

Центральноукраїнський національний технічний університет

Кафедра будівельних, дорожніх машин і будівництва

ОСНОВИ ТЕОРІЇ НАДІЙНОСТІ БУДІВЕЛЬ І СПОРУД

**Методичні вказівки до самостійної роботи студентів
спеціальності 192 – Будівництво та цивільна інженерія
усіх форм навчання**

Затверджено
на засіданні кафедри
Будівельних, дорожніх машин і будівництва
05 червня 2018 року, протокол № 11

Кропивницький 2018

Основи теорії надійності будівель і споруд. Методичні вказівки до самостійної роботи студентів спеціальності 192 "Будівництво та цивільна інженерія" усіх форм навчання. – Кропивницький: ЦНТУ, 2018. – 50 с.

Методичні вказівки в основному призначені для допомоги у вивченні навчальної дисципліни "Основи теорії надійності будівель і споруд" студентами дистанційної форми навчання та студентами денної форми, які навчаються за індивідуальним навчальним планом. Окрім стислого висвітлення теоретичних відомостей про методи забезпечення надійності будівельних конструкцій, значна увага приділена методиці виконання індивідуальної розрахункової (контрольної) роботи. Зміст вказівок відповідає робочій навчальній програмі дисципліни "Основи теорії надійності будівель і споруд" для підготовки магістрів 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. ЗАВДАННЯ САМОСТІЙНОЇ РОБОТИ	4
1. СТИСЛІ ТЕОРЕТИЧНІ ВІДОМОСТІ	6
1.1. Загальні поняття теорії надійності	6
1.2. Вимоги та засоби забезпечення надійності технічних об'єктів ..	7
1.3. Класифікація відмов технічних об'єктів	9
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	12
1.7. Класифікація навантажень та їх розрахункових значень	13
1.8. Принципи встановлення розрахункових значень навантажень ..	14
1.9. Нормативні документи, що регламентують методи забезпечення надійності будівельних конструкцій	16
2 СТАТИСТИЧНА ОБРОБКА ВИБІРОК ТА ІМОВІРНІСНЕ ПОДАННЯ ВИПАДКОВИХ ВЕЛИЧИН	18
2.1. Завдання статистичної обробки вибірки випадкової величини.....	18
2.2. Визначення числових характеристик	19
2.3. Побудова гістограми розподілу	20
2.4. Поширені закони розподілу випадкових величин	21
2.5. Вибір теоретичного закону розподілу та перевірка його узгодженості з дослідними даними	23
2.6. Приклад статистичної обробки вибірки випадкової величини	24
3. ВИКОНАННЯ ІНДИВІДУАЛЬНОЇ РОЗРАХУНКОВОЇ РОБОТИ	27
3.1. Визначення розрахункового опору сталі за результатами випробувань зразків	27
3.2. Визначення розрахункових значень постійного навантаження за результатами натурних обстежень	28
3.3. Нормування снігового навантаження за результатами снігомірних зйомок	29
3.4. Перевірочний розрахунок прогону покрівлі	30
3.5. Визначення імовірності відмови прогону покрівлі	32
Рекомендована література	35
Д О Д А Т К И	36
Додаток А. Статистичні таблиці	36
Додаток Б. Вибірковий сортамент прокатних профілів	40
Додаток В. Зразок оформлення контрольної роботи	42

В С Т У П

ЗАВДАННЯ САМОСТІЙНОЇ РОБОТИ

Навчальна дисципліна "Основи теорії надійності будівель і споруд" є однією з профільюючих дисциплін підготовки магістрів спеціальності "Будівництво та цивільна інженерія". Її головним завданням є ознайомлення студентів з основними положеннями теорії надійності, методами оцінювання показників надійності несучих та огорожувальних будівельних конструкцій, вивчення практичних методів статистичного дослідження й нормування навантажень на будівельні конструкції.

У результаті вивчення навчальної дисципліни "Основи теорії надійності будівель і споруд" студент повинен знати: основні поняття теорії надійності, компоненти та показники надійності, найпростіші методи оцінювання показників надійності будівельних конструкцій, імовірнісні моделі навантажень, методи їх статистичного дослідження та встановлення розрахункових значень.

Самостійна робота студентів полягає у вивченні теоретичної частини курсу та виконанні індивідуальної розрахункової (контрольної) роботи. Теоретична частина курсу вивчається за літературою [1, 2, 3, 6].

Індивідуальна розрахункова робота виконується з метою вивчення практичних методів встановлення розрахункових опорів будівельних матеріалів та розрахункових значень навантажень на будівельні конструкції за результатами статистичної обробки дослідних даних. Розрахункова робота моделює виробничу ситуацію, характерну для виконання обстежень несучих будівельних конструкцій, що перебувають в експлуатації. У процесі виконання роботи студент повинен:

1. Ознайомитися з теоретичними відомостями, викладеними в розділі 1, а також у рекомендованій нормативній, науковій та навчальній літературі.
2. За вказівками підрозділу 3.1 виконати статистичну обробку результатів випробувань на міцність зразків сталі, відібраних із обстежених конструкцій, та встановити значення розрахункового опору.
3. За вказівками підрозділу 3.2 виконати статистичну обробку результатів зважування матеріалів, відібраних із шурфів обстеженої покрівлі, та встановити характеристичне й розрахункові значення постійного навантаження від ваги покрівлі.
4. За вказівками підрозділу 3.3 виконати статистичну обробку значень ваги снігового покриву, встановлених за результатами снігомірних зйомок на метеостанції в районі розташування об'єкту, обчислити характеристичне й граничне розрахункове значення снігового навантаження та порівняти його з розрахунковим значенням, встановленим за ДБН В.1.2-2:2006 "Навантаження і впливи" [2].

5. За рекомендаціями підрозділу 3.4 виконати перевірочні розрахунки прогону покрівлі на навантаження, визначені за ДБН В.1.2-2:2006, а також на навантаження, встановлені за вказівками підрозділів 3.2 і 3.3 за результатами статистичної обробки дослідних даних. Розрахунковий опір матеріалу слід прийняти за даними статистичної обробки результатів випробувань зразків, виконаної за вказівками підрозділу 3.1. Порівняти результати перевірочних розрахунків, виконаних з урахуванням розрахункових значень навантажень за ДБН В.1.2-2:2006 [2] та уточнених за результатами обстеження і реальними метеорологічними даними.
6. За рекомендаціями підрозділу 3.5 з урахуванням встановлених раніше статистичних характеристик міцності матеріалу, постійного та снігового навантаження на покрівлю визначити імовірність відмови прогону покрівлі та порівняти її з доцільною імовірністю відмови, рекомендованою додатком В ДБН В.1.2-14-2009 [1].

Результати розрахунків оформлюються у вигляді пояснювальної записки, яка містить вихідні дані, розрахункові формули й таблиці, стислі пояснення, графічні ілюстрації, аналіз результатів, а також висновки щодо рівня надійності та можливості подальшої експлуатації дослідженої конструкції. Зразок оформлення індивідуальної розрахункової роботи наведений у додатку В. Студенти денної форми навчання представляють індивідуальну розрахункову роботу в якості звіту про свою самостійну роботу над вивченням навчальної дисципліни і захищають її на екзамені. Студенти дистанційної форми навчання подають індивідуальну розрахункову роботу в якості контрольної роботи, передбаченої навчальним планом.

1. СТИСЛІ ТЕОРЕТИЧНІ ВІДОМОСТІ

1.1. Загальні поняття теорії надійності

Визначення основних понять теорії надійності будівельних конструкцій наведені в ДБН В.1.2-14-2009 "Загальні принципи забезпечення надійності та конструктивної безпеки будівель, споруд, будівельних конструкцій та основ" [1]. 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 заданого проміжку часу.

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

З поняттям експлуатації пов'язані терміни:

- нормальна експлуатація будівлі (споруди) – експлуатація об'єкта, здійснювана без обмежень відповідно до передбачених у нормах або в завданні на проектування технологічних чи природних умов;
- встановлений термін експлуатації – календарна тривалість експлуатації об'єкта, при досягненні якої його подальше використання за призначенням допускається лише після спеціального підтвердження роботоздатності;
- нагляд – прийнята на об'єкті система спостереження, фіксації та оцінки технічного стану конструкцій та їх частин;
- ремонт – комплекс операцій із відновлення роботоздатності об'єкта і (або) збільшення його довговічності;
- ремонтпридатність – пристосованість об'єкта до підтримання і відновлення роботоздатного стану за допомогою технічного обслуговування і ремонту.

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 ремонтно-профілактичних робіт;
- роботоздатний стан (роботоздатність) – технічний стан, за якого об'єкт виконує всі свої функції, зберігаючи при цьому допустимий рівень ризику;

- граничний стан – стан, за якого подальша експлуатація будівельного об'єкта недопустима, пов'язана з труднощами або недоцільна;
- позаграничний стан – перевищення межі, встановленої нормами для граничного стану.

Відмова – подія, що полягає в переході через один із граничних станів (реалізація позаграничного стану). З поняттям відмови пов'язане також поняття безвідмовності, тобто здатності об'єкта безперервно зберігати роботоздатний стан протягом заданого терміну 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 – великомасштабна аварія, яка спричинила численні людські жертви, значні матеріальні збитки або інші тяжкі наслідки;
- збитки – матеріальні чи фінансові втрати внаслідок відмови;
- втрати – спричинені відмовою втрати нематеріального характеру (життя та здоров'я людей, культурні та духовні цінності тощо);
- ризик – кількісна характеристика можливих втрат, спричинених непередбаченими подіями, що викликають часткове чи повне руйнування.

1.2. Вимоги та засоби забезпечення надійності технічних об'єктів

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 роботоздатність 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 роботоздатності конструкцій (недосконалості 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 терміну 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 через один із граничних станів (реалізація позаграничного стану).

Граничним називають стан, за якого подальша експлуатація будівельного об'єкта недопустима, пов'язана з труднощами або недоцільна. Позаграничний стан – це перевищення межі, встановленої нормами для граничного стану.

Протилежним поняттям є **безвідмовність**, тобто здатність об'єкта безперервно зберігати роботоздатний 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 та діагностування.
- 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 відмова є наслідком недоліків або порушень норм проектування і конструювання;
- виробнича відмова виникає внаслідок недоліків або порушень установленого процесу виготовлення або ремонту;
- експлуатаційна відмова виникає внаслідок порушення встановлених 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.1.2-14-2009 [1]. 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. Цей клас 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.1.2-14-2009 [1] 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.

Терміни експлуатації будівель і споруд визначаються за підрозділом 5.2 ДБН В.1.2-14-2009 [1]. Встановлені терміни 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, встановлений термін експлуатації допускається визначати за даними таблиці 2 ДБН В.1.2-14-2009.

Встановлений термін експлуатації фіксується в проектній документації і має бути відомий власнику об'єкта, який несе відповідальність за експлуатацію об'єкта після закінчення встановленого терміну експлуатації.

1.5. Компоненти і показники надійності

Надійністю називають властивість будівельного об'єкта виконувати задані функції протягом заданого проміжку часу.

Надійність – комплексна властивість об'єкта, яка включає компоненти:

- безвідмовність – здатність об'єкта безперервно зберігати роботоздатний стан протягом деякого часу експлуатації або наробітку (обсяг виконаної об'єктом роботи);
- довговічність – властивість об'єкта зберігати роботоздатний стан до настання граничного стану в умовах установленної системи технічного обслуговування та ремонту;
- безпечність – властивість об'єкта при експлуатації, а також у випадку порушення роботоздатності не створювати загрози для життя і здоров'я людей, а також загрози для довкілля;

- живучість – властивість об'єкта зберігати обмежену роботоздатність під впливами, що не передбачені умовами експлуатації, за наявності деяких дефектів і пошкоджень, а також за відмови деяких компонентів об'єкта.
- ремонтпринадність – пристосованість до підтримання і відновлення роботоздатного стану за допомогою технічного обслуговування і ремонту;
- збережуваність – здатність зберігати у встановлених межах значення параметрів, що характеризують здатність об'єкта виконувати необхідні функції під час та після зберігання й транспортування.

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 встановленого терміну експлуатації об'єкта.

Імовірність безвідмовної роботи – це імовірність того, що у межах встановленого терміну 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 (у відсотках), або наробіток, протягом якого не відмовлять γ відсотків об'єктів. Цей показник можна також вважати гарантованим терміном експлуатації об'єкта.

1.6. Нормування характеристик міцності будівельних матеріалів

Характеристики міцності матеріалів встановлюються на підставі результатів спеціальних випробувань і накопиченого досвіду згідно з вказівками розділу 7.4 ДБН В.1.2-14-2009. 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.

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.1.2-14-2009 [1] та ДБН В.1.2-2:2006 [2]:

- **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 може наближатися до встановленого терміну експлуатації конструкції T_{ef} ;
- **короткочасне** – змінне навантаження, яке реалізується багато разів протягом терміну експлуатації споруди і для якого тривалість дії значно менша за T_{ef} ;
- **епізодичне** – навантаження, яке реалізується надзвичайно рідко (один чи декілька разів протягом терміну експлуатації споруди) і тривалість дії якого незрівнянно мала порівняно з терміном експлуатації T_{ef} . Як правило, епізодичними є аварійні навантаження і впливи.

За причинами виникнення навантаження ділять на основні та аварійні,

Залежно від **способу прикладення** до конструкції розрізняють фіксовані та вільні навантаження,

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 терміну експлуатації конструкції, та зазвичай використовується для перевірки граничних станів першої групи, вихід за межі яких еквівалентний повній втраті робото-здатності 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 встановлено два головних розрахункових значення – експлуатаційне і граничне, а для кожного аварійного 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 встановленого терміну експлуатації конструкції (наприклад, 2%). Частка часу встановлюється з умов ефективного використання конструкції за функціональним призначенням.

Граничне розрахункове значення змінного навантаження визначається з умови його неперевищення протягом заданого періоду повторюваності T . Як правило, в якості T вибирається встановлений термін 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 використовуються 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 використовуються математичні моделі випадкової величини або випадкового поля, яке відображає просторову мінливість навантаження.

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

При визначенні розрахункових значень навантажень і впливів на конструкції, які експлуатуються, враховуються встановлені в результаті натурних обстежень фактичні значення необхідних параметрів, результати метеорологічних спостережень для конкретного району будівництва, а також дані щодо навантажень і впливів на конструкцію, яка розглядається, одержані в результаті експериментально-статистичних досліджень.

Практичні методики визначення розрахункових значень викладені в підрозділах 3.2 і 3.3 на прикладі постійного та снігового навантажень.

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.1.2-14-2009. СНББ. Загальні принципи забезпечення надійності та конструктивної безпеки будівель, споруд, будівельних конструкцій та основ [1]. Норми містять такі ключові положення щодо забезпечення надійності:

- сфера застосування норм (розділ 1);
- визначення основних понять (розділ 3);
- вимоги і засоби забезпечення надійності конструкцій на усіх етапах життєвого циклу (пункти 4.1, 4.4);
- заходи щодо запобігання небезпекам (пункти 4.2, 4.5)
- класифікація будівельних об'єктів, конструкцій та елементів за відповідальністю (пункти 5.1, 5.2, 7.6, додаток А);
- порядок встановлення термінів експлуатації будівель і споруд (п. 5.3);
- загальні принципи розрахунку будівельних конструкцій та основні положення методу граничних станів (розділ 6);
- граничні нерівності методу граничних станів (пункт 7.1, додаток Б);
- принципи нормування властивостей будівельних матеріалів (пункт 7.4);
- класифікація навантажень і впливів на будівельні конструкції (п. 6.5);
- принципи нормування постійних та змінних навантажень і впливів на будівельні конструкції (пункт 7.2);
- урахування спільної дії навантажень і впливів при розрахунках за методом граничних станів (пункт 7.3);
- рекомендована методика ймовірнісного розрахунку надійності (розділ 8, додаток В);
- організація контролю та нагляду на усіх етапах життєвого циклу конструкцій (розділ 9).

ДБН В.1.2-2:2006. СНББ. Навантаження і впливи. Норми проектування [2]. 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);
- визначення постійних і технологічних навантажень (розділи 5, 6, 7);
- принципи нормування атмосферних навантажень, визначення їх характеристичних і розрахункових значень (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 визначенні атмосферних навантажень (пункти 8.6 – 8.10, 9.7 – 9.13, 9.16, 10.5, 10.6, 10.13);
- додатки, що забезпечують визначення орієнтовних термінів експлуатації будівель і споруд (дод. В), встановлення уточнених характеристичних значень атмосферних навантажень для міст обласного підпорядкування України (дод. Е), визначення розподілів снігового навантаження по поверхні покрівель (дод. Ж) та аеродинамічних коефіцієнтів (дод. І)

ДБН 362-93. Оцінка технічного стану сталевих конструкцій виробничих будівель і споруд, що знаходяться в експлуатації [3]. 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, періодичності оглядів і обстежень конструкцій (пункти 1.4, додаток 1);
- порядок проведення обстежень, класифікація дефектів та 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 [4, 5, 6]. Практичні методи статистичної обробки вибірок випадкових величин та найчастіше вживані закони розподілу описані в розділі 2, а в додатку А наведені статистичні таблиці, необхідні для виконання розрахункової роботи.

2. СТАТИСТИЧНА ОБРОБКА ВИБІРОК ТА ІМОВІРНІСНЕ ПОДАННЯ ВИПАДКОВИХ ВЕЛИЧИН

2.1. 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 імовірнісну (випадкову) природу, оскільки конструкції неможливо виготовити абсолютно точно, а навантаження зазвичай 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 сукупність значень випадкової величини, отриману в результаті спостережень. Якщо кожне окреме значення випадкової величини передбачити неможливо, то вибірка, отримана в результаті дослідження чи спостереження, має певні характеристики та 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 робочої сторінки, в комірці якої 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 2.6 числовим прикладом статистичної обробки вибірки значень межі міцності бетону, отриманих за результатами випробувань зразків-кубиків на стиск.

2.2. 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

$$M = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N X_i, \quad (2.1)$$

а в середовищі Excel обчислюється функцією СРЗНАЧ(список).

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

$$S = \sqrt{\frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N (X_i - M)^2}, \quad (2.2)$$

яка в середовищі EXCEL реалізована функцією СТАНДОТКЛОН(список).

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

$$V = S/M. \quad (2.3)$$

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.

2.3. 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 , $j = 0, \dots, L$ установлюються, виходячи з довжини інтервалу, обчисленої за формулою

$$d = (X_{max} - X_{min}) / L \quad (2.4)$$

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 :

$$P_j = N_j / N . \quad (2.5)$$

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

$$f_j = P_j / d_j = P_j / (C_j - C_{j-1}) . \quad (2.6)$$

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 (2.6) значення густини імовірності f_j . Приклад побудови гістограми розподілу наведено в підрозділі 2.6.

2.4. 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

$$f(x) = \frac{1}{S \sqrt{2\pi}} \exp \left[-\frac{(x - M)^2}{2 S^2} \right] . \quad (2.7)$$

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

$$t = (x - M) / S . \quad (2.8)$$

Ця ж таблиця 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 (2.7), а при $I = 1$ – інтегральну функцію розподілу, еквівалентну таблиці А.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

$$f(x) = \frac{1}{\beta} \exp \left[\frac{\alpha - x}{\beta} - \exp \left(\frac{\alpha - x}{\beta} \right) \right], \quad (2.9)$$

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

$$\alpha = M - 0,45 S ; \quad \beta = 0,78 S . \quad (2.10)$$

Інтегральна функція розподілу Гумбеля має аналітичний вираз

$$F(x) = \exp \left[- \exp \left(\frac{\alpha - x}{\beta} \right) \right], \quad (2.11)$$

який дозволяє обчислювати імовірності перевищення заданих значень, а також аналітично визначати аргумент розподілу за заданою забезпеченістю, двічі прологарифмувавши вираз (2.11).

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

$$f(x) = \beta e^{-\beta x}; \quad F(x) = 1 - e^{-\beta x}, \quad (2.12)$$

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 $F(x)$ (Б.9) дозволяє безпосередньо обчислювати інтегральну функцію розподілу, або його аргумент розподілу за заданою забезпеченістю.

2.5. 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 коефіцієнті 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 [9], статистика критерію Пірсона обчислюється за формулою

$$\chi^2 = N \sum_{j=1}^L \frac{(P_j - P_{jt})^2}{P_{jt}}, \quad (2.13)$$

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 (2.5);

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

Обчислене за (2.13) вибіркове значення статистики χ^2 порівнюють з критичним значенням $\chi_{\alpha}^2(\alpha, k)$ з таблиці А.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 часто 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.

2.6. 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 2.1. 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.

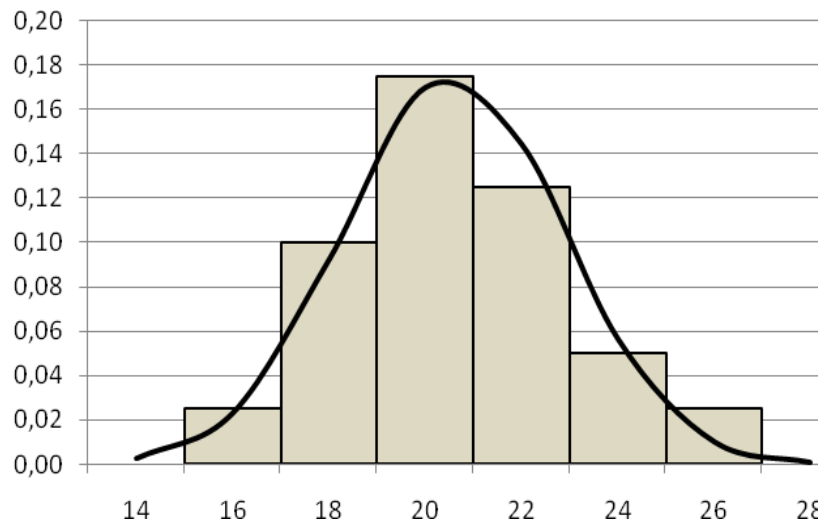


Рис. 2.1. Гістограма розподілу границі міцності бетону

Характеристики міцності будівельних матеріалів звичайно бувають розподілені за нормальним законом, що підтверджується також симетричним пагорбоподібним виглядом гістограми, наведеної на рисунку 2.1. Остання колонка таблиці містить обчислені за формулою (2.9) значення густини нормального розподілу, за якими збудована відповідна крива на рисунку 2.1. 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 [] 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 (2.13) 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 А.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 $V = 11,6\%$. Очевидно, причинами зменшеного розкиду границі міцності є добре налагоджена технологія виготовлення бетонної суміші (точне дозування компонентів, якісне вимішування тощо).

3. ВИКОНАННЯ ІНДИВІДУАЛЬНОЇ РОЗРАХУНКОВОЇ РОБОТИ

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 розділі 2, та загальній методиці нормування розрахункових опорів будівельних матеріалів [1]. Розрахунки виконуються в такій послідовності:

1. За формулами підрозділу 2.2 вручну чи в середовищі Excel визначаються числові характеристики вибірки границі текучості сталі: обсяг N , розмах (X_{min} та X_{max}), середнє значення M , стандарт S , коефіцієнт варіації V .
2. За вказівками підрозділу 2.3 встановлюються межі інтервалів гістограми, визначаються кількості та частоти попадання даних до кожного інтервалу, експериментальні значення густини та будується гістограма розподілу.
3. За формулою (2.9) обчислюються значення густини нормального розподілу для меж інтервалів і на гістограмі будується апроксимуюча крива густини нормального розподілу.
4. Здійснюється візуальна перевірка відповідності підібраного нормального розподілу дослідній гістограмі.
5. Визначається величина розрахункового опору сталі за формулою

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

де α – толерантна межа, що враховує обсяг вибірки показника міцності та необхідну забезпеченість розрахункового опору. Значення α приймається за таблицею, запозиченою з пункту 7.4.8 ДБН [1] і додатка 4 ДБН [3].

$N =$	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 розділі 2 методиці статистичної обробки вибірок випадкових величин та методиці нормування постійного навантаження [2, 3, 6]. Розрахунки виконуються в таким чином:

1. Для кожного шурфа обчислюється значення навантаження, рівномірно розподіленого по поверхні покрівлі (в Па), шляхом ділення сумарної ваги матеріалів, відібраних із шурфа (у ньютонах), на його площу (в м^2).
2. За формулами підрозділу 2.2 вручну чи в середовищі Excel визначаються 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 настилу визначаються статистичні характеристики сумарного навантаження від ваги покрівлі:

$$M = M_0 + M_H, \quad S = S_0, \quad V = S/M. \quad (3.2)$$

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 [2], характеристичне та експлуатаційне розрахункове значення постійного навантаження приймаються рівними його середньому значенню

$$Q_0 = Q_e = M. \quad (3.3)$$

5. Обчислюється граничне розрахункове значення постійного навантаження з урахуванням обсягу наявної вибірки N за вказівками ДБН [3] 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 [3] 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. Встановлюється забезпеченість (допустима імовірність неперевищення) граничного розрахункового значення постійного навантаження згідно з ДБН В.1.2-2:2006, за таблицею нормального розподілу А.1 залежно від значення аргументу

$$t = (Q_m - M) / S, \quad (3.4)$$

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 обробки розрахункові значення постійного навантаження (3.3) ф (3.4) порівнюють з відповідними розрахунковими значеннями, встановленими за ДБН В.1.2-2:2006 [2], а рівень забезпеченості граничного розрахункового значення – з вимогами ДБН В.1.2-14-2009 [1].

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 розділу 2 та на методиці нормування снігового навантаження [2, 5, 6]. Розрахунки виконуються таким чином:

1. За формулами підрозділу 2.2 вручну чи в середовищі Ексел визначаються 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 підрозділів 2.3 і 2.4 будується гістограма розподілу, визначаються параметри закону розподілу Гумбеля, обчислюються значення його густини для кінців інтервалів і на гістограму наноситься апроксимуюча крива густини розподілу Гумбеля.
3. Здійснюється візуальна перевірка відповідності підбраного розподілу Гумбеля дослідній гістограмі.
4. Обчислюються характеристичне значення та граничні розрахункові значення снігового навантаження для декількох періодів повторюваності в межах від 20 до 200 років за наближеною формулою з [6, 7]:

$$S_m(T) = M + S(0,78 \times \ln T - 0,45), \quad (3.5)$$

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.

При обчисленні характеристичного значення снігового навантаження до формули (3.5) підставляють період повторюваності $T = 50$ років, а при визначенні граничного розрахункового значення величина T приймається рівною встановленому терміну експлуатації прогону за з індивідуальним завданням, а також періодів повторюваності в межах від 20 до 200 років.

***Примітка:** Студентам дистанційної форми навчання можна виконувати розрахунки тільки для періоду повторюваності, рівного заданому терміну експлуатації прогону.*

5. Характеристичне значення снігового навантаження, отримане за формулою (3.5), порівнюється з характеристичним значенням для заданого району будівництва, встановленим за додатком Е та за картою територіального районування ДБН В.1.2-2:2006.

3.4. Перевірочний розрахунок прогону покрівлі

Вихідними даними є географічний район розташування об'єкта, встановлений термін експлуатації будівлі T_{ef} , конструкція покрівлі, проліт l , крок b та переріз прогону, задані в індивідуальному завданні. Необхідно визначити розрахункові значення навантажень від власної ваги конструкцій покрівлі та снігу для заданого географічного району за ДБН В.1.2-2:2006, Обчислити внутрішні зусилля й виконати перевірку міцності прогону покрівлі з урахуванням розрахункових значень постійного та снігового навантаження, встановленими за ДБН [2] та за результатами статистичної обробки даних 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.2.6-163:2010 "Сталеві конструкції. Норми проектування, виготовлення і монтажу". Розрахунки рекомендується виконувати в такій послідовності:

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

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 визначається характеристичне значення снігового навантаження.
3. За формулою (8.1) ДБН В.1.2-2:2006 обчислюється 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. Визначається сумарне граничне розрахункове значення від снігу та власної маси покрівлі

$$Q = Q_m + S_m \text{ (Па)}, \quad (3.6)$$

погонне навантаження на прогон

$$q = Q \times b \text{ (Н/м)} \quad (3.6)$$

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

$$M = \frac{q \times l^2}{8} \quad (\text{Н} \times \text{м}). \quad (3.7)$$

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

$$\sigma = \frac{M}{W} \leq R_y \quad (\text{МПа}), \quad (3.8)$$

де R_y – розрахунковий опір сталі, визначений ДБН В.2.6-163:2010, 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 Б).

6. Розрахунки за пунктами 4 і 5 повторюються з урахуванням уточнених розрахункових значень постійного та снігового навантаження, які були визначені в підрозділах 3.2 і 3.3 шляхом статистичної обробки результатів обстежень покрівлі та спостереження за сніговим навантаженням, а також розрахункового опору сталі, визначеного в підрозділі 3.1 за результатами випробувань зразків.
7. Формулюються 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. Виявляються причини відмінностей у результатах розрахунків та робиться остаточний висновок про можливість подальшої експлуатації прогону.

3.5. Визначення імовірності відмови прогону покрівлі

Вихідними даними є результати перевірки міцності прогону покрівлі, а також отримані в попередніх підрозділах результати досліджень міцності 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 [8] та викладеній у додатку В ДБН В.1.2-14 [1] і в посібнику [6]. Розрахунки виконуються в такій послідовності:

1. До зведеної розрахункової таблиці заносяться 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 визначається за результатами перевірочних розрахунків прогону з підрозділу 3.4 як відношення максимальних напружень у прогоні до величини сумарного рівномірно розподіленого навантаження на покрівлю.
3. Визначаються середнє значення і стандарт резерву міцності за формулами

$$M = M_R - \alpha_H M_H - \alpha_C (M_C + 0,78 S_C \ln T); \quad (3.9)$$

$$S = \sqrt{S_R^2 + \alpha_H^2 S_H^2 + \alpha_C^2 S_C^2}, \quad (3.10)$$

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

M_H і S_H – 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;

$\alpha_H = \alpha_C$ – коефіцієнти впливу постійного та снігового навантаження, обчислені за пунктом 2;

T – строк служби конструкції в роках.

4. Обчислюється дальність відмови $\beta = M/S$, за якою визначається імовірність відмови $P_B(T)$ з таблиці А.3 та імовірність безвідмовної роботи $P_H(T) = 1 - P_B(T)$.
5. Розрахунки показників надійності за пунктами 3 і 4 виконуються для заданого терміну експлуатації T_{ef} та інших строків служби, для яких визначалися розрахункові значення снігового навантаження. Проміжні дані та результати розрахунків заносяться 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. Визначаються нормативні показники надійності за ДБН В.1.2-14-2009:
 - клас відповідальності будівлі – за пунктом 5.1.4 і додатком А;
 - категорія відповідальності конструкції – за пунктом 5.2;
 - доцільне значення імовірності відмови – за таблицею В.1 додатка В.
7. За результатами розрахунку робляться висновки щодо залежності рівня надійності проаналізованої конструкції від її строку служби та щодо відповідності рівня надійності вимогам ДБН В.1.2-14-2009 "Загальні принципи забезпечення надійності та конструктивної безпеки будівель, споруд, будівельних конструкцій та основ".

Виконана індивідуальна розрахункова робота оформляється у вигляді пояснювальної записки за зразком додатка В і захищається на екзамені або в якості контрольної роботи, передбаченої навчальним планом для студентів дистанційної форми навчання.

Рекомендована література

1. ДБН В.1.2-14-2009. Система забезпечення надійності та безпеки будівельних об'єктів. Загальні принципи забезпечення надійності та конструктивної безпеки будівель, споруд, будівельних конструкцій та основ. – К.: Мінрегіонбуд України, 2009.
2. ДБН В.1.2-2:2006. Система забезпечення надійності та безпеки будівельних об'єктів. Навантаження і впливи. Норми проектування. – К.: Мінбуд України, 2007.
3. ДБН 362-93. Оцінка технічного стану сталевих конструкцій виробничих будівель і споруд, що знаходяться в експлуатації. – Держбуд України. – К.: Укрархбудінформ, 1995.
4. Гмурман В.Е. Теория вероятностей и математическая статистика. – М.: Высшая школа, 1977. – 640 с.
5. Нагрузки и воздействия на здания и сооружения / В.Н. Гордеев, А.И. Лантух-Лащенко, В.А. Пашинський, А.В. Перельмутер, С.Ф. Пичугин; Под общей ред. А.В. Перельмутера. – М.: ИАСВ, 2006. – 482 с.
6. Основи теорії надійності будівель і споруд. Навчальний посібник для студентів будівельних спеціальностей усіх форм навчання / Укладач – В.А Пашинський: – Кропивницький: ЦНТУ, 2016. – 155 с.
7. Пашинський В.А. Атмосферні навантаження на будівельні конструкції на території України. – К.: УкрНДІПСК, 1999. – 185 с.
8. Ржаницин А.Р. Теория расчета строительных конструкций на надежность. – М.: Стройиздат. – 1978. – 240 с.

Додаток А

СТАТИСТИЧНІ ТАБЛИЦІ

Таблиця А.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 А.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 А.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

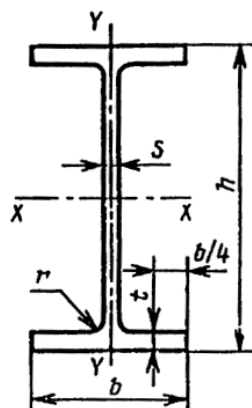
Закінчення таблиці А.3

	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 Б

ВИБІРКОВИЙ СОРТАМЕНТ ПРОКАТНИХ ПРОФІЛІВ

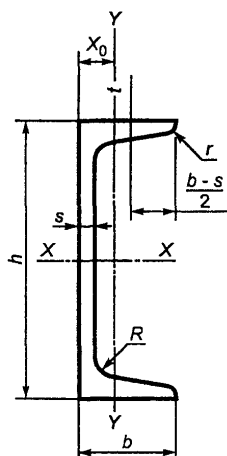
**Двотари гарячекатані
з паралельними гранями полицок
типу Б (нормальні балкові двотаври)
за ГОСТ 26020-83**



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_{Xx} см ⁴	W_{Xx} см ³	i_{Xx} 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 В
ЗРАЗОК ОФОРМЛЕННЯ КОНТРОЛЬНОЇ РОБОТИ

Центральноукраїнський національний технічний університет

Кафедра будівельних, дорожніх машин і будівництва

КОНТРОЛЬНА РОБОТА
з дисципліни
ОСНОВИ ТЕОРІЇ НАДІЙНОСТІ БУДІВЕЛЬ І СПОРУД

Виконав

студент групи _____

(прізвище, ініціали)

Перевірив

професор Пашинський В.А.

Кропивницький 2018

1. Вихідні дані та завдання

В завданні на виконання індивідуальної роботи задані 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.

2. Визначення розрахункового опору сталі за результатами випробувань

Вихідні дані: результати випробувань зразків сталі (межа 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 методичних вказівках [3, 4].

Числові характеристики вибірки межі 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 (2.1)

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

Стандарт (середнє квадратичне відхилення) обчислюється за функцією СТАНДОТКЛ.В(...) згідно з формулою (2.2)

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

Коефіцієнт варіації визначається за формулою (2.3)

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

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

Розрахунковий опір сталі визначається за формулою (3.1)

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

$\alpha = 2,91$ – толерантна межа, що враховує обсяг вибірки $N = 10$ даних за таблицею з розділу 3.1 методичних вказівок [4]:

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 найслабкішої сталі С 235.

3. 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 виконаної статистичної обробки 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" визначається за формулою (3.4) з методичних вказівок [4]:

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

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

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

Забезпеченість граничного розрахункового значення постійного навантаження $Q_m = 975$ 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.

4. 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:

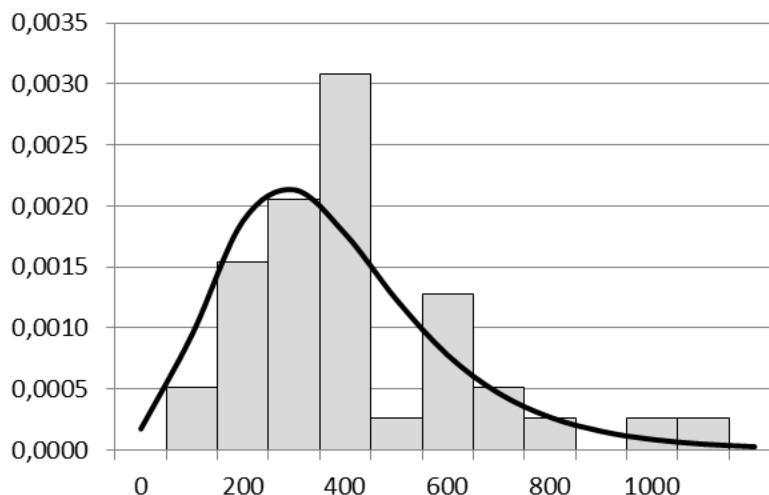
6 37 36 26 32 35 12 35 19 40 17 61 104 44 60 62 78 18 16 59
38 35 24 16 10 33 26 60 93 32 22 33 26 27 34 53 57 24 23

Розв'язання задачі виконуємо згідно з розділом 3.3 методичних вказівок [4] 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 $X_{min} = 60$ Па та $X_{max} = 1040$ Па
середнє значення $M=375$ Па, стандарт $S=220$ Па,
коефіцієнт варіації $V=0,587$.

2. За рекомендаціями методичних вказівок [4] будуємо гістограму розподілу з нанесеною кривою розподілу Гумбеля і наводимо цей графік.



3. Обчислюємо характеристичне значення снігового навантаження для $T = 50$ років та граничне розрахункове значення снігового навантаження для заданого терміну 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%.

5. 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. Перевірка міцності прогону при дії граничного розрахункового значення навантаження, що відповідає встановленому терміну експлуатації будівлі

виконуємо згідно з вказівками ДБН В.2.6-163:2010 "Сталеві конструкції. Норми проектування, виготовлення і монтажу":

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

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

$W=120,1 \text{ см}^3$ – 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.2.6-163:2010.

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 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.

6. Визначення імовірності відмови прогону покрівлі

Імовірність відмови та безвідмовної роботи дослідженого сталевих прогону покрівлі за критерієм міцності визначаємо згідно з методичними вказівками [3, 4] 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 межі 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 термін експлуатації за завданням.

4. Обчислюємо дальність відмови $\beta = M/S = 101 / 43 = 2,35$.

5. За таблицею А.3 з методичних вказівок [4] 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.1.2-14-2009 [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.1.2-14-2009 щодо доцільних значень імовірності відмови несучих будівельних конструкцій.

Використана література

1. ДБН В.1.2-14-2009. Система забезпечення надійності та безпеки будівельних об'єктів. Загальні принципи забезпечення надійності та конструктивної безпеки будівель, споруд, будівельних конструкцій та основ. К.: Мінрегіонбуд України, 2009.
2. ДБН В.1.2-2:2006. Система забезпечення надійності та безпеки будівельних об'єктів. Навантаження і впливи. Норми проектування. К.: Мінбуд України, 2007.
3. Основи теорії надійності будівель і споруд. Методичні вказівки до практичних занять для студентів спеціальності "Промислове та цивільне будівництво" усіх форм навчання. / Укладач – Пашинський В.А. – Кіровоград: КНТУ, 2012. - 37 с.
4. Основи теорії надійності будівель і споруд. Методичні вказівки до самостійної роботи студентів спеціальності 192 – Будівництво та цивільна інженерія усіх форм навчання. – Кропивницький: ЦНТУ, 2017. - 51 с.
5. Гмурман В.Е. Теория вероятностей и математическая статистика. М.: Высшая школа, 1977.- 640 с.

Навчально-методичне видання

ОСНОВИ ТЕОРІЇ НАДІЙНОСТІ БУДІВЕЛЬ І СПОРУД
Методичні вказівки до самостійної роботи студентів спеціальності
192 – Будівництво та цивільна інженерія.

Електронне видання

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

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