

Міністерство освіти і науки України

Центральноукраїнський національний технічний університет

Кафедра будівельних, дорожніх машин і будівництва

ТЕОРІЯ НАДІЙНОСТІ БУДІВЕЛЬ І СПОРУД

**Методичні рекомендації з вивчення дисципліни в режимі
дистанційного навчання для здобувачів вищої освіти**

другого (магістерського) рівня спеціальності

192 – Будівництво та цивільна інженерія

Затверджено
на засіданні кафедри
Будівельних, дорожніх машин і будівництва
25 серпня 2023 року, протокол № 1

Кропивницький 2023

Теорія надійності будівель і споруд : Методичні рекомендації з вивчення дисципліни в режимі дистанційного навчання для здобувачів вищої освіти другого (магістерського) рівня спеціальності 192 – Будівництво та цивільна інженерія / В.А. Пашинський: – Кропивницький: ЦНТУ, 2023. – 56 с.

Методичні рекомендації призначені для допомоги у вивченні навчальної дисципліни "Теорія надійності будівель і споруд" студентами дистанційної (заочної) форми навчання та студентами денної форми, які навчаються за індивідуальним навчальним планом та в дистанційному режимі. Окрім стислого висвітлення теоретичних відомостей про методи забезпечення надійності будівельних конструкцій, наведені рекомендації з вивчення програмових питань курсу з детальними посиланнями на рекомендовану літературу. Значна увага приділена методиці виконання індивідуальної розрахунково-дослідницької (контрольної) роботи студентами дистанційної форми навчання. Зміст рекомендацій відповідає робочій навчальній програмі та силабусу навчальної дисципліни "Теорія надійності будівель і споруд" для підготовки магістрів другого рівня вищої освіти за спеціальністю 192 – Будівництво та цивільна інженерія.

Укладач – д.т.н., професор Пашинський В.А.

Рецензент – к.т.н., доцент Хачатурян С.Л.

Відповідальний за випуск – завідувач кафедри будівельних,
дорожніх машин і будівництва,
професор Настоящий В.А.

© ЦНТУ, м. Кропивницький

© Пашинський В.А.

З М І С Т

ВСТУП	4
1. СТИСЛІ ТЕОРЕТИЧНІ ВІДОМОСТІ	5
1.1. Загальні поняття теорії надійності	5
1.2. Вимоги та засоби забезпечення надійності технічних об'єктів ..	7
1.3. Класифікація відмов технічних об'єктів	8
1.4. Класифікація будівельних об'єктів та конструкцій за відповідальністю й терміном експлуатації	10
1.5. Компоненти і показники надійності	11
1.6. Нормування характеристик міцності будівельних матеріалів	11
1.7. Класифікація навантажень та їх розрахункових значень	12
1.8. Принципи встановлення розрахункових значень навантажень ..	13
1.9. Нормативні документи, що регламентують методи забезпечення надійності будівельних конструкцій	15
2. ПЕРЕЛІК ПРОГРАМНИХ ПИТАНЬ ТА РЕКОМЕНДАЦІЙ З ЇХ ВИВЧЕННЯ	17
3. ВИКОНАННЯ ІНДИВІДУАЛЬНОЇ РОЗРАХУНКОВОЇ РОБОТИ	21
3.1. Визначення розрахункового опору сталі за результатами випробувань зразків	21
3.2. Визначення розрахункових значень постійного навантаження за результатами натурних обстежень	22
3.3. Нормування снігового навантаження за результатами снігомірних зйомок	24
3.4. Перевірочний розрахунок прогону покрівлі	25
3.5. Визначення імовірності відмови прогону покрівлі	26
Рекомендована література	29
Д О Д А Т К И	32
Додаток А Статистична обробка вибірок та імовірнісне подання випадкових величин	32
А.1 Завдання статистичної обробки вибірки випадкової величини....	32
А.2 Визначення числових характеристик	33
А.3 Побудова гістограми розподілу	34
А.4 Поширені закони розподілу випадкових величин	35
А.5 Вибір теоретичного закону розподілу та перевірка його узгодженості з дослідними даними	37
А.6 Приклад статистичної обробки вибірки випадкової величини ...	38
Додаток Б. Статистичні таблиці	41
Додаток В. Вибірковий сортамент прокатних профілів	45
Додаток Г. Зразок оформлення контрольної роботи	47

ВСТУП

Навчальна дисципліна "Теорія надійності будівель і споруд" є нормативною складовою циклу професійної підготовки магістрів за чинною освітньо-професійною програмою «Будівництво та цивільна інженерія», яка реалізується в Центральнотериторіальному національному технічному університеті. Метою дисципліни є вивчення принципів і практичних методів забезпечення надійності та конструктивної безпеки будівельних конструкцій, будівель та споруд. Зокрема, вивчаються методи і результати дослідження, імовірного подання та нормування навантажень, впливів та інших розрахункових параметрів методу граничних станів, а також прості інженерні методи визначення, аналізу та підвищення показників надійності несучих та огорожувальних будівельних конструкцій. Набуті здобувачами освіти під час вивчення дисципліни компетенції та результати навчання визначені в робочій програмі та в силабусі навчальної дисципліни "Теорія надійності будівель і споруд", з якими можна ознайомитися на сайті дистанційної освіти.

Дані методичні рекомендації розроблені з метою оптимальної організації вивчення навчальної дисципліни "Теорія надійності будівель і споруд" здобувачами освіти заочної та денної форм навчання, які навчаються в дистанційному режимі. Методичні рекомендації містять:

- стислі вступні відомості, які дозволяють у загальних рисах ознайомитися з основними поняттями і методами теорії надійності;
- перелік програмних питань з детальними посиланнями на літературні джерела, у яких вони викладені;
- алгоритм виконання та приклад оформлення індивідуальної розрахунково-дослідницької роботи, яка передбачена навчальним планом для здобувачів освіти заочної форми навчання;
- статистичні таблиці, необхідні для вивчення дисципліни та для виконання розрахунково-дослідницької роботи.

Загалом дані методичні рекомендації дозволяють здобувачам освіти заочної форми навчання швидко ознайомитися з основними положеннями теорії надійності будівельних конструкцій та самостійно виконати індивідуальну розрахунково-дослідницьку роботу. Наведені в розділі 2 бібліографічні посилання дозволяють систематизувати навчальну інформацію з дисципліни "Теорія надійності будівель і споруд" та істотно полегшують вивчення програмних питань здобувачами освіти усіх форм навчання.

1. СТИСЛІ ТЕОРЕТИЧНІ ВІДОМОСТІ

1.1. Загальні поняття теорії надійності

Визначення основних понять теорії надійності будівельних конструкцій наведені в ДБН В.1.2-14-2018 "Загальні принципи забезпечення надійності та конструктивної безпеки будівель і споруд" [2]. Розглянемо основні поняття й терміни теорії надійності, згрупувавши їх за смисловими ознаками.

Об'єкти – вироби, споруди, конструкції, машини, механізми, системи, а також їх підсистеми (складальні одиниці, деталі, компоненти або елементи).

Параметри – фізичні властивості, конструкційна міцність, несуча здатність, деформативність, показники продуктивності функціонування, які характеризують роботу об'єкта і можуть змінюватися з часом.

Надійність будівельного об'єкта – властивість об'єкта виконувати задані функції протягом розрахункового строку експлуатації.

Довговічність – властивість об'єкта зберігати працездатний стан до настання граничного стану в умовах наявного технічного обслуговування та ремонту.

Живучість – властивість конструкції протистояти таким подіям, як пожежа, вибух, удар або результат людських помилок, без виникнення пошкоджень, непропорційних по відношенню до причини, що викликала пошкодження.

Безпека – властивість об'єкта при експлуатації, а також у випадку порушення працездатності не створювати загрози для життя і здоров'я людей, а також загрози для довкілля.

Експлуатація об'єкта – використання об'єкта за функціональним призначенням (з проведенням необхідних заходів щодо збереження стану конструкцій), за яким він спроможний виконувати задані функції, зберігаючи значення параметрів, встановлені вимогами проєктної документації.

З поняттям експлуатації пов'язані терміни:

- життєвий цикл об'єкта – комплекс послідовних за змістом і часом періодів існування об'єкта від вишукування і проєктування до ліквідації;
- нормальна експлуатація об'єкта – експлуатація об'єкта, здійснювана відповідно до вимог, передбачених у проєктній документації саме для цього об'єкта;
- розрахунковий строк експлуатації – період часу, для якого виконуються розрахунки надійності об'єкта і після впливу якого можливість його подальшої експлуатації визначається за результатами обстеження технічного стану;

- нагляд – прийнята на об'єкті система спостереження, фіксації та оцінки технічного стану конструкцій та їх частин;
- ремонт – комплекс операцій із відновлення експлуатаційної придатності об'єкта і (або) збільшення його довговічності.

Об'єкт може перебувати в різних *технічних станах*, змінюючи їх у процесі експлуатації:

- справний стан – стан об'єкта, за якого він виконує всі передбачені функції за умов здійснення ремонтних робіт;
- експлуатаційно придатний стан – технічний стан, за якого об'єкт виконує всі свої функції, зберігаючи при цьому допустимий рівень ризику;
- граничний стан – стан, при перевищенні якого об'єкт перестає задовольняти вимогам, встановленим у проєкті;
- позаграничний стан – перевищення межі, встановленої нормами для граничного стану.

Відмова – подія, що полягає в переході об'єкта, його частини або елемента через один із граничних станів (реалізація позаграничного стану):

- відмова-зрив – відмова, поява якої одразу ж викликає збитки (втрати).
- відмова-перешкода – відмова, після появи якої починається поступове накопичення збитків.

Безвідмовність – здатність об'єкта безперервно зберігати працездатний стан протягом заданого строку експлуатації.

До поняття *відмови* близькі також терміни:

- аварія – пошкодження, вихід із ладу, руйнування, що сталося з техногенних (конструктивних, виробничих, технологічних, експлуатаційних) або природних причин;
- катастрофа – велика за масштабами аварія чи інша подія, що призводить до тяжких наслідків;
- збитки – матеріальні чи фінансові втрати внаслідок відмови;
- втрати – спричинені відмовою збитки нематеріального характеру (життя та здоров'я людей, культурні та духовні цінності).

Вплив – будь-яка причина, в результаті якої в конструкції змінюються внутрішні напруження, деформації або інші параметри стану.

Навантаження – вплив, під яким розуміють як безпосередньо силові впливи, так і впливи від зміщення опор, зміни температури, усадки та інших подібних явищ, що викликають реактивні сили.

Ефект впливу (навантажувальний ефект) – реакція (внутрішні зусилля, напруження, переміщення, деформації) будівельних конструкцій на впливи, що враховуються.

1.2. Вимоги та засоби забезпечення надійності технічних об'єктів

Згідно з вимогами норм [2], необхідний рівень надійності будівельного об'єкта, конструкції та її елементів повинен забезпечуватися на усіх *етапах життєвого циклу*:

- на етапі вишукування й проектування – визначенням доцільних параметрів майбутнього об'єкта, вибором проектних рішень, виконанням розрахунків і конструктивних вимог з урахуванням умов його застосування;
- у процесі виготовлення, транспортування й зберігання – шляхом реалізації вимог щодо якості матеріалів, точності розмірів, технологічних режимів виробництва, антикорозійного захисту тощо;
- у процесі зведення та приймання об'єкта в експлуатацію – за рахунок забезпечення відповідності зведеного об'єкта до проектної документації, дотримання технології зведення, оперативного контролю якості матеріалів і робіт, контролю якості при прийманні в експлуатацію;
- у процесі експлуатації – забезпеченням відповідності режиму експлуатації до проектного, виконанням технічних обстежень і поточних ремонтів;
- у процесі реконструкції та подальшого використання в нових умовах – шляхом встановлення вимог до зміни окремих характеристик об'єкта чи його частин, нового режиму його використання, а також реалізації заходів, викладених у попередніх пунктах, з метою забезпечення нових вимог;
- у процесі ліквідації об'єкта – розробленням і дотриманням технології демонтажу та утилізації матеріалів і конструкцій з метою забезпечення безпечності для персоналу та навколишнього середовища.

Основною вимогою, яка визначає надійність будівельного об'єкта, є його відповідність призначенню й здатність зберігати протягом встановленого терміну експлуатації необхідні експлуатаційні якості, до яких належать:

- гарантія безпеки для здоров'я і життя людей, майна та довкілля;
- збереження цілісності об'єкта та його основних частин і виконання інших вимог, які гарантують можливість використання об'єкта за призначенням;
- забезпечення можливості розвитку об'єкта та його пристосування до технічних, економічних або соціальних умов, що змінюються;
- створення необхідного рівня зручностей і комфорту для користувачів та експлуатаційного персоналу, доступність для оглядів і ремонтів, можливість заміни і модернізації окремих елементів тощо;
- обмеження ступеня ризику шляхом виконання вимог до вогнестійкості, безвідмовності роботи захисних пристроїв, надійності систем і мереж життєзабезпечення, живучості будівельних конструкцій тощо.

Будівельні конструкції та основи, як складові частини будівельного об'єкта, повинні відповідати наступним **вимогам**:

- сприймати без руйнувань і недопустимих деформацій впливи, що виникають під час їх зведення та встановленого терміну експлуатації;
- мати достатню експлуатаційну придатність в умовах нормальної експлуатації протягом усього встановленого терміну експлуатації;
- мати достатню живучість по відношенню до локальних руйнувань і передбачених нормами аварійних впливів (пожеж, вибухів, наїздів транспортних засобів тощо).

При проектуванні, зведенні та експлуатації використовуються такі **засоби забезпечення встановленого рівня надійності** будівельних об'єктів:

- урахування взаємодії з навколишнім середовищем в режимі нормальної експлуатації (впливи від роботи устаткування, навантаження від людей і вантажів, атмосферні впливи тощо);
- урахування небезпек, які можуть призвести до порушень експлуатаційної придатності конструкцій (недосконаlostі норм проектування; недоліки проектування, виготовлення, зведення або експлуатації внаслідок грубих помилок персоналу; істотні зміни технологічних навантажень і впливів внаслідок різких змін технологічного процесу; перевантаження при стихійних лихах, техногенних аваріях та інших виняткових подіях);
- виключення помилок осіб, які беруть участь у будівництві та в процесі експлуатації, шляхом визначення і фіксації у нормативній, проектній та експлуатаційній документації їх функцій та міри відповідальності, підбору персоналу відповідної кваліфікації, регламентації робочих процедур та документування контролю за результатами роботи персоналу;
- підтримання робочого стану конструкцій протягом усього встановленого строку експлуатації шляхом проведення оглядів і обстежень, ремонтів, або повної заміни конструкцій.

1.3. Класифікація відмов технічних об'єктів

Поняття відмови є одним з основоположних понять теорії надійності. **Відмовою** називають будь-яке порушення роботоздатності об'єкта. По відношенню до будівельних конструкцій відмова – це подія, що полягає в переході об'єкта, його частини або елемента через один із граничних станів (реалізація позаграничного стану).

Граничним називають стан, при перевищенні якого об'єкт перестає задовольняти вимогам, встановленим у проекті. Позаграничний стан – це перевищення межі, встановленої нормами для граничного стану.

Протилежним поняттям є *безвідмовність*, тобто здатність об'єкта безперервно зберігати експлуатаційно придатний стан протягом заданого терміну експлуатації.

Відмови можна класифікувати за такими *ознаками*.

Ступінь, характер і наслідки впливу на працездатність об'єкта (залежить від конкретного вибору об'єкта):

- пошкодження (дефект) – знижує функціональні характеристики об'єкта;
- часткова відмова – погіршення функціонування об'єкта чи вихід з ладу його частини;
- параметрична відмова – часткова відмова, виражена в погіршенні певних функціональних параметрів об'єкта;
- повна відмова (катастрофічна відмова) – припинення функціонування усього об'єкта;
- аварія – пошкодження, вихід із ладу, руйнування, що сталося з техногенних (конструктивних, виробничих, технологічних, експлуатаційних) або природних причин;
- катастрофа – великомасштабна аварія, яка спричинила численні людські жертви, значні матеріальні збитки або інші тяжкі наслідки.

Характер прояву відмови та її наслідків:

- відмова-зрив (раптова відмова) – одразу ж викликає збитки (втрати);
- відмова-перешкода (поступова відмова) – після виникнення відмови починається поступове накопичення збитків (втрат);
- деградаційна відмова – поступова відмова, обумовлена природними процесами старіння, зносу, корозії та втоми, при умові дотримання правил і норм проектування, виготовлення й експлуатації.

Зовнішні прояви та можливість діагностування відмов:

- явна відмова виявляється візуально або штатними засобами контролю;
- прихована відмова виявляється під час технічного обслуговування або спеціальними засобами діагностики.

Зв'язок між відмовами:

- незалежна відмова – не зумовлена іншими відмовами.
- залежна відмова виникає внаслідок інших відмов.

Причини виникнення відмов:

- конструктивна – наслідок порушень норм проектування;
- виробнича – наслідок порушень процесу виготовлення або ремонту;
- експлуатаційна – наслідок порушення правил і умов експлуатації.

1.4. Класифікація будівельних об'єктів та конструкцій за відповідальністю й терміном експлуатації

Класи наслідків (відповідальності) будівель і споруд визначаються згідно з підрозділом 5.1 ДБН В.1.2-14-2018 [2]. Класи відповідальності будівель і споруд визначаються рівнем можливих матеріальних збитків і (або) соціальних втрат, пов'язаних із припиненням експлуатації або із втратою цілісності об'єкта.

У технічному завданні на проектування або в іншій договірній документації повинен бути вказаний клас відповідальності об'єкта, який визначається замовником за узгодженням із генеральним проектувальником та організацією, яка здійснює наукове супроводження проектних робіт. Клас відповідальності має бути відомим власнику об'єкта і за згодою з ним може бути підвищений.

Категорії відповідальності конструкцій та їх елементів визначаються за підрозділом 5.2 ДБН В.1.2-14-2018 [2] залежно від наслідків, які можуть бути викликані відмовою:

А – конструкції та елементи, відмова яких може призвести до повної непридатності до експлуатації будівлі в цілому або значної її частини.

Б – конструкції та елементи, відмова яких може призвести до ускладнення нормальної експлуатації будівлі або до відмови інших конструкцій, які не належать до категорії А.

В – конструкції, відмови яких не призводять до порушення функціонування інших конструкцій або їх елементів.

Категорії відповідальності встановлюються проектувальником і наводяться в проектній документації.

Строки експлуатації будівель і споруд визначаються за підрозділом 5.3 ДБН В.1.2-14-2018 [2]. Розрахункові строки експлуатації T_{ef} будівель та споруд, які проектуються чи зберігаються при реконструкції, визначаються в завданні на проектування на підставі техніко-економічних розрахунків з урахуванням умов і режиму експлуатації та швидкості змін технологічних процесів, для організації й обслуговування яких створюється будівельний об'єкт. Якщо виконати вказані техніко-економічні розрахунки неможливо, розрахунковий строк експлуатації допускається визначати за даними таблиці 2 ДБН В.1.2-14-2018.

Розрахунковий строк експлуатації фіксується в проектній документації і має бути відомий власнику об'єкта, який несе відповідальність за експлуатацію об'єкта після закінчення встановленого строку експлуатації.

1.5. Компоненти і показники надійності

Надійністю називають властивість будівельного об'єкта виконувати задані функції протягом розрахункового строку експлуатації.

Надійність є комплексною властивістю об'єкта, яка включає такі компоненти, як безвідмовність, довговічність, безпечність, живучість, ремонтпридатність і збережуваність. Визначення цих понять наведені в підрозділі 1.1 та в ДБН В.1.2-14-2018 [2].

Показники надійності є кількісними характеристиками властивостей, що визначають якість і надійність об'єкта. Ці показники повинні враховувати час експлуатації об'єкта, а також випадковий характер впливів експлуатаційного середовища та властивостей самого об'єкта, які роблять відмову випадковою подією. Отже, показники надійності повинні мати імовірнісну природу. До основних показників надійності належать:

Імовірність відмови – це імовірність виникнення відмови протягом розрахункового строку експлуатації об'єкта чи іншого проміжку часу.

Імовірність безвідмовної роботи – це імовірність того, що у межах розрахункового строку експлуатації відмова об'єкта не виникає.

Середній наробіток до відмови – це середнє значення часу безвідмовної роботи об'єкта до першої відмови.

Гамма-відсотковий наробіток до відмови – наробіток, протягом якого відмова об'єкта не виникає з імовірністю γ (γ відсотках), або наробіток, протягом якого не відмовлять γ відсотків однотипних об'єктів. Цей показник можна також вважати гарантованим терміном експлуатації об'єкта.

1.6. Нормування характеристик міцності будівельних матеріалів

Розрахункові значення характеристик міцності матеріалів встановлюють на підставі результатів спеціальних випробувань і накопиченого досвіду згідно з вказівками пункту 6.5.6 і 7.4 ДБН В.1.2-14-2018 [2]. Їх визначають шляхом статистичної обробки даних, одержаних випробуваннями стандартних зразків.

За розрахункові значення величини, що характеризує міцність матеріалу конструкції (**розрахунковий опір**), приймається найменше значення із забезпеченістю 0,995. Це означає, що імовірність виявлення в сукупності матеріалу, що пройшов стандартний контроль, зразка з міцністю меншою за розрахунковий опір, не повинна перевищувати 0,005. **Характеристичні опори** матеріалів (бракувальний мінімум межі текучості сталі, клас міцності бетону) встановлюються із забезпеченістю 0,95.

Для існуючих об'єктів, які мають бути збережені при реконструкції, за розрахунковий опір матеріалу приймається нижня допустима межа інтервалу, що одержується за вибіркою даних випробувань і гарантує з довірчою ймовірністю 0,95, що не менше 95% випадкових значень величини, яка розглядається, розташовується вище цієї межі.

Практична методика встановлення характеристичного і розрахункового опору за результатами випробувань зразків матеріалу існуючих конструкцій викладена в підрозділі 3.1, в нормах [8] та в посібнику [6].

1.7. Класифікація навантажень та їх розрахункових значень

У процесі експлуатації будівельний об'єкт взаємодіє з експлуатаційним середовищем, сприймаючи його **впливи та навантаження**, класифікація яких наведена нижче згідно з ДБН В.1.2-14-2018 [2] та ДБН В.1.2-2:2006 [3]:

- **вплив** – будь-яка причина, в результаті якої в конструкції змінюються внутрішні напруження, деформації або інші параметри стану;
- **навантаження** – вплив, під яким розуміють як безпосередньо силові впливи, так і впливи від зміщення опор, зміни температури, усадки та інших подібних явищ, що викликають реактивні сили.

За мінливістю в часі й тривалістю дії навантаження класифікують на:

- **постійне** – навантаження, яке діє практично не змінюючись протягом усього терміну експлуатації споруди і для якого можна нехтувати зміною у часі його значень відносно середнього;
- **змінне** – навантаження, для якого не можна нехтувати зміною у часі його значень відносно середнього;
- **тривале** – змінне навантаження, тривалість дії якого співставна з установленим строком експлуатації конструкції T_{ef} ;
- **короткочасне** – змінне навантаження, яке реалізується багато разів протягом строку експлуатації споруди і для якого тривалість дії значно менша за T_{ef} ;
- **епізодичне** – навантаження, яке реалізується надзвичайно рідко (один чи декілька разів протягом строку експлуатації споруди) і тривалість дії якого незрівнянно мала порівняно зі строком експлуатації T_{ef} . Як правило, епізодичними є аварійні навантаження і впливи.

За причинами виникнення навантаження ділять на основні, які є неминучими наслідками природних явищ або людської діяльності, та аварійні, які є результатами несприятливого збігу обставин техногенного характеру, або небажаними результатами впливу людського фактора.

Залежно від реакції конструкцій на їх дію навантаження можуть бути статичними та динамічними.

Залежно від природи та характерних особливостей навантажень, для них можуть встановлюватися до чотирьох *видів розрахункових значень*:

- *характеристичне* – основне (базове) значення навантаження, встановлене в нормах проектування;
- *граничне* розрахункове значення відповідає екстремальній ситуації, яка може виникнути не більше одного разу протягом строку експлуатації конструкції, та зазвичай використовується для перевірки граничних станів першої групи, вихід за межі яких еквівалентний повній втраті експлуатаційної придатності конструкції;
- *експлуатаційне* розрахункове значення характеризує умови нормальної експлуатації конструкції. Як правило, воно використовується для перевірки граничних станів другої групи (виникнення недопустимих переміщень конструкції, недопустима вібрація, недопустимо велике розкриття тріщин у залізобетонних конструкціях тощо);
- *квазіпостійне* розрахункове значення використовується для врахування реологічних процесів (наприклад, повзучість бетону), що відбуваються під дією змінних навантажень, і визначається як рівень постійного впливу, еквівалентного за результуючою дією до фактичного випадкового процесу навантаження;
- *циклічне* розрахункове значення використовується для розрахунків конструкцій на витривалість і визначається як гармонійний процес, еквівалентний за результуючою дією реальному випадковому процесу змінного навантаження.

1.8. Принципи встановлення розрахункових значень навантажень

Для кожного з основних навантажень і впливів нормами [2, 3] встановлено два головних розрахункових значення – експлуатаційне і граничне, а для кожного аварійного навантаження чи впливу – одне граничне розрахункове значення.

Експлуатаційне розрахункове значення постійного навантаження приймається рівним номінальній величині, встановленій із урахуванням геометричних та інших характеристик, вказаних у проектній документації. Для конструкцій, які перебувають в експлуатації, воно дорівнює їх середній величині, визначеній при проведенні натурних обстежень.

Граничне розрахункове значення постійного навантаження встановлюється таким, щоб воно з заданою імовірністю не могло бути перевищене. Допускається виходити з умови, що імовірність перевищення граничного розрахункового значення в сто разів менша за імовірність перевищення експлуатаційного розрахункового значення.

Експлуатаційне розрахункове значення змінного навантаження встановлюється таким, щоб тривалість дії навантаження більшої інтенсивності в середньому не перевищувала заданої частки розрахункового строку експлуатації конструкції (наприклад, 2%). Частка часу встановлюється з умов ефективного використання конструкції за функціональним призначенням.

Граничне розрахункове значення змінного навантаження визначається з умови його неперевикнення протягом заданого періоду повторюваності T . Як правило, в якості T вибирається розрахунковий строк експлуатації T_{ef} , а допустима імовірність перевищення приймається такою, щоб граничне розрахункове значення змінного навантаження могло перевищуватися не частіше одного разу протягом терміну T_{ef} .

Граничне розрахункове значення аварійного навантаження встановлюється аналогічно змінному навантаженню, але поряд зі значенням навантаження встановлюють середню періодичність або імовірність його реалізації протягом терміну T_{ef} .

Для імовірнісного опису змінних навантажень застосовують математичні моделі випадкового поля, випадкових процесів різного виду, послідовності максимальних значень за характерні інтервали часу, а також інші моделі, які відображають реальний процес навантаження.

При нормуванні постійних навантажень і впливів застосовують математичні моделі випадкової величини або випадкового поля, яке відображає просторову мінливість навантаження.

Конкретна імовірнісна модель для нормування кожного навантаження вибирається з урахуванням його фізичної природи, особливостей реалізації, характеру та обсягу наявних статистичних даних і точності результатів.

При визначенні розрахункових значень навантажень і впливів на конструкції, що експлуатуються, враховують встановлені за даними натурних обстежень фактичні значення необхідних параметрів конструкцій, результати метеорологічних спостережень для конкретного району будівництва, а також інші дані щодо реальних навантажень і впливів на конструкцію.

Практичні методики визначення розрахункових значень викладені в підрозділах 3.2 і 3.3 на прикладі постійного та снігового навантажень. Більш повна інформація про методи нормування навантажень викладена в [6].

1.9. Нормативні документи, що регламентують методи забезпечення надійності будівельних конструкцій

Для поглибленого вивчення теоретичних положень, виконання розрахункової роботи та підготовки до екзамену слід ознайомитися зі змістом перелічених нижче нормативних документів, звернувши особливу увагу на відмічені питання та розділи.

ДБН В.1.2-14-2018. Загальні принципи забезпечення надійності та конструктивної безпеки будівель, споруд, будівельних конструкцій та основ [2]. Норми містять такі ключові положення щодо забезпечення надійності:

- визначення основних понять (розділ 3);
- вимоги до надійності будівельних об'єктів (п. 4.1);
- урахування умов експлуатації, техногенних і природних небезпек (п. 4.2);
- заходи щодо запобігання небезпекам (п. 4.3);
- класи відповідальності будівельних об'єктів (п. 5.1, 5.2);
- категорії відповідальності будівельних конструкцій та елементів (п. 5.2);
- встановлення й урахування строків експлуатації будівель і споруд (п. 5.3);
- загальні принципи розрахунку будівельних конструкцій: розрахункові моделі, розрахункові ситуації, забезпечення живучості (п. 6.1, 6.3, 6.4, 6.6);
- метод граничних станів: визначення та класифікація, граничні нерівності (п. 6.2, 7.1, додаток А);
- розрахункові значення властивостей будівельних матеріалів та розмірів конструкцій (п. 6.5.6, 6.5.7, 7.4, 7.5);
- класифікація та розрахункові значення постійних і змінних навантажень і впливів на будівельні конструкції (п. 6.5.1...6.5.5, 7.2);
- урахування спільної дії навантажень і впливів при розрахунках за методом граничних станів (п. 7.3);
- коефіцієнти відповідальності та надійності моделі (п. 7.6);
- рекомендована методика ймовірнісного розрахунку надійності (розділ 8, додаток Б);
- поняття про прогнозування аварійних ситуацій (додаток В).

ДБН В.1.2-2:2006. Навантаження і впливи. Норми проектування [3, 4]. Слід звернути увагу на такі положення щодо забезпечення надійності:

- сфера використання норм (розділ 1);
- визначення основних понять (розділ 3, додаток Б);
- класифікація навантажень; перелік і застосування розрахункових значень навантажень (пункти 4.1...4.14);
- урахування спільної дії навантажень (пункти 4.15...4.20 зі зміною № 2);
- визначення постійних і технологічних навантажень (розділи 5, 6, 7);
- принципи визначення характеристичних і розрахункових значень кліматичних навантажень (пункти 8.1...8.5, 8.11, 8.12, 9.1...9.6, 9.14, 9.15, 10.1...10.4, 10.7...10.12);

- система коефіцієнтів, що враховують географічні та конструктивні фактори при визначення атмосферних навантажень (пункти 8.6...8.10, 9.7...9.13, 9.16, 10.5, 10.6, 10.13);
- визначення орієнтовних строків експлуатації будівель і споруд (додаток В), встановлення уточнених характеристичних значень атмосферних навантажень для міст обласного підпорядкування України (додаток Е), визначення розподілів снігового навантаження по поверхні покрівель (додаток Ж), визначення аеродинамічних коефіцієнтів (додаток І)

ДБН 362-93. Оцінка технічного стану сталевих конструкцій виробничих будівель і споруд, що знаходяться в експлуатації [8]. У нормах викладені особливості оцінювання технічного стану та надійності сталевих конструкцій, що перебувають в експлуатації:

- галузь застосування ДБН 362-93 (вступ, пункт 1.1);
- класифікація технічних станів сталевих конструкцій та рекомендована методика оцінювання ступеню фізичного зносу (пункт 1.2, додаток 5);
- засоби оцінювання технічного стану та надійності конструкцій, що перебувають в експлуатації (пункти 1.3, 1.5, 3.1...3.11);
- прогнозування термінів експлуатації та періодичності оглядів і обстежень конструкцій (пункти 1.4, додаток 1);
- порядок проведення обстежень, класифікація дефектів та експлуатаційних пошкоджень (пункти 2.1...2.10, додаток 3);
- методика визначення характеристик сталі (пункти 2.11...2.14, додаток 4);
- методика уточнення постійних навантажень (пункти 2.15...2.16);
- методика уточнення атмосферних навантажень (пункти 2.19, 2.20);
- урахування дефектів виготовлення та експлуатаційних пошкоджень різних видів у розрахунках сталевих конструкцій (пункти 3.12...3.23);
- прийняття рішення щодо результатів оцінки технічного стану конструкцій, які перебувають в експлуатації (розділ 4).

Окрім розглянутих нормативних документів, надійність регламентується нормами проектування будівельних конструкцій різних видів (металевих, дерев'яних, залізобетонних, спеціальних тощо) у яких викладені методи розрахунку, встановлені значення частини коефіцієнтів методу граничних станів, а також наведені принципи конструювання та конструктивні обмеження, зорієнтовані на забезпечення надійності цих конструкцій.

Більш детальне викладення питань теорії надійності будівельних конструкцій можна також знайти в літературі, рекомендованій у розділі 2 для кожного з програмних питань навчальної дисципліни. Практичні методи статистичної обробки вибірок випадкових величин та найчастіше вживані закони розподілу описані в додатку А. Додаток Б містить статистичні таблиці, необхідні для виконання розрахункової роботи.

2. ПЕРЕЛІК ПРОГРАМНИХ ПИТАНЬ ТА РЕКОМЕНДАЦІЇ З ЇХ ВИВЧЕННЯ

№ з/п	Зміст програмних питань	Рекомендована література
	<i>Тема 1 Загальні принципи забезпечення надійності будівельних конструкцій</i>	
1.1	Проблема надійності та її значення для сучасного будівництва	[6], [7], [9]
1.2	Основні поняття, терміни та визначення теорії надійності	[2], [6], [7], [9]
1.3	Вимоги та засоби забезпечення надійності технічних об'єктів	[2], [6]
1.4	Метод граничних станів як засіб регулювання надійності будівельних конструкцій	[2], [6], [9]
1.5	Граничні нерівності та розрахункові параметри методу граничних станів	[2], [6]
1.6	Імовірнісна природа та принципи нормування розрахункових параметрів методу граничних станів	[2], [6], [7]
1.7	Нормування характеристик міцності будівельних матеріалів	[2], [6], [8], [20]
	<i>Тема 2 Короткі відомості з теорії імовірностей і математичної статистики</i>	
2.1	Базові поняття теорії імовірностей і математичної статистики	[6], [12]
2.2	Закон розподілу та числові характеристики випадкових величин	[1], [6], [12]
2.3	Поширені закони розподілу випадкових величин	[1], [6], [12], [13]
2.4	Поняття про випадкові процеси та поля	[1], [6], [7], [12]
2.5	Порядок статистичної обробки вибірок випадкових величин	[1], [6], [12]
2.6	Визначення числових характеристик і побудова гістограм розподілу	[1], [6], [12]
2.7	Вибір закону розподілу на підставі статистичного аналізу дослідних даних	[1], [6], [12], [13]
2.8	Імовірнісне оцінювання та нормування розрахункових значень	[6], [12], [13]
2.9	Кореляція та регресія випадкових величин	[6], [12]

№ з/п	Зміст програмних питань	Рекомендована література
	<i>Тема 3 Загальні принципи нормування навантажень і впливів на будівельні конструкції</i>	
3.1	Класифікація навантажень і впливів на будівельні конструкції	[2], [3], [6], [10]
3.2	Види розрахункових значень навантажень і впливів на будівельні конструкції	[2], [3], [6]
3.3	Принципи нормування навантажень і впливів на будівельні конструкції	[2], [3], [6], [7], [10]
3.4	Загальні методи визначення розрахункових значень змінних навантажень і впливів	[6], [7], [13]
3.5	Дослідження спільної дії випадкових навантажень на несучі будівельні конструкції	[6], [8], [10]
3.6	Порядок урахування спільної дії навантажень в нормах проектування	[2], [3], [4], [8]
	<i>Тема 4 Постійні та технологічні навантаження</i>	
4.1	Дослідження та нормування постійних навантажень від власної ваги конструкцій	[3], [6], [8], [10]
4.2	Дослідження та нормування технологічних навантажень на перекриття	[3], [6], [8]
4.3	Фізична природа навантажень від мостових і підвісних кранів	[6], [7]
4.4	Експериментальні дослідження, імовірнісне подання та нормування кранових навантажень	[6], [7], [8]
4.5	Навантаження від мостових і підвісних кранів у ДБН В.1.2-2:2006	[3], [4], [6]
	<i>Тема 5 Кліматичні навантаження і впливи</i>	
5.1	Особливості нормування кліматичних навантажень і впливів	[6], [10], [18]
5.2	Методи територіального районування розрахункових параметрів кліматичних навантажень і впливів	[6], [10], [14], [15], [16], [18]
5.3	Територіальне районування розрахункових параметрів кліматичних навантажень і впливів у нормативних документах України	[3], [6], [14], [15]
5.4	Фізична природа та метеорологічні спостереження за сніговим покривом	[6], [7]
5.5	Імовірнісний опис та нормування снігового навантаження	[6], [7], [10], [13]
5.6	Снігове навантаження в ДБН В.1.2-2:2006	[3], [6]

№ з/п	Зміст програмних питань	Рекомендована література
5.7	Фізична природа та метеорологічні спостереження за вітровим потоком	[6], [7]
5.8	Імовірнісний опис та нормування вітрового навантаження	[6], [7], [10], [13]
5.9	Вітрове навантаження в ДБН В.1.2-2:2006	[3], [6]
5.10	Дослідження та нормування навантаження від ожеледі в ДБН В.1.2-2:2006	[3], [6], [7], [10]
5.11	Дослідження та нормування впливу температури повітря на будівлі та несучі конструкції в ДБН В.1.2-2:2006	[3], [6], [10], [11], [22], [23]
5.12	Особливості визначення кліматичних навантажень і впливів на об'єкти, що підлягають, реконструкції, ремонту чи відновленню	[8], [17], [18]
	<i>Тема 6 Показники надійності будівельних конструкцій та принципи їх оцінювання</i>	
6.1	Класифікація відмов технічних об'єктів	[2], [6], [7]
6.2	Показники надійності та довговічності будівельних конструкцій і виробів	[2], [6], [7]
6.3	Фізичні механізми та моделі відмов будівельних конструкцій і виробів	[6], [21]
6.4	Принципи розрахункового оцінювання показників надійності	[2], [6], [7], [19], [21]
6.5	Імовірнісне подання властивостей будівельних матеріалів	[6], [7], [19], [20], [21]
6.6	Імовірнісні моделі навантажень і впливів експлуатаційного середовища	[6], [7], [19]
	<i>Тема 7 Практичні методи оцінювання показників надійності несучих конструкцій</i>	
7.1	Оцінювання безвідмовності елементів несучих конструкцій при постійних силових впливах	[2], [6], [7], [19]
7.2	Оцінювання безвідмовності елементів несучих конструкцій при змінних силових впливах	[2], [6], [7], [19], [21]
7.3	Поняття про показники надійності технічних систем	[6], [7], [21]
7.4	Проблема оцінювання надійності статично невизначених несучих будівельних конструкцій	[6], [7]
7.5	Розрахункове оцінювання довговічності будівельних конструкцій і виробів	[6], [22]
7.6	Оцінювання показників довговічності за результатами випробувань	[1], [6], [22]

№ з/п	Зміст програмних питань	Рекомендована література
	<i>Тема 8 Оцінювання показників теплової надійності огорожувальних конструкцій</i>	
8.1	Критерії теплових відмов, показники та принципи оцінювання теплової надійності огорожувальних конструкцій	[5], [6], [24], [25]
8.2	Оцінювання рівня теплової надійності за критерієм втрат тепла	[5], [11]
8.3	Оцінювання рівня теплової надійності за критеріями комфортності та утворення конденсату	[5], [11], [24], [25], [26], [27]
8.4	Конструктивні заходи щодо підвищення рівня теплової надійності огорожувальних конструкцій	[5], [24], [25], [27], [27]

3. МЕТОДИКА ВИКОНАННЯ ІНДИВІДУАЛЬНОЇ РОЗРАХУНКОВО-ДОСЛІДНИЦЬКОЇ РОБОТИ

Виконання розрахунково-дослідницької роботи передбачене робочим навчальним планом підготовки здобувачів другого (магістерського) рівня вищої освіти за спеціальністю 192 – Будівництво та цивільна інженерія заочної форми навчання. При її виконанні слід керуватися наведеним нижче алгоритмом виконання розрахунків та вихідними даними, вказаними в індивідуальному завданні. Більш повна інформація щодо порядку виконання й теоретичного обґрунтування методики розрахунків наведена в методичних рекомендаціях до практичних занять [1] та в посібнику [6]. Зразок оформлення роботи наведений в додатку Г.

3.1. Визначення розрахункового опору сталі за результатами випробувань зразків

Вихідними даними є результати випробувань зразків сталі, які були відібрані з конструкцій, що перебувають в експлуатації. Необхідно виконати статистичну обробку наявної вибірки та встановити розрахунковий опір випробуваної сталі.

Порядок розв'язання відповідає методиці статистичної обробки вибірок випадкових величин, описаній у додатку А та в посібниках [1, 6], а також встановленим нормами [2] принципам нормування розрахункових опорів будівельних матеріалів. Розрахунки виконуються в такій послідовності:

1. За формулами додатку А.2 в середовищі Excel або вручну визначають числові характеристики наданої в індивідуальному завданні вибірки границі текучості сталі: обсяг N , розмах (X_{min} та X_{max}), середнє значення M , стандарт S , коефіцієнт варіації V .
2. За вказівками додатку А.3 встановлюють межі інтервалів гістограми, визначають кількості та частоти попадання даних до кожного інтервалу, експериментальні значення густини та будують гістограму розподілу границі текучості сталі.
3. За формулою (А.9) обчислюють значення густини нормального розподілу для прийнятих меж інтервалів і на гістограмі будують апроксимуючу криву густини нормального розподілу.
4. Здійснюють візуальну перевірку відповідності підбраного нормального розподілу дослідній гістограмі.

5. Визначають величину розрахункового опору сталі за формулою

$$R_y = M - \alpha \times S, \quad (3.1)$$

де α – толерантна межа, яка враховує необхідну забезпеченість розрахункового опору сталі та обсяг вибірки результатів випробувань. Значення α приймають за таблицею, запозиченою з додатка 4 ДБН [8]:

$N =$	5	6	7	8	9	10	15	20	25	30	40	50
$\alpha =$	4,21	3,71	3,40	3,19	3,03	2,91	2,57	2,40	2,29	2,22	2,12	2,06

При аналізі отриманих результатів слід врахувати, що коефіцієнти варіації характеристик міцності будівельних матеріалів звичайно приймають такі значення: сталь – 0,06...0,12; бетон – 0,10...0,15; деревина – 0,15...0,25. Вихід результатів за вказані межі свідчить про неоднорідність наявної вибірки (присутність матеріалів різних марок), або про помилку в розрахунках.

3.2. Визначення розрахункових значень постійного навантаження за результатами натурних обстежень

Вихідними даними для аналізу є результати зважування матеріалів огорожувальних шарів покрівлі, які були відібрані з пробитих шурфів у процесі обстеженні будівлі. Необхідно за результатами статистичної обробки вибірки значень ваги огорожувальних шарів встановити характеристичне, експлуатаційне та граничне розрахункове значення рівномірно розподіленого навантаження від маси огорожувальних конструкцій покрівлі.

Порядок розв'язання відповідає описаній у додатку А та в посібниках [6, 12] методиці статистичної обробки вибірок випадкових величин і викладеній в [2, 3, 8] методиці нормування постійного навантаження. Розрахунки виконуються в такій послідовності:

1. Для кожного шурфа обчислюють значення навантаження, рівномірно розподіленого по поверхні покрівлі (в Па), шляхом ділення сумарної ваги матеріалів, відібраних із шурфа (у ньютонах), на його площу (в м²).
2. За формулами додатку 2.2 в середовищі Excel чи вручну визначають числові характеристики вибірки значень рівномірно розподіленого по площі навантаження від огорожувальних шарів покрівлі: обсяг вибірки N , розмах (X_{min} та X_{max}), середнє значення M_0 , стандарт S_0 , коефіцієнт варіації V_0 .

3. З урахуванням обчислених статистичних характеристик навантаження від огорожувальних шарів та детермінованого значення M_H рівномірно розподіленого навантаження від ваги несучого настилу визначають статистичні характеристики сумарного навантаження від ваги покрівлі:

$$M = M_o + M_H, \quad S = S_o, \quad V = S/M. \quad (3.2)$$

Примітка: Якщо в індивідуальному завданні замість результатів зважування матеріалів, відібраних із шурфів, наведені вже обчислені середнє значення й стандарт постійного навантаження, розрахунки за пунктами 1...3 виконувати не потрібно.

4. Згідно з вказівками пунктів 5.1, 5.2 ДБН [3], характеристичне та експлуатаційне розрахункове значення постійного навантаження приймають рівними його середньому значенню

$$Q_o = Q_e = M. \quad (3.3)$$

5. Обчислюють граничне розрахункове значення постійного навантаження з урахуванням обсягу наявної вибірки N за вказівками ДБН [8] щодо розрахунку конструкцій, які перебувають в експлуатації:

$$Q_m = M + \alpha \times S / \sqrt{N}, \quad (3.4)$$

де M і S – середнє значення та стандарт за (3.2);

α – толерантна межа за запозиченою з [8] таблицею:

$N =$	5	6	7	8	9	12	15	20	25	30	40	≥ 60
$\alpha =$	2,13	2,02	1,94	1,89	1,86	1,80	1,76	1,73	1,71	1,70	1,68	1,67

6. Встановлюють забезпеченість (імовірність неперевищення) визначеного за ДБН [3] граничного розрахункового значення постійного навантаження за таблицею нормального розподілу Б.1 залежно від значення аргументу

$$t = (Q_m - M) / S, \quad (3.5)$$

де Q_m – граничне розрахункове значення постійного навантаження, визначене за ДБН В.1.2-2:2006;

M і S – математичне сподівання й стандарт сумарного навантаження від маси покрівлі (3.2).

7. При наявності проектної конструкції покрівлі отримані за результатами статистичної обробки розрахункові значення постійного навантаження (3.3) і (3.4) порівнюють з відповідними розрахунковими значеннями, встановленими за ДБН В.1.2-2:2006 [3], а рівень забезпеченості граничного розрахункового значення – з вимогами ДБН В.1.2-14-2009 [2].

3.3. Нормування снігового навантаження за результатами снігомірних зйомок

Вихідними даними є результати снігомірних зйомок на одній з метеостанцій України, з яких сформована вибірка річних максимумів ваги снігового покриву на поверхні ґрунту. Необхідно виконати статистичну обробку наявної вибірки, описати її законом розподілу Гумбеля та встановити характеристичне й граничне розрахункове значення снігового навантаження на поверхню ґрунту.

Порядок розв'язання базується на методиці статистичної обробки вибірок випадкових величин з додатку А та на методиці нормування снігового навантаження [3, 6, 10]. Розрахунки виконують таким чином:

1. За формулами додатку 2.2 в середовищі Excel або вручну визначають числові характеристики вибірки річних максимумів ваги снігового покриву: обсяг вибірки N , розмах (X_{min} та X_{max}), середнє значення M , стандарт S , коефіцієнт варіації V .
2. За вказівками додатку А.3, А.4 будують гістограму розподілу, визначають параметри закону розподілу Гумбеля, обчислюють значення його густини для кінців інтервалів i на гістограму наносять апроксимуючу криву густини розподілу Гумбеля.
3. Візуально перевіряють відповідність підібраного розподілу Гумбеля до дослідної гістограми.
4. Обчислюють характеристичне та граничне розрахункове значення снігового навантаження за наближеною формулою з [1, 6]:

$$S_m(T) = M + S(0,78 \times \ln T - 0,45), \quad (3.6)$$

де T – середній період повторюваності розрахункового значення;
 M і S – середнє значення та стандарт за результатами статистичної обробки вибірки річних максимумів ваги снігового покриву, виконаної згідно з пунктом 1.

Характеристичне значення снігового навантаження обчислюють для періоду повторюваності $T = 50$ років, а граничне розрахункове значення – для періоду повторюваності T , рівного вказаному в завданні розрахунковому строку експлуатації прогону T_{ef} .

5. Характеристичне значення снігового навантаження, отримане за формулою (3.6), порівнюють з характеристичним значенням для заданого району будівництва, встановленим за додатком Е та за картою територіального районування ДБН В.1.2-2:2006 [3].

3.4. Перевірочний розрахунок прогону покрівлі

Вихідними даними є географічний район розташування об'єкта, розрахунковий строк експлуатації будівлі T_{ef} , конструкція покрівлі, проліт l , крок b та переріз прогону, вказані в індивідуальному завданні. Необхідно визначити розрахункові значення навантажень від власної ваги конструкцій покрівлі та снігу за ДБН В.1.2-2:2006, обчислити внутрішні зусилля й виконати перевірку міцності прогону з урахуванням розрахункових значень постійного та снігового навантаження, встановленими за ДБН [3] та за результатами статистичної обробки даних, виконаної у підрозділах 3.2 і 3.3.

Порядок розв'язання відповідає процедурі перевірки несучої здатності елементів сталевих конструкцій при згині згідно з нормами проектування ДБН В.2.6-198:2014 – Сталеві конструкції. Норми проектування. Розрахунки рекомендуються виконувати в такій послідовності:

1. За вказаною в індивідуальному завданні конструкцією покрівлі та вказівками розділу 5 ДБН В.1.2-2:2006 визначити характеристичне й граничне розрахункове значення постійного навантаження. Розрахунок слід виконувати з урахуванням конструкції покрівлі в табличній формі:

Склад покрівлі	Q_0 (Па)	γ_{fm}	Q_m (Па)
Гравійна захисна посипка			
Гідроізоляція з _____			
Утеплювач з _____ густиною $\rho =$ ____ кг/м ³ товщиною ____ мм			
.			
Настил з _____			
Прогін покрівлі			
У с ь о г о		—	

Примітка: Якщо в індивідуальному завданні замість конструкції покрівлі наведені вже підраховані характеристичне й граничне значення постійного навантаження, цей розрахунок виконувати не потрібно.

2. Для заданого географічного району за додатком Е ДБН В.1.2-2:2006 визначити характеристичне значення снігового навантаження.
3. За формулою (8.1) ДБН В.1.2-2:2006 обчислити граничне розрахункове значення снігового навантаження для періоду повторюваності T , рівного вказаному в завданні встановленому терміну експлуатації T_{ef} . При цьому конструктивні особливості та метеорологічні умови вважаються такими, при яких усі допоміжні коефіцієнти дорівнюють одиниці, тому в формулі (8.1) ДБН В.1.2-2:2006 приймають $C=1$.

4. Визначити сумарне граничне розрахункове значення від снігу та власної маси покрівлі

$$Q = Q_m + S_m \text{ (Па)}, \quad (3.7)$$

погонне навантаження на прогон

$$q = Q \times b \text{ (Н/м)} \quad (3.8)$$

та згинальний момент у прогоні, як у балці на двох шарнірних опорах

$$M = \frac{q \times l^2}{8} \text{ (Н} \times \text{м)}. \quad (3.9)$$

5. За вказівками чинних норм проектування сталевих конструкцій ДБН В.2.6-163:2010 виконати перевірку міцності прогону при дії граничного розрахункового значення навантаження, що відповідає встановленому терміну експлуатації будівлі, за формулою:

$$\sigma = \frac{M}{W} \leq R_y \text{ (МПа)}, \quad (3.10)$$

де R_y – розрахунковий опір сталі, визначений ДБН В.2.6-198:2014, а при невідомій марці сталі – за проаналізованими у підрозділі 3.1 результатами випробувань зразків;

W – момент опору перерізу прокатного профілю, який визначається за сортаментом (вибірковий сортамент прокатних двотаврів та швелерів наведено в додатку В).

6. Розрахунки за пунктами 4 і 5 слід повторити з урахуванням уточнених розрахункових значень навантажень з підрозділів 3.2 і 3.3 та визначеного в підрозділі 3.1 розрахункового опору сталі.
7. Зробити висновки щодо несучої здатності прогону при його розрахунку на постійне та снігове навантаження за ДБН В.1.2-2:2006 та на навантаження, уточнені за результатами статистичної обробки даних. Виявити причини відмінностей у результатах розрахунків та зробити остаточний висновок про можливість подальшої експлуатації прогону.

3.5. Визначення імовірності відмови прогону покрівлі

Вихідними даними є результати перевірки міцності прогону покрівлі, виконаної у підрозділі 3.4, а також отримані в підрозділах 3.1...3.3 статистичні характеристики границі текучості сталі, постійного та снігового навантаження. Необхідно визначити імовірність відмови сталевих прогонів покрівлі за критерієм міцності.

Порядок розв'язання базується на спрощеній методиці імовірнісного розрахунку надійності, запропонованій О.Р Ржаніциним, у загальному вигляді викладеній у додатку Б ДБН В.1.2-14:2018 [2] і конкретизованій в посібнику [6]. Розрахунки виконують у такій послідовності:

1. До зведеної розрахункової таблиці заносять результати перевірочних розрахунків прогону за чинними нормами проектування, а також числові характеристики міцності матеріалу, постійного та снігового навантаження на покрівлю, отримані в попередніх підрозділах:

Розрахункові параметри	Розрахункові значення		Числові характеристики	
	за ДБН	уточнені	M	S
Характеристика міцності (МПа)				
Постійне навантаження (Па)				
Снігове навантаження (Па)				
Максимальні напруження (МПа)			—	—
Коефіцієнт впливу		—	—	—
Матеріал і переріз прогону				

2. Коефіцієнт впливу постійного та снігового навантаження визначають за результатами перевірочних розрахунків прогону з підрозділу 3.4 як відношення максимальних напружень у прогоні до величини сумарного рівномірно розподіленого навантаження на покрівлю.
3. Визначають середнє значення і стандарт резерву міцності за формулами

$$M = M_R - \alpha_{II} M_{II} - \alpha_C (M_C + 0,78 S_C \ln T); \quad (3.11)$$

$$S = \sqrt{S_R^2 + \alpha_{II}^2 S_{II}^2 + \alpha_C^2 S_C^2}, \quad (3.12)$$

де M_R і S_R – середнє значення й стандарт межі текучості сталі з наведеної вище зведеної таблиці даних;

M_{II} і S_{II} – середнє значення й стандарт постійного навантаження з наведеної вище зведеної таблиці даних;

M_C і S_C – середнє значення й стандарт снігового навантаження з наведеної вище зведеної таблиці даних;

$\alpha_{II} = \alpha_C$ – коефіцієнти впливу постійного та снігового навантаження, обчислені за пунктом 2;

T – строк служби конструкції в роках.

4. Обчислюють дальність відмови $\beta = M/S$, за якою визначають імовірність відмови $P_B(T)$ з таблиці Б.3 та імовірність безвідмовної роботи, рівну $P_H(T) = 1 - P_B(T)$.

5. Розрахунки показників надійності за пунктами 3 і 4 виконують для заданого терміну експлуатації T_{ef} та інших строків служби, для яких визначалися розрахункові значення снігового навантаження. Проміжні дані та результати розрахунків заносять в таблицю:

Строк служби T (роки)	Характеристики резерву міцності		Дальність відмови β	Імовірність відмови $P_B(T)$	Надійність $P_H(T)$
	M	S			
20					
. . .					
T_{ef}					
. . .					
200					

***Примітка:** За дозволом викладача студенти дистанційної форми навчання можуть оцінювати показники надійності лише для терміну експлуатації, визначеного в завданні, не складаючи наведену вище розрахункову таблицю.*

6. Визначають нормативні показники надійності за ДБН В.1.2-14:2018:
- клас відповідальності будівлі – за пунктом 5.1;
 - категорія відповідальності конструкції – за пунктом 5.2;
 - доцільне значення імовірності відмови – за таблицею Б.1 додатка Б.
7. За результатами розрахунку робляться **висновки** щодо залежності рівня надійності проаналізованої конструкції від її строку експлуатації та щодо відповідності рівня надійності вимогам ДБН В.1.2-14:2018 [2].

Виконану індивідуальну розрахунково-дослідницьку роботу необхідно оформити у вигляді пояснювальної записки за зразком додатка Г. Результати захисту роботи враховуються при виставленні підсумкової екзаменаційної оцінки здобувачам освіти дистанційної форми навчання.

Рекомендована література

(джерела, режим доступу до яких не наведено в списку,
наявні на сайті дистанційної освіти)

1. Теорія надійності будівель і споруд. Методичні рекомендації до практичних занять для здобувачів вищої освіти другого (магістерського) рівня спеціальності 192 – Будівництво та цивільна інженерія. / В.А Пашинський: – Кропивницький: ЦНТУ, 2023. – 39 с.
2. ДБН В.1.2-14-2018. Загальні принципи забезпечення надійності та конструктивної безпеки будівель і споруд. К.: Мінрегіонбуд України, 2018. – 30 с.
3. ДБН В.1.2-2:2006. Навантаження і впливи. Норми проектування. К.: Мінбуд України, 2007. – 60 с.
4. ДБН В.1.2-2:2006. Навантаження і впливи. Норми проектування. Зміна № 2. К.: Мінбуд України, 2020.- 5 с.
5. ДБН В.2.6-31:2021. Теплова ізоляція та енергоефективність будівель. – К., 2022. – 23 с.
6. Основи теорії надійності будівель і споруд. Навчальний посібник для студентів будівельних спеціальностей усіх форм навчання / В.А Пашинський: – Кропивницький: ЦНТУ, 2016. – 155 с.
7. Пічугін С.Ф. Розрахунок надійності будівельних конструкцій. [Текст]: монографія. – Полтава: ТОВ «АСМІ», 2016. – 240 с.
8. ДБН 362-93. Оцінка технічного стану сталевих конструкцій виробничих будівель і споруд, що знаходяться в експлуатації / Держбуд України.- К.: Укрархбудінформ, 1995. – 46 с.
9. Баженов В.А. Будівельна механіка і теорія споруд. Нариси з історії / В.А.Баженов, Ю.В.Ворона, А.В.Перельмутер. – К.: Каравела, 2016. – 428 с.
10. Пашинський В.А. Атмосферні навантаження на будівельні конструкції на території України. – К.: УкрНДІПСК, 1999.– 185 с.
11. Пашинський В.А., Пушкар Н.В., Карюк А.М. Температурні впливи на огорожувальні конструкції будівель. – Одеса : ОДАБА, 2012. – 180 с.
12. Пашинський В.А., Пашинський М.В. Статистичні методи в інженерних дослідженнях. Навчальний посібник для здобувачів вищої освіти з інженерних спеціальностей.: – Кропивницький: ЦНТУ, 2020. – 106 с.
13. Pashynskyi, M., Pashynskyi, V., Klymenko, E.: Calculation of climate loads design values according to the probability model of annual maximum series, Electronic Journal of the Faculty of Civil Engineering Osijek-e-GFOS, 2021, 23, pp. 61-71, Режим доступу: <https://doi.org/10.13167/2021.23.6>

14. Пашинський В.А. Способи територіального районування кліматичних навантажень / В.А. Пашинський, М.В. Пашинський, В.В. Пашинський // Вісник Одеської державної академії будівництва та архітектури. – Одеса: Атлант, 2016. – Випуск № 64. – С. 103-109.
15. Пашинський В.А. Методика адміністративно-територіального районування кліматичних навантажень на будівельні конструкції // Ресурсоекономічні матеріали, конструкції, будівлі та споруди: Збірник наукових праць. – Рівне, 2016. – Випуск 32. – С. 387-393.
16. Пашинський В.А., Філімоніхін Г.Б., Пашинський М.В. Районування характеристичних значень кліматичних навантажень на території України. Збірник наукових праць Українського інституту сталевих конструкцій імені В. М. Шимановського. – К.: Вид-во «Сталь», 2018. – Вип. 19 – С. 88-100. Режим доступу: <http://dspace.kntu.kr.ua/jspui/handle/123456789/8551>
17. Пашинський В.А. Методика визначення кліматичних навантажень в заданій географічній точці / В.А. Пашинський, С.О. Карпушин, М.В. Пашинський // Вісник Одеської державної академії будівництва та архітектури, 2018. – Вип. № 71. – С. 68-72. Режим доступу: <http://dspace.kntu.kr.ua/jspui/handle/123456789/8550>
18. Željko Kos. Analysis of Methods for Determining Climate Loads at a Specified Territory Point by Meteorological Data / Željko Kos*, Viktor Pashynskyi, Yevhenii Klymenko, Mykola Pashynskyi // Tehnički glasnik (Technical Journal), Vol. 14, No. 2, June 2020. – p. 206-211. ISSN 1846-6168 (Print), ISSN 1848-5588 (Online) <https://doi.org/10.31803/tg-20191125075805>
19. Пашинський В. А. Інженерна методика оцінювання показників надійності стержнів металевих кроквяних ферм / В. А. Пашинський // Вісник Одеської державної академії будівництва та архітектури, 2017. – Вип. № 66. – с. 48 – 53. Режим доступу: <http://dspace.kntu.kr.ua/jspui/handle/123456789/7777>
20. Пічугін С.Ф. Статистичний опис механічних характеристик сталей для будівельних конструкцій // Сучасні технології та методи розрахунків у будівництві – ЛНТУ, 2020, Випуск 14. – С. 147-159. Режим доступу: <https://eforum.lntu.edu.ua/index.php/construction/article/view/444/447>
21. Пічугін С.Ф., Пашинський В.А., Зима О.Є., Винников П.Ю., Біла Ж.Ю. Надійність лінійних частин магістральних трубопроводів. Монографія. – Полтава: ПП "АСТРАЯ", 2018. – 439 с. Режим доступу: <http://dspace.kntu.kr.ua/jspui/handle/123456789/8631>

22. Пашинський В.А. Довговічність цегляних стін в кліматичних умовах України / Пашинський В.А., Сідей В.М. // Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди : Збірник наукових праць. Випуск 29. – Рівне, 2014. – С. 468-474.
23. Pashynskiy V.A., Pashynskiy M.V., Nastoyashchiy V.A., Skrynnyk I.O. Statistical characteristics of wall temperature for assessing thermal reliability and energy efficiency of residential buildings. Modern engineering and innovative technologies: The International Scientific Periodical Journal. – Karlsruhe, Germany, 2023, Issue № 26, Part 2. Pp. 19-25. Режим доступу: <http://www.moderntechno.de/index.php/meit/article/view/meit26-02-011>
24. Pashynskiy Victor, Dzhyrma Stanislav, Pashynskiy Mykola, Nastoishchyi Vladyslav. Improving the technology of replacing window frames in precast concrete walls // Збірник наукових праць. Галузеве машинобудування, будівництво. Academic journal. Industrial Machine Building, Civil Engineering. – 1 (56)' 2021 – Полтава, 2021. Р. 53-58. Режим доступу: <http://journals.nupp.edu.ua/znп>
25. Pashynskiy, M.; Dzhyrma, S.; Pashynskiy, V.; Nastoyashchiy, V.: Providing the thermal reliability of window junctions during the thermal modernization of civil buildings, Electronic Journal of the Faculty of Civil Engineering Osijek-e-GFOS, 2020, 21, pp. 45-54, <https://doi.org/10.13167/2020.21.4>
26. Kariuk A., Pashynskiy V., Pashynskiy M., Mammadova F. (2022) Methods of Probabilistic Assessment of Building Enclosing Structures Thermal Reliability. In: Onyshchenko V., Mammadova G., Sivitska S., Gasimov A. (eds) Proceedings of the 3rd International Conference on Building Innovations. ICBI 2022. Lecture Notes in Civil Engineering, vol 181. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-85043-2_18
27. В.А. Пашинський, М.В. Пашинський, С.О. Джирма. Імовірнісний аналіз теплової надійності вузлів цегляних стін житлових будівель // Центральноукраїнський науковий вісник. Технічні науки. Вип. 5(36), ч.2. Кропивницький: ЦНТУ. 2022. – С. 137-145. Режим доступу: [http://mapiea.kntu.kr.ua/pdf/5\(36\)_II/20.pdf](http://mapiea.kntu.kr.ua/pdf/5(36)_II/20.pdf)

Додаток А

МЕТОДИКА СТАТИСТИЧНОЇ ОБРОБКИ ТА ІМОВІРНІСНОГО ОПИСУ ВИБІРОК ВИПАДКОВИХ ВЕЛИЧИН

А.1. Завдання статистичної обробки вибірки випадкової величини

Випадковою називають величину, конкретне значення якої неможливо передбачити до проведення дослідів (вимірювання, спостереження тощо). Практично всі розміри й технічні характеристики конструкцій, навантаження та зусилля в конструкціях мають стохастичну природу, оскільки конструкції неможливо виготовити абсолютно точно, а навантаження обумовлюються великим комплексом природних факторів, значення та взаємний зв'язок яких спрогнозувати нереально. Випадкові величини вивчають, описують та використовують методами теорії імовірностей і математичної статистики.

Вибіркою називають отриману в результаті спостережень сукупність значень випадкової величини. Якщо кожне окреме значення випадкової величини передбачити неможливо, то отримана в результаті дослідження чи спостереження вибірка багатьох окремих значень вже підпорядковується закономірностям, які можна вивчити, описати та використовувати для розв'язання практично важливих наукових та інженерних задач.

Мета статистичної обробки вибірки випадкової величини зазвичай полягає в отриманні закону розподілу цієї величини за наявними дослідними даними. Предметом статистичного аналізу є вибірка значень випадкової величини, отримана в результаті якихось вимірювань чи спостережень. У найпростішому випадку статистична обробка зводиться до такої послідовності операцій:

- визначення числових характеристик;
- побудова гістограми розподілу;
- вибір виду апроксимуючого розподілу і визначення його параметрів;
- перевірка узгодженості обраного розподілу з дослідними даними.

Статистична обробка вибірок випадкових величин виконується на персональних комп'ютерах із використанням готових програм. Невеликі вибірки можна також обробити вручну (найкраще – в табличній формі) або за допомогою інженерного калькулятора з вмонтованим режимом статистики. Нижче описані способи статистичної обробки даних у середовищі табличного процесора Microsoft Excel, який є практично на кожному персональному комп'ютері, має широкий набір математичних і статистичних вбудованих функцій та розвинуту систему графічного подання результатів аналізу.

У наведених нижче формулах для статистичної обробки обсяг вибірки позначено через N , а кожен її елемент (отримане в результаті окремого вимірювання значення випадкової величини) – через X_i . В табличному процесорі Excel аргумент „список” усіх статистичних функцій звичайно задає область робочого аркуша, в комірці якого занесені елементи вибірки. Для визначення списку слід просто виділити необхідну область курсором миші під час уведення функції через меню „ВСТАВКА, ФУНКЦІЯ”. Статистичні функції ігнорують пусті комірки, тому область робочого листа „список” може бути більшою за наявну вибірку. Це дозволяє створювати бланки, у які досить занести дані, щоб виконати їх статистичну обробку.

Викладена нижче методика статистичної обробки проілюстрована наведеним у підрозділі А.6 числовим прикладом статистичної обробки вибірки значень межі міцності бетону, отриманих за результатами випробувань зразків-кубиків на стиск.

А.2. Визначення числових характеристик

Числові характеристики вибірки визначаються вручну за наведеними нижче формулами, або з використанням статистичних функцій Microsoft Excel, які реалізують обчислення за тими ж формулами.

Розмах вибірки задається найменшим X_{min} і найбільшим X_{max} спостереженими значеннями. В середовищі Excel для їх визначення використовують функції МИН(список) та МАКС(список).

Середнє значення, яке визначає положення центра розподілу випадкової величини, дорівнює

$$M = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N X_i, \quad (A.1)$$

а в середовищі Excel обчислюється функцією СРЗНАЧ(список).

Стандарт (середнє квадратичне відхилення) характеризує міру розкиду випадкової величини відносно центра розподілу й обчислюється за формулою

$$S = \sqrt{\frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N (X_i - M)^2}, \quad (A.2)$$

яка в середовищі Excel реалізована функцією СТАНДОТКЛОН(список). В різних версіях Excel ідентифікатори цієї функції можуть дещо відрізнятися.

Коефіцієнт варіації є відносною мірою розкиду випадкової величини і визначається за формулою

$$V = S/M. \quad (A.3)$$

Середнє значення й стандарт мають розмірність самої випадкової величини. Коефіцієнт варіації – величина безрозмірна або виражена у відсотках. Наприклад, нормативне значення коефіцієнта варіації міцності бетону встановлене рівним $V=0,135=13,5\%$.

В різних версіях Microsoft Excel позначення статистичних функцій можуть бути дещо іншими, але подібними до вказаних вище. Призначення, та перелік аргументів цих функцій пояснюються в міні-довідці, яка надається Excel при виборі функції. Більш детальний опис функції надається в довідковій системі або на сайті Microsoft Office.

А.3. Побудова гістограми розподілу

Гістограма розподілу є статистичним еквівалентом густини розподілу випадкової величини. Для її побудови область визначення випадкової величини (інтервал між найменшим X_{min} і найбільшим X_{max} зі спостережених значень) розбивається на інтервали, кількість яких L вибирається залежно від обсягу вибірки N за рекомендацією наступної таблиці:

N =	10 – 40	40 – 100	100 – 300	300 – 1000	1000 – 5000
L =	4 – 6	5 – 8	6 – 10	8 – 15	10 – 25

Межі інтервалів C_j , $j = 0, \dots, L$ устанавлюються, виходячи з довжини інтервалу, обчисленої за формулою

$$d = (X_{max} - X_{min}) / L \quad (A.4)$$

та округленою до значення, зручного для подальшого використання. Нижня межа першого інтервалу C_0 округлюється в менший бік, а верхня межа останнього C_L – у більший. Округлення довжини інтервалу d може привести до коригування їх кількості L .

Побудова гістограми розподілу зводиться до підрахунку кількостей даних N_j , які належать до кожного з обраних інтервалів. Це робиться шляхом перегляду вибірки вручну чи в середовищі EXCEL за допомогою функції ЧАСТОТА(список, C_j), яка обчислює кількість даних в області „список”, менших за межу j -того інтервалу C_j . Крайні інтервали, які містять мало даних, рекомендується об'єднати таким чином, щоб у кожному інтервалі було не менше 3...5 даних. Довжина об'єданого інтервалу дорівнює сумі довжин, а кількість даних – сумі кількостей даних для інтервалів, що об'єднуються. Об'єднання інтервалів дозволяє згладити випадкові коливання частот при невеликих обсягах вибірок.

Імовірності попадання до кожного з інтервалів (частоти даних) P_j визначають діленням кількостей даних N_j в інтервалі на обсяг вибірки N :

$$P_j = N_j / N. \quad (\text{A.5})$$

Густина імовірності в кожному інтервалі є результатом ділення частоти P_j на довжину даного інтервалу $d_j = C_j - C_{j-1}$:

$$f_j = P_j / d_j = P_j / (C_j - C_{j-1}). \quad (\text{A.6})$$

Слід пам'ятати, що різні інтервали можуть мати різну довжину.

Наочно виявити характер розподілу дозволяє графічне зображення гістограми, на якому вздовж осі абсцис відкладаються кінці інтервалів C_j , тобто значення самої випадкової величини, а вздовж осі ординат – обчислені за формулою (A.6) значення густини імовірності f_j . Приклад побудови гістограми розподілу наведено в підрозділі A.6.

A.4. Поширені закони розподілу випадкових величин

Завершальним етапом статистичної обробки вибірки випадкової величини є вибір теоретичного розподілу з урахуванням фізичної природи досліджуваної величини та вигляду гістограми, а також визначення параметрів обраного розподілу з умови забезпечення рівності числових характеристик теоретичного розподілу та проаналізованої вибірки. Нижче описані закони розподілу, які часто вживаються в дослідженнях надійності та при нормуванні навантажень: нормальний, Гумбеля та експоненціальний.

Нормальний закон розподілу (розподіл Гауса) є граничним розподілом, до якого наближається сума багатьох випадкових величин. Тому він широко застосовується для опису випадкових величин, які формуються в результаті впливу багатьох випадкових факторів. Нормальний розподіл має нескінчену область визначення і задається двома параметрами, рівними математичному сподіванню M та стандарту S випадкової величини. Графік його густини має симетричну пагорбоподібну форму й описується формулою

$$f(x) = \frac{1}{S \sqrt{2\pi}} \exp \left[-\frac{(x - M)^2}{2 S^2} \right]. \quad (\text{A.7})$$

Інтегральна функція нормального розподілу $F(x)$ не має аналітичного виразу, а тому визначається за таблицею Б.1 залежно від аргументу

$$t = (x - M) / S. \quad (\text{A.8})$$

Ця ж таблиця Б.1 дозволяє розв'язувати обернену задачу: визначати нормований аргумент t за заданим значенням функції розподілу $F(t)$. При використанні таблиці слід урахувати, що $F(-t)=1-F(t)$. Для обчислень у середовищі Microsoft Excel можна скористатися статистичними функціями НОРМРАСП(x, M, S, I) і НОРМОБР(F, M, S), параметри яких пояснені вище. При $I = 0$ функція НОРМРАСП(...) обчислює густину розподілу (А.7), а при $I = 1$ – інтегральну функцію розподілу, еквівалентну таблиці Б.1.

Закон розподілу Гумбеля (подвійний експоненціальний розподіл), є граничним розподілом найбільшого елемента з вибірки випадкової величини, чим пояснюється його широке застосування для опису екстремальних значень різних величин, у тому числі найбільших протягом місяця чи року значень кліматичних факторів. Область визначення розподілу Гумбеля нескінченна, а графік густини імовірності має пагорбоподібну форму з правосторонньою асиметрією й описується формулою

$$f(x) = \frac{1}{\beta} \exp \left[\frac{\alpha - x}{\beta} - \exp \left(\frac{\alpha - x}{\beta} \right) \right], \quad (\text{A.9})$$

де α і β – параметри, які наближено визначаються за формулами

$$\alpha = M - 0,45 S ; \quad \beta = 0,78 S . \quad (\text{A.10})$$

Інтегральна функція розподілу Гумбеля має аналітичний вираз

$$F(x) = \exp \left[- \exp \left(\frac{\alpha - x}{\beta} \right) \right], \quad (\text{A.11})$$

який дозволяє обчислювати імовірності перевищення заданих значень, а також аналітично визначати аргумент розподілу за заданою забезпеченістю, двічі прологарифмувавши вираз (А.11).

Експоненціальний закон розподілу часто вживається в теорії надійності, теорії масового обслуговування та в інших галузях науки. Він визначений в області додатних дійсних чисел із густиною і функцією розподілу

$$f(x) = \beta e^{-\beta x}; \quad F(x) = 1 - e^{-\beta x}, \quad (\text{A.12})$$

де $\beta = 1/M$ – параметр, обернено пропорційний середньому значенню випадкової величини.

Характерною особливістю експоненціального розподілу є рівність коефіцієнта варіації до одиниці. Наявність аналітичного виразу для $F(x)$ (А.12) дозволяє безпосередньо обчислювати інтегральну функцію розподілу, або його аргумент розподілу за заданою забезпеченістю.

А.5. Вибір теоретичного закону розподілу та перевірка його узгодженості з дослідними даними

Вид теоретичного закону розподілу для опису дослідженої випадкової величини обирається, виходячи з наступних міркувань:

- фізичне обґрунтування досліджуваного явища (наприклад, нормальний розподіл є результатом впливу багатьох випадкових факторів, розподіл Гумбеля описує максимальні значення випадкових величин);
- співвідношення числових характеристик (наприклад, для експоненціального розподілу характерно $M=S$, розподіл Гумбеля має фіксоване значення коефіцієнта асиметрії $A=1,14$);
- відповідність форми кривої густини теоретичного розподілу до дослідної гістограми розподілу.

Орієнтовна перевірка відповідності обраного закону розподілу до дослідних даних виконується візуально, шляхом аналізу відповідності кривої густини розподілу до форми дослідної гістограми. Остаточне рішення щодо можливості застосування вибраного закону розподілу приймається за результатами перевірки за спеціальними статистичними критеріями узгодженості, найпоширенішим із яких є критерій Пірсона. Згідно з [12], статистика критерію Пірсона обчислюється за формулою

$$\chi^2 = N \sum_{j=1}^L \frac{(P_j - P_{jt})^2}{P_{jt}}, \quad (\text{A.13})$$

де L – кількість інтервалів у гістограмі розподілу;

N – обсяг вибірки, за якою збудована гістограма розподілу;

P_j – дослідна імовірність (частота) попадання випадкової величини до j -того інтервалу, визначена за (А.5);

$P_{jt} = F(C_j) - F(C_{j-1})$ – теоретична імовірність попадання випадкової величини до j -того інтервалу, визначена за обраним законом розподілу.

Обчислене за (А.13) вибіркове значення статистики χ^2 порівнюють з критичним значенням $\chi_{cr}^2(\alpha, k)$ з таблиці Б.2, залежним від рівня значимості α та кількості ступенів свободи k . Рівень значимості α задає імовірність відкидання правильної гіпотези (визнання невідповідним теоретичного розподілу, який насправді узгоджується з дослідними даними) і зазвичай приймається рівним $\alpha=0,05$. Кількість ступенів свободи k дорівнює кількості інтервалів гістограми розподілу L , зменшеній на кількість параметрів теоретичного закону розподілу і ще на одиницю. Для експоненціального розподілу $k = L-2$; для нормального та розподілу Гумбеля $k=L-3$.

Якщо $\chi^2 \leq \chi_{cr}^2$, обраний закон розподілу не суперечить дослідним даним і його можна використовувати для імовірнісного опису дослідженої випадкової величини. При $\chi^2 > \chi_{cr}^2$ для опису дослідних даних слід вибрати закон розподілу іншого виду.

А.6. Приклад статистичної обробки вибірки випадкової величини

Вихідними даними для аналізу вибірка обсягом $N=20$ значень границі міцності бетону (в мегапаскалях), отримана в результаті випробувань на стиск стандартних зразків бетону:

20,3 18,0 23,0 14,8 22,4 19,8 24,4 18,2 18,4 18,4
17,7 19,3 22,0 19,4 20,7 20,1 19,0 17,3 16,6 18,0

Статистична обробка виконана в середовищі Microsoft Excel. За статистичними функціями МИН(список), МАКС(список), СРЗНАЧ(список), СТАНДОТКЛОН(список), які реалізують обчислення за формулами (2.1), (2.2), (2.3), отримані такі числові характеристики:

- розмах вибірки $X_{min} = 14,8$ МПа, $X_{max} = 24,4$ МПа;
- середнє значення $M = 19,58$ МПа;
- стандарт $S = 2,28$ МПа;
- коефіцієнт варіації $V = 0,116=11,6\%$.

Таким чином, середнє значення границі міцності бетону практично відповідає марці М 200, а коефіцієнт варіації $V=11,6\%$ є дещо нижчим від нормативного значення для важкого бетону $V=13,5\%$.

Гістограма розподілу границі міцності бетону збудована з використанням функції ЧАСТОТА(список, C_j) і формул (2.5), (2.6). При $N=20$ даних прийнято 6 інтервалів, довжина яких згідно з формулою (2.4) встановлена рівною 2 МПа. Результати обчислень, необхідних для побудови гістограми розподілу, занесені в наступну таблицю:

Номер інтервалу J	Кінець інтервалу C_j	N_j	P_j	f_j	f_{jt}
1	16	1	0,050	0,025	0,0231
2	18	4	0,200	0,100	0,0921
3	20	7	0,350	0,175	0,1697
4	22	5	0,250	0,125	0,1444
5	24	2	0,100	0,050	0,0567
6	26	1	0,050	0,025	0,0103

За отриманими в таблиці значеннями C_j та f_j збудована гістограма розподілу, яка наведена на рисунку А.1. Уздовж осі абсцис на гістограмі відкладені значення границі міцності бетону (кінці інтервалів C_j), а вздовж осі ординат – значення дослідної f_j та теоретичної f_{jt} густини розподілу з наведеної вище таблиці.

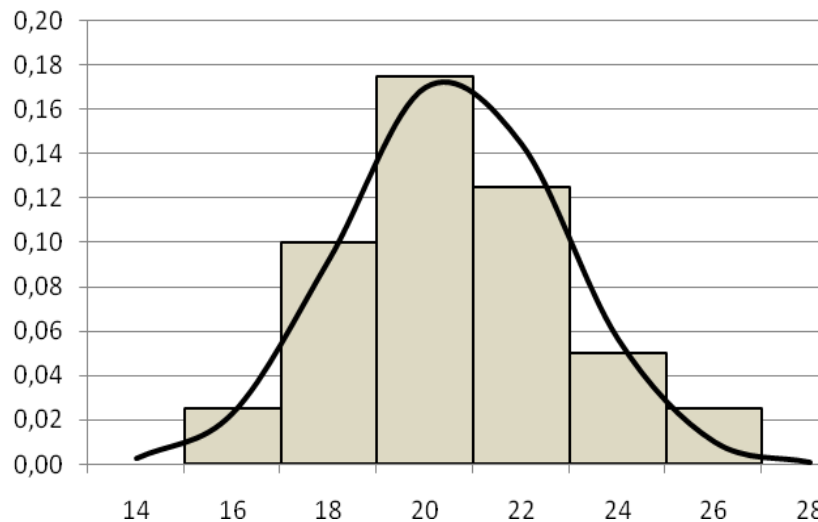


Рис. А.1. Гістограма розподілу границі міцності бетону

Характеристики міцності будівельних матеріалів звичайно бувають розподілені за нормальним законом, що підтверджується також симетричним пагорбоподібним виглядом гістограми, наведеної на рисунку А.1. Остання колонка таблиці містить обчислені за формулою (А.9) значення густини нормального розподілу, за якими збудована відповідна крива на рисунку А.1. Візуальний аналіз показує, що крива густини нормального розподілу добре відображає характер до дослідної гістограми.

Остаточна перевірка узгодженості нормального закону розподілу з дослідними даними виконана за критерієм Пірсона [12] в середовищі Microsoft Excel, а її результати наведені в наступній таблиці:

Номер інтервалу J	Кінець інтервалу C_j	P_j	$F_j(t)$	P_{jt}	χ^2
	14		0,0071		
1	16	0,050	0,0577	0,0506	0,0001
2	18	0,200	0,2434	0,1857	0,0220
3	20	0,350	0,5729	0,3295	0,0256
4	22	0,250	0,8561	0,2832	0,0778
5	24	0,100	0,9739	0,1179	0,0541
6	26	0,050	0,9976	0,0237	0,5852
С у м и :		1,000		0,9905	0,7648

У результаті обчислень за формулою (А.13) отримано вибіркове значення статистики критерію Пірсона $\chi^2 = 0,765$. Критичне значення критерію Пірсона $\chi_{cr}^2 = 7,82$ встановлено за таблицею А.2 для рівня значимості $\alpha=0,05$ та кількості ступенів свободи $k = 6 - 3 = 3$. Оскільки $\chi^2 = 0,765 < \chi_{cr}^2 = 7,82$, слід вважати, що нормальний розподіл з $M = 19,58$ МПа та $S = 2,28$ МПа не суперечить дослідним даним і може застосовуватися для імовірнісного опису границі міцності бетону.

Користуючись нормальним законом розподілу, визначимо клас бетону, як мінімальне значення границі міцності із забезпеченістю 0,95, за формулою

$$R_n = M - t \times S = 19,58 - 1,64 \times 2,28 = 15,85 \text{ МПа},$$

де M і S – середнє значення та стандарт за результатами статистичної обробки вибірки даних;

$t=1,64$ – квантиль нормованого нормального розподілу з таблиці Б.1, що відповідає забезпеченості класу бетону $P=0,95$.

Отримані результати показують, що фактична середня міцність бетону $M = 19,58$ МПа на 2% нижча від необхідної для марки М 200. Не дивлячись на це, гарантована границя міцності бетону $R_n = 15,85$ МПа відповідає класу В 15, який повинен мати бетон марки М 200. Це явище пояснюється тим, що фактичний коефіцієнт варіації міцності бетону $V = 11,6\%$ отримано дещо меншим від нормативного значення $V = 13,5\%$. Очевидно, причинами зменшеного розкиду границі міцності є добре налагоджена технологія виготовлення бетонної суміші (точне дозування компонентів, якісне вимішування тощо).

Додаток Б

СТАТИСТИЧНІ ТАБЛИЦІ

Таблиця Б.1. Функція нормального розподілу
(наведені лише десяткові знаки після коми)

t	0,00	0,01	0,02	0,03	0,04	0,05	0,06	0,07	0,08	0,09
0,0	50000	50398	50797	51196	51595	51993	52392	52790	53188	53585
0,1	53982	54379	54775	55171	55567	55961	56355	56749	57142	57534
0,2	57925	58316	58706	59095	59483	59870	60256	60641	61026	61409
0,3	61791	62171	62551	62930	63307	63683	64057	64430	64802	65173
0,4	65542	65909	66275	66640	67003	67364	67724	68082	68438	68793
0,5	69146	69497	69846	70194	70540	70884	71226	71566	71904	72240
0,6	72574	72906	73237	73565	73891	74215	74537	74857	75174	75490
0,7	75803	76114	76423	76730	77035	77337	77637	77935	78230	78523
0,8	78814	79103	79389	79673	79954	80233	80510	80784	81057	81326
0,9	81594	81858	82121	82381	82639	82894	83147	83397	83645	83891
1,0	84134	84375	84613	84849	85083	85314	85542	85769	85992	86214
1,1	86433	86650	86864	87076	87285	87492	87697	87899	88099	88297
1,2	88493	88686	88876	89065	89251	89435	89616	89795	89972	90147
1,3	90319	90490	90658	90824	90987	91149	91308	91465	91620	91773
1,4	91924	92073	92219	92364	92506	92647	92785	92921	93056	93188
1,5	93319	93447	93574	93699	93821	93942	94062	94179	94294	94408
1,6	94520	94630	94738	94844	94949	95052	95154	95254	95352	95448
1,7	95543	95636	95728	95818	95907	95994	96079	96163	96246	96327
1,8	96406	96485	96562	96637	96711	96784	96855	96925	96994	97062
1,9	97128	97193	97257	97319	97381	97441	97500	97558	97614	97670
2,0	97724	97778	97830	97882	97932	97981	98030	98077	98123	98169
2,1	98213	98257	98299	98341	98382	98422	98461	98499	98537	98573
2,2	98609	98644	98679	98712	98745	98777	98808	98839	98869	98898
2,3	98927	98955	98982	99009	99035	99061	99086	99110	99134	99157
2,4	99180	99202	99223	99245	99265	99285	99305	99324	99343	99361
2,5	99379	99396	99413	99429	99445	99461	99476	99491	99505	99520
2,6	99533	99547	99560	99573	99585	99597	99609	99620	99631	99642
2,7	99653	99663	99673	99683	99692	99702	99710	99719	99728	99736
2,8	99744	99752	99759	99767	99774	99781	99788	99794	99801	99807
2,9	99813	99819	99824	99830	99835	99841	99846	99851	99855	99860
3,0	99865	99869	99873	99877	99881	99885	99889	99892	99896	99899
3,1	99903	99906	99909	99912	99915	99918	99921	99923	99926	99928
3,2	99931	99933	99935	99938	99940	99942	99944	99946	99948	99949
3,3	99951	99953	99954	99956	99958	99959	99961	99962	99963	99965
3,4	99966	99967	99968	99969	99970	99971	99972	99973	99974	99975
3,5	99976	99977	99978	99979	99979	99980	99981	99982	99982	99983
3,6	99984	99984	99985	99985	99986	99986	99987	99987	99988	99988
3,7	99989	99989	99990	99990	99990	99991	99991	99991	99992	99992
3,8	99992	99993	99993	99993	99993	99994	99994	99994	99994	99994
3,9	99995	99995	99995	99995	99995	99996	99996	99996	99996	99996

Таблиця Б.2. Критичні значення критерію узгодженості Пірсона

Ступені свободи k	Рівні значимості α				
	0,20	0,10	0,05	0,02	0,01
1	1,64	2,71	3,84	5,41	6,64
2	3,22	4,60	5,99	7,82	9,21
3	4,64	6,25	7,82	9,84	11,3
4	5,99	7,78	9,49	11,7	13,28
5	7,29	9,24	11,1	13,4	15,1
6	8,56	10,6	12,6	15,0	16,8
7	9,80	12,0	14,1	16,6	18,5
8	11,0	13,4	15,5	18,2	20,1
9	12,2	14,7	16,9	19,7	21,7
10	13,4	16,0	18,3	21,2	23,2
11	14,6	17,3	19,7	22,6	24,7
12	15,8	18,5	21,0	24,1	26,2
13	16,9	19,8	22,4	25,5	27,7
14	18,2	21,1	23,7	26,9	29,1
15	19,3	22,3	25,0	28,3	30,6
16	20,5	23,5	26,3	29,6	32,0
17	21,6	24,8	27,6	31,0	33,4
18	22,8	26,0	28,9	32,3	34,8
19	23,9	27,2	30,1	33,7	36,2
20	25,0	28,4	31,4	35,0	37,6
21	26,2	29,6	32,7	36,3	38,9
22	27,3	30,8	33,9	37,7	40,3
23	28,4	32,0	35,2	39,0	41,6
24	29,6	33,2	36,4	40,3	43,0
25	30,3	34,4	37,6	41,7	44,3
26	31,8	35,6	38,9	42,9	45,6
27	32,9	36,7	40,1	44,1	47,0
28	34,0	37,9	41,3	45,4	48,3
29	35,1	39,1	42,6	46,7	49,6
30	36,2	40,3	43,8	48,0	50,9
35	41,8	46,1	49,8	53,2	57,3
40	47,3	51,8	55,8	59,3	63,7

**Таблиця Б.3. Імовірність відмови при нормальному розподілі
функція $1-F(x)$**

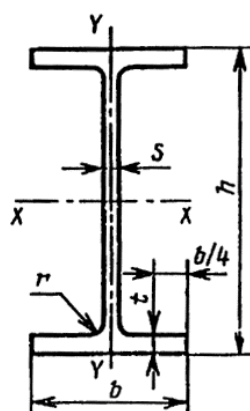
	0	0,01	0,02	0,03	0,04	0,05	0,06	0,07	0,08	0,09
0	5,0E-01	5,0E-01	4,9E-01	4,9E-01	4,8E-01	4,8E-01	4,8E-01	4,7E-01	4,7E-01	4,6E-01
0,1	4,6E-01	4,6E-01	4,5E-01	4,5E-01	4,4E-01	4,4E-01	4,4E-01	4,3E-01	4,3E-01	4,2E-01
0,2	4,2E-01	4,2E-01	4,1E-01	4,1E-01	4,1E-01	4,0E-01	4,0E-01	3,9E-01	3,9E-01	3,9E-01
0,3	3,8E-01	3,8E-01	3,7E-01	3,7E-01	3,7E-01	3,6E-01	3,6E-01	3,6E-01	3,5E-01	3,5E-01
0,4	3,4E-01	3,4E-01	3,4E-01	3,3E-01	3,3E-01	3,3E-01	3,2E-01	3,2E-01	3,2E-01	3,1E-01
0,5	3,1E-01	3,1E-01	3,0E-01	3,0E-01	2,9E-01	2,9E-01	2,9E-01	2,8E-01	2,8E-01	2,8E-01
0,6	2,7E-01	2,7E-01	2,7E-01	2,6E-01	2,6E-01	2,6E-01	2,5E-01	2,5E-01	2,5E-01	2,5E-01
0,7	2,4E-01	2,4E-01	2,4E-01	2,3E-01	2,3E-01	2,3E-01	2,2E-01	2,2E-01	2,2E-01	2,1E-01
0,8	2,1E-01	2,1E-01	2,1E-01	2,0E-01	2,0E-01	2,0E-01	1,9E-01	1,9E-01	1,9E-01	1,9E-01
0,9	1,8E-01	1,8E-01	1,8E-01	1,8E-01	1,7E-01	1,7E-01	1,7E-01	1,7E-01	1,6E-01	1,6E-01
1	1,6E-01	1,6E-01	1,5E-01	1,5E-01	1,5E-01	1,5E-01	1,4E-01	1,4E-01	1,4E-01	1,4E-01
1,1	1,4E-01	1,3E-01	1,3E-01	1,3E-01	1,3E-01	1,3E-01	1,2E-01	1,2E-01	1,2E-01	1,2E-01
1,2	1,2E-01	1,1E-01	1,1E-01	1,1E-01	1,1E-01	1,1E-01	1,0E-01	1,0E-01	1,0E-01	9,9E-02
1,3	9,7E-02	9,5E-02	9,3E-02	9,2E-02	9,0E-02	8,9E-02	8,7E-02	8,5E-02	8,4E-02	8,2E-02
1,4	8,1E-02	7,9E-02	7,8E-02	7,6E-02	7,5E-02	7,4E-02	7,2E-02	7,1E-02	6,9E-02	6,8E-02
1,5	6,7E-02	6,6E-02	6,4E-02	6,3E-02	6,2E-02	6,1E-02	5,9E-02	5,8E-02	5,7E-02	5,6E-02
1,6	5,5E-02	5,4E-02	5,3E-02	5,2E-02	5,1E-02	4,9E-02	4,8E-02	4,7E-02	4,6E-02	4,6E-02
1,7	4,5E-02	4,4E-02	4,3E-02	4,2E-02	4,1E-02	4,0E-02	3,9E-02	3,8E-02	3,8E-02	3,7E-02
1,8	3,6E-02	3,5E-02	3,4E-02	3,4E-02	3,3E-02	3,2E-02	3,1E-02	3,1E-02	3,0E-02	2,9E-02
1,9	2,9E-02	2,8E-02	2,7E-02	2,7E-02	2,6E-02	2,6E-02	2,5E-02	2,4E-02	2,4E-02	2,3E-02
2	2,3E-02	2,2E-02	2,2E-02	2,1E-02	2,1E-02	2,0E-02	2,0E-02	1,9E-02	1,9E-02	1,8E-02
2,1	1,8E-02	1,7E-02	1,7E-02	1,7E-02	1,6E-02	1,6E-02	1,5E-02	1,5E-02	1,5E-02	1,4E-02
2,2	1,4E-02	1,4E-02	1,3E-02	1,3E-02	1,3E-02	1,2E-02	1,2E-02	1,2E-02	1,1E-02	1,1E-02
2,3	1,1E-02	1,0E-02	1,0E-02	9,9E-03	9,6E-03	9,4E-03	9,1E-03	8,9E-03	8,7E-03	8,4E-03
2,4	8,2E-03	8,0E-03	7,8E-03	7,5E-03	7,3E-03	7,1E-03	6,9E-03	6,8E-03	6,6E-03	6,4E-03
2,5	6,2E-03	6,0E-03	5,9E-03	5,7E-03	5,5E-03	5,4E-03	5,2E-03	5,1E-03	4,9E-03	4,8E-03
2,6	4,7E-03	4,5E-03	4,4E-03	4,3E-03	4,1E-03	4,0E-03	3,9E-03	3,8E-03	3,7E-03	3,6E-03
2,7	3,5E-03	3,4E-03	3,3E-03	3,2E-03	3,1E-03	3,0E-03	2,9E-03	2,8E-03	2,7E-03	2,6E-03
2,8	2,6E-03	2,5E-03	2,4E-03	2,3E-03	2,3E-03	2,2E-03	2,1E-03	2,1E-03	2,0E-03	1,9E-03
2,9	1,9E-03	1,8E-03	1,8E-03	1,7E-03	1,6E-03	1,6E-03	1,5E-03	1,5E-03	1,4E-03	1,4E-03
3	1,3E-03	1,3E-03	1,3E-03	1,2E-03	1,2E-03	1,1E-03	1,1E-03	1,1E-03	1,0E-03	1,0E-03
3,1	9,7E-04	9,4E-04	9,0E-04	8,7E-04	8,4E-04	8,2E-04	7,9E-04	7,6E-04	7,4E-04	7,1E-04
3,2	6,9E-04	6,6E-04	6,4E-04	6,2E-04	6,0E-04	5,8E-04	5,6E-04	5,4E-04	5,2E-04	5,0E-04
3,3	4,8E-04	4,7E-04	4,5E-04	4,3E-04	4,2E-04	4,0E-04	3,9E-04	3,8E-04	3,6E-04	3,5E-04
3,4	3,4E-04	3,2E-04	3,1E-04	3,0E-04	2,9E-04	2,8E-04	2,7E-04	2,6E-04	2,5E-04	2,4E-04
3,5	2,3E-04	2,2E-04	2,2E-04	2,1E-04	2,0E-04	1,9E-04	1,9E-04	1,8E-04	1,7E-04	1,7E-04
3,6	1,6E-04	1,5E-04	1,5E-04	1,4E-04	1,4E-04	1,3E-04	1,3E-04	1,2E-04	1,2E-04	1,1E-04
3,7	1,1E-04	1,0E-04	1,0E-04	9,6E-05	9,2E-05	8,8E-05	8,5E-05	8,2E-05	7,8E-05	7,5E-05
3,8	7,2E-05	6,9E-05	6,7E-05	6,4E-05	6,2E-05	5,9E-05	5,7E-05	5,4E-05	5,2E-05	5,0E-05
3,9	4,8E-05	4,6E-05	4,4E-05	4,2E-05	4,1E-05	3,9E-05	3,7E-05	3,6E-05	3,4E-05	3,3E-05

	0	0,01	0,02	0,03	0,04	0,05	0,06	0,07	0,08	0,09
4	3,2E-05	3,0E-05	2,9E-05	2,8E-05	2,7E-05	2,6E-05	2,5E-05	2,4E-05	2,3E-05	2,2E-05
4,1	2,1E-05	2,0E-05	1,9E-05	1,8E-05	1,7E-05	1,7E-05	1,6E-05	1,5E-05	1,5E-05	1,4E-05
4,2	1,3E-05	1,3E-05	1,2E-05	1,2E-05	1,1E-05	1,1E-05	1,0E-05	9,8E-06	9,3E-06	8,9E-06
4,3	8,5E-06	8,2E-06	7,8E-06	7,5E-06	7,1E-06	6,8E-06	6,5E-06	6,2E-06	5,9E-06	5,7E-06
4,4	5,4E-06	5,2E-06	4,9E-06	4,7E-06	4,5E-06	4,3E-06	4,1E-06	3,9E-06	3,7E-06	3,6E-06
4,5	3,4E-06	3,2E-06	3,1E-06	2,9E-06	2,8E-06	2,7E-06	2,6E-06	2,4E-06	2,3E-06	2,2E-06
4,6	2,1E-06	2,0E-06	1,9E-06	1,8E-06	1,7E-06	1,7E-06	1,6E-06	1,5E-06	1,4E-06	1,4E-06
4,7	1,3E-06	1,2E-06	1,2E-06	1,1E-06	1,1E-06	1,0E-06	9,7E-07	9,2E-07	8,8E-07	8,3E-07
4,8	7,9E-07	7,5E-07	7,2E-07	6,8E-07	6,5E-07	6,2E-07	5,9E-07	5,6E-07	5,3E-07	5,0E-07
4,9	4,8E-07	4,6E-07	4,3E-07	4,1E-07	3,9E-07	3,7E-07	3,5E-07	3,3E-07	3,2E-07	3,0E-07
5	2,9E-07	2,7E-07	2,6E-07	2,5E-07	2,3E-07	2,2E-07	2,1E-07	2,0E-07	1,9E-07	1,8E-07
5,1	1,7E-07	1,6E-07	1,5E-07	1,4E-07	1,4E-07	1,3E-07	1,2E-07	1,2E-07	1,1E-07	1,1E-07
5,2	1,0E-07	9,4E-08	8,9E-08	8,5E-08	8,0E-08	7,6E-08	7,2E-08	6,8E-08	6,5E-08	6,1E-08
5,3	5,8E-08	5,5E-08	5,2E-08	4,9E-08	4,6E-08	4,4E-08	4,2E-08	3,9E-08	3,7E-08	3,5E-08
5,4	3,3E-08	3,2E-08	3,0E-08	2,8E-08	2,7E-08	2,5E-08	2,4E-08	2,3E-08	2,1E-08	2,0E-08
5,5	1,9E-08	1,8E-08	1,7E-08	1,6E-08	1,5E-08	1,4E-08	1,3E-08	1,3E-08	1,2E-08	1,1E-08
5,6	1,1E-08	1,0E-08	9,5E-09	9,0E-09	8,5E-09	8,0E-09	7,6E-09	7,1E-09	6,7E-09	6,4E-09
5,7	6,0E-09	5,6E-09	5,3E-09	5,0E-09	4,7E-09	4,5E-09	4,2E-09	4,0E-09	3,7E-09	3,5E-09
5,8	3,3E-09	3,1E-09	2,9E-09	2,8E-09	2,6E-09	2,5E-09	2,3E-09	2,2E-09	2,1E-09	1,9E-09
5,9	1,8E-09	1,7E-09	1,6E-09	1,5E-09	1,4E-09	1,3E-09	1,3E-09	1,2E-09	1,1E-09	1,0E-09
6	9,9E-10	9,3E-10	8,7E-10	8,2E-10	7,7E-10	7,2E-10	6,8E-10	6,4E-10	6,0E-10	5,6E-10
6,1	5,3E-10	5,0E-10	4,7E-10	4,4E-10	4,1E-10	3,9E-10	3,6E-10	3,4E-10	3,2E-10	3,0E-10
6,2	2,8E-10	2,6E-10	2,5E-10	2,3E-10	2,2E-10	2,1E-10	1,9E-10	1,8E-10	1,7E-10	1,6E-10
6,3	1,5E-10	1,4E-10	1,3E-10	1,2E-10	1,1E-10	1,1E-10	1,0E-10	9,5E-11	8,9E-11	8,3E-11
6,4	7,8E-11	7,3E-11	6,8E-11	6,4E-11	6,0E-11	5,6E-11	5,2E-11	4,9E-11	4,6E-11	4,3E-11
6,5	4,0E-11	3,8E-11	3,5E-11	3,3E-11	3,1E-11	2,9E-11	2,7E-11	2,5E-11	2,4E-11	2,2E-11
6,6	2,1E-11	1,9E-11	1,8E-11	1,7E-11	1,6E-11	1,5E-11	1,4E-11	1,3E-11	1,2E-11	1,1E-11
6,7	1,0E-11	9,7E-12	9,1E-12	8,5E-12	7,9E-12	7,4E-12	6,9E-12	6,4E-12	6,0E-12	5,6E-12
6,8	5,2E-12	4,9E-12	4,6E-12	4,2E-12	4,0E-12	3,7E-12	3,4E-12	3,2E-12	3,0E-12	2,8E-12
6,9	2,6E-12	2,4E-12	2,3E-12	2,1E-12	2,0E-12	1,8E-12	1,7E-12	1,6E-12	1,5E-12	1,4E-12
7	1,3E-12	1,2E-12	1,1E-12	1,0E-12	9,6E-13	8,9E-13	8,3E-13	7,7E-13	7,2E-13	6,7E-13
7,1	6,2E-13	5,8E-13	5,4E-13	5,0E-13	4,7E-13	4,3E-13	4,0E-13	3,8E-13	3,5E-13	3,2E-13
7,2	3,0E-13	2,8E-13	2,6E-13	2,4E-13	2,2E-13	2,1E-13	1,9E-13	1,8E-13	1,7E-13	1,5E-13
7,3	1,4E-13	1,3E-13	1,2E-13	1,2E-13	1,1E-13	9,9E-14	9,2E-14	8,5E-14	7,9E-14	7,3E-14
7,4	6,8E-14	6,3E-14	5,9E-14	5,4E-14	5,0E-14	4,7E-14	4,3E-14	4,0E-14	3,7E-14	3,4E-14
7,5	3,2E-14	3,0E-14	2,7E-14	2,5E-14	2,4E-14	2,2E-14	2,0E-14	1,9E-14	1,7E-14	1,6E-14
7,6	1,5E-14	1,4E-14	1,3E-14	1,2E-14	1,1E-14	1,0E-14	9,3E-15	8,5E-15	8,0E-15	7,3E-15
7,7	6,8E-15	6,3E-15	5,8E-15	5,3E-15	5,0E-15	4,6E-15	4,2E-15	3,9E-15	3,7E-15	3,3E-15
7,8	3,1E-15	2,9E-15	2,7E-15	2,4E-15	2,2E-15	2,1E-15	1,9E-15	1,8E-15	0	0

Додаток В

ВИБІРКОВИЙ СОРТАМЕНТ ПРОКАТНИХ ПРОФІЛІВ

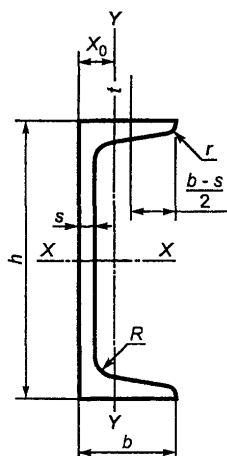
**Двотари гарячекатані
з паралельними гранями полицок
типу Б (нормальні балкові двотаври)
за ГОСТ 26020-83**



Позначення:
 h — висота двотавра;
 b — ширина полицки;
 s — товщина стінки;
 t — товщина полицки;
 A — площа перерізу
 W — момент опору;
 I — момент інерції;
 i — радіус інерції

Номер профілю	Розміри в мм				A см ²	Маса 1 м, кг	Довідкові величини для осі X-X		
	h	b	s	t			I_x , см ⁴	W_x , см ³	i_x , см
10Б1	100	55	4,1	5,7	10,32	8,1	171	34,2	4,07
12Б1	117,6	64	3,8	5,1	11,03	8,7	257	43,8	4,83
12Б2	120	64	4,4	6,3	13,21	10,4	318	53,0	4,90
14Б1	137,4	73	3,8	5,6	13,39	10,5	435	63,3	5,70
14Б2	140	73	4,7	6,9	16,43	12,9	541	77,3	5,74
16Б1	157	82	4,0	5,9	16,18	12,7	689	87,8	6,53
16Б2	160	82	5,0	7,4	20,09	15,8	869	108,7	6,58
18Б1	177	91	4,3	6,5	19,58	15,4	1063	120,1	7,37
18Б2	180	91	5,3	8,0	23,95	18,8	1317	146,3	7,41
20Б1	200	100	5,6	8,5	28,49	22,4	1943	194,3	8,26
23Б1	230	110	5,6	9,0	32,91	25,8	2996	260,5	9,54
26Б1	258	120	5,8	8,5	35,62	28,0	4024	312,0	10,63
26Б2	261	120	6,0	10,0	39,70	31,2	4654	356,6	10,83
30Б1	296	140	5,8	8,5	41,92	32,9	6328	427,0	12,29
30Б2	299	140	6,0	10,0	46,67	36,6	7293	487,8	12,50

**Швелери сталеві
гарячекатані з ухилом
внутрішніх граней
поличок
за ГОСТ 8240-97**



Позначення:

h — висота двотавра;
 b — ширина полички;
 s — товщина стінки;
 t — середня товщина полички;
 W — момент опору;
 I — момент інерції;
 i — радіус інерції;
 S — статистичний момент
половини перерізу.

Номер швелера	Розміри в мм				A см ²	Маса 1 м, кг	Довідкові величини для осі X—X			
	h	b	s	t			I_x см ⁴	W_x см ³	i_x см	S_x см ³
5У	50	32	4,4	7,0	6,16	4,84	22,8	9,1	1,92	5,59
6,5У	65	36	4,4	7,2	7,51	5,90	48,6	15,0	2,54	9,00
8У	80	40	4,5	7,4	8,98	7,05	89,4	22,4	3,16	23,30
10У	100	46	4,5	7,6	10,90	8,59	174,0	34,8	3,99	20,40
12У	120	52	4,8	7,8	13,30	10,40	304,0	50,6	4,78	29,60
14У	140	58	4,9	8,1	15,60	12,30	491,0	70,2	5,60	40,80
16У	160	64	5,0	8,4	18,10	14,20	747,0	93,4	6,42	54,10
16аУ	160	68	5,0	9,0	19,50	15,30	823,0	103,0	6,49	59,40
18У	180	70	5,1	8,7	20,70	16,30	1090,0	121,0	7,24	69,80
18аУ	180	74	5,1	9,3	22,20	17,40	1190,0	132,0	7,32	76,10
20У	200	76	5,2	9,0	23,40	18,40	1520,0	152,0	8,07	87,80
22У	220	82	5,4	9,5	26,70	21,00	2110,0	192,0	8,89	110,00
24У	240	90	5,6	10,0	30,60	24,00	2900,0	242,0	9,73	139,00
27У	270	95	6,0	10,5	35,20	27,70	4160,0	308,0	10,90	178,00
30У	300	100	6,5	11,0	40,50	31,80	5810,0	387,0	12,00	224,00
33У	330	105	7,0	11,7	46,50	36,50	7980,0	484,0	13,10	281,00
36У	360	110	7,5	12,6	53,40	41,90	10820,0	601,0	14,20	350,00
40У	400	115	8,0	13,5	61,50	48,30	15220,0	761,0	15,70	444,00

Додаток Г

ЗРАЗОК ОФОРМЛЕННЯ КОНТРОЛЬНОЇ РОБОТИ

***Примітка.** В подальшому тексті надані посилання на використану літературу, вказану в кінці даного додатка.*

Центральноукраїнський національний технічний університет

Кафедра будівельних, дорожніх машин і будівництва

КОНТРОЛЬНА РОБОТА

з дисципліни

ТЕОРІЯ НАДІЙНОСТІ БУДІВЕЛЬ І СПОРУД

Виконав

студент групи _____

(призвище, ініціали)

Перевірив

професор Пашинський В.А.

Кропивницький 2023

Вихідні дані та завдання роботи

В завданні на виконання індивідуальної роботи вказані такі дані:

- проліт прогону покрівлі – 6 м;
- крок прогонів покрівлі – 3 м;
- переріз прогону покрівлі – двотавр 18Б1;
- встановлений термін експлуатації – 50 років;
- характеристики постійного навантаження:
 $P_0 = 780$ Па, $P_m = 975$ Па, $M_p = 806$ Па, $S_p = 98$ Па, шурфів – 6.
- вибірка річних максимумів снігового навантаження (39 значень);
- вибірка значень межі текучості сталі (10 значень).

Необхідно визначити розрахункові значення постійного і снігового навантаження, розрахунковий опір сталі, виконати перевірочний розрахунок прогону і визначити імовірність його безвідмовної роботи.

1. Визначення розрахункового опору сталі за результатами випробувань

Вихідні дані: результати випробувань зразків сталі (границя текучості в МПа):

315 299 357 301 300 346 281 297 249 349

Розв'язання виконане на основі методики статистичної обробки вибірок випадкових величин, описаній в посібниках [6, 12] і в додатку А методичних рекомендацій [1].

Числові характеристики вибірки границі текучості сталі визначаємо за статистичними функціями Excel:

Обсяг вибірки $N = 10$ даних, розмах $X_{min} = 249$ МПа, $X_{max} = 357$ МПа

Середнє значення, яке визначає положення центра розподілу обчислюється за функцією СРЗНАЧ(...) згідно з формулою (А.1) з [7]

$$M = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N X_i = 309 \text{ МПа.}$$

Стандарт (середнє квадратичне відхилення) обчислюється за функцією СТАНДОТКЛ.В(...) згідно з формулою (А.2) з [7]

$$S = \sqrt{\frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N (X_i - M)^2} = 33,5 \text{ МПа.}$$

Коефіцієнт варіації визначається за формулою (А.3) з [7]

$$V = S/M = 0,108 = 10,8\%.$$

Задано усього 10 значень межі текучості, тому гістограму розподілу такої малої вибірки не будуємо.

Розрахунковий опір сталі визначається за формулою (3.1) з [7]

$$R_y = M - \alpha \times S = 309 - 2,91 \times 33,5 = 212 \text{ МПа.}$$

$\alpha = 2,91$ – толерантна межа, що враховує обсяг вибірки $N = 10$ даних за таблицею з розділу 3.1 методичних рекомендацій [7]:

Отриманий коефіцієнт варіації $V = 0,108$ близький до верхньої межі звичайних значень для сталі $V = 0,06 \dots 0,12$, а розрахунковий опір на 8% менший за значення $R_y = 230$ МПа для найслабкішою сталі С 235, яка рекомендується для використання ДБН В.2.6-198:2014 – Сталеві конструкції.

2. Визначення розрахункових значень постійного навантаження за результатами натурних обстежень

Вихідні дані: результати визначення навантаження за ДБН В.1.2-2:2006 [2], тобто вже пораховане граничне розрахункове значення $R_m = 975$ Па і характеристичне значення $R_0 = 780$ Па, а також результати статистичної обробки ваги матеріалів, взятих із 6-ти шурфів покрівлі – середнє значення $M_p = 806$ Па і стандарт $S_p = 98$ Па.

Розв'язання зводиться до визначення граничного розрахункового значення постійного навантаження за результатами раніше виконаної статистичної обробки вибірки дослідних значень ваги матеріалів покрівлі. Статистичну обробку виконувати не треба, тому що середнє значення й стандарт постійного навантаження вже відомі.

Характеристичне та експлуатаційне розрахункове значення постійного навантаження приймаються рівними його середньому значенню

$$Q_0 = Q_e = M = 806 \text{ Па.}$$

Граничне розрахункове значення постійного навантаження з урахуванням реального обсягу вибірки $N = 6$ згідно з вказівками ДБН 362-93. "Оцінка технічного стану сталевих конструкцій виробничих будівель і споруд, що знаходяться в експлуатації" [4] визначаємо за формулою (3.4) з методичних рекомендацій [7]:

$$Q_m = M + \alpha \times S / \sqrt{N} = 806 + 2,02 \times 98 / \sqrt{6} = 886 \text{ Па}$$

де $\alpha = 2,02$ – толерантна межа за таблицею з того ж ДБН для $N = 6$ даних;

$M = 806 \text{ Па}$ і $S = 98 \text{ Па}$ – вказані в завдання середнє значення і стандарт вибірки постійного навантаження,

Забезпеченість граничного розрахункового значення постійного навантаження $Q_m = 975 \text{ Па}$, визначеного за ДБН В.1.2-2:2006 [2] і заданого в завданні, встановлюється залежно від аргументу

$$t = (Q_m - M) / S = (975 - 806) / 98 = 1,73.$$

За таблицею нормального розподілу отримуємо $P=0,958$. Це досить висока забезпеченість, але вона не відповідає значенню 0,995, встановленому в нормах [1] для граничних розрахункових значень постійного навантаження.

3. Нормування снігового навантаження за результатами снігозйомок

Вихідні дані: наведена в індивідуальному завданні вибірка річних максимумів запасу води в сніговому покриві, сформована за результатами снігомірних зйомок на метеостанції Ковель:

6	37	36	26	32	35	12	35	19	40	17	61	104	44	60	62	78	18	16	59
38	35	24	16	10	33	26	60	93	32	22	33	26	27	34	53	57	24		23

Розв'язання задачі здійснюємо згідно з розділом 3.3 методичних рекомендацій [7] у такому порядку:

1. В середовищі Excel з використанням відповідних статистичних функцій визначаємо числові характеристики вибірки річних максимумів ваги снігового покриву, попередньо перетворивши їх у мегапаскалі шляхом множення на 10:

обсяг вибірки $N = 39$, розмах $X_{min} = 60 \text{ Па}$ та $X_{max} = 1040 \text{ Па}$

середнє значення $M=375 \text{ Па}$, стандарт $S=220 \text{ Па}$, коеф. варіації $V=0,587$.

2. За рекомендаціями методичних вказівок [7] та посібника [5] будуємо гістограму розподілу з нанесеною кривою розподілу Гумбеля і наводимо цей графік на рис. 1.
3. Обчислюємо характеристичне значення снігового навантаження для $T = 50$ років та граничне розрахункове значення снігового навантаження для заданого строку експлуатації $T = 50$ років за формулою:

$$S_m(T) = M + S(0,78 \times \ln T - 0,45) = 375 + 220 \times (0,78 \times \ln 50 - 0,45) = 947 \text{ Па}$$

4. Характеристичне значення снігового навантаження для м. Ковель за додатком Е ДБН В.1.2-2:2006 [2] дорівнює 1200 Па. Отже, уточнення за метеорологічними даними забезпечило зменшення навантаження на 21%.

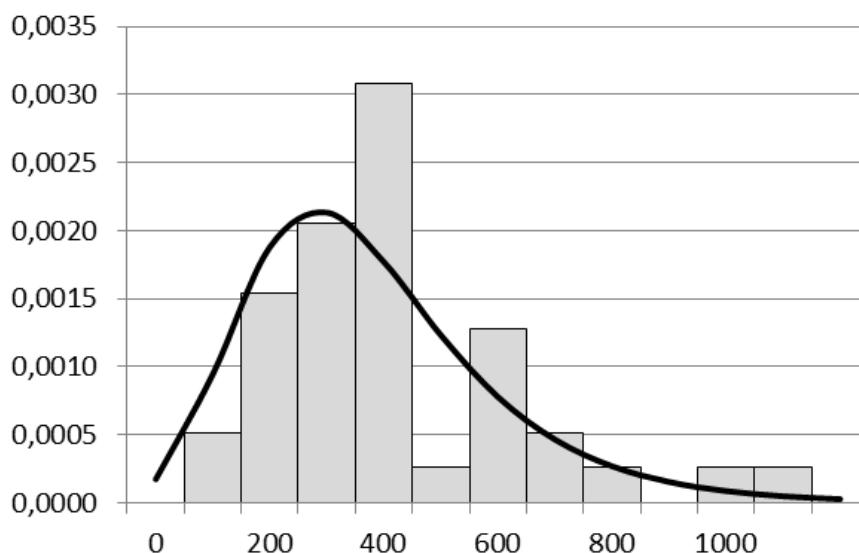


Рис. 1. Гістограма розподілу річних максимумів ваги снігового покриву на метеостанції Ковель

4. Перевірочний розрахунок прогону

Перевірка міцності прогону покрівлі виконується з урахуванням розрахункових значень постійного та снігового навантажень, визначених за ДБН В.1.2-2:2006 та встановлених за статистичними даними у попередніх розділах даної роботи. Розрахунок виконуємо в такій послідовності:

1. У завданні вказане граничне розрахункове значення постійного навантаження $P_m = 975$ Па, визначене згідно з ДБН В.1.2-2:2006 за проектними даними.
2. Для м. Ковель за додатком Е ДБН В.1.2-2:2006 характеристичне значення снігового навантаження дорівнює $S_0 = 1200$ Па, а граничне розрахункове значення обчислюється з урахуванням коефіцієнта надійності за навантаженням $\gamma_{fm} = 1$ для встановленого терміну експлуатації $T_{ef} = 50$ років:

$$S_m(50) = \gamma_{fm} S_0 C = 1 \times 1200 \times 1 = 1200 \text{ Па.}$$

3. Обчислюємо сумарне граничне розрахункове значення від снігу та власної ваги покрівлі згідно з ДБН В.1.2-2:2006:

$$Q = Q_m + S_m = 975 + 1200 = 2175 \text{ Па,}$$

погонне навантаження на прогон

$$q = Q \times b = 2175 \times 3 / 1000 = 6,54 \text{ кН/м)}$$

та згинальний момент у прогоні, як у балці на двох шарнірних опорах

$$M = \frac{q \times l^2}{8} = \frac{6,54 \times 6^2}{8} = 29,4 \text{ кН} \times \text{м.}$$

4. Перевірку міцності прогону при дії граничного розрахункового значення навантаження, що відповідає встановленому терміну експлуатації будівлі виконуємо згідно з вказівками ДБН В.2.6-198:2014 "Сталеві конструкції":

$$\sigma = \frac{M}{W} = \frac{29400}{120,1} = 245 > R_y = 212 \text{ МПа},$$

де $R_y = 212$ МПа – розрахунковий опір сталі, визначений у розділі 2 за результатами випробувань зразків;

$W=120,1$ см³ – момент опору перерізу двотавра 18Б1 за сортаментом.

Значення розрахункового опору $R_y = 212$ МПа, отримане за результатами випробувань, використовуємо внаслідок відсутності інформації про марку сталі та неможливості встановити його за ДБН В.2.6-198:2014.

5. Визначаємо сумарне граничне розрахункове значення від снігу та власної ваги покрівлі за результатами власних досліджень, проведених у попередніх розділах:

$$Q = Q_m + S_m = 886 + 947 = 1833 \text{ Па},$$

погонне навантаження на прогон

$$q = Q \times b = 1833 \times 3 / 1000 = 5,50 \text{ кН/м)}$$

та згинальний момент у прогоні, як у балці на двох шарнірних опорах

$$M = \frac{q \times l^2}{8} = \frac{5,50 \times 6^2}{8} = 24,7 \text{ кН} \times \text{м}.$$

6. Перевірка міцності прогону при дії граничного розрахункового значення навантаження, визначеного за результатами власних досліджень для терміну експлуатації будівлі $T = 50$ років виконується таким же чином, як і виконаний в пункті 4 розрахунок на навантаження за ДБН В.1.2-2:2006:

$$\sigma = \frac{M}{W} = \frac{24700}{120,1} = 206 < R_y = 212 \text{ МПа},$$

Розрахунки на постійне та снігове навантаження за ДБН В.1.2-2:2006, виконані в пунктах 2...4, показали, що прогін є перенапруженим на 16%, а тому не може експлуатуватися. Розрахунки на навантаження, уточнені за результатами статистичної обробки даних (пункти 5, 6), вказують на достатню несучу здатність прогону. Причиною цього є те, що фактичні значення постійного та снігового навантаження є меншими за розрахункові значення, встановлені ДБН В.1.2-2:2006. Виходячи з результатів розрахунку на уточнені навантаження, робимо висновок про можливість подальшої експлуатації прогону покрівлі.

5. Визначення імовірності відмови прогону покрівлі

Імовірність відмови та безвідмовної роботи дослідженого сталевих прогону покрівлі за критерієм міцності визначаємо згідно з методичними вказівками [6, 7] з урахуванням статистичних характеристик міцності сталі, постійного та снігового навантаження, отриманих у попередніх розділах. Розрахунки виконуємо в такій послідовності:

1. До зведеної розрахункової таблиці заносимо отримані у попередніх розділах результати перевірочних розрахунків прогону за нормами проектування та на уточнені навантаження, а також статистичні характеристики границі текучості сталі, постійного та снігового навантаження на покрівлю:

Розрахункові параметри	Розрахункові значення		Числові характеристики	
	за ДБН	уточнені	M	S
Характеристика міцності (МПа)	—	212	309	33,5
Постійне навантаження (Па)	975	886	806	98
Снігове навантаження (Па)	1200	947	375	220
Максимальні напруження (МПа)	245	206	—	—
Коефіцієнт впливу	0,112	—	—	—
Матеріал і переріз прогону	сталевий двотавр 18Б1			

2. За результатами перевірочних розрахунків прогону визначаємо коефіцієнт впливу постійного та снігового навантаження як відношення максимальних напружень у прогоні до величини сумарного рівномірно розподіленого навантаження на покрівлю: $245 / (975 + 1200) = 0,112$.
3. Визначаємо середнє значення й стандарт резерву міцності за формулами

$$M = M_R - \alpha_{II} M_{II} - \alpha_C (M_C + 0,78 S_C \ln T) = 101 \text{ МПа};$$

$$S = \sqrt{S_R^2 + \alpha_{II}^2 S_{II}^2 + \alpha_C^2 S_C^2} = 43,0 \text{ МПа},$$

де M_R і S_R – середнє значення й стандарт межі текучості сталі;

M_{II} і S_{II} – середнє значення й стандарт постійного навантаження;

M_C і S_C – середнє значення й стандарт снігового навантаження;

$\alpha_{II} = \alpha_C$ – коефіцієнти впливу постійного та снігового навантаження за пунктом 1;

$T = 50$ років – встановлений строк експлуатації за завданням.

4. Обчислюємо дальність відмови $\beta = M/S = 101 / 43 = 2,35$.
5. За таблицею Б.3 з методичних вказівок [7] визначаємо імовірність відмови прогону $P_B(T)=0,0093$. Імовірність безвідмовної роботи дорівнює $P_H(T) = 1 - P_B(T) = 1 - 0,0093 = 0,9907$.

Прогін покрівлі відноситься до конструкцій категорії відповідальності В. Згідно з ДБН В.1.2-14:2018 [1], для розрахунків за першою групою граничних станів в усталених розрахункових ситуаціях конструкцій будівель і споруд категорії відповідальності СС 1 рекомендується імовірність відмови 0,0001. Отже, рівень надійності проаналізованого прогону не відповідає рекомендаціям ДБН В.1.2-14:2018 щодо доцільних значень імовірності відмови несучих будівельних конструкцій.

Висновки за результатами розрахунків

1. Уточнене за фактичними даними граничне розрахункове значення постійного навантаження виявилось на 9% меншим від проєктного значення, а встановлене за результатами снігомірних зйомок снігове навантаження – на 21% менше від даних ДБН В.1.2-2:2006.
2. При розрахунку на навантаження за ДБН В.1.2-2:2006 прогін виявився перенапруженим на 16%. Розрахунки на навантаження, уточнені за результатами статистичної обробки даних, вказують на достатню несучу здатність прогону з запасом міцності 3%, що гарантує його безаварійну подальшу експлуатацію.
3. Імовірність відмови прогону 0,0093 істотно перевищує значення 0,0001, рекомендоване ДБН В.1.2-14:2018.

Використана література

(цей список відноситься лише до наведеного в додатку Г прикладу оформлення розрахунково-дослідницької роботи)

1. ДБН В.1.2-14-2018. Загальні принципи забезпечення надійності та конструктивної безпеки будівель і споруд. К.: Мінрегіонбуд України, 2018.- 30 с.
2. ДБН В.1.2-2:2006. Навантаження і впливи. Норми проектування. К.: Мінбуд України, 2007. – 60 с.
3. ДБН В.2.6-198:2014. Сталеві конструкції. Норми проектування. К.: Мінрегіон України, 2014. – 199 с.

4. ДБН 362-93. Оцінка технічного стану сталевих конструкцій виробничих будівель і споруд, що знаходяться в експлуатації / Держбуд України.- К.: Укрархбудінформ, 1995. – 46 с.
5. Основи теорії надійності будівель і споруд. Навчальний посібник для студентів будівельних спеціальностей усіх форм навчання / В.А Пашинський: – Кропивницький: ЦНТУ, 2016. – 155 с.
6. Теорія надійності будівель і споруд. Методичні рекомендації до практичних занять для здобувачів вищої освіти другого (магістерського) рівня спеціальності 192 – Будівництво та цивільна інженерія. / В.А Пашинський: – Кропивницький: ЦНТУ, 2023. – 39 с.
7. Теорія надійності будівель і споруд : Методичні рекомендації з вивчення дисципліни в режимі дистанційного (заочного) навчання для здобувачів вищої освіти другого (магістерського) рівня спеціальності 192 – Будівництво та цивільна інженерія. / В.А. Пашинський: – Кропивницький: ЦНТУ, 2023. – 50 с.

Навчально-методичне електронне видання

ТЕОРІЯ НАДІЙНОСТІ БУДІВЕЛЬ І СПОРУД

Методичні рекомендації з вивчення дисципліни в режимі дистанційного (заочного) навчання для здобувачів вищої освіти другого (магістерського) рівня спеціальності 192 – Будівництво та цивільна інженерія

Укладач – д.т.н., професор Пашинський В.А.

© ЦНТУ, Кропивницький, пр. Університетський, 8
© Пашинський В.А.