних факторів [3, 6]. Таким чином, сучасна інженерна теорія ймовірнісної оцінки рівня надійності конструкцій та ґрунтових основ споруд [2, 3, 5] базується на поєднанні математичних методів, статистичних даних та нормативних документів. Це забезпечує можливість не лише оцінювати рівень безпеки та проєктної надійності ґрунтових основ [10, 11], але й дає змогу розробляти практичні рекомендації для підвищення довговічності та ремонтпридатності споруд. Врахування випадкових навантажень, кліматичних і сейсмічних впливів [8, 12], а також використання міжнародних стандартів [13–15] створює комплексну основу для ефективного управління ризиками аварійних ситуацій у будівництві та гідротехніці.

# **1 ОСНОВНІ ПОНЯТТЯ І ХАРАКТЕРИСТИКА НАДІЙНОСТІ ГІДРОТЕХНІЧНИХ СПОРУД**

## **План**

**1.1 Завдання теорії надійності.**

**1.2 Стохастична природа властивостей будівельних матеріалів.**

**1.3 Методи розв'язання задач теорії надійності.**

**1.4 Імовірності руйнування систем із різними типами з'єднання елементів.**

**1.5 Показники ймовірнісних властивостей ґрунтових матеріалів основ та ґрунтових гідротехнічних споруд, неґрунтових матеріалів гідротехнічних споруд, навантажень та впливів на гідротехнічні споруди.**

**1.6 Закони розподілу двох випадкових величин. Кореляційний зв'язок між випадковими величинами.**

### **1.1 Завдання теорії надійності**

Поняття надійності та її властивостей у будівельних конструкціях має особливе значення. Традиційний детерміністичний підхід до розрахунку споруд зазвичай складається з двох основних етапів. Спершу визначаються напруження, деформації та переміщення елементів конструкції, що перебувають під дією зовнішніх навантажень. Це завдання вирішується за допомогою методів будівельної механіки, теорії пружності, а також теорії пластичності та інших дисциплін. Далі отримані величини порівнюють із нормативними допустимими значеннями. На цьому етапі оцінюється надійність, довговічність та економічність конструкції.

Проте реальні системи та умови їх експлуатації завжди відрізняються від ідеалізованих моделей, які розглядаються під час проектування. Фактичні напруження, деформації та переміщення є випадковими величинами, оскільки зовнішні впливи, міцність матеріалів та інші фактори мають випадковий характер. Тому визначення надійності конструкцій потребує застосування методів математичної статистики та теорії ймовірностей. У теорії ймовірностей головним завданням є дослідження розподілу випадкової вибірки відповідно до складу генеральної сукупності. Це називають прямим завданням. Зворотне завдання полягає у визначенні характеристик генеральної сукупності на основі відомої вибірки. У ймовірнісному підході ми, знаючи природу явища, можемо передбачити поведінку його характеристик у дослідях. У статистиці навпаки –

вихідними є експериментальні дані, і на їх основі робиться висновок про природу явища.

Надійність визначається як властивість об'єкта зберігати в часі параметри, що характеризують його здатність виконувати необхідні функції у заданих режимах та умовах експлуатації, технічного обслуговування, ремонту чи транспортування. Інакше кажучи, надійність – це стійкість якості щодо можливих збурень. Вона може бути виражена кількісно: проміжком часу, числом робочих циклів або кілометрів експлуатації. Залежно від призначення системи та умов її роботи надійність включає властивості безвідмовності, довговічності, ремонтпридатності та збереженості, а також їх комбінації. Безвідмовність означає ймовірність роботи без збоїв протягом певного часу. Довговічність характеризує тривалість безвідмовної роботи. Ремонтпридатність визначає ймовірність відновлення системи у заданий термін.

Зміст теорії надійності полягає у розробленні методів оцінки та створенні систем із заданими показниками довговічності. Завдання розрахунку надійності включають визначення ймовірності виходу конструкції з ладу, знаходження оптимальних розмірів та допустимих навантажень, а також оцінку надійності системи за характеристиками її елементів. До цього додається обґрунтування нормування розрахункових параметрів. Специфіка теорії надійності будівельних конструкцій полягає у врахуванні випадкових властивостей навантажень і впливів, а також їх спільної дії з випадковими характеристиками міцності.

Основним поняттям є «відмова» – подія, що означає втрату працездатності системи. Відмова близька за змістом до поняття граничного стану. До граничних станів першої групи належать загальна втрата стійкості форми, руйнування, перехід у змінну систему, якісна зміна конфігурації. Це також стани, що потребують припинення експлуатації через плинність матеріалу, зсув у з'єднаннях, повзучість або надмірне розкриття тріщин. До другої групи граничних станів належать неприпустимі деформації, прогини, крени, вигини, перекося та коливання, що порушують нормальну роботу споруди. Приклади відмов: обвалення, перекидання, крихке руйнування, великі деформації, корозійний зношування чи розтріскування.

Відмови спричиняються випадковими факторами, тому вони мають ймовірнісний характер. Показником надійності системи може бути ймовірність безвідмовної роботи протягом усього терміну служби. Теорія надійності оперує випадковими величинами поряд із детермінованими, що потребує нового підходу до мислення. Випадкова величина розглядається не як число, а як вектор у функціональному просторі відповідно до її закону розподілу.

У будівельних конструкціях термін «надійність» з'явився відносно недавно, замінивши поняття «безпека», «незруйнованість» чи громіздка «відсутність переходу за граничний стан». Сьогодні термін «граничний стан» зазвичай замінюють словом «відмова». Теорія надійності будівельних конструкцій розвивалася окремо від аналогічних напрямів у машинобудуванні та електротехніці. Її особливість полягає у необхідності врахування випадкових навантажень і впливів, а також їх спільної дії з випадковими характеристиками міцності матеріалів.

## 1.2 Стохастична природа властивостей будівельних матеріалів

Уперше ідея статистичної природи запасу міцності була висвітлена у 1926 році М. Майєром, а згодом у 1929 році її розвинув Н. Ф. Хоціалов. Саме він, працюючи на найбільшому тогочасному будівництві – спорудженні Свірської ГЕС, звернув увагу на значний розкид показників кубикової міцності бетону, який укладався в тіло греблі. Дослідник вважав, що максимальне гідростатичне навантаження на споруду можна розглядати як величину детерміновану. Водночас міцність бетону він трактував як випадкову змінну, що підкоряється нормальному закону розподілу. На основі цього підходу Хоціалов запропонував формулу для визначення необхідного запасу міцності. Вона забезпечувала уникнення руйнування споруди із заданою заздалегідь надійністю, яка була дуже близькою до одиниці. Його статті значно випереджали уявлення того часу про коефіцієнти запасу. Тоді їх розуміли лише як «коефіцієнт незнання», тому роботи Хоціалова залишилися майже непоміченими у широкому колі інженерів.

Варто зазначити, що характеристики міцності будь-яких матеріалів є випадковими величинами. Це пояснюється тим, що при багаторазовому повторенні однотипних експериментів результати завжди дещо відрізняються. Причиною є неоднорідність властивостей матеріалу в різних частинах об'єму, з якого відбирали зразки для досліджень. Об'єктивна математична оцінка можливості появи випадкової події визначається її ймовірністю. Якщо подія гарантовано відбудеться, її називають вірогідною. Якщо ж вона ніколи не може статися, то таку подію вважають неможливою.

Ймовірність випадкової події завжди виражається позитивним числом між нулем і одиницею. Це твердження легко перевірити на простих прикладах. Наприклад, якщо серед 50-ти деталей усі 50 виявилися непридатними, то ймовірність браку дорівнює  $50 / 50 = 1$ . Якщо жодна деталь не має дефектів, то ймовірність браку становить  $0 / 50 = 0$ , тобто подія неможлива. Важливим поняттям є й відносна частота події. Вона визначається як співвідношення

кількості випробувань, у яких подія проявилася, до загального числа проведених експериментів. Саме так формується практичне уявлення про ймовірність у реальних умовах.

### 1.3 Методи розв'язання задач теорії надійності

Для ймовірнісної оцінки надійності та безпеки гідротехнічних споруд застосовують кілька спеціальних методів. Першим є метод чисельного інтегрування, який використовується тоді, коли сукупний фактор  $Y$  можна подати як лінійну функцію від узагальненої несучої здатності  $R$  та узагальненого силового впливу  $F$ , тобто  $Y = R - F$ . У цьому випадку вважається, що відомі функції розподілу та щільності ймовірності для величини  $R$  і для величини  $F$ . Це дозволяє обчислити ймовірність досягнення граничного стану безпосередньо через інтегрування.

Другим методом є статистична лінеаризація. Тут вихідними даними є рівняння зв'язку  $Y = f(X_1, X_2, \dots, X_n) \geq 0$ , яке описує систему до моменту реалізації граничного стану. Для випадкових величин  $X_i$  ( $i = 1, 2, \dots, n$ ) задаються математичні очікування, дисперсії, середньоквадратичні відхилення та центральні моменти третього і четвертого порядків. Такі самі характеристики визначаються і для фактора  $Y$ . Ризик досягнення межового стану може бути знайдений шляхом розкладання у ряд Грама – Шарльє. Це дає змогу врахувати вплив вищих моментів розподілу на оцінку ймовірності.

Третім методом є статистична параболізація. На відміну від лінеаризації, де при розкладанні функції в ряд Тейлора утримуються лише два члени, у параболізації залишають три перших члени. Це означає, що, крім лінійних складових, враховуються також нелінійні члени. Такий підхід дозволяє точніше описати поведінку системи поблизу математичного очікування випадкового аргументу.

Четвертий метод – статистичні випробування, або метод Монте-Карло. Він передбачає використання рівняння зв'язку  $Y = f(X_1, X_2, \dots, X_n) \geq 0$  та функцій розподілу випадкових величин  $X_i$ . Випробування виконуються  $N$  разів, і кожного разу задаються випадкові значення аргументів відповідно до їх законів розподілу. Далі визначаються квантилі випадкових величин і підставляються у рівняння. Ймовірність досягнення граничного стану обчислюється як відношення кількості реалізацій, де стан був досягнутий, до загальної кількості  $N$ . Особливістю цього методу є можливість врахування кореляційних зв'язків між випадковими величинами. Це робить його універсальним інструментом для оцінки надійності складних систем.

## **1.4 Імовірності руйнування систем із різними типами з'єднання елементів**

Подія – це якісний або кількісний результат експерименту, що відбувається за певних умов. Наприклад, подією можна вважати випадок, коли межа текучості сталі потрапляє в інтервал від 240 до 260 МПа. Події бувають випадковими, вірогідними або неможливими. Ймовірність є об'єктивною математичною мірою можливості реалізації випадкової події. Вона не залежить від того, якою є подія – масовою чи одиничною. У повсякденному житті люди постійно, навіть інтуїтивно, користуються ймовірнісними оцінками майбутніх подій і роблять це досить успішно. Статистична ймовірність або частота події  $A$  визначається як відношення кількості дослідів, у яких ця подія спостерігається, до загальної кількості проведених дослідів. Значення завжди випадкові, адже результати експериментів змінюються. Це пояснює, чому ймовірність є ключовим інструментом для опису реальних процесів.

Приклад паралельного з'єднання показує, що система є статично невизначеною. Руйнування всієї системи відбувається лише тоді, коли руйнуються всі надлишкові та ще один додатковий зв'язок. Тому ймовірність збереження працездатності всієї системи вища за ймовірність збереження будь-якого окремого елемента. Проте в реальності ймовірності руйнування елементів не є незалежними. Руйнування одного елемента призводить до перерозподілу зусиль, що змінює ймовірності руйнування інших складових системи. Це робить аналіз складнішим і передбачає врахування взаємозалежності.

Приклад послідовного з'єднання демонструє іншу ситуацію. Тут система є статично визначеною. Руйнування всієї конструкції відбувається вже при виході з ладу хоча б одного елемента. Таким чином, ймовірність збереження працездатності всієї системи нижча за ймовірність збереження працездатності будь-якого окремого елемента. Це пояснює, чому послідовні системи більш вразливі до відмови, ніж паралельні.

## **1.5 Показники ймовірнісних властивостей ґрунтових матеріалів основ та ґрунтових гідротехнічних споруд, неґрунтових матеріалів гідротехнічних споруд, навантажень та впливів на гідротехнічні споруди**

Виходячи з досвіду ймовірнісних розрахунків надійності гідроспоруд та їх основ показники властивостей природних та штучних ґрунтів пропонується розглядати: при коефіцієнті варіації  $C_v < 0,1$  детермінованими величинами; при  $C_v = 0,1 - 0,3$  – розподіленими за нормальним законом; при  $C_v = 0,2 - 0,5$  – за логнормальним законом; при  $C_v \geq 0,5$  використовувати рівномірний розподіл.

Зазвичай моделювання показників властивостей матеріалів та ґрунтів у вигляді випадкових величин, розподілених так, йде у запас ризику.

Оцінки коефіцієнтів варіації  $C_v$ , показників властивостей ґрунтових матеріалів основ та ґрунтових гідроспоруд: щільність скелета ґрунту – 0,01–0,06, щільність ґрунту – 0,03–0,08, поруватість – 0,08–0,35, коефіцієнт поруватості – 0,20–0,35, природна вологість – 0,10–0,25, вологість – 0,15–0,35, число пластичності – 0,20–0,30, модуль деформації – 0,20–0,50, динамічний модуль пружності –  $>0,50$ , коефіцієнт фільтрації –  $>0,20$ , коефіцієнт водовіддачі –  $>0,20$ , коефіцієнт тертя – 0,10–0,20, зчеплення – 0,20–0,30, критичний градієнт напору –  $>0,20$ , тимчасовий опір одновісному стиску – 0,40–0,55.

Оцінки коефіцієнтів варіації  $C_v$ , показників властивостей неґрунтових матеріалів гідротехнічних споруд: бетон та залізобетон – щільність 0,01–0,03, модуль деформації 0,2–0,3, динамічний модуль пружності 0,2–0,5, коефіцієнт фільтрації 0,1–0,2, коефіцієнт тертя по скелі 0,1–0,2, зчеплення зі скелею 0,2–0,3, тимчасовий опір одновісному стиску 0,1–0,3, тимчасовий опір одновісному розтягуванню  $>0,20$ . Сталь (Ст.3): опір одновісному стиску – 0,05–0,09, тимчасовий опір одновісному розтягуванню – 0,03–0,05, опір втомі з'єднання при ручному зварюванні – 0,05–0,09, при напіваавтоматичному та автоматичному зварюванні – 0,03–0,06, сила затягування різьбового з'єднання – 0,02–0,09.

Оцінки коефіцієнтів варіації  $C_v$ , параметрів навантажень та впливів на гідротехнічні споруди: гідростатичний тиск – 0,01–0,03, власна вага – 0,03–0,08, поровий тиск – 0,25–0,40, фільтраційні навантаження –  $>0,20$ , протитиск – 0,10–0,35, гідрологічні характеристики – 0,20–0,45, хвильові навантаження – 0,45–0,55, гідродинамічні навантаження –  $>0,20$ , сейсмічні навантаження –  $>0,35$ , діючі градієнти напору – 0,20–0,55, снігові навантаження – 0,20–0,45, вітрові навантаження – 0,20–0,45, температурні навантаження природного середовища – 0,20–0,45, температурні навантаження при твердінні бетону – 0,20–0,30, тиск наносів – 0,20–0,45, пульсаційні навантаження – 0,20–0,45.

## **1.6 Закони розподілу двох випадкових величин. Кореляційний зв'язок між випадковими величинами**

Кореляційний аналіз вивчає на підставі вибірки стохастичну залежність між випадковими змінними. Оцінюються міра залежності та довірчі інтервали, перевіряються гіпотези.

Важливою мірою залежності є коефіцієнт кореляції Браве (Bravais) та Пірсона (Pearson). Для коефіцієнтів кореляції  $\rho$  двох випадкових змінних  $x$  і  $y$

справедливо:

- 1)  $-1 \leq \rho \leq 1$ ;
- 2) при  $\rho = \pm 1$  існує функціональна залежність, всі точки лежать на прямій;
- 3) якщо  $\rho = 0$ , то  $x$  і  $y$  називають некорельованими (незалежні випадкові змінні некорельовані; дві випадкові змінні тим сильніше корельовані, чим ближче значення  $|\rho|$  до 1);
- 4) для двовимірної нормально розподіленої випадкової змінної (бінормальна генеральна сукупність) з рівності  $\rho = 0$  випливає стохастична незалежність  $x$  і  $y$ .

Коефіцієнт кореляції визначає ступінь взаємозалежності між вибірковими значеннями випадкових змінних  $X$  і  $Y$ . Середній малюнок верхнього ряду показує U-подібну взаємозалежність, яка може бути описана параболою.

Щодо невизначеностей можна провести такі відмінності (ієрархічна модель): варіативність у межах елемента конструкції; варіативність між різними елементами однієї й тієї самої конструкції; варіативність між різними конструкціями.

Варіативність у межах елемента конструкції, як правило, незначна, і нею можна знехтувати. Однак для деяких типів завдань (наприклад, статичної рівноваги) вона може мати значення.

### **Контрольні запитання**

1. Надати визначення показників імовірнісних властивостей ґрунтових матеріалів основ.
2. Навести завдання теорії надійності.
3. Указати методи розв'язку задач теорії надійності.

### **Завдання для самостійної роботи**

#### **Теми для поглибленого засвоєння навчального матеріалу**

1. Проаналізувати кореляційний зв'язок між випадковими величинами.
2. Навести приклади кореляційного зв'язку між випадковими величинами..
3. Навести приклади імовірності руйнування систем із різними типами з'єднання елементів.

## **2 АНАЛІЗ СТАТИСТИЧНИХ ДАНИХ АВАРІЙ ГІДРОТЕХНІЧНИХ СПОРУД**

### **План**

**2.1 Аналіз статистичних даних аварій бетонних гравітаційних, аркових, контрфорсних глухих та водозливних гребель, гребель із ґрунтових матеріалів.**

**2.2 Заходи з усунення пошкоджень, руйнувань і аварій гідротехнічних споруд.**

### **2.1 Аналіз статистичних даних аварій бетонних гравітаційних, аркових, контрфорсних глухих та водозливних гребель та гребель із ґрунтових матеріалів**

Проектування і розрахунок гідротехнічних споруд потребують оцінки їх надійності і безпеки на основі імовірнісних методів. Імовірнісні розрахунки базуються на чіткому розумінні можливої поведінки гідротехнічних споруд у процесі їх будівництва та експлуатації. Крім того, зростає роль імовірнісної оцінки ресурсу гідротехнічних споруд у процесі їх проектування і вибору варіантів. Важлива статистична інформація щодо характерних для заданої гідротехнічної споруди руйнувань, пошкоджень, аварій тощо.

Це націлено на аналіз і узагальнення статистичних даних пошкоджень, припинення нормальної експлуатації, аварій і руйнувань гідротехнічних споруд.

Найбільша за обсягами статистика випадків аварій, пошкоджень, руйнувань гідротехнічних споруд зібрана по 200-х греблях. Серед них 50 % гребель розташовані на території США, а інші – на різних континентах планети (окрім країн колишнього СРСР). Згідно з наведеною статистикою 2,20 % гребель, що зазнали пошкоджень, були побудовані до 1950 року, а 0,5 % побудовані після 1950 року. Найбільший відсоток відмов зазнали греблі, побудовані у 1910–1920 рр. При цьому 70 % відмов у роботі гребель спостерігалось у перші 10 років після введення у експлуатацію, особливо у перший рік.

Чинником пошкоджень у 21 % випадків для бетонних гребель слугували внутрішня ерозія тіла греблі і недостатній опір стійкості на зсув по основі.

Стосовно земляних і кам'яно-накидних гребель наведено таку статистику: перелив води через гребінь греблі був первинним чинником пошкоджень у 31 % випадків і вторинним чинником у 18 % випадків;

внутрішня ерозія у тілі греблі була первинним чинником пошкоджень у 15 % випадків і вторинним чинником у 13 % випадків; чинники на контактні гребля-основа були первинними у 12 % випадків і вторинними у 5 % випадків.

Для гребель із кам'яної кладки у 43 % чинником руйнувань був перелив води через гребінь греблі і у 29 % – внутрішня ерозія в основі.

Недостатня пропускна спроможність водоскидів бетонних гребель виявилася первинним чинником їх пошкоджень у 22 % випадків і вторинним чинником у 39 % випадків.

Статистичні дані відносно обсягів водосховищ, греблі яких зазнали відмов у роботі, виявились такими: найбільша кількість – понад 15 % водосховищ об'ємом до 1,0 млн м<sup>3</sup>; 9 % водосховищ об'ємом 40,0–100,0 млн м<sup>3</sup>; 8 % водосховищ об'ємом 100,0–1 000,0 млн м<sup>3</sup>.

Серед гребель, що зазнали пошкоджень, співвідношення є такими: 81 % – греблі із ґрунтових матеріалів; 12 % – бетонні гравітаційні греблі; 4 % – бетонні контрфорсні греблі; 2 % – бетонні аркові греблі; 1 % – бетонні багатоаркові греблі.

Аналіз статистичних даних свідчить про те, що 70 % відмов великих гребель притаманні греблям не більше 30 м заввишки. Для гребель заввишки 15–20 м відсоток відмов – 50 %, 20–25 м – 16 %, 25–30 м – 6 %, 30–35 м – 16 %, 40–45 м – 6 %, 45–50 м – 12 %, 55–60 м – 3 %. Більше 50 % відмов таких гребель виникають унаслідок переповнення водосховищ під час повеней і паводків. Значний відсоток відмов гребель обумовлений їх конструюванням без належного інженерного супроводу, недостатньою вивченістю гідрологічних даних.

За інформацією Європейського клубу Всесвітнього комітету з великих гребель статистичні дані по 58-ми насипним греблям у країнах Європи (у тому числі Великобританії) свідчать про такі чинники руйнувань і пошкоджень: 20 % – ерозія у місцях контакту з водопровідною трубою безпосередньо у трубі або на виході з неї; 10 % – відмова мембрани; 2 % – відмова глинистого екрану; 24 % – перелам ядра; 25 % – неадекватний дренаж; 3 % – суфозія ґрунту основи; 9 % – неякісна підготовка основи; 3 % – військові дії; 4 % – інші чинники.

## **2.2 Заходи з усунення пошкоджень, руйнувань і аварій гідротехнічних споруд**

Статистична інформація щодо заходів з усунення пошкоджень, руйнувань і аварій гідротехнічних споруд свідчить про таке:

а) загальні заходи: 0,5 % – зниження рівня водосховища; 1,5 % – підняття позначки гребеня греблі; 11 % – повна реконструкція із збереженням попереднього дизайну; 12 % – повна реконструкція із новим дизайном; 3 % – заходів не вжито; 19 % – інформація відсутня; 25 % – об'єкт виведено з експлуатації; б) основа: 1,0 % – поліпшення протифільтраційних властивостей; в) бетонні і кам'яні греблі: 1,5 % – реконструкція несівних ділянок; г) греблі із ґрунтових матеріалів: 0,5 % – улаштування водонепроникної основи; 2,5 % – заповнення тріщин і порожнин; 9 % – реконструкція несівних ділянок; 0,5 % – підсилення укосів і берм; д) водозливні греблі: 1 % – відновлення структури бетону; 0,5 % – ремонт водозливів; 0,5 % – ремонт дренажу; 0,5 % – ремонт затворів.

### **Контрольні запитання**

1. Проаналізувати статистичні дані аварій бетонних гравітаційних гребель.
2. Проаналізувати статистичні дані аварій гребель із ґрунтових матеріалів.
3. Проаналізувати заходи з усунення пошкоджень гідротехнічних споруд.

### **Завдання для самостійної роботи**

#### **Теми для поглибленого засвоєння навчального матеріалу**

1. Навести критерії граничних станів гребель із ґрунтових матеріалів.
2. Навести критерії граничних станів аркових гребель.
3. Навести критерії граничних станів контрфорсних гребель.

## **3 ІМОВІРНІСНЕ ПРЕДСТАВЛЕННЯ ТЕМПЕРАТУРНИХ ВПЛИВІВ ПО ГІДРОВУЗЛАХ ДНІПРОВСЬКОГО КАСКАДУ**

### **План**

**3.1 Аналіз статистичних даних температурних впливів по гідровузлах Дніпровського каскаду.**

**3.2 Вибір параметрів функцій розподілу температурних впливів за статистичними даними.**

**3.3 Результати розрахунків імовірності щорічних температурних впливів по гідровузлах Дніпровського каскаду.**

### **3.4 Критерії оцінювання точності параметрів функцій розподілів.**

#### **3.1 Аналіз статистичних даних температурних впливів по гідровузлах Дніпровського каскаду**

Відповідно до нормативних документів, які регламентують основні підходи щодо проектування гідротехнічних споруд, що входять до складу гідровузлів, до навантажень і впливів входять:

а) температурні впливи будівельного та експлуатаційного періодів, що визначені для року із середньою амплітудою коливання середньомісячних температур зовнішнього повітря;

б) температурні впливи будівельного та експлуатаційного періодів, що визначені для року з найбільшою амплітудою коливання середньомісячних температур зовнішнього повітря;

в) температурні впливи при розрахунках бетонних гребель на особливі сполучення навантажень і впливів, що визначені для року з максимально низькою середньомісячною температурою зовнішнього повітря.

При проектуванні гідротехнічних споруд необхідно виконувати оцінку їх надійності і безпеки на основі імовірнісних методів. Для цього необхідно мати статистичні дані температурних впливів різної забезпеченості.

Однак середня температура повітря по місяцях і за рік характеризує температурний режим із забезпеченістю 0,5. Ці дані обчислено за період спостережень 1881–1960 рр.

Дані щодо абсолютних мінімальних і абсолютних максимальних температур повітря надані із забезпеченістю 1,0 % за період спостережень 1891–1964 рр. Амплітуда температури повітря наведена із забезпеченістю 0,5 за період спостережень 1936–1960 рр. Крім того, відсутні дані по конкретних населених пунктах розташування гідровузлів Дніпровського каскаду.

Для оцінки безпечності і надійності гідротехнічних споруд каскадів гідровузлів у період їх будівництва й експлуатації виконано математичну обробку статистичних даних температурних впливів по гідровузлах Дніпровського каскаду, обчислено параметри функцій розподілу температурних впливів.

#### **3.2 Вибір параметрів функцій розподілу температурних впливів за статистичними даними**

Опрацювання довідкової літератури дозволило побудувати вибірки щорічних максимально низьких середньомісячних температур і щорічних

максимальних амплітуд середньомісячних температур у географічних місцях розташування гідровузлів Дніпровського каскаду, а саме: у м. Київ за період 1812–1847, 1852–2010 рр.; у м. Канів за період 1899, 1959–1964, 1966–1983, 2003–2010 рр.; у м. Кременчук за період 1966–1983, 2002–2010 рр.; у м. Кам'янське за період 1839–1842, 1850–1853, 1855, 1883, 1887–1915, 1959–1964, 1966–1983, 2002–2010 рр.; у м. Запоріжжя за період 1850–1855, 1952–1955, 1966–1977, 1979–1982, 2002–2010 рр.; у м. Каховка за період 1826–1852, 1882–1915, 1959–1964, 1966–1983, 2002–2010 рр.

Як теоретичні розподіли, у гідрометеорології зазвичай застосовують такі: біномінальний, Пірсона III типу, Крицького – Менкеля, Джонсона, Дмитрієва, Грамма – Шарльє, нормальний, логарифмічно-нормальний тощо.

Для імовірносної оцінки щорічної максимально низької середньомісячної температури застосовано біекспоненціальний і нормальний розподіли, а для щорічної максимально амплітуди середньомісячних температур – нормальний і логарифмічно-нормальний розподіли.

### **3.3 Результати розрахунків імовірності щорічних температурних впливів по гідровузлах Дніпровського каскаду**

Параметри функцій розподілу імовірності щорічної максимально низької середньомісячної температури наведено в таблиці 1, щорічної максимально амплітуди середньомісячних температур – у таблиці 2.

Таблиця 1 – Параметри функцій розподілу імовірності щорічної максимально низької середньомісячної температури

№ з/п	Район спостережень	Нормальний розподіл	
		Математичне очікування	Середньоквадратичне відхилення
1	м. Київ	-5,64	3,709
2	м. Канів	-4,82	3,348
3	м. Кременчук	-4,63	3,232
4	м. Кам'янське	-5,62	3,454
5	м. Запоріжжя	-4,65	3,705
6	м. Каховка	-3,30	3,518

Таблиця 2 – Параметри функцій розподілу імовірності щорічної максимальної амплітуди середньомісячних температур

№ з/п	Район спостережень	Нормальний розподіл		Логарифмічно-нормальний розподіл	
		Математичне очікування	Середньо-квадратичне відхилення	Математичне очікування	Середньо-квадратичне відхилення
1	м. Київ	25,16	3,74	25,16	1,16
2	м. Канів	24,59	3,73	24,59	1,16
3	м. Кременчук	25,77	3,44	25,77	1,17
4	м. Кам'янське	27,43	4,01	27,43	1,16
5	м. Запоріжжя	27,00	4,19	27,00	1,16
6	м. Каховка	26,72	3,70	26,72	1,16

### 3.4 Критерії оцінювання точності параметрів функцій розподілів

Для оцінки точності результатів розрахунків обчислені значення середньоквадратичного відхилення імовірностей, визначених за аналітичною кривою забезпеченості, від імовірностей, визначених за емпіричною кривою забезпеченості  $\sigma_r$ , %, і значення середньоквадратичного відхилення температури (або амплітуди), що визначена за аналітичною кривою забезпеченості, від зафіксованої температури (або амплітуди)  $\sigma_J$ , %.

Результати оцінки точності розрахунків імовірності щорічної максимально низької середньомісячної температури за порівнянням параметрів  $\sigma_r$ , % та  $\sigma_J$ , % наведено в таблиці 3. Результати оцінки точності розрахунків імовірності щорічної максимальної амплітуди середньомісячних температур за порівнянням параметрів  $\sigma_r$ , % та  $\sigma_J$ , % наведено в таблиці 4.

За результатами оцінки точності розрахунків імовірності щорічної максимально низької середньомісячної температури і щорічної максимальної амплітуди середньомісячних температур у географічних місцях розташування гідровузлів Дніпровського каскаду можна зробити такі висновки:

а) імовірності щорічних максимально низьких середньомісячних температур у м. Київ, м. Кам'янське, м. Запоріжжя, м. Каховка можуть бути представлені нормальним розподілом;

Таблиця 3 – Результати оцінки точності розрахунків імовірності щорічної максимально низької середньомісячної температури

№ з/п	Район спостережень	Біекспоненціальний розподіл		Нормальний розподіл	
		$\sigma_p$ , %	$\sigma_J$ , %	$\sigma_p$ , %	$\sigma_J$ , %
1	м. Київ	6,2	0,9	3,2	0,5
2	м. Канів	3,4	0,4	4,1	0,5
3	м. Кременчук	3,9	0,6	4,3	0,5
4	м. Кам'янське	2,7	0,4	2,4	0,4
5	м. Запоріжжя	–	–	4,0	0,6
6	м. Каховка	4,5	0,6	1,5	0,3

Таблиця 4 – Результати оцінки точності розрахунків імовірності щорічної максимальної амплітуди середньомісячних температур

№ з/п	Район спостережень	Нормальний розподіл		Логарифмічно-нормальний розподіл	
		$\sigma_p$ , %	$\sigma_J$ , %	$\sigma_p$ , %	$\sigma_J$ , %
1	м. Київ	2,5	0,4	2,8	0,4
2	м. Канів	3,3	0,8	3,7	0,6
3	м. Кременчук	3,8	0,9	4,2	0,8
4	м. Кам'янське	2,5	0,4	2,8	0,5
5	м. Запоріжжя	6,1	1,1	6,9	0,9
6	м. Каховка	2,6	0,4	2,9	0,5

б) імовірність щорічної максимально низької середньомісячної температури у м. Канів може бути представлена біекспоненціальним розподілом;

в) імовірність щорічної максимально низької середньомісячної температури у м. Кременчук може бути представлена біекспоненціальним або нормальним розподілами;

г) враховуючи, що біекспоненціальний розподіл більш складний у

практичному застосуванні, на відміну від нормального розподілу, а точність визначення імовірності за обома законами суттєво не відрізняється, у практичних розрахунках для визначення імовірностей щорічних максимально низьких середньомісячних температур у м. Канів, м. Кременчук може бути застосований нормальний розподіл;

д) імовірності щорічних максимальних амплітуд середньомісячних температур у м. Київ, м. Кам'янське, м. Каховка можуть бути представлені нормальним розподілом;

е) імовірності щорічних максимальних амплітуд середньомісячних температур у м. Канів, м. Кременчук, м. Запоріжжя можуть бути представлені логарифмічно-нормальним або нормальним розподілами.

### **Контрольні запитання**

1. Характеристики температурних впливів.
2. Види законів розподілу для опису температурних впливів.
3. Критерії оцінювання відповідності законів розподілів.

### **Завдання до самостійної роботи**

#### **Теми для поглибленого засвоєння навчального матеріалу**

1. Основні параметри та властивості температурних навантажень.
2. Які типи законів розподілу застосовують для моделювання температурних впливів?
3. Які показники використовуються для перевірки відповідності обраних законів розподілу реальним даним?

## **4 ІМОВІРНІСНЕ ПРЕДСТАВЛЕННЯ ГІДРОЛОГІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК Р. ДНІПРО**

### **План**

- 4.1 Розрахункові максимальні витрати води.**
- 4.2 Вибір параметрів водосховищ.**
- 4.3 Паводкові гідрографи.**

## 4.1 Розрахункові максимальні витрати води

Надійність каскадів гідровузлів енергетичного призначення визначається надійністю споруд гідровузлів, які входять до складу каскаду. Згідно з існуючими методами оцінки надійності гідротехнічних споруд найбільш несприятливим і небезпечним моментом під час експлуатації гідротехнічних споруд в Україні потрібно вважати проходження весняного паводку.

Актуальними залишаються питання керування ризиком проходження паводку через створи гідровузлів на прикладі Дніпровського каскаду.

Між горизонтами рівнів води у водосховищі і зарегульованими витратами існує певна залежність, обумовлена класом відповідальності споруди. Зокрема, щорічні імовірності  $P$ , % перевищення розрахункових максимальних витрат води для основного розрахункового випадку гідротехнічних споруд класу СС1 – 5 %, СС2-1 – 1 %, СС2-2 – 3 %, СС3 – 0,1 %; для перевірконого розрахункового випадку гідротехнічних споруд класу СС1 – 1 %, СС2-1 – 0,1 %, СС2-2 – 0,5 %, СС3 – 0,01 %. При цьому витрати основного розрахункового випадку відповідають горизонту води при НПР, а перевірконого розрахункового випадку – при ФПР. Розрахункові максимальні витрати, відсоток імовірності яких менший, ніж при ФПР, вважаються катастрофічними паводковими (видатними) витратами.

## 4.2 Вибір параметрів водосховищ

Проектування водосховищ полягає у визначенні величин корисного і мертвого об'ємів на основі обробки графіків припливу і графіка скидних витрат.

Вихідними даними в цьому випадку є:

- імовірнісні залежності максимальних витрат води  $Q$ , м<sup>3</sup>/с р. Дніпро у створах водосховищ Дніпровського каскаду;
- залежності об'ємів водосховищ  $V$ , км<sup>3</sup> від позначок рівнів води у водосховищах, м;
- диспетчерські графіки роботи водосховищ;
- зведений диспетчерський графік роботи водосховищ Дніпровського каскаду;
- паводковий і річний гідрографи трансформованих (зарегульованих) витрат різної забезпеченості у створах водосховищ;
- графіки фактичного спрацювання водосховищ за характерні за водністю роки;

– пропускна спроможність водоскидних споруд гідровузлів каскаду залежно від напору.

Основною передумовою проектування водосховищ є розрахунок пропускної здатності водопропускних споруд гідровузла під час проходження розрахункового паводка. Вважається, що на початок розрахункового паводка водосховище заповнене до рівня НПР. Витрати через споруди, не призначені для пропуску паводкових витрат, не враховуються. Затвори водоскидних споруд повністю відкриті. Передбачається, що пропуск паводкових витрат можна здійснювати через водоводи гідроелектростанцій і шлюзи.

Якщо корисний об'єм водосховища  $V$  незначний порівняно з об'ємами паводкового припливу води, то водосховище не буде мати суттєвого регулюючого впливу. У такому випадку максимальні скидні витрати  $q_m$  практично дорівнюватимуть максимальним витратам паводка  $Q_m$ . Якщо об'єм водосховища  $V$  між позначками НПР і ФПР значний порівняно з об'ємами паводкового припливу води, то водосховище буде мати суттєвий регулюючий вплив за рахунок затримання або трансформації певної частини паводка.

### **4.3 Паводкові гідрографи**

Окремо потрібно розглянути питання щодо розрахункового паводкового гідрографа. Розрахунковим є гідрограф, який відповідає розрахунковій максимальній витраті та об'єму. Розрахунковий паводковий гідрограф також характеризується загальною тривалістю, тривалістю підйому і спуску (див. рис. 2–3). Для вирішення визначеного завдання також знадобляться хронологічні графіки трансформації паводків в інших водосховищах Дніпровського каскаду.

Розподіл стоку за джерелами живлення для р. Дніпро становить: снігове – 52 %, дощове – 18 %, ґрунтове – 30 %.

Детально характеристика водосховищ Дніпровського каскаду, а також зв'язок між гідрологічними характеристиками водосховищ із встановленням кореляційної залежності розглянуті далі.

### **Контрольні запитання**

1. Проаналізувати характеристики водосховищ.
2. Вплив паводкових гідрографів на параметри водосховищ.
3. Критерії моделювання паводкових витрат.

**Завдання до самостійної роботи**  
**Теми для поглибленого засвоєння навчального матеріалу**

1. Основні параметри та властивості температурних навантажень.
2. Які типи законів розподілу застосовуються для моделювання температурних впливів?
3. Поясніть суть щорічних імовірностей  $P$ , відсоток перевищення розрахункових максимальних витрат.

**5 ІМОВІРНІСНЕ ПРЕДСТАВЛЕННЯ ІНТЕНСИВНОСТІ ЗЕМЛЕТРУСІВ  
НА ТЕРИТОРІЇ УКРАЇНИ**

**План**

- 5.1 Аналіз статистичних даних сейсмічної активності на території України.**
- 5.2 Сейсмічні шкали.**
- 5.3 Зв'язок між інтенсивністю (бальністю), магнітудою й енергетичним класом землетрусу.**
- 5.4 Статистичні дані сейсмічної активності на території України.**
- 5.5 Вибір параметрів функції розподілу інтенсивності землетрусів за статистичними даними.**

**5.1 Аналіз статистичних даних сейсмічної активності на території України**

*Сейсмічна активність території України.* На території України підвищена сейсмічна активність спостерігається у Карпатських горах, у районі Вранча, у Криму на узбережжі Чорного моря.

*Карпатська зона.* Найбільша сейсмічна активність Карпатської зони спостерігається в районі вигину Карпатської дуги і в районі Вранча. Більша частина гіпоцентрів землетрусів розташовується на глибині 100–200 км. Найбільш значні землетруси зафіксовані у 1908, 1912, 1940 рр. Незначна сейсмічна активність спостерігається по всій довжині Східних Карпат.

*Кримська зона.* Епіцентри землетрусів Кримської зони зосереджені в межах континентального схилу Чорного моря у південно-східному напрямі від Ялти. Гіпоцентри землетрусів розташовуються на глибині 10–40 км. Найбільш значні землетруси зафіксовані у 1927, 1932, 1934, 1949, 1957 рр.

Перші вірогідні дані про землетруси на території України датуються

1091 роком. Інформація про давні землетруси представлена в літературних джерелах. Інтенсивність землетрусів оцінена авторами за характером руйнування будівель, деформаціями ґрунту та ін. Опис землетрусу містить його час, координати, назву епіцентральної області, глибину гіпоцентру, магнітуду, енергетичний клас. Однак дані про землетруси на території України до другої половини XIX сторіччя не можна вважати вірогідними. Лише в другій половині XIX сторіччя почали проводитись інструментальні обстеження епіцентральної області потужних руйнівних землетрусів. Перші сейсмічні станції на території Російської імперії – Пулково, Єкатеринбург, Макіївка, Тифліс, Баку, Ташкент, Іркутськ почали проводити регулярні інструментальні спостереження за землетрусами з 1912 року. До 1957 року на території колишнього СРСР працювало 78 стаціонарних сейсмічних і геофізичних станцій.

## 5.2 Сейсмічні шкали

Перша сейсмічна шкала інтенсивності землетрусів була запропонована італійцем Поарді у 1627 році. У XVIII і XIX сторіччях з'явилося багато різних шкал землетрусів: Д. Пігнатаро (1783), Д. Брукс (1811), П. Еген (1828), П. Макферлан (1839), А. Петерман (1856), Р. Маллет (1858), Р. Вільямсон (1870).

Італієць М. Россі і швейцарець Ф. Форель (1883) запропонували десятибальну шкалу, яка набула поширення в Росії.

Японець Ф. Оморі (1900) запропонував семибальну шкалу, бали якої мали градацію за величиною прискорення ґрунту.

Міжнародна сейсмічна асоціація в 1917 році прийняла 12-бальну шкалу Меркалі – Канкані – Зібберга, якою європейські країни користуються і сьогодні.

У США в 1931 році Г. Вуд і Ф. Ньюман запропонували 12-бальну шкалу – «модифіковану шкалу Меркалі», або «шкалу ММ».

Ф. Оморі (1920) опублікував нову шкалу, в якій землетруси поділяються за силою на шість категорій. М. Ішимото (1932) вніс у цю шкалу величини коливань ґрунту. Остання редакція шкали проведена в 1950 р.

У СРСР в 1931 р. як стандарт була затверджена 12-ти бальна шкала ОСТ ВКС-4537.

У 1952 р. в інституті фізики Землі АН СРСР розроблена нова 12-бальна шкала ГОСТ 6249-52.

У 1956 р. в Китаї прийнята 12-бальна шкала, аналогічна до шкали інституту фізики Землі АН СРСР (1952).

У СРСР у 1964 р. прийнята 12-бальна сейсмічна шкала MSK-64

С. В. Медведєва, В. Шпонхойєра, В. Карніка. За основу взяті шкали Меркалі – Канкани – Зіберга й інституту фізики Землі АН СРСР. Опис наслідків землетрусів за шкалою MSK-64 диференційовано за такими розділами: а) відчуття населенням, поведінка тварин; б) пошкодження будівель і споруд; в) остаточні явища у ґрунтах, змінювання режиму наземних і ґрунтових вод. Шкала MSK-64 використовується і сьогодні.

### 5.3 Зв'язок між інтенсивністю (бальністю), магнітудою й енергетичним класом землетрусу

Для класифікації землетрусів за потужністю та оцінки їх впливу на середовище використовують такі характеристики:

- макросейсмічна бальність  $I_0$ , пов'язана зі струсами поверхні ґрунтів в епіцентральної зоні;
- енергетичний клас землетрусу  $K = \lg E$ , де  $E$  – енергія, що звільнилася під час землетрусу, Дж;
- магнітуда  $M = \lg A$ , де  $A$  – амплітуда переміщень за даними сейсмографа на відстані 100 км від епіцентру землетрусу;
- геометричні характеристики наслідків землетрусу – довжина, ширина, глибина розриву, відносні переміщення ґрунту;
- силові характеристики – напруження на розриві, сейсмічний момент;
- статистичні та часові характеристики – сейсмічна активність або повторюваність землетрусів заданої величини у гіпоцентрі, ступінь ризику.

Емпіричні залежності між інтенсивністю (бальністю), магнітудою та енергетичним класом землетрусу отримані Шебаліним М. В. за результатами вивчення значної кількості (понад 250) землетрусів на території колишнього СРСР і представлені в такому вигляді:

$$I_0 = 1,5 M - 3,5 \lg h + 3,0, \quad \text{при } 0 < h < H_a, \quad (1)$$

$$I_0 = 1,5 M - 3,4 \lg h + 5,4, \quad \text{при } H_a < h < 640 \text{ км}, \quad (2)$$

де  $I_0$  – інтенсивність (бальність) землетрусу;

$M$  – магнітуда землетрусу;

$h$  – глибина гіпоцентру землетрусу;

$H_a$  – деяка глибина, яка в середньому становить 80 км.

Для оцінювання енергії землетрусу в 60-х роках ХХ сторіччя Гутенберг, Ріхтер, Соловійов С. запропонували таке співвідношення:

$$\lg E \approx (11,5 / 12) + 1,5 M, \quad (3)$$

де  $E$  – енергія землетрусу, ерг.

## 5.4 Статистичні дані сейсмічної активності на території України

Статистичні дані сейсмічної активності на території України представлено даними сейсмічної активності Карпатських гір, району Вранча, Криму, зафіксованих у період з 1578 по 2006 рр. До 1908–1912 років сила землетрусу встановлювалася за руйнівними наслідками землетрусів, здобутими з архівних літературних джерел. З 1908–1912 років сила землетрусів вимірювалася сейсмостанціями. Результати спостережень публікувались у Збірниках наукових праць Академії наук СРСР, Інституту фізики Землі імені О. Ю. Шмідта, Академії наук УРСР, Інституту геофізики імені С. І. Субботіна, Академії наук Молдавської РСР, Інституту геофізики і геології.

Опрацьовані результати сейсмічної активності Карпатських гір, району Вранча, Криму дозволили отримати залежності між макросейсмічною бальністю  $I_0$ , енергетичним класом землетрусу  $K$  і магнітудою  $M$  для вказаних районів. Також оцінено вплив глибини гіпоцентру землетрусу на його зазначені характеристики.

Для району Вранча отримано такі залежності:

$$I_0 = 1,5 M - 4 \quad \text{при } h = 100 \text{ км}, \quad (4)$$

$$I_0 = 1,5 M - 4,3 \quad \text{при } h = 120 \text{ км}, \quad (5)$$

$$I_0 = 1,5 M - 4,6 \quad \text{при } h = 150 \text{ км}, \quad (6)$$

де  $I_0$  – бальність землетрусу за шкалою MSK-64;

$M$  – магнітуда землетрусу;

$h$  – глибина гіпоцентру землетрусу,

$$I_0 = 0,83 \lg E - 6,91 \quad \text{при } h = 100 \text{ км}, \quad (7)$$

$$I_0 = 0,83 \lg E - 7,21 \quad \text{при } h = 120 \text{ км}, \quad (8)$$

$$I_0 = 0,83 \lg E - 7,51 \quad \text{при } h = 150 \text{ км}, \quad (9)$$

де  $E$  – енергетичний клас землетрусу.

Для району Карпатських гір і Криму отримано:

$$I_0 = 1,5 M - 1,55 \quad \text{при } h = 20 \text{ км}, \quad (10)$$

$$I_0 = 0,83 \lg E - 2,4 \quad \text{при } h = 5 \text{ км}, \quad (11)$$

$$I_0 = 0,83 \lg E - 3,4 \quad \text{при } h = 10 \text{ км}, \quad (12)$$

$$I_0 = 0,83 \lg E - 4,4 \quad \text{при } h = 20 \text{ км}, \quad (13)$$

$$I_0 = 0,83 \lg E - 5,1 \quad \text{при } h = 30 \text{ км}. \quad (14)$$

Перехід від бальності землетрусів старих років до магнітуди здійснювався за формулою Шебаліна М. В.

### 5.5 Вибір параметрів функції розподілу інтенсивності землетрусів за статистичними даними

Застосування статистичних методів зумовлено фізичною суттю сейсмічних явищ і процесів, які є результатом значної кількості непрогнозованих природних факторів. Аналіз джерел свідчить про те, що для математичного опису природних факторів поширення набули біноміальний розподіл, трьохпараметричний гамма-розподіл, логарифмічно-нормальний розподіл, геометричний розподіл,  $\chi^2$ -розподіл тощо. Для згладжування та екстраполяції емпіричних кривих розподілу бальності землетрусів застосовано математичні криві, які найбільш повно відображають характеристики мінливості сейсмічної активності – трьохпараметричний гамма-розподіл, нормальний і логарифмічно-нормальний розподіли. Трьохпараметричний гамма-розподіл розроблений в середині ХХ сторіччя С. М. Крицьким і М. Ф. Менкелем. Він активно застосовується у гідрології для дослідження характеристик річкового витоку.

Для оцінки точності результатів розрахунків обчислені значення середньоквадратичного відхилення ймовірностей, визначених за аналітичною кривою забезпеченості, від ймовірностей, визначених за емпіричною кривою забезпеченості  $\sigma_r$ , % і значення середньоквадратичного відхилення бальності, що визначена за аналітичною кривою забезпеченості, від зафіксованої бальності  $\sigma_J$ , %. Результати статистичного опрацювання даних максимальної річної бальності землетрусів наведені в таблиці 5.

Таблиця 5 – Результати статистичного опрацювання даних максимальної річної бальності землетрусів.

№ з/п	Район, період спостережень	Максимальне значення $J_{\max}$ , бали	Трьохпараметричний гамма-розподіл		Логарифмічно-нормальний розподіл	
			$\sigma_r$ , %	$\sigma_J$ , %	$\sigma_r$ , %	$\sigma_J$ , %
1	2	3	4	5	6	7
1	Район Вранча. 1578–2006 рр.	10,1	4,67	0,3	4,01	0,3
2	Район Вранча. 1908–2006 рр.	8,2	6,71	0,3	5,95	0,3

Продовження таблиці 5

1	2	3	4	5	6	7
3	Карпатські гори. 1578–2006 рр.	11,0	5,4	0,2	5,19	0,3
4	Карпатські гори. 1908–2006 рр.	9,0	5,32	0,2	3,83	0,2
5	Крим. 1578–2006 рр.	9,0	4,9*	0,2*	5,06	0,2
6	Крим. 1908–2006 рр.	8,2	6,16	0,3	5,35	0,3
Примітка. * – параметри нормального розподілу.						

Виконано математичну обробку результатів сейсмічної активності Карпатських гір, району Вранча, Криму, зафіксованих у період з 1578 р. по 2009 р. Отримано залежності між макросейсмічною бальністю  $I_0$ , енергетичним класом землетрусу  $K$  і магнітудою  $M$  для зазначених районів. Оцінено вплив глибини гіпоцентру землетрусу на зазначені характеристики землетрусу.

Для згладжування та екстраполяції емпіричних кривих розподілу бальності землетрусів застосовано трьохпараметричний гамма-розподіл і логарифмічно-нормальний розподіл.

За оцінкою точності результатів розрахунків встановлено, що найбільш повно відображає характеристики мінливості сейсмічної активності трьохпараметричний гамма-розподіл. Отримано параметри трьохпараметричного гамма-розподілу сейсмічної активності Карпатських гір, району Вранча, Криму в період з 1578 р. по 2009 р.

### Контрольні запитання

1. Які особливості статистичних даних сейсмічної активності спостерігаються на території України?
2. Які основні сейсмічні шкали застосовуються для оцінки землетрусів та чим вони відрізняються?
3. Як пов'язані між собою інтенсивність землетрусу, його магнітуда та енергетичний клас?

## **Завдання до самостійної роботи**

### **Теми для поглибленого засвоєння навчального матеріалу**

1. Які тенденції можна виокремити зі статистичних спостережень сейсмічної активності в Україні?
2. Які параметри функції розподілу інтенсивності землетрусів визначаються за статистичними даними?
3. Як використання різних сейсмічних шкал впливає на інтерпретацію результатів аналізу землетрусів?

## **6 ДОСЛІДЖЕННЯ КОРЕЛЯЦІЙНИХ ЗАЛЕЖНОСТЕЙ МІЖ ПРИРОДНО-КЛІМАТИЧНИМИ ФАКТОРАМИ ВПЛИВУ НА ГІДРОТЕХНІЧНІ СПОРУДИ КАСКАДУ ГІДРОЕЛЕКТРОСТАНЦІЙ**

### **План**

- 6.1 Функціональне призначення гідровузлів Дніпровського каскаду.**
- 6.2 Характеристика водосховищ Дніпровського каскаду.**
- 6.3 Статистичні дані максимальних витрат р. Дніпро.**
- 6.4 Результати статистичної обробки витрат р. Дніпро.**
- 6.5 Результати кореляційного аналізу статистичних вибірок максимальних витрат р. Дніпро.**

### **6.1 Функціональне призначення гідровузлів Дніпровського каскаду**

Одним із факторів, що впливають на надійність гідротехнічних споруд на всіх стадіях їх будівництва та експлуатації, є гідрологічний режим річки. Особливу небезпеку для гідротехнічних споруд в Україні становлять весняні повені. Щорічно в Україні створюється протиаварійна комісія із представників відповідних міністерств. Отже, завдання прогнозування та регулювання гідрологічного режиму річок є актуальними для гідротехнічного будівництва, народного господарства в цілому. Розглядаються питання гідрологічного режиму р. Дніпро й пов'язані з цим питання експлуатаційної надійності водосховищ гідровузлів Дніпровського каскаду.

Водні ресурси р. Дніпро становлять приблизно 80 % водних ресурсів України. У басейні Дніпра сконцентровано 70 % аграрного й промислового потенціалу держави. Середньобагаторічний об'єм витоків в гирлі становить 53 млрд м<sup>3</sup>. У межах України формується витік з об'ємом 19,7 млрд м<sup>3</sup>

(в багатоводні роки) та 12 млрд м<sup>3</sup> (у маловодні роки). Водосховища Дніпровського каскаду комплексного використання, тому вони задовольняють вимоги багатьох секторів народного господарства, а саме: комунального господарства, промисловості, гідроенергетики, іригації, сільського господарства, транспортного водокористування, рибного господарства – і слугують зонами відпочинку.

Головними функціями водосховищ Дніпровського каскаду є боротьба з повеннями та паводками, а також мінімізація збитків, завданих населенням та веденням народного господарства. Комплексне використання водних ресурсів р. Дніпро здійснюється каскадом гідровузлів: Київський, Канівський, Кременчуцький, Середньодніпровський, Дніпровський, Каховський. Водосховища цих гідровузлів регулюють виток Дніпра від гирла р. Прип'ять до Чорного моря.

Загалом, водосховище характеризується такими рівнями води: форсованим підпірним рівнем (ФПР), нормальним підпірним рівнем (НПР), рівнем мертвого об'єму (РМО). Водосховища Дніпровського каскаду мають наведені нижче характеристики.

## 6.2 Характеристика водосховищ Дніпровського каскаду

Київське водосховище (1964 р). Рівні води: ФПР = 104,0 м; НПР = 103,0 м; РМО = 101,5 м; середньобогаторічний рівень – 102,2 м. Повний об'єм – 3,7 км<sup>3</sup>, робочий об'єм – 1,2 км<sup>3</sup>. Площа поверхні – 900 км<sup>2</sup>.

Канівське водосховище (1972 р). Рівні води: ФПР = 92,7 м; НПР = 91,5 м; РМО = 91,0 м; середньобогаторічний рівень – 91,1 м. Повний об'єм – 2,48 км<sup>3</sup>, робочий об'єм – 0,3 км<sup>3</sup>. Площа поверхні – 570 км<sup>2</sup>.

Кременчуцьке водосховище (1959 р). Рівні води: ФПР = 82,4 м; НПР = 81,0 м; РМО = 75,75 м; середньобогаторічний рівень – 79,8 м. Повний об'єм – 13,5 км<sup>3</sup>, робочий об'єм – 9,07 км<sup>3</sup>. Площа поверхні – 2 000 км<sup>2</sup>.

Середньодніпровське водосховище (1963 р). Рівні води: ФПР = 66,0 м; НПР = 64,0 м; РМО = 63,5 м; середньобогаторічний рівень – 63,9 м. Повний об'єм – 2,5 км<sup>3</sup>, робочий об'єм – 0,5 км<sup>3</sup>. Площа поверхні – 550 км<sup>2</sup>.

Дніпровське водосховище (1932 р., 1947 р). Рівні води: ФПР = 51,4 м; НПР = 51,4 м; РМО = 48,5 м; середньобогаторічний рівень – 51,0 м. Повний об'єм – 3,3 км<sup>3</sup>, робочий об'єм – 0,83 км<sup>3</sup>. Площа поверхні – 360 км<sup>2</sup>.

Каховське водосховище (1955 р). Рівні води: ФПР = 18,0 м; НПР = 16,0 м; РМО = 12,7 м; середньобогаторічний рівень – 15,6 м. Повний об'єм 18,2 км<sup>3</sup>, робочий об'єм – 6,8 км<sup>3</sup>. Площа поверхні – 2 140 км<sup>2</sup>.

За видом регулювання Київське, Кременчуцьке, Каховське водосховища

мають сезонне та річне регулювання витоків, а Канівське, Кам'янське, Дніпровське водосховища – тижневе і добове регулювання витоків.

### 6.3 Статистичні дані максимальних витрат р. Дніпро

*Гідрологічний режим водосховищ гідровузлів Дніпровського каскаду.* Опрацьовано багаторічні максимальні витрати р. Дніпро за період спостережень з 1787 по 1999 рр. Статистичні дані багаторічних максимальних витрат опубліковано в гідрологічних щорічниках колишнього СРСР. Нижче наведено статистичні дані максимальних і мінімальних повеневих витрат р. Дніпро за період спостережень з 1787 по 1999 рр. (табл. 6, 7).

Таблиця 6 – Статистичні дані максимальних витрат (м<sup>3</sup>/с) р. Дніпро за період спостережень з 1787 по 1999 рр.

Роки спостереження	Пункт спостереження			
	м. Вишгород	м. Київ	м. Кременчук	смт Лоцмано-Кам'янка
	Витрати, м <sup>3</sup> /с			
1787	10 400	14 200	14 600	15 400
1789	11 050	15 200	15 200	16 400
1797	10 380	14 200	15 200	15 400
1820	10 240	14 300	13 700	15 200
1845	13 600	20 600	20 900	22 500
1849	11 190	16 200	16 300	16 600
1877	12 270	15 800	17 800	18 200
1917	10 840	18 800	19 000	20 700
1931	15 300	23100	23 900	25 100
1956	11090	12 100	11100	11170
1958	11 140	12 300	12 300	12 600
1970	12 300	19 700	19 100	19 500

Таблиця 7 – Статистичні дані мінімальних витрат ( $\text{м}^3/\text{с}$ ) р. Дніпро за період спостережень з 1787 по 1999 рр.

Роки спостереження	Пункт спостереження			
	м. Вишгород	м. Київ	м. Кременчук	смт Лоцмано-Кам'янка
	Витрати, $\text{м}^3/\text{с}$			
1842	1 420	2 060	2 040	2 110
1863	1 330	1 645	1 670	1 830
1864	1 520	2 030	2 180	2 250
1921	1 570	2 220	2 270	2 600
1925	1 090	1 480	1 560	1 670
1974	1 350	1 870	1 900	2 010
1997	1 470	1 980	2 040	2 150

#### 6.4 Результати статистичної обробки витрат р. Дніпро

Результати статистичної обробки максимальних витрат р. Дніпро представлено в таблиці 8.

Таблиця 8 – Результати статистичної обробки максимальних витрат ( $\text{м}^3/\text{с}$ ) р. Дніпро за період спостережень з 1787 по 1999 рр.

Пункт спостереження	Вибіркове середнє, $\text{м}^3/\text{с}$	Вибіркова медіана, $\text{м}^3/\text{с}$	Середньо-квадратичне відхилення	Вибіркова дисперсія
м. Вишгород,	$4,692 \times 10^3$	$3,92 \times 10^3$	$2,632 \times 10^3$	$6,925 \times 10^6$
м. Київ	$6,408 \times 10^3$	$5,3 \times 10^3$	$3,784 \times 10^3$	$1,432 \times 10^7$
м. Кременчук	$6,573 \times 10^3$	$5,4 \times 10^3$	$3,901 \times 10^3$	$1,522 \times 10^7$
смт. Лоцмано-Кам'янка	$6,924 \times 10^3$	$5,7 \times 10^3$	$4,155 \times 10^3$	$1,727 \times 10^7$

#### 6.5 Результати кореляційного аналізу статистичних вибірок максимальних витрат р. Дніпро

За результатами опрацювання статистичних даних максимальних витрат

р. Дніпро за період спостережень з 1787 по 1999 рр. отримані статистичні характеристики гідрологічних рядів по пунктах спостереження (див. табл. 3) та результати кореляційного аналізу статистичних вибірок максимальних витрат пар створів гідровузлів (див. табл. 9).

За результатами кореляційного аналізу статистичних вибірок максимальних витрат р. Дніпро за період спостережень з 1787 по 1999 рр. отримано таке рівняння лінійної регресії:

$$y(x) = b_0 + b_1 x, \quad (15)$$

де  $y(x)$  – регресія статистичної вибірки максимальних витрат р. Дніпро по осі  $x$  на статистичну вибірку максимальних витрат по осі  $y$ ;

$x$  – статистична вибірка максимальних витрат р. Дніпро по осі  $x$ ;

$b_0, b_1$  – емпіричні коефіцієнти (табл. 9).

Таблиця 9 – Результати кореляційного аналізу статистичних вибірок максимальних витрат ( $\text{м}^3/\text{с}$ ) р. Дніпро за період спостережень з 1787 по 1999 рр.

Пункт спостереження	Вільний член, $b_0$	Коефіцієнт, $b_1$	Коефіцієнт кореляції двох вибірок	Коваріація двох вибірок	Стандартна похибка
м. Вишгород – м. Київ	-148,163	1,397	0,971 7	$9,631 \times 10^6$	895,2
м. Вишгород – м. Кременчук	-171,226	1,437	0,9697	$9,909 \times 10^6$	954,6
м. Вишгород – смт Лоцмано-Кам'янка	-264,379	1,532	0,9702	$1,056 \times 10^7$	1009,1
м. Київ – м. Кременчук	7,17	1,025	0,994	$1,46 \times 10^7$	427,5
м. Київ – смт Лоцмано-Кам'янка	-58,823	1,09	0,992 3	$1,553 \times 10^7$	515,4
м. Кременчук – смт Лоцмано-Кам'янка	-59,388	1,062	0,997 3	$1,609 \times 10^7$	306,4

Також обчислено коефіцієнти кореляції вибірок, коваріації вибірок, стандартні похибки.

Отримано кореляційні залежності максимальних паводкових витрат р. Дніпро у створах гідровузлів Дніпровського каскаду.

Обчислено функції лінійної регресії для максимальних витрат р. Дніпро за статистичними даними спостережень з 1787 по 1999 рр.

Отримані дані свідчать про тісну, практично функціональну залежність між максимальними витратами р. Дніпро у створах гідровузлів Дніпровського каскаду.

Результати можуть бути застосовані при виконанні водногосподарських та гідроенергетичних розрахунків регулювання водосховищ гідровузлів Дніпровського каскаду, при прогнозуванні повеневих і паводкових явищ на р. Дніпро.

### **Контрольні запитання**

1. Яке функціональне призначення мають гідровузли Дніпровського каскаду та які основні завдання вони виконують?
2. Які характеристики водосховищ Дніпровського каскаду визначають їхню роль у регулюванні стоку та енергетичному використанні?
3. Які статистичні дані щодо максимальних витрат річки Дніпро використовуються для аналізу її гідрологічного режиму?

### **Завдання для самостійної роботи**

#### **Теми для поглибленого засвоєння навчального матеріалу**

1. Які результати дає статистична обробка даних про витрати води річки Дніпро та як вони інтерпретуються?
2. Як кореляційний аналіз допомагає оцінити взаємозв'язок між різними вибірками максимальних витрат Дніпра?
3. Як характеристики водосховищ Дніпровського каскаду впливають на регулювання паводкових процесів та безпеку споруд?

## СПИСОК РЕКОМЕНДОВАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Дистанційний курс «Надійність систем у цивільному, промисловому та гідротехнічному будівництві» [Електрон. ресурс]. – Електрон. Текст. дані. – Режим доступу: <https://dl.kname.edu.ua/course/view.php?id=4120>, вільний (дата звернення: 05.02.2026). – Назва з екрана.

2. Кічаєва О. В. Надійність основ та фундаментів : конспект лекцій для студентів очної та заочної форм навчання другого (магістерського) рівня вищої освіти зі спеціальності 192 – Будівництво та цивільна інженерія [Електрон. ресурс] / О. В. Кічаєва ; Харків. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова. – Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2021. – 60 с. – Режим доступу: [https://eprints.kname.edu.ua/57640/1/2020%20%D0%9B%20%D0%BF%D0%B5%D1%87%20%D0%9D%D0%B0%D0%B4%D1%96%D0%B9%D0%BD%D1%96%D1%81%D1%82%D1%8C\\_%D0%9A%D0%B8%D1%87%D0%B0%D0%B5%D0%B2%D0%B0.pdf](https://eprints.kname.edu.ua/57640/1/2020%20%D0%9B%20%D0%BF%D0%B5%D1%87%20%D0%9D%D0%B0%D0%B4%D1%96%D0%B9%D0%BD%D1%96%D1%81%D1%82%D1%8C_%D0%9A%D0%B8%D1%87%D0%B0%D0%B5%D0%B2%D0%B0.pdf), вільний (дата звернення: 05.02.2026). – Назва з екрана.

3. Beacher G. B. Reliability and statistics in geotechnical Engineering / Beacher G. B., Cristian J. T. – New York : John Wiley, 2003. – 619 p.

4. Ross S. M. Introduction to probability and statistics for engineers and scientists / Ross S. M. – New York : Academic press, 2020. – 674 p.

5. Smith D. J. Reliability, maintainability and risk : practical methods for engineers / Smith D. J. – Waltham : Butterworth-Heinemann, 2021. – 456 p.

6. Montgomery D. C. Applied statistics and probability for engineers / Montgomery D. C., Runger G. C. – Hoboken : John Wiley & Sons, 2020. – 710 p.

7. Keith T. Z. Multiple regression and beyond: An introduction to multiple regression and structural equation modelling / Keith T. Z. – 3-rd ed. – New York : Taylor & Francis, 2019. – 639 p.

8. ДБН В.1.1–12:2014 Будівництво у сейсмічних районах України. – [Чинний від 2014–10–01]. – Київ : Мінрегіон України, ДП «Укранархбудінформ», 2014. – 110 с. (Державні будівельні норми України).

9. ДБН В.1.2–2:2006 Навантаження і впливи. Норми проектування. – [Чинний від 2007–01–01]. – Київ : Сталь, 2006. – 60 с. (Державні будівельні норми України).

10. ДБН В.1.2-14-2018 Загальні принципи забезпечення надійності та конструктивної безпеки будівель і споруд. – [Чинний від 2019–01–01]. – Київ : ДП «Укранархбудінформ», 2018. – 30 с. (Державні будівельні норми України).

11. ДБН В.2.4-3:2010 Гідротехнічні споруди. Основні положення. – [Чинний від 2011–01–01]. – Київ : ДП «Укранархбудінформ», 2010. – 37 с. (Державні будівельні норми України).

12. ДСТУ Б. В. 1.1-27: 2010 Будівельна кліматологія. – [Чинний від 2011–11–01]. – Київ : Державне підприємство «Укрархбудінформ», 2011. – 124 с. (Національний стандарт України).
13. JCSS Probabilistic model code. Part 1. Basis of design. JCSS working materials. JCSS, 2000. – 62 p.
14. JCSS Probabilistic model code. Part 2. Load models. JCSS working materials. JCSS, 2001. – 73 p.
15. JCSS Probabilistic model code. Part 3. Material properties resistance models. Memorandum. JCSS, 2000. – 41 p.
16. Safety of Structures. An independent technical expert review of partial factors for actions and load combinations in EN 1990 «Basis of Structural Design»: BRE Client Report № 210297 [Electronic resource] / Building Research Establishment, 2003. – Electronic text data. – Regime of access: [https://www.concreteurope.eu/images/ECP\\_Documents/SafetyOfStructures\\_compress.pdf](https://www.concreteurope.eu/images/ECP_Documents/SafetyOfStructures_compress.pdf), free (date of the application: 05.02.2026). – Header from the screen.

*Електронне навчальне видання*

Методичні рекомендації  
до вивчення курсу та організації самостійної роботи  
з навчальної дисципліни

**«НАДІЙНІСТЬ СИСТЕМ У ЦИВІЛЬНОМУ, ПРОМИСЛОВОМУ ТА  
ГІДРОТЕХНІЧНОМУ БУДІВНИЦТВІ»**

*(для здобувачів третього (освітньо-наукового) рівня вищої освіти денної  
форми навчання зі спеціальності 192 – Будівництво та цивільна інженерія)*

Укладач **МОЗГОВИЙ** Андрій Олексійович

Відповідальний за випуск *В. А. Александрович*  
Редактор *О. А. Норик*  
Комп'ютерне верстання *А. О. Мозговий, Т. П. Воробйова*

План 2026, поз. 295М

---

Підп. до друку 23.03.2026. Формат 60 × 84/16.  
Ум. друк. арк. 2,2.

Видавець і виготовлювач:  
Харківський національний університет  
міського господарства імені О. М. Бекетова,  
вул. Черноглазівська, 17, Харків, 61002.  
Електронна адреса: office@kname.edu.ua  
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи:  
ДК № 8386 від 14.07.2026.