

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
ЗАПОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

ФАКУЛЬТЕТ БУДІВНИЦТВА ТА ЦИВІЛЬНОЇ ІНЖЕНЕРІЇ

КАФЕДРА МІСЬКОГО БУДІВНИЦТВА І ГОСПОДАРСТВА

(повна назва кафедри)

### Кваліфікаційна робота / проект

другий рівень (магістерський)

(рівень вищої освіти)

на тему «Надійність покриттів трибун стадіонів на стадіях проектування та експлуатації»

Виконав: студент 2 курсу, групи БУД-18-5мді  
спеціальності 192 Будівництво та цивільна  
інженерія

(код і назва спеціальності)

освітньої програми «Міське будівництво та  
господарство»

(код і назва освітньої програми)

спеціалізації \_\_\_\_\_

(код і назва спеціалізації)

Акіл Аюб

(ініціали та прізвище)

Керівник проф., д.т.н, Банах В.А.

(посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)

Рецензент доц.к.т.н, Фостащенко

(посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)

Запоріжжя  
2020

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
ЗАПОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет факультет будівництва та цивільної інженерії  
Кафедра міського будівництва і господарства  
Рівень вищої освіти другий рівень (магістерський)  
Спеціальність 192 Будівництво та цивільна інженерії  
(код та назва)  
Освітня програма Міське будівництво та господарство  
(код та назва)  
Спеціалізація \_\_\_\_\_  
(код та назва)

**ЗАТВЕРДЖУЮ**

Завідувач кафедри Банах В.А.  
« 12 » 09 2019 року

**ЗАВДАННЯ**  
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ/ПРОЕКТ СТУДЕНТОВІ (СТУДЕНТЦІ)

Акіл Аюб  
(прізвище, ім'я, по батькові)

Тема роботи (проекту) Надійність покриттів трибун стадіонів на стадіях проектування та експлуатації

Рівень роботи проф., д.т.н, Банах В.А.  
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

Затверджені наказом ЗНУ від «10»09 2019 року № 1542-с

Строк подання студентом роботи 28.12.2019

Вихідні дані до роботи актуальність обраного напрямку досліджень; можливість розв'язання проблематики; перспективи впровадження розробок; мета роботи; завдання до виконання, об'єкт дослідження, предмет дослідження; методи дослідження

Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) Літературний огляд. Аналіз отриманих схем руйнування сталевих рамноконсольних конструкцій покриттів над трибунами стадіонів запропонований алгоритм розрахунку і проектування конструкцій і їх окремих елементів з урахуванням геометричної і конструктивної нелінійності роботи системи. Охорона праці.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень) Від восьми графічних аркушів із результатами аналізу обґрунтувань наукового напряму досліджень, результатів експериментальних досліджень, результати розрахунків із застосування сучасних інформаційних методів досліджень.

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
1	Банах В.А.		
2	Банах В.А.		
3	Банах В.А.		
4	Банах В.А.		

7. Дата видачі завдання 2.09.2019

### КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи
1	Літературний огляд.	14.10
2	Розділ 1	30.10
3	Розділ 2	9.11
4	Розділ 3	27.11
5	Охорона праці.	11.12
6	Розробка графічної частини.	16.12
7	Оформлення роботи.	27.12
8	Попередній захист	28.12

Студент

(підпис)

Акіл Аюб

(ініціали та прізвище)

Керівник роботи (проекту)

(підпис)

В.А Банах

(ініціали та прізвище)

Нормоконтроль пройдено

Нормоконтролер

(підпис)

О.М. Фостащенко

(ініціали та прізвище)

## АНОТАЦІЯ

Акїл Аюб. Надійність покриттів трибун стадіонів на стадіях проектування та експлуатації.

Кваліфікаційна випускна робота для здобуття ступеня вищої освіти магістра за спеціальністю 192 - Будівництво та цивільна інженерія, науковий керівник А.В. Банах. Запорізький національний університет. Інженерний інститут. Факультет будівництва та цивільної інженерії, кафедра міського будівництва і господарства, 2020.

На основі аналізу отриманих схем руйнування сталевих рамноконсольних конструкцій покриттів над трибунами стадіонів запропонований алгоритм розрахунку і проектування конструкцій і їх окремих елементів з урахуванням геометричної і конструктивної нелінійності роботи системи.

Ключові слова: БУДІВЛЯ, СТАДІОН, АНАЛІЗ, ДОСЛІДЖЕННЯ, ПРОЕКТУВАННЯ КОНСТРУКЦІЙ, СХЕМИ, РУЙНУВАННЯ, РІШЕННЯ.

## ABSTRACT

Akil Ayub. Reliability of the stadium stands at the stages of design and operation.

Qualifying graduation work for the degree of master's degree in specialty 192 - Construction and civil engineering, supervisor AV Banach. Zaporizhzhya National University. Engineering Institute. Faculty of Construction and civil engineering, Department of Urban Construction and Economics, 2020.

On the basis of the analysis of the received schemes of destruction of steel ram-console structures of coatings over the stands of the stadiums, an algorithm for the calculation and design of structures and their individual elements, taking into account the geometric and structural nonlinearity of the system operation, is proposed.

Keywords: BUILDING, STADIUM, ANALYSIS, RESEARCH, STRUCTURE DESIGN, SCHEMES, DESTRUCTION, DECISION.

## АННОТАЦИЯ

Акил Аюб. Надежность покрытий трибун стадионов на стадиях проектирования и эксплуатации.

Квалификационная выпускная работа для получения степени высшего образования магистра по специальности 192 - Строительство и гражданская инженерия, научный руководитель А.В. Банах. Запорожский национальный университет. Инженерный институт. Факультет строительства и гражданской инженерии, кафедра городского строительства и хозяйства, 2020.

На основе анализа полученных схем разрушения стальных рамноконсольных конструкций покрытий над трибунами стадионов предложен алгоритм расчета и проектирования конструкций и их отдельных элементов с учетом геометрической и конструктивной нелинейности работы системы.

Ключевые слова: ЗДАНИЕ, на стадионе, АНАЛИЗ, ИССЛЕДОВАНИЯ, ПРОЕКТИРОВАНИЕ КОНСТРУКЦИЙ, СХЕМЫ, РАЗРУШЕНИЕ, РЕШЕНИЕ.

## ЗМІСТ

ВСТУП	5
РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ СТАНУ ПИТАННЯ	9
1.1 Аналіз конструктивних форм покриттів над трибунами стадіонів	10
1.2 Проектні рішення рамно-консольних покриттів над трибунами стадіонів	19
1.3 Аналіз розрахункових методів забезпечення надійності споруд	25
1.4 Спосіб сучасних нормативних документів для забезпечення заданого рівня надійності конструкції	32
1.5 Огляд і класифікація причин аварійності металевих конструкцій	39
1.6 Висновки по розділу	43
РОЗДІЛ 2 . ОБГРУНТУВАННЯ ТЕОРЕТИЧНИХ І ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ МЕТОДІВ ДОСЛІДЖЕННЯ	45
2.1 Алгоритм визначення показників надійності проектного і експлуатованого рамно-консольного покриття над трибунами стадіону	46
2.2 Облік імовірнісного характеру дії снігового навантаження	52
2.3 Облік початкової геометричної недосконалості перерізів і прочностних властивостей металопрокату	54
2.4 Облік імовірнісного характеру геометричної недосконалості отримуваних конструкцією на монтажі	57
2.5 Облік можливих, що просіли основи в процесі експлуатації в імовірнісній схемі методу кінцевих елементів	59
2.6 Висновки по розділу	61
РОЗДІЛ 3. АНАЛІЗ ПОКАЗНИКІВ НАДІЙНОСТІ ВИБРАНИХ КОНСТРУКТИВНИХ СХЕМ РАМНО-КОНСОЛЬНОГО ПОКРИТТЯ	64
3.1 Методика аналіз живучості стаціонарних рамно-консольних конструкцій покриттів над трибунами стадіонів	64
3.2 Варійовані параметри вибраної конструктивної схеми покриття над трибунами стадіонів	67
3.3 Аналіз живучості даної конструктивної схеми	72
3.4 Алгоритм обчислення характеристик надійності системи	78
3.5 Дослідження вірогідності відмови, обумовленою мінливістю снігових навантажень	79
3.6 Дослідження мінливості показників надійності конструкції	82
3.7 Облік спільної дії вищеперелічених чинників при визначенні показників надійності даних схем	88
3.8 Висновки по розділу	90
РОЗДІЛ 4. ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ТЕХНОГЕННА БЕЗПЕКА	92
ВИСНОВКИ	101
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	102



## ВСТУП

**Актуальність теми дослідження.** За останні роки наукотехнічний прогрес і збільшені вимоги до спортивно - видовищним спорудам дали поштовх подальшому будівництву спортивних споруд у всьому світі.

Для сучасних стадіонів характерна універсальність, що виражається в можливості проведення багатoproфільних спортивних заходів і культурних програм. Разом із задоволенням вимог спортивної технології при проектуванні стадіонів ставиться завдання забезпечення максимальних зручностей для глядачів. Одним з аспектів цього завдання є захист трибун від атмосферних опадів, що досягається введенням до складу конструкцій стадіонів різного роду навісів, козирків, покриттів.

Найбільш поширеними конструктивними формами покриттів над трибунами, при будівництві нових стадіонів, являються рамно-консольні конструкції або, в деяких випадках, їх окремі елементи (як правило, це консольні ферми, що виступають основними несними конструкціями покриття). Разом з новим будівництвом, рамно-консольні системи покриттів отримали широке поширення при реконструкції вже існуючих споруд. Найбільш показовими прикладами можуть виступати стадіони: «Арена-Львів» в м. Львів, «Металіст» в м. Харків, стадіон «Дніпро-арена» м. Дніпро і так далі

Усе це робить актуальним завдання розробки методики обчислень характеристик безпеки конструкцій стаціонарних рамно-консольних покриттів над трибунами стадіонів і коригування механізму забезпечення надійності таких конструкцій у рамках методу граничних станів.

**Мета роботи :** розробка методів розрахунку і проектування сталевих стержневих рамно-консольних покриттів над трибунами стадіонів на основі чисельного визначення показників надійності з урахуванням мінливості значимих проектних і експлуатаційних чинників.

**Завдання дослідження :**

- аналіз алгоритму визначення показників надійності проєктованого або експлуатованого рамно-консольного покриття над трибунами стадіону, заснованого на імовірнісній схемі методу кінцевих елементів з урахуванням тієї, що можливої, що просіла основи і випадкового характеру значимих чинників (прочностные характеристики і геометрична недосконалість фасонного металопрокату, геометрична недосконалість, що отримуються конструкцією при монтажі, снігові навантаження).

- здійснити аналіз моніторингу несних конструкцій стаціонарних покриттів над трибунами стадіонів з метою формування вибірки даних про фактичні геометричні невідповідності положення вузлів конструкцій заданої геометрії.

- виконати аналіз впливу випадкового характеру значимих чинників проєктування на показники надійності запроєктованих конструктивних форм рамно-консольних покриттів над трибунами стадіонів на основі розробленого алгоритму.

**Об'єкт дослідження:** стрижневі конструкції стаціонарних рамно-консольних покриттів над трибунами стадіонів.

**Предмет дослідження** - показники надійності стаціонарних рамноконсольних покриттів над трибунами стадіонів і методика їх обчислень.

**Наукова новизна отриманих результатів :**

- на основі аналізу отриманих схем руйнування сталевих рамноконсольних конструкцій покриттів над трибунами стадіонів запропонований алгоритм розрахунку і проєктування конструкцій і їх окремих елементів з урахуванням геометричної і конструктивної нелінійності роботи системи, що дозволяє забезпечити необхідний рівень надійності конструкцій підвищеної відповідальності;

- на основі аналізу можливих схем руйнування і обліку впливу мінливості випадкових чинників для найбільш відповідальних елементів



даної конструкції уточнений алгоритм обчислення коефіцієнта умов роботи ус

**Практична значущість отриманих результатів** полягає в наступному:

- проаналізована загальна методика розрахунку і проектування сталевій шарнирностержневої рамно-консольної конструкції покриття над трибунами стадіону, з кінцевим визначенням показників надійності проекрованої або експлуатованої конструкції;

- проаналізований алгоритм визначення узагальненої характеристики резерву міцності, на підставі якої виконується оцінка схильності системи до лавиноподібного обвалення.

**Методологія і методи дослідження.** Поставлені в роботі завдання вирішуються з використанням наступних методів:

- методи математичного моделювання;
- метод кінцевих елементів;
- методи математичної статистики.

Також використовуються універсальні програмні пакети MATLAB, MATCAD, Microsoft Excel.

**Особистий вклад претендента** полягає в наступному:

Найбільш суттєві наукові результати, складаються з аналізу, узагальнення, систематизації і статистичної обробки результатів чисельних і експериментальних досліджень, а також полягають в наступному:

- збір, аналіз, узагальнення теоретичних і експериментальних даних, за розрахунком конструкцій стаціонарних рамно-консольних покриттів над трибунами стадіонів[111];

- аналізу методики підбору перерізів стержневих елементів рамноконсольних стаціонарних покриттів над трибунами стадіонів з урахуванням вимог надійності [73, 111];

**Апробація результатів роботи.** Результати роботи докладалися на XXIV науково- технічної конференції студентів, магістрантів, аспірантів,

молодих вчених та викладачів з доповіддю «Аналіз конструктивних форм покриттів над трибунами стадіонів» у 2019р.

**Структура і об'єм магістерської роботи.** Магістерська робота складається з вступу, чотирьох розділів, укладення, списку використаних джерел містить 114 сторінок, 46 рисунків і 9 таблиць, список використаних джерел.

## РОЗДІЛ 1

### АНАЛІЗ СТАНУ ПИТАННЯ

Сучасні будівельні конструкції повинні повною мірою відповідати вимогам надійності і живучості. На жаль, в нормативній літературі [26, 32, 104] відсутні чіткі методики аналізу надійності і живучості конструкцій.

Одним з першопроходців в області надійності будівельних конструкцій виступав Н.С. Стрілецький [82,83]. У своїх роботах він уперше ввів поняття статистичного обліку надійності споруд по засобах введення в розрахунок коефіцієнта запасу надійності.

У 50 - тьх роках великий внесок у розвиток імовірнісних методів розрахунку зробили такі відомі учені як: В. А. Балдин, А.А. Гвоздев, И.И. Гольденблат, В. І. Коченов, М.Я Пильдиш, Н.С. Стрілецький [6, 13, 14, 17, 49, 84].

Подальшими питаннями удосконалення методів граничних станів і питаннями надійності займалися Н.С. Стрілецький, А. Р. Ржаницын [71, 72, 82]. Надалі в цьому напрямі проводив дослідження В. В. Болотин. Він значно просунув наукові дослідження як в області чисельного визначення характеристик надійності, так і методику розрахунку по граничних станах [9, 10]. Під його керівництвом в 1990 р. був розроблений і впроваджений ГОСТ 27.002-89 «Надійність в техніці. Основні поняття, терміни і визначення» [25].

Розглянемо деякі роботи з тематики надійності металевих конструкцій стосовно рамно-консольних конструкцій покриття над трибунами стадіонів.

У роботі Пащенко А.Н. [63] запропонований і детально розглянутий алгоритм обчислення характеристик безпеки елементів конструкцій промислових будівель, що базується на методі кінцевих елементів у варіаційній постановці. Але абсолютно не розглядаються питання живучості і її оцінки. Не враховуються особливості обчислення надійності при ранжируванні конструкцій по класах і категоріях відповідальності.

У роботі [101] розглянута методика оцінки надійності будівельних

залізобетонних конструкцій, приведені основні чинники, що впливають на надійність, але повністю опущений момент забезпечення живучості даних конструкцій. Детально розглянуті чисельні способи обчислення надійності, але зв'язок з інженерної методики простежується слабо.

У роботі [67] розроблені методики визначення надійності індивідуальних елементів у складі металевих конструкцій, а також металевих конструкцій в цілому, що відрізняються від існуючих тим, що дозволяють визначати надійність при обмеженій статистичній інформації про контрольовані параметри на основі теорії можливостей, але викликає тривогу, той факт, що автор допускає розвиток пластичних деформацій в елементах системи, а це неминуче приведе до зменшення надійності системи в цілому. Питання забезпечення живучості так само не були розглянуті.

Роблячи висновки по лагідному виконаному аналізу результатів проведених раніше досліджень, слід зазначити:

1. Аналіз надійності і живучості конструкцій є важливою складовою інженерного розрахунку конструкцій, який вимагають виконувати сучасні норми будівництва, особливо для таких відповідальних споруд як конструкції покриттів над трибунами.

2. Питання забезпечення живучості і надійності таких конструкцій підвищеної відповідальності, як покриття, над трибунами стадіонів на даний момент не досить розглянуті і потребують вивчення.

### **1.1 Аналіз конструктивних форм покриттів над трибунами стадіонів**

Найкращі досягнення архітектурної і інженерної думки, що «підштовхуються» вимогами UEFA і FIFA, що усе більш посилюються, реалізувалося в стадіонах нової формації, так званого рівня «5 зірок», які є унікальними спорудами, що включають багатофункціональні культурно-розважальні комплекси, що є архітектурними, культурнодосуговою і,

природно, спортивною доміантою міста, якому вони належать.

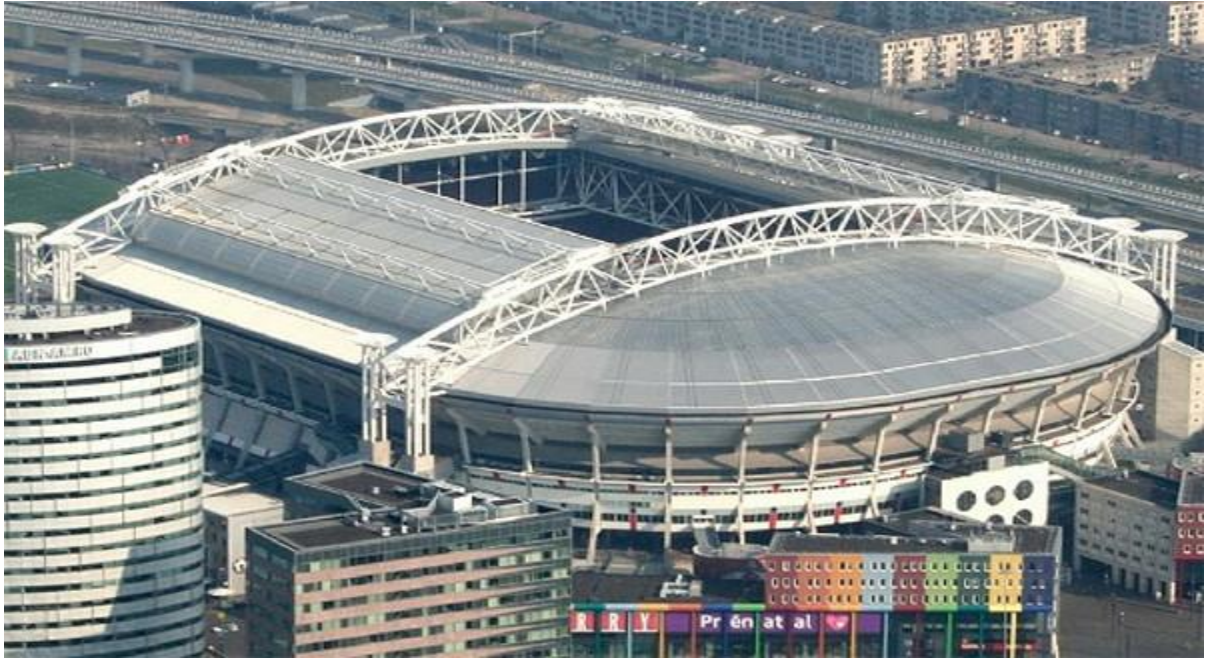


Рисунок 1.1 - Амстердам Арена



Рисунок 1.2 - Олімпійський стадіон Ататюрка





Рисунок 1.3 - Олімпійський стадіон (Берлін)



Рисунок 1.4 - Камп Ноу





Рисунок 1.5 - Драгау



Рисунок 1.6 - Стадіон імені Ернста Хаппеля





Рисунок 1.7 - Олімпійський стадіон (Афіни)



Рисунок 1.8 - Жозе Алваладе





Рисунок 1.9 - Олд Траффорд



Рисунок 1.10 - Національний стадіон (Варшава)





Рисунок 1.11 - НСК «Олімпійський»



Рисунок 1.12 - Донбас Арена

Таблиця 1.1 - Перелік п'ятизіркових стадіонів UEFA

Назва стадіону	Місто	Країна	Місткість
Amsterdam Arena	Амстердам	Нідерланд	51 620
Ataturk Olimpiyat	Стамбул	Туреччина	80 000
Olympiastadion	Мюнхен	Німеччин	63 573
Camp Nou	Барселона	Іспанія	98 000
O Dragao	Порто	Португалі	50 000
Ernst Happel Stadion	Відень	Австрія	50 000
OAKA Spiros Louis	Афіни	Греція	72 080
Olimpico	Севілья	Іспанія	57631
Feijenoord	Роттердам	Нідерланд	52 000
HSH Nordbank Arena (AOL)	Гамбург	Німеччин	57 274
Hampden Park	Глазго	Шотланді	52 054
Ibrox	Глазго	Шотланді	50 500
Jose Avalade XXI	Лісабон	Португалі	50 000
ALuz	Лісабон	Португалі	65 000
Luzhniki	Москва	Росія	84 000
Millenium	Кардиф	Уельс	72 500
Old Trafford	Манчестер	Англія	67 400
Olympic Stadium	Берлін	Німеччин	74 228
San Siro	Мілан	Італія	85 700
Oimpico de Montjuic	Барселона	Іспанія	56 000
Santiago Bernabeu Stadium	Мадрид	Іспанія	80 400
Signal Iduna Park	Дортмунд	Німеччин	67 000
Stade de France	Париж	Франція	78 782
Vicente Calderon	Мадрид	Іспанія	54 500
Sukru Saracoglu	Стамбул	Туреччина	50 509
Veltins - Arena (Arena Auf	Гельзенкирх	Німеччин	61 481
Donbass Arena	Донецьк	Україна	51 504
NSK Olimpiyskiy	Київ	Україна	70 000
Stadion Narodowy	Варшава	Польща	65 500

У джерелі [19] приведений перелік п'ятизіркових стадіонів UEFA. Вони перераховані в таблиці 1.1. З точки зору конструктивного рішення 36% покриттів представлені балочними і рамно-консольні покриттями, 14% - вантобалочные покриття, 18% - підвішені оболонки і структури, 25% - стержневі оболонки покриттів, 7% - висячі покриття (вантові мережі і мембранні оболонки). Розглянемо детальніше ці види конструкції.

Стержневі оболонки покриттів мають виразну архітектурну форму, достатню жорсткість і досить прості у виготовленні, але кільцеві опуклі покриття такого масштабу некруглої форми плану, як правило мають значні моменти, що вигинають, з площини покриття, що значно обважнює конструкцію і вони сильно з високим підйомом. Це призводить до затінювання поля, поганої вентиляції арени і не захисту глядачів перших рядів від «косого» дощу. Висячі оболонки покриття так само мають виразний архітектурний вигляд, матеріал конструкції працює найекономічніше, мають малу власну масу. Але аналіз побудованих кільцевих покриттів над трибунами стадіонів показав їх основні недоліки: у висячих систем у вигляді кільцевих мембран або сітчастих оболонок є складнощі з відведенням води і, як правило, неминучий значний підйом опорного контура над трибунами для забезпечення огляду арени з верхніх рядів. До того ж досить складений процес монтажу цих систем. Матеріал у вантобалочних і підвішених покриттях працює раціональніше, ніж у балочних і рамних конструкціях, але їх недоліком є масивність фундаментів і базових вузлів для жорсткої фіксації щогл, до яких підвішуються конструкції покриття, а також деяка «загроможденность» опорними щоглами і відтяжками простору за межами стадіону, при їх винесенні в цю зону.

Найбільшу долю покриттів над трибунами стадіонів складають балочні і рамні конструкції. Це може бути пояснено тим, що конструкції такого типу мають ряд переваг. Вони мають достатню жорсткість, досить прості у виготовленні і монтажі (відносно інших конструктивних рішень), а також для них є більший світовий досвід проектування. Основним недоліком рамно-

консольних покриттів є менш раціональна робота матеріалу конструкцій, в порівнянні з іншими конструктивними рішеннями. Але він компенсується, в деяких випадках, простотою отримуваної системи. Так само, слід зазначити, що не завжди можливо або доцільне застосування інших видів покриттів (в силу економічних, геологічних або яких або інших вимог). В якості основної гідності слід привести можливість монтажу конструкції посекионно, причому кожна секція може виступати як конструкція, що окремо стоїть. Це актуально в умовах непостійного фінансування будівництва.

Цей тип покриття над трибунами зручно застосовувати при реконструкції застарілих стадіонів, яких є велика кількість на пострадянському просторі. У нашому регіоні прикладом можуть виступити стадіон «Славутич Арена» г.Запоріжжє.

## 1.2 Проектні рішення рамно-консольних покриттів над трибунами стадіонів

У зв'язку з проведенням Євро- 2012 в Україні і Польщі кількість



Рисунок 1.13 - Стадіон «Донбас Арена» в місті Донецьк.

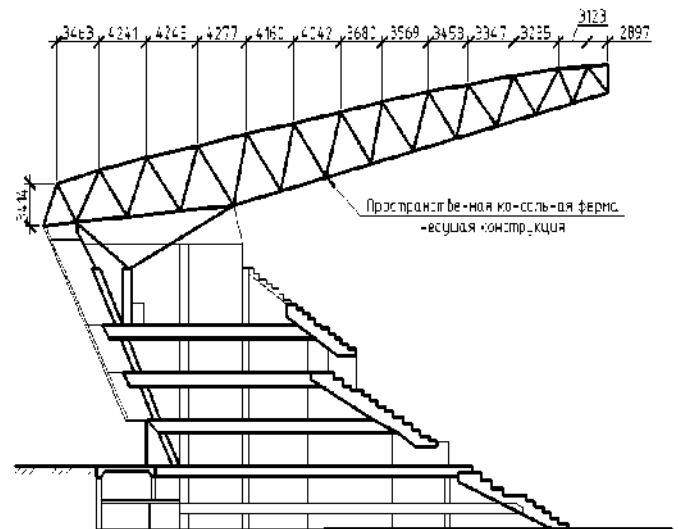


Рисунок 1.14 -. Розріз по трибунах стадіону «Донбас Арена» у місті Донецьк.



стадіонів міжнародних футбольних федерацій, що відповідають вимогам, збільшилася. Не претендуючи на повноту огляду, розглянемо основну частину з них, що мають рамно-консольну конструкцію покриття над трибунами.

Домашній стадіон донецького футбольного клубу «Шахтар» - «Донбас Арена», є стадіоном задовольняючим усім вимогам UEFA (рис. 1.13, 1.14)[18, 19]. Загальна місткість якого складає 51504 чоловік. Будівництво стадіону було розпочате в 2005 році.

Майже усі роботи на стадіоні виявилися унікальними, зведення такого роду об'єкту в Україні здійснювалося перший раз. Трибуни стадіону на 93 відсотки накриті масивним, дещо куполоподібним дахом. Дах не накриває 3800 глядацьких місць. Відмітимо, що вага усіх металоконструкцій даху більше шести тисяч тонн. В той же час, висота даху складає близько 54 метрів. Дах сконструйований так, що немає не лише консольних кріплень зовні арени, але і опор на внутрішній поверхні чаші стадіону. Для того щоб забезпечити попадання на полі максимальної кількості світла сонця, а також більше хорошого забезпечення провітрювання футбольного газону, і дах, і трибуни стадіону зроблені з невеликим нахилом у бік півдня. Конструкції даху є просторовими структурними блоками, що спираються на просторові консольні ферми.

Одним з чотирьох стадіонів чемпіонату Європи, що приймав матчі, є львівський стадіон «Арена-Львів». Основні проектні рішення стадіону розроблені з урахуванням стандартів УЕФА (рис. 1.15, 1.16)[19].





Рисунок 1.15 - Внутрішнє поле стадіону «Арена-Львів».

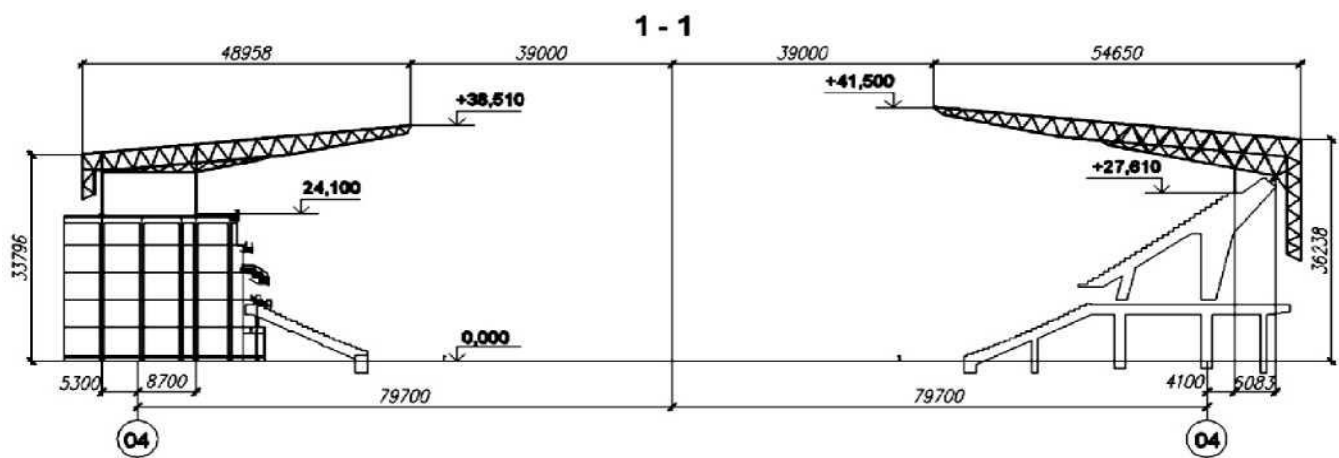


Рисунок 1.16. Поперечний розріз по трибунах стадіону «Арена-Львів» (захід-схід).

Покриття розділене на одинадцять конструктивних блоків, кожен з яких включає прогони, структурні конструкції, кроквяні ферми, опорні стійки і опори. Прогони служать кріпленням конструкцій покрівлі і стінного обгороджування. Структурні конструкції покриття і фасадів мають ортогональне розташування поясів і утворюють прямокутні осередки розмірами близько 3,3 x 3 м. Структурні конструкції покриття спираються на консольні ферми змінної висоти, розташовані з кроком 10 м в центральних і 11,25 градуса по радіусах кругів в кутових секторах. Кроквяні ферми консолі завдовжки до 19 м спираються на залізобетонні пилони трибун з використанням видалених на 6 м один від одного спеціально розроблених опор. Опори кріпляться до залізобетонних пилонів трибун за допомогою анкерних болтів.

Стадіон «Металіст» може прийняти 43000 глядачів (рис. 1.17, 1.18)[19, 87]. Каркас покриття вирішений у вигляді замкнутого опорно-подстропильного контура, що складається з тих, що спираються на залізобетонні фундаменти з кроком від 16 м до 64 м V, - образних опорних стійок заввишки 22,3 м і що зв'язують ці стійки підкроквяних ферм заввишки 6 м з відміткою осі верхнього пояса 24 м (рис. 1.18).



Рисунок 1.17 - Стадіон «Металіст» в городе Харькове.

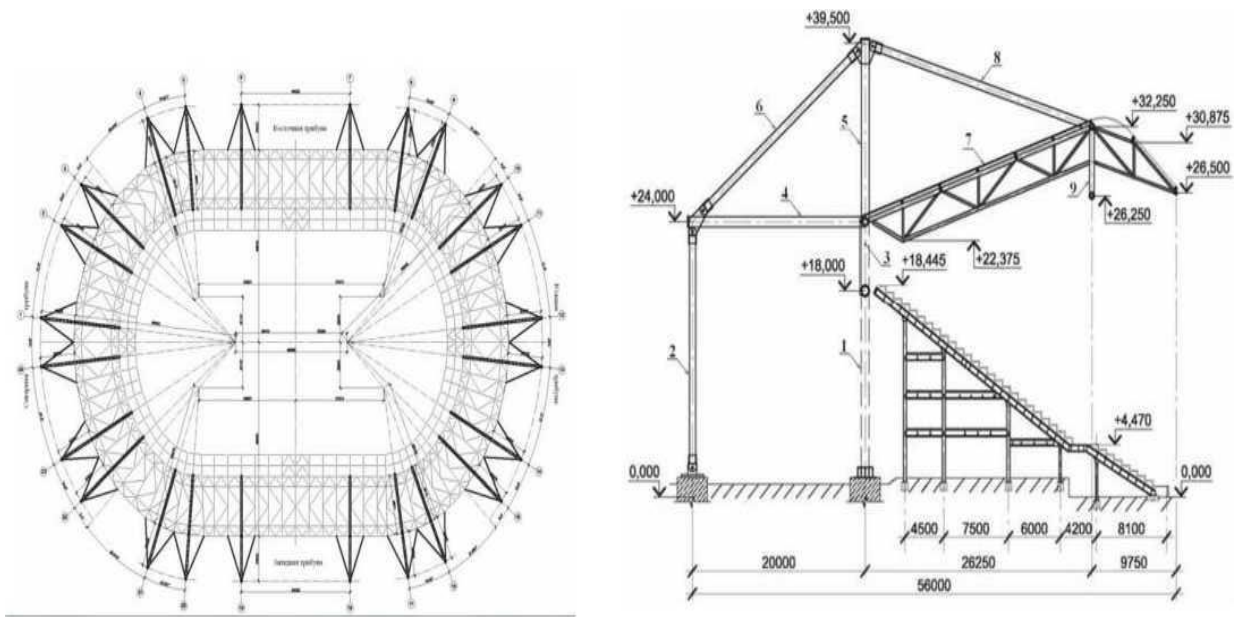


Рисунок 1.18 - Конструкції покриття стадіону «Металіст»

у місті Харкові:

- 1 - V-образная опорна стійка;
- 2 - зовнішня опорна стійка;
- 3 - опорно-подстропильный контур;
- 4 - розпірка;
- 5 - стойка- надбудова;
- 6 - розкіс;
- 7 - кроквяна ферма;
- 8 - розкіс;
- 9 - підкроквяна ферма.

У 20 м від опорно-подстропильного контура розташовані зовнішні опорні стійки поперечних рам, також об'єднані в загальну систему каркаса. У свою чергу, до зовнішніх опорних стійок через систему розкосів підвішені кроквяні ферми над трибунами. До кроквяних ферм поперечних рам на відстані 26,25 м, від V-образних опорних стійок, підвішені підкроквяні ферми заввишки 6 м з відміткою верхнього пояса 32,25 м, що розділяють

кроквяні ферми на дві частини - основні прольотом 26,25 м і консольну вильотом 9,75 м. Крок кроквяних ферм прийнятий від 8,0 м до 9,0 м, а в окремих місцях досягає 12,0 м. Основна частина кроквяних ферм запроектована заввишки 3,0 м з паралельними поясами, ухил яких складає 17,8 від футбольного поля, і завдовжки панелі 4,375 м.



Рисунок 1.19 - Стадіон Дніпро-арена в місті Дніпро.

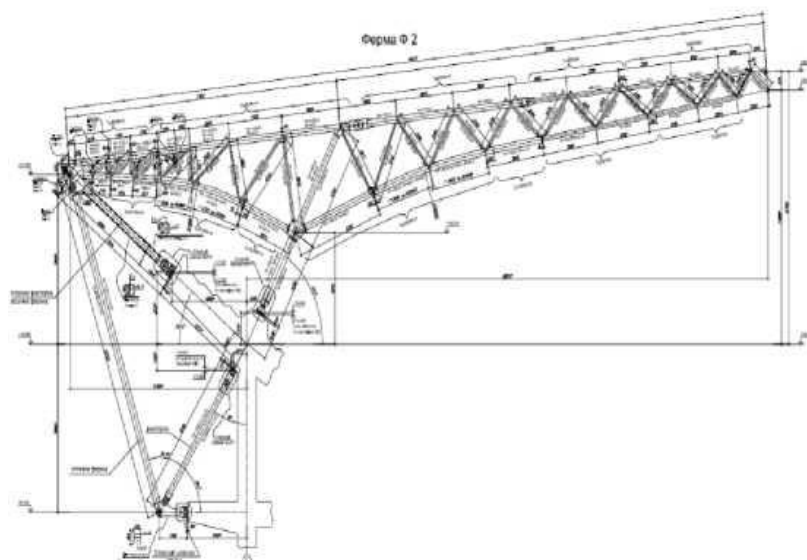


Рисунок 1.20 - Схема консольної ферми, що несе, з системою спирається і відтяжок.

Стадіон Дніпро-арена має місткість 31000 глядачів. Каркас козырькового покриття, що несе, над глядацькими трибунами вирішений у вигляді системи двоконсольних гратчастих ферм, розташованих по периметру стадіону з кроком 10,2 - 10,7 м, який відповідає кроку рам каркаса розташованих нижче опорних залізобетонних конструкцій (поперечників трибун, каркаса VIP -корпуса). Загальна кількість ферм козырькового навісу, що несуть, - 56. У прольотах між фермами з кроком 3,0 - 3,6 м встановлюється регулярна система гратчастих прогонів, по яких укладається покрівельне покриття. Двоконсольні ферми, що несуть, запроектовані плоскими, змінної висоти, з трубчастих профілів.

Для ферм над трибунами виліт передньої козырькової консольної частини від опор залишає 27 м, а виліт задньої (хвостовий) консолі складає 17,15 м. Для ферм над VIP -корпусом ці вильоти складають відповідно до 32,8 м і 14,0 м.

### 1.3 Аналіз розрахункових методів забезпечення надійності споруд

Надійність - здатність об'єкту виконувати задані функції впродовж необхідного проміжку часу [34]. Тобто служити заданий проміжок часу, без настання яких-небудь аварійних ситуацій.

Статистика аварій високонадійних будівельних конструкцій не є настільки масовою, щоб можна було отримати на її основі імовірнісні параметри надійності конструкцій. Тому широко застосовується підхід, коли на підставі статистичних досліджень навантажень, міцності матеріалів, властивостей конструкцій складаються імовірнісні умови безвідмовної роботи або відмови конструкцій, з аналізу яких виходять оцінки їх надійності [5, 9, 10, 25, 26, 71, 72, 96, 102, 103, 106, 114] . У конкретнішій постановці, узагальнена умова безвідмовної роботи (незруйновності) записується в наступному виді:

$$\hat{Y}(t) = \check{R}(t) - \hat{S}(t) > 0; \quad (1.1)$$



де:  $\check{R}(t)$  - узагальнена здатність конструкції або елемента (у більшості випадків - випадкове значення рівня межі плинності стали), що несе;  $\hat{S}(t)$  - узагальнене навантаження на конструкцію (у більшості випадків - випадкове значення напруги (зусилля) від зовнішніх дій);

$\hat{Y}(t)$  - характеристика резерву міцності або резерву здатності, що несе;

Отказом елемента будем считать переход резерва несущей способности в отрицательную область. Вероятность отказа  $Q(t)$  определяется различным образом в зависимости от принятых вероятностных моделей нагрузок и прочности. Функция резерва несущей способности зависит от ряда случайных аргументов, в том числе от времени:

$$\hat{Y} = Y(t, \dot{X}_1, \dot{X}_2, \dots, \dot{X}_n); \quad (1.2)$$

Імовірність відмови  $Q(t)$  визначається по-різному в залежності від прийнятих для розгляду імовірнісних моделей навантажень і міцності, а так же характеристик жорсткості елементів конструкції. Якщо аргумент і функція  $\hat{Y}(t)$  представлені у вигляді випадкових процесів [64, 66] (це відбувається за умови подання навантажень у вигляді стаціонарних і квазістаціонарних процесів), то ймовірність невиконання умови (2.1), тобто ймовірність відмови, оцінюється як число викидів випадкового процесу узагальненої навантаження за випадковий або постійний рівень узагальненої несучої здатності.

$$Q(t) = \omega_q f_Y(\beta) t(\beta \omega \sqrt{2\pi}); \quad (1.3)$$

де:  $\omega_q$  і  $f_Y(\beta)$  - ефективна частота і щільність розподілу ординати випадкового процесу  $\hat{Y}(t)$ ;  $\beta = Y/\dot{Y}$  - характеристика безпеки;

де  $Y$  - математичне очікування,  $\dot{Y}$  - стандарт резервної несучої здатності елемента;  $t$  - напруження елемента (відмінна від його терміну служби);  $\beta \omega$  - коефіцієнт широкополосності випадкового процесу  $\hat{Y}(t)$ , читаючий спектр частот реальних навантажень.

Якщо навантаження і міцність є нормальними, формула (1.3) спрощується:

$$Q(t) = \omega_q t \exp(-0,5\beta_2) / (2\pi\beta_\omega); \quad (1.4)$$

Широко применяется в этом случае также экспоненциальная формула вероятности безотказной работы за время  $l$ , использующая в качестве аргумента - интенсивности отказов - частоту выбросов случайного процесса:

$$v(\gamma) = \frac{\omega f(\gamma)}{\sqrt{2\pi}}; \quad (1.5)$$

Розподіл абсолютних максимумів, введений уперше В. В. Болотиним [9], визначається хвостовою частиною розподілу викидів випадкового процесу, розташованою вище за рівень характеристичного максимуму  $u_0$ . Для оцінки в цій техніці вірогідності відмови Пичугиним С. Ф. отримана лаконічна формула [66]:

$$Q(t) = f(\gamma) / f(\gamma_0); \quad (1.6)$$

де:  $f(\gamma)$  - нормативна щільність розподілу навантаження;

$\gamma$  - нормативний рівень викидів випадкового процесу;

Представление работы элемента при действии случайной нагрузки в виде схемы независимых испытаний, получившее широкое распространение, было развито А.П. Кудзисом [46] в виде метода обобщенной ковариации. Случайный процесс  $\hat{Y}(t)$  - заменяется случайной последовательностью, между сечениями  $\hat{Y}_k$  которой учитываются парные коэффициенты корреляции  $\rho_{k1}$ , по которым вычисляются усредненный  $\rho_{m1}$  и обобщенный  $\rho$  коэффициенты корреляции:

$$\rho_{m1} = \frac{2}{r(r-1)} \sum_{k < 1} \rho_{ki}; \quad (1.7) \quad \rho \approx \rho_{m1} \left( 2 - \left[ \rho_{m1} + \frac{(1-\rho_{m1})(3-lgr)}{1-0,1\rho_{m1}^2(3-lgr)^2} \right] \right); \quad (1.8)$$

де  $r$  - число розрахункових перерізів випадкової послідовності. Вірогідність безвідмовної роботи елемента за час  $l$  визначається приблизно як:

$$P(t) \approx \rho P_{min} + (1 - \rho) \prod_{k=1}^r P_k; \quad (1.9)$$



де:  $P_k$  - вірогідність виконання умови (1.1) в  $k$ -му перерізі випадкової послідовності. Частотну структуру цієї моделі описує інтенсивність  $X$ , рівна числу незалежних випробувань на відмову (перерізів) елементу в одиницю часу, основна розрахункова формула має вигляд:

$$Q(t) = \lambda t Q(\gamma); \quad (1.10)$$

де  $Q(\gamma)$  - вірогідність відмови в окремому завантаженні.

Екстремуми в завданнях надійності зазвичай описуються подвійним експоненціальним розподілом (законом Гумбеля першого типу)[70], при використанні якого вірогідність відмови визначається як:

$$Q(t) = 1 - \exp(-\exp(-y)); \quad (1.11)$$

де аргумент рівний  $y = a_n(\gamma - u_n)$ ,  $u_n$  - характеристический екстремум,  $a_n$  — екстремальна інтенсивність.

Дискретное представление рассматривает в качестве основной частотной характеристики среднюю длительность отказа  $\bar{\Delta}(\gamma)$ , основная формула записывается как:

$$Q(t) = Q(\gamma) t^{\bar{\Delta}(\gamma)}; \quad (1.12)$$

У технічній теорії надійності оцінка надійності складних систем зазвичай зводиться до розгляду двох основних видів з'єднань елементів [9, 70, 72]:

а) послідовного з'єднання, вірогідність безвідмовної роботи якого при незалежних елементах визначається як:

$$P_m = \prod_{i=1}^m P_i; \quad (1.13)$$

де - вірогідність безвідмовної роботи  $i$ -го елементу;

б) паралельного з'єднання :

$$P_m = 1 - \prod_{i=1}^m (1 - P_i); \quad (1.14)$$

Послідовне в імовірнісному сенсі з'єднання елементів може бути застосоване для опису роботи статично визначних систем, наприклад, будівельних кроквяних ферм.

Проте практична оцінка надійності реальних конструкцій не може бути зведена до використання простої формули (1.13) внаслідок наявності кореляції між умовами відмови елементів.

Тому в практиці оцінки надійності сталевих конструктивних систем використовуються простіші моделі відмов [9, 20, 50, 55, 56, 57, 72, 107]. Аналітичні і обчислювальні методи, використовувані у рамках технічної теорії надійності до розрахунку складних систем, які можуть бути застосовані для аналізу надійності статично невизначних систем, вказані на блок-схемі мал. 1.21.

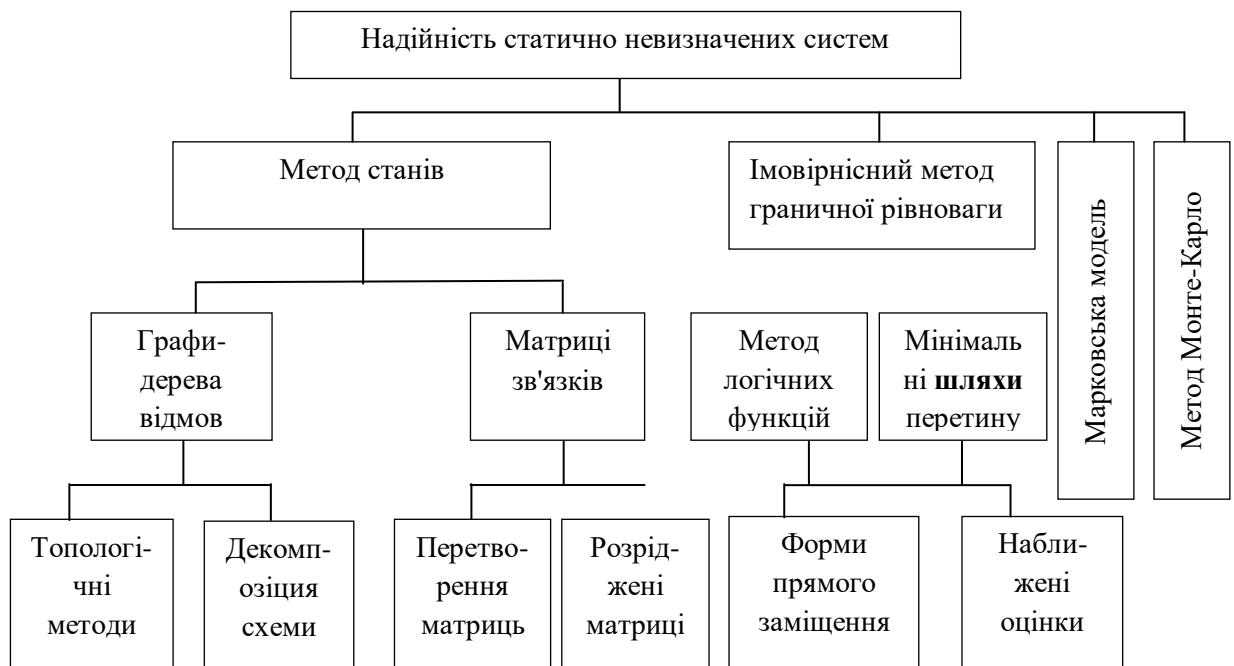


Рисунок 1.21 - Методи оцінки надійності статично невизначених систем

Проте практична оцінка надійності реальних конструкцій не може бути зведена до використання простої формули (1.13) внаслідок наявності кореляції між умовами відмови елементів.

Досить обґрунтованою для сталевих конструкцій є пластична модель відмови елементів і статично невизначних рам, особливості, якою вивчені в численних роботах, з яких відмітимо праці Е.О. Патона, С. А. Бернштейна, А.В. Геммерлінга, И.И. Гольденבלата, Б.Н. Горбунова, Н.П. Жудина, Л.И. Мгламента, Н.С. Стрілецького, В.С. Туркина, Н.Л. Чернова, В.С. Шебанина, В. Н. Шимановского.

Вірогідність відмови може бути представлена у вигляді інтеграла:

$$Q(t) = \int_0^{\infty} R(t)p_S(t)dt; \quad (1.15)$$

де:  $R(t)$  - функція розподілу вірогідності випадкової величини  $R$ ;  $p_S(t)$  - щільність розподілу вірогідності  $S$ .

Для обчислення вірогідності відмови у вигляді інтеграла (1.15), використовуються наступні методи:

Метод двох моментів- використовується, якщо  $R(t)$  і  $S(t)$  розподілені за нормальним законом:

$$Q(t) = 1/2 - \Phi(\beta) = 1 - Q_S; \quad (1.16)$$

где:  $\Phi(\beta)$  - інтеграл Гауса з межами від 0 до характеристики безпеки  $\beta$ .

Метод статистичної лінеаризації- заснований на розкладанні функції

резерву здатності, що несе, в ряд Тейлора. Нехай  $Y=f(x_1, x_2, \dots, x_n)$ , розкладемо функцію  $Y$  в ряд Тейлора в околицях точки «А» :

$$Y = f(a_1, a_2, \dots, a_n) + (\tilde{x}_1 - a_1) \frac{\partial Y}{\partial x_1} + (\tilde{x}_2 - a_2) \frac{\partial Y}{\partial x_2} + \dots + (\tilde{x}_n - a_n) \frac{\partial Y}{\partial x_n} + W \quad (1.17)$$

де:  $\frac{\partial Y}{\partial x_i}$  - значення приватних похідних, які беруться при  $\tilde{x}_i = a_i$ ;  $W$  - нелінійні члени ряду, якими не

хтують в практичних розрахунках. Тоді математичне очікування функції надійності ( $Y$ ) визначається, як функція, вчислена від математичних очікувань випадкових аргументів :

$$\bar{Y}(x_1, x_2, \dots, x_n) \approx f(\bar{x}_1, \bar{x}_2, \dots, \bar{x}_n); \quad (1.18)$$

Метод «гарячих» точок- використовується у разі, якщо початкові величини розподілені не за нормальним законом, і заснований на приведенні початкових розподілів до нормального. Апроксимація робиться в «гарячій точці» (точці підгонки).

Метод статистичних испытаний- заснований на досить великому числі(5000.10000) статичних випробувань за схемою Бернуллі. Для  $i$  -  $x$  значень  $x_i$  виконується детермінований розрахунок значень  $R$  і  $S$  і перевіряється умова  $S > R$ .

Якщо умова виконується, то ця реалізація зараховується в якості відмови. Частота появи відмови ( $v$ ) розглядається, як оцінка його вірогідності  $Q(t)$  т.е  $v = k/m \sim Q(t)$ ; де:  $k$  - число відмов;  $m$  - число випробувань. Метод украй простий і універсальний, але вимагає оцінки близькості  $v$  до  $Q(t)$ . Тоді  $Q(t) \sim v$ ; де  $\delta$  - довірчий коефіцієнт визначуваний по таблицях залежно від рівня довірчої вірогідності  $Q(s)$  і числа відмов  $k$ .

Метод Монте-Карло - є модифікованим методом статистичного моделювання. Оскільки інтеграл (15) є не що інше, як математичне очікування функції відмови  $F_k$ , то:

$$Q(t) = F(S) \approx 1/m \quad (1.19)$$

т.е при кожному випробуванні:

- а) по заданій щільності вірогідності величини  $S$  моделюється її реалізація  $S_i$ ;
- б) за значенням аргументу  $S_i$  визначається значення  $R$ ;
- в) перевіряється умова  $R_i - S_i = F_k$ ;
- г) визначається  $Q(t)$

Як і у попередньому випадку, необхідною операцією є оцінка близькості  $v$  до  $Q(t)$ . При реалізації методу Монте-Карло найбільш прийнятним підходом

є формування ряду вибірок  $Q(t)$  (до  $i=20$ ) і формування на їх основі значень оцінки вірогідності  $Q(t)$ . Для визначення довірчого інтервалу  $\Delta Q(t)$  використовується критерій Стьюдента [70].

$$\Delta Q(t) = \pm t_p \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^m (Q(t))^2 - m \cdot (\bar{Q}(t))^2}{m \cdot (m - 1)}} \quad (1.20)$$

де:  $m$  - об'єм вибірки;  $t_p$  - значення коефіцієнтів для різних рівнів довірчої вірогідності. При більшій ширині довірчого інтервалу слід збільшити об'єм вибірок або їх число.

#### **1.4 Спосіб сучасних нормативних документів для забезпечення заданого рівня надійності конструкції**

Для оцінки здатності пружно-пластичних статично невизначених систем, що несе, широко використовується метод граничних станів [14, 15, 32, 33, 34], що дозволяє, минувши розгляд проміжних станів, аналізувати безпосередньо стани пластичного руйнування, визначаючи характеристики граничної міцності. Метод легко формалізується і допускає застосування лінійного програмування на ЕОМ. Саме цей метод закладений в основі розрахунку на міцність що реалізовується відповідно до вимог ДБН В. 2.6-163:2010 (зокрема розрахунок конструкцій по граничних станах першої групи). При використанні цього методу надійність будь-яких металоконструкцій, у тому числі і конструкцій покриттів над трибунами стадіонів, забезпечується шляхом введення в розрахунок різних коефіцієнтів запасу. Розглянемо деякі з них детальніше.

Коефіцієнт надійності по відповідальності (коефіцієнт надійності)  $\gamma_p$ , вибирається виходячи з вимог ДБН В 1.2-14-2009. У цьому документі дані коефіцієнти надійності для відповідних класів наслідків, категорій відповідальності конструкцій і відповідних розрахункових ситуацій. Класи відповідальності будівель і споруд визначаються рівнем можливих

матеріальних збитків або соціальних втрат, пов'язаних з призупиненням експлуатації або втратою цілісності об'єкту. Поза сумнівом, клас відповідальності спортивних арен і стадіонів повинен прийматися найвідповідальнішим - ССЗ [32]. Залежно від наслідків, які можуть бути викликані відмовою, розрізняють три категорії відповідальності конструкцій і їх елементів :

А - конструкції і елементи, відмова яких може привести до повної непридатності до експлуатації будівлі (споруди) в цілому або значній її частині.

Б<sub>и</sub> - конструкції і елементи, відмова яких може привести до ускладнення нормальної експлуатації будівлі (споруди) або до відмови інших конструкцій, які не належать до категорії А. експлуатації будівлі (споруди) або до відмови інших конструкцій, які не належать до категорії А.

У - конструкції, відмови яких не приведуть до порушень функціонування інших конструкцій або їх елементів. Категорії відповідальності встановлюються проектувальником і мають бути приведені в проектній документації.

Тобто кожному елементу конструкції привласнюється своя категорія відповідальності. Але найчастіше для конструкцій масового користування встановлюється одне значення коефіцієнта  $u_n$ , з яким ця конструкція повинна використовуватися незалежно від класів наслідків.

Додатковий коефіцієнт надійності за матеріалом  $u_n=1,3$ , для елементів конструкцій, які розраховуються на міцність з використанням розрахункових опорів  $R_u$ , яке визначається по тимчасовому опору при розтягуванні.

Коефіцієнт умов роботи елементів конструкцій  $u_s$  і коефіцієнт умов роботи з'єднань  $u_b$ , які приймаються по таблицях ДБН В. 2.6-163:2010 під номерами 1.1.1 і 1.1.2, відповідно.

Окрім забезпечення надійності будівельних конструкцій шляхом введення різного роду коефіцієнтів надійності, будівельною нормативною літературою передбачається ще і ймовірно-статистичний метод

забезпечення надійності конструкції. Він ґрунтується на імовірнісних методах обчислення надійності і порівняння її з нормативною величиною [32, 105]. На жаль, цей метод вимагає значного доопрацювання і викликає ряд спірних моментів, які вимагають уточнень. До того ж єдиної методики обчислення характеристик надійності в нормативних документах не наведено.

Методика розрахунку коефіцієнтів надійності в сучасних будівельних нормах.

Слід зазначити зв'язок між коефіцієнтами надійності і характеристикою безпеки конструкції. Цей зв'язок виведений в роботі [50]:

$$\begin{aligned} \gamma_f &= \left[ 1 + S_Q \beta V_Q / (S_R^2 + S_Q^2)^{1/2} \right] / (1 + \mu_Q V_Q) \\ \frac{1}{\gamma_m} &= \left[ 1 + S_R \beta V_R / (S_R^2 + S_Q^2)^{1/2} \right] / (1 + \mu_R V_R) \end{aligned} \quad (1.21)$$

де

$$\beta = \frac{\bar{R} - \bar{Q}}{\sqrt{S_R^2 + S_Q^2}} \quad (1.22)$$

Використовуючи методику, запропоновану Н.С. Стрілецьким [83], можна вивести зв'язок і між іншими коефіцієнтами надійності. Виходячи з цього, для забезпечення якогось заданого рівня надійності системи, в розрахунках, що базуються на методі граничних станів, слід використати певну групу коефіцієнтів надійності тих, що відповідають цьому рівню. Аналізуючи роботу [72], слід зазначити що, збільшення числа приватних коефіцієнтів надійності в нормах проектування веде до зниження витрат матеріалів, визначуваних проектом, прагнучи до витрат, індивідуального проекту, рішення якого отримане методами теорії надійності. Отже, введення додаткових коефіцієнтів дозволяє тих, що гнучкіше враховують реальну роботу конструкції, призводить до оптимізації конструкції, але надмірно ускладнює інженерний розрахунок.





Рисунок 1.22 - Падіння відносної матеріаломісткості зі збільшенням використовуваного числа коефіцієнтів запасу (надійності) при однаковій вірогідності відмови, що допускається.

Виходячи з цього, слід вибрати оптимальне число приватних коефіцієнтів надійності, щоб забезпечити необхідну надійність і по можливості не сильно збільшити матеріаломісткість. Використовуючи графік роботи [96], можна сказати, що 6-8 приватних коефіцієнтів надійності повністю відповідають цим вимогам.

Незважаючи на вимоги сучасних нормативних документів для забезпечення міцності, жорсткості, стійкості конструкцій покриттів і їх елементів, для даного типу споруд, що мають підвищений рівень відповідальності, на сьогодні система приватних коефіцієнтів надійності (коефіцієнт надійності за призначенням  $Y_n$  [32], коефіцієнт умов роботи елементів конструкції  $Y_c$  [34]) не нормована в належній мірі. Внаслідок цього, найбільш логічним є виконання розрахунку конструкції покриття на основі прямих методів теорії надійності, які надалі можуть стати основою для нормування коефіцієнта  $Y_c$  для необхідного рівня надійності.

Сучасні методи забезпечення живучості металоконструкцій.

Живучість - здатність об'єкту зберігати (можливо, з погіршенням якості

функціонування) працездатний стан навіть при ушкодженні його частини [34]. Поняття живучості конструкції безпосередньо пов'язаної з поняттям чутливості і, як правило, при проектуванні частенько аналізують саме чутливість конструкції.

Існують різні методи для аналізу чутливості, що базуються на введеннях певних обмежень і умов в алгоритм розрахунку будівельних конструкцій методом кінцевих елементів [66, 70, 93]. Отже, для аналізу живучості і чутливості конструкції, потрібний звичайно-елементний алгоритм розрахунку. У випадку якщо конструкція є відносно простою, тобто що має не занадто велике число елементів, то розрахунки можна виконувати вручну (цей процес займе досить багато часу). Але помітимо, що переважна кількість будівельних конструкцій містить велике число елементів і являються багато разів статично невизначними системами.

Виходом з положення, що склалося, може стати виконання розрахунку на РС (метод кінцевих елементів дозволяє виконати цю процедуру). Але на даний момент жоден програмний розрахунковий комплекс (принаймні, з поширених в нашій країні) повною мірою не може оцінювати надійність і живучість будівельних конструкцій в явному виді.

Для вирішення завдання оцінки живучості можна скористатися іншим, спрощеним, методом. Він ґрунтується безпосередньо на визначенні живучості будівельних конструкцій. Тобто моделюється відмова окремих конструктивних елементів і робиться оцінка забезпечення функціонального призначення конструкції.

Для проведення цього методу оцінки слід вибрати найбільш відповідальні елементи просторової конструкції (як правило, велика частина будівельних конструкцій є просторовими системами). Для детальнішого аналізу моделюється покроковий вихід елементів конструкції з ладу. Першими, з розрахункової системи, видаляють відповідальні елементи, подальшими - менш відповідальні. Після кожного кроку виключення елемента робиться розрахунок і аналіз перерозподілених зусиль в

конструкції, визначається фактична здатність елементів, що залишилися, що несе, і їх необхідна здатність, що несе, а також робиться уточнення координат вузлів елементів, з урахуванням вже отриманих переміщень. Стержні, що вийшли з ладу (що перестали задовольняти першому граничному стану), віддаляються, і відбувається повторний перерахунок зусиль в елементах. Видалення елементів робиться до того моменту доки конструкція не стане механічно змінюваною системою або перестане задовольняти яким або заданим умовам (приміром прогином). Слід звернути увагу, що, згідно з рекомендаціями роботи [11], стислі елементи, що вийшли з ладу, просто виключаються з конструкції, а розтягнуті виключаються, але у вузли кріплення стержня прикладаються сили, що відповідають напрузі в елементах, що виключаються, але з протилежним знаком.

Цей спосіб аналізу дозволяє спрощено провести приблизну оцінку живучості конструкції, користуючись тільки стандартними обчислювальними комплексами САПР, такими як ЛИРА і SCAD, які отримали широке поширення в нашій країні.

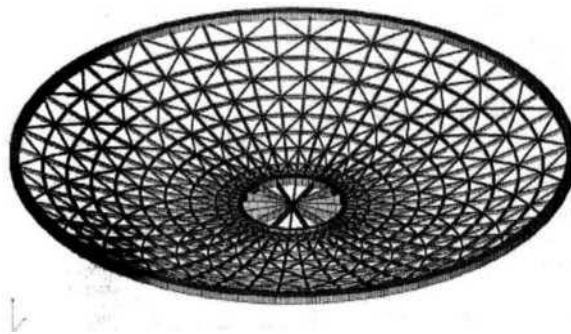


Рисунок 1.23 - Розрахункова схема моделі покриття ЛДС (12812 елементи, 11025 вузлів).

Вищеописаний метод був реалізований при дослідженні живучості конструкцій покриття льодового палацу спорту «Лужники» в місті Москва [31]. У цій роботі перевірялася адекватність комп'ютерної програми (реалізованою на основі методу кінцевих елементів) розрахунку живучості і надійності. Для цього в лабораторії ВАТ ЦНИИС Транспортного будівництва була виготовлена зменшена модель конструкцій купольного покриття в

масштабі 1:15. В якості початкових умов задавалися переміщення усіх вузлів звичайно-елементної моделі, отримувані в результаті статичного розрахунку моделі при навантаженні відповідного етапу дослідження. Реакція моделі покриття на видалення окремих конструктивних елементів вивчалася при розриві зовнішнього кільця і елементів (ниток і розкосів), що примикають до нього. При цьому було отримано задовільний збіг розрахункових і експериментальних результатів, що означає підтвердження розрахункової методики перевірки на живучість. Слід зазначити, що основними параметрами, що вивчаються в цьому експерименті, були динамічні показники, а точніше досліджувалася динамічна реакція конструкції при миттєвій відмові елементу. Ми ж пропонуємо використати цю методику в статичній поста. Головні висновки по огляду сучасних методів забезпечення надійності при проектуванні унікальних конструкцій :

1. Включенопролітні покриття мають підвищений рівень відповідальності, їх відмови можуть привести до тяжких економічних і соціальних наслідків. У зв'язку з цим, проектування унікальних споруд повинне ґрунтуватися на комплексному підході вибору раціональних конструктивних рішень, пов'язаних з функціональним призначенням, архітектурними рішеннями, методами виготовлення і монтажу, умовами експлуатації. У повному об'ємі повинні виконуватися вимоги надійності, технологічності і економічної ефективності, враховуватися екологічні і соціальні чинники.
2. Роблячи висновок з усього вищевикладеного можна сказати, що теорія і практика розрахунку будівельних, зокрема металевих конструкцій, отримала до теперішнього часу значний розвиток. Але нинішні норми проектування не достатньою мірою враховують надійність унікальних конструкцій. Отже, конструкції не є рівно надійними. Найбільш об'єктивним є чисельне визначення показників надійності і, як наслідок, обґрунтоване призначення  $U_s$  для забезпечення необхідного рівня надійності конструкції.
3. Класичні методи визначення живучості (чутливості) конструкцій не завжди реалізуються на практиці, особливо у разі конструкцій, що

являються багато разів статично невизначними, до яких відносяться стаціонарні покриття над трибунами стадіонів. Це пояснюється значною складністю супутніх математичних розрахунків. Але редакції усіх (розглянутих в роботі) нормативних документів в області будівництва вимагають проводити оцінку живучості конструкцій, щоб уникнути випадків лавиноподібного руйнування, але методика розрахунку не наводиться, що викликає певне протиріччя. Цю проблему пропонується вирішувати, використовуючи спрощений метод визначення живучості конструкцій, що базується на поетапній оцінці здатності складових її елементів, що несе, після покрокового виключення найбільш важливих (найчастіше, для рамноконсольних покриттів над трибунами стадіонів, це найбільш навантажені елементи).

### **1.5 Огляд і класифікація причин аварійності металевих конструкцій**

Найбільш розробленим в теорії надійності будівельних конструкцій є напрям, що розвиває уявлення про надійність, як про функцію коефіцієнта запасу міцності, при цьому самі поняття «Коефіцієнт запасу» і «міцність» тлумачаться в досить узагальненому сенсі. На перший погляд такий підхід виглядає розумним, але при детальнішому аналізі з'ясовується, що в числі причин відмов конструкцій, окрім випадку перевищення випадковим навантаженням випадкового значення здатності (тобто недостатність коефіцієнта запасу), що несе, є присутніми і багато інших (недостатня вивченість роботи конструкції, помилки при проектуванні, виготовленні і монтажі, порушення правил експлуатації і тому подібне)[8, 35, 45,75]. Підтвердженням сказаному вище можуть служити причини аварій сталевих конструкцій, дані про яких, запозичені з різних джерел [64] і що відносяться як до будівель і споруджень загального призначення, так і до спеціальних об'єктів, приведені в таблиці 1.2. У таблиці 1.2 враховані тільки відмови, що

привели до аварійного обвалення конструкцій. При розгляді статистики причин аварій слід зважати на певний перебік оцінок у бік завищення причини «Невдале проектне рішення, помилки проекту».

Таблиця 1.2 - Статистика аварій сталевих конструкцій.

Причини аварій	Причини аварій (%) будівель і споруджень різного призначення в різних джерелах						Усереднювання
	1	2	3	4	5	6	
Недодержання норм проектування	5,6	8,2	10,0	-	-	-	4,0
Невдале проектне рішення, помилки проекту	25,0	26,2	35,0	19,6	34,0	11,0	25,1
Низька якість матеріалів	5,6	14,7	2,0	-	-	14,0	6,0
Дефекти виготовлення і монтажу	38,8	41,0	39,0	57,2	48,9	65,0	48,3
Порушення норм експлуатації	25,0	9,9	12,0	23,1	17,1	7,0	15,7
Інші причини	-	-	2,0	-	-	-	0,3

Це пов'язано з тим, що на відміну від інших учасників будівельного процесу проєктувальники знаходяться в невідносно вигідному становищі, особливо в тих випадках, коли причина аварії не очевидна і її відразу не вдалося встановити. Конкретний дефект виготовлення або монтажу конструкції (наприклад, дефектний зварний шов або відсутність необхідної кількості болтів), що обрушилася, важко відшукати в купі понівеченого металу. В той же час проєкт, по якому було зведено споруду, може бути детальний і усебічно проаналізований і наявність навіть незначних помилок, фактично, можливо, і що не привели до аварії, завжди буде виявлено кваліфікованою експертизою і відмічено в акті розслідування аварії.

В таблиці 1.3 зображено характер зв'язей між строком експлуатації та аварійністю. Дані таблиці 1.3 не дають підстав для висновку про відносну аварійність конструкцій з віком, хоча

елементи такої тенденції мають.

Річ у тому, що «вибуття» невдалих конструктивних рішень і об'єктів, виготовлених з дефектами, зазвичай відбувається при недовгих термінах експлуатації.

Тому конструкції, що «вижили», живуть довше (крім того за дуже старими конструкціями часто встановлюється ретельніший відхід і щадний режим експлуатації). Ця статистика розглянута в роботі [115], де зібрані дані по 594 випадкам обвалення сталевих конструкцій, що сталися в Німеччині приблизно за 50 років.

Таблиця 1.3 - Залежність кількості аварій від терміну експлуатації споруд.

Тривалість експлуатації до обвалення, років	Число аварій	%
1-10	142	32,4
11-20	87	19,9
21-30	38	8,7
31-40	17	3,9
41-50	33	7,5
51-60	21	4,8
61-70	29	6,6
71-80	11	2,5
Більше 80	9	2,1
Не встановлено	51	11,5
Всього	430	100,0

Якщо розглядати статистику обвалень унікальних споруд (до яких відносяться покриття стадіонів великої місткості) можна навести наступні приклади.

У 2011 рік в Голландії обрушилося покриття однієї з трибун стадіону футбольного клубу Твенте під час реконструкції. Покриття обрушилося під час реконструкції споруди з метою розширення місткості. Причиною обвалення стали помилки під час виконання будівельно-монтажних робіт, внаслідок чого дві несучі балки не витримали навантаження і втратили свою здатність (рис. 1.124а), що несла.

У 2010 році в Малайзії обрушився недобудований стадіон (рис. 1.24б). Конструкції виповнився тільки рік. Незабаром тут було заплановано проведення відкритих ігор, аналога універсіади, які притягають зазвичай тисячі глядачів і спортсменів. Причиною обвалення була названа халатність організації генпідрядника при проведенні будівельно-монтажних робіт. Збиток оцінюється в 25 мільйона малазійських ринггіт, приблизно 143,6 млн гривен.

а)



б)



Рисунок 1.24 - Аварії покриттів над трибунами стадіонів: а - стадіон футбольного клубу Твенте в Голландії; б - стадіон в Майлазії.



Серед відомих прикладів [4, 37, 113] часткових або загальних відмов вкликопролітних покриттів також можна виділити: "Фонте-Нова" (Бразилія, 2013), "Фонте-Нова" (Бразилія, 2017), Grolsch Veste (Нідерланди, 2011), Minnesota Metrodome (1983), Міланський велотрек (1985) і так далі

Згідно [3] головна причина відмов у будівництві з вірогідністю 50% - помилки проектування. Іншими причинами названі: порушення технології монтажу (17.5%); низька якість матеріалів і конструкцій (14.5%); недоробка нормативних документів (4%); інші причини і їх поєднання (14%). У роботі [4] приведені дещо інші дані: помилки проекту - 25%; дефекти виготовлення і монтажу - 48%; низька якість матеріалів - 6%; недоробка норм проектування - 4%; неправильна експлуатація - 16%; інше - 1%. Відмінності даних в різних джерелах можна пояснити нестачею статистичних матеріалів, недосконалістю методики оцінки причин аварій і тому подібне.

Аналізуючи дані статистики можна сказати, що помилки і недосконалість, отримані конструкцією при монтажі, негативно впливають на подальшу експлуатацію споруди. Відсоток обвалень від цього типу дефектів значний і нехтувати цими фактами не можна. При зведенні відповідальних споруд контроль якості будівельно-монтажних робіт, а матеріалів, що так само поступають, і виробів на будівельний майданчик, має бути значно жорсткіший, ніж для конструкцій тих, що мають меншу міру відповідальності. Поза сумнівом, важливу роль в питанні поліпшення якості монтажних робіт грає вибрана технологія монтажу. Слід максимально зменшити число монтажних робіт що проводяться на висоті і перейти до посекаційного монтажу, зі зборкою секції на рівні відмітки землі. Це дозволить поліпшити якість зборки і виключити значну кількість геометричної недосконалості конструкції.

## **1.6 Висновки по розділу**

Роблячи висновки по розділу 1, можна сказати про значне поширення

рамно-консольних сталевих конструкцій стаціонарних покриттів над трибунами стадіонів в реальній практиці проектування і будівництва, як вживаних самотійно, так і спільно з іншими конструктивними системами, в якості основних несних конструкцій.

Цей факт пояснюється рядом переваг, до яких відносяться : мала трудомісткість при розрахунку конструкцій (по відношенню до інших конструктивних форм), менша трудомісткість при виготовленні і установці, простота обслуговування, можливість поетапного будівництва (в деяких випадках), велика інженерна «опрацьованість». На жаль, є і ряд недоліків, основними з яких є : масивність конструкцій при перекритті великих площ, матеріал конструкцій працює найменш раціонально (в порівнянні з іншими видами покриттів).

Виходячи з того, що велика частина конструкцій покриттів над трибунами стадіонів є все-таки балочними і рамними конструкціями (незважаючи на їх недоліки), в цій роботі розглядатимуться рамно-консольні системи покриттів.

## РОЗДІЛ 2

### ОБГРУНТУВАННЯ ТЕОРЕТИЧНИХ І ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ МЕТОДІВ ДОСЛІДЖЕННЯ

Виконуючи аналіз літератури питанню визначень показників надійності конструкцій можна сказати, що ряд авторів розглядає проблему забезпечення надійності будівельних систем в основному як конструктивну (необхідний рівень забезпечується використанням міцніших матеріалів або найбільш надійних конструктивних схем)[103]. Цей підхід не завжди може бути застосовний з точки зору економічних вимог висунених до конструкції. До того ж відкритим залишається питання чисельного визначення показників надійності. Він розглянутий у ряді робіт [10, 44, 57, 61, 107, 109, 112]. Ці автори пропонують різні методики обчислення показників надійності (в деяких випадках навіть з наведенням прикладів розрахунку), але для складних багато разів статично невизначених систем вони важко реалізуються, а в деяких випадках не реалізуються взагалі. Так само ця тема великий висвітлена в роботах А.В. Перельмутера і С. Ф.Пичугина під керівництвом, яких була проведена велика дослідницька робота в цьому напрямі, використана надалі в ДБН [32, 34]. До жаль, автори не привели єдиного чіткого алгоритму обчислення показників надійності. Перелічені вище роботи базуються на класичних працях (у цій області) Г. Шпете, В. Д. Райзера, А. Р. Ржаницына, В. В. Болотина. У них детально розібрана методика обчислень вірогідності відмови і характеристики безпеки (як показників надійності системи), але так само на прикладі простих конструкцій, що викликає ряд спірних моментів при розрахунку цих показників для складних багатоелементних систем.

Метою цього розділу є розробка єдиного універсального методу визначень показників надійності стержневих рамно-консольних систем покриттів над трибунами стадіонів.

## 2.1 Алгоритм визначення показників надійності проектного і експлуатованого рамно-консольного покриття над трибунами стадіону

Для вирішення статичних завдань у будівельній механіці використання точних методів розрахунку не завжди доцільно, а в деяких випадках неможливо. Чим складніше у даної конструкції розрахункова схема, тим складніше використати точні методи. Тому, досить часто, застосовують наближені методи розрахунку, зокрема, метод кінцевих елементів.

Чисельний метод кінцевих елементів в статичних детермінованих розрахунках доцільний тим, що для різної складності і набору параметрів початкових даних зберігається загальна процедура обчислювальних дій для кожного елемента розрахункової схеми. Цей плюс дозволяє здійснювати застосування методу в програмних комплексах і алгоритмах ЕОМ. Ряд авторів розглядали застосування методу початкових параметрів в імовірнісних розрахунках надійності, з різною мірою глибини опрацювання питання : Соболев Д.Н., Ким В. Е., Корольов В. П., Мущанов В. Ф., Півднів А.М. Найбільш показовою є роботи [50, 51] Мущанов В. Ф., у них розглядається методика оцінки параметрів безвідмовності роботи мембранних конструкцій. Автор відмічає, що практично усіма чинниками, дія яких досліджується в надійності сталевих мембранних конструкцій, окрім навантажень, є аргументи лівої частини рівняння методу кінцевих елементів, тобто облік дії випадкових чинників робиться на стадії формування матриці жорсткості конструкції. В даному випадку матриця жорсткості розглядається як нелінійна функція випадкових аргументів :

$$[\bar{K}] \approx [\bar{K}_0(\bar{t}_0, \bar{t}_k, \bar{z})] + [\bar{K}_\sigma(\bar{t}_0, \bar{t}_k, \bar{z})] + [\hat{K}_0]; \quad (2.1)$$

$$[\tilde{K}_0] \approx [\tilde{K}_0^t] + [\tilde{K}_0^g]; \quad (2.2)$$

де:  $[K_0^t]$ ,  $[K_0^g]$  - дисперсії матриці жорсткості, які обумовлені мінливістю початкової товщини прокату сталевих конструкцій, корозійним зносом, геометричною недосконалістю конструкції.

У роботі [50] автор приводить основні етапи імовірнісного розрахунку мембранних конструкцій :

1- формування матриці жорсткості мембранної конструкції  $[\bar{K}]$  на підставі математичних очікувань вхідних параметрів;

2- щодо елементів додаткової матриці жорсткості  $[\hat{K}]$ , яка враховує мінливість різних вхідних параметрів;

3- за допомогою ряду Тейлора визначається математичне очікування вектору вузлових переміщень і його можливе середньоквадратичне відхилення;

4- обчислюються компоненти вектору вузлових реакцій;

5- на основі вектору вузлових реакцій визначається значення математичного очікування  $\{\bar{\sigma}\}$  і дисперсії нормальної напруги в кінцевих елементах  $\{\hat{\sigma}\}$ ;

6- визначення показників надійності для конструкції в цілому і для окремих кінцевих елементів.

Слід зазначити, що в роботі [50] запропонований два підходи для визначення значень середньоквадратичних відхилень вектору вузлових переміщень. У першому підході автор пропонує визначати статистичні стандарти вектору вузлових навантажень шляхом розкладання правої частини основного рівняння методу кінцевих елементів в ряд Тейлора. У другому підході пропонуються прямі обчислення відповідних статистичних значень вектору переміщень на основі розгляду основного вихідного матричного рівняння з урахуванням стохастичних добавок до елементів матриці жорсткості і вектору вузлових переміщень. Автор приводить основні переваги і недоліки обох методів, але використовує другий підхід для обчислення параметрів надійності, який є простішим і таким, що простіше реалізовується. Саме він і ліг в основу алгоритму обчислення показників надійності стаціонарних рамно-консольних покриттів над трибунами стадіонів, приведеним в роботі.

Алгоритм визначення групи найбільш відповідальних елементів

конструкції що характеризують надійність системи в цілому.

Оскільки система багато разів статично невизначна, найдоцільніше обчислювати показники надійності для найбільш відповідальних елементів. З цією метою робиться ітераційний геометрично і конструктивно нелінійний розрахунок конструкції, алгоритм розрахунку описаний в розділі (1.2.3), підсумком якого, являється список елементів що по черзі вийшли з ладу.

Якщо система неравнопрочна, руйнування її може відбуватися тривало і поступово: спочатку вийде з ладу один, найбільш напружений елемент, потім інший і так далі до тих пір, поки не зруйнуються усі елементи, що підтримують рівновагу системи. Тоді система втрачає свою геометричну незмінність - свою здатність, що несе, - і подальша експлуатація її стає неможливою. Цей момент розглядатимемо як руйнування системи покриття.

При оцінці напруженого стану оцінку міцності записуємо як умову не перевищення напругою межі плинності ( $\sigma < \sigma_T$ ). Слід зазначити, що при порушенні вказаної умови фактично сталевий елемент не руйнується, а переходить в пружно-пластичну стадію деформації, тобто при сформульованому підході не враховується фактичний розвиток пластичних деформацій.

Після отримання порядку виходу з ладу елементів визначається група стержнів для якої будуть налічується характеристики надійності, зокрема вірогідність відмови і в-характеристика безпеки.

Універсального програмного продукту визначення розглянутої вище сукупності елементів конструкції в даний момент немає. Більшість програмних комплексів САПР (система автоматичного проектування), таких як SCAD Office, ЛИРА САПР і так далі здійснюють тільки статичний розрахунок зусиль і переміщень, але не враховують (чи враховують в не повній мірі) геометричну нелінійність роботи конструкції. Коректне виключення елементів конструкції, в цих комплексах здійснити взагалі не можливо. В деякій мірі цю проблему дозволяє розв'язати програмний комплекс ANSYS, але готового програмного продукту розробники не

надають. Цей комплекс є універсальним для розрахунку МКЭ (метод кінцевих елементів) і має готові програми для широкого спектру інженерних завдань, але в силу специфіки питання, завдання, що розглядається нами, не охоплює. Можливе самостійне програмування алгоритму рішення поставленої задачі в середовищі ANSYS, але через низку обставин цей підхід украй складно реалізовується. Грунтуючись на вище приведених аргументах для визначення послідовності виходу елементів з ладу і фактичного набору елементів, що визначають здатність системи протистояти лавиноподібному руйнуванню, потрібна розробка алгоритму розрахунку досліджуваної конструкції методом кінцевих елементів з урахуванням геометричної і конструктивної нелінійності. Найбільш прийнятною для вирішення цього завдання видається високорівнева мова програмування MATLAB.

Вибір найбільш прийнятного методу розрахунку вірогідності відмови конструкції.

Якщо в якості рівняння безвідмовної роботи розглядати вираження (1.1), а вірогідність відмови розглядати в якості вираження (1.15), то для даних рамно-консольних покриттів над трибунами стадіонів, які є просторовими статично невизначними системами, доцільніше застосовувати наближені методи визначення вірогідності відмови, як основної характеристики надійності. З метою визначення найбільш прийнятного з них був виконаний порівняльний аналіз розрахунку вірогідності відмови для тестового прикладу у вигляді однопролітної статично визначної балки, завантаженої сніговим навантаженням. Розглядалися три різні методи: метод двох моментів, метод статистичних випробувань, метод Монте-Карло [54].

В якості випадкових величин розглядалися значення величини снігового навантаження, площа поперечного перерізу елемента, прочностні характеристики матеріалу конструкції. Снігове навантаження розглядали як випадкову величину розподілену за подвійним експоненціальним законом Гумбеля, в межах від 1500 Па до 200 Па. Усі випадкові величини геометричних характеристик перерізів враховувалися з нормальним законом

розподілу і варіювалися у рамках допусків нормативних вимог металопрокату. Прочною характеристикою матеріалу виступала межа плинності стали, який мав нормальний закон розподілу в якості випадкової величини. Характеристики випадкової величини приймалися виходячи з допусків нормативних вимог металопрокату. Виходячи з умови міцності, поперечним перерізом конструкції був прийнятий двутавр №40.

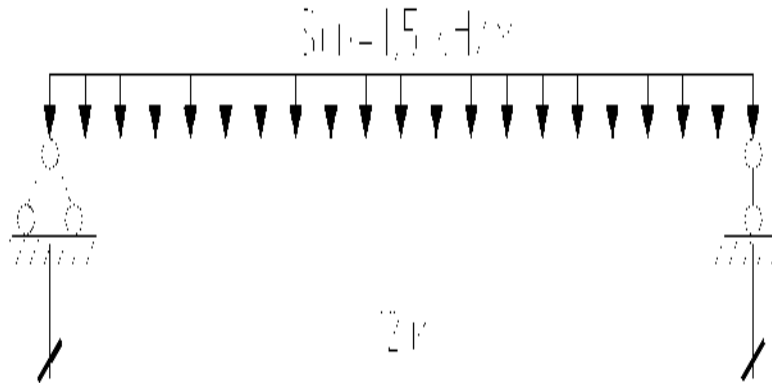


Рисунок 2.1 - Розрахункова схема конструкції.



Рисунок 2.2 - Графік залежностей вірогідності відмови від об'єму вибірки випадкових величин.



Для балки, що розглядається в прикладі (рис 2.1), було виконано сім етапів розрахунку вірогідності відмови по кожному з методів. На кожному етапі розрахунку збільшувалася кількість вибірок стохастичних величин від 10000 до 1000000 значень. Дані розрахунків приведені на малюнку 2.2.

Як видно з рисунка 2.2 метод статистичних випробувань дає істотно завищену вірогідність відмови конструкції. Це пояснюється тим, що в силу своєї простоти реалізації, при оцінці малої вірогідності  $P_f$  з прийнятною достовірністю (тобто необхідних малих значень довірчого коефіцієнта, а отже, достатнього великого числа відмов) потрібно велике число випробувань. І якщо на кожному випробуванні виконується складний детермінований розрахунок, то загальна потреба машинного часу значно збільшується і метод стає не ефективним.

Метод двох моментів і Монте-Карло дають приблизно результати одного порядку, що свідчить про їх більшу продуктивність відносно методу статистичних випробувань. Після перевищення об'єму вибірок в 10000 реалізацій результати практично сходяться. Отже, прийнятна кількість випробувань для набуття стабільного значення вірогідності відмови рекомендується приймати не менше 10000.

Метод двох моментів значно простіше за метод Монте-Карло в реалізації, але він застосовний виключно у разі розподілу випадкових величин по нормальному і експоненціальному законам розподілу, що накладає певні обмеження на його використання.

Роблячи висновки по розглянутому прикладу можна відмітити:

- результати показали, що для набуття достовірного значення вірогідності відмови об'єм вибірок початкових стохастичних величин повинен складати не менше 10000 значень;

- метод двох моментів дає досить точні результати при відносно невеликій кількості випробувань і досить простий в реалізації, але застосовний виключно у випадках розподілу початкових стохастичних величин за законом Гауса або експоненціальному закону розподілу.

- найбільш прийнятним методом обчислення вірогідності відмови будівельних конструкцій є метод Монте-Карло, оскільки дає результати з достатньою точністю при відносно невеликій кількості розрахункових операцій. Також, метод застосовний при будь-яких законах розподілу початкових стохастичних величин.

## 2.2 Облік імовірнісного характеру дії снігового навантаження

Серед навантажень на будівельні конструкції найбільш мінливими з великим статистичним розкидом є снігові [6, 30, 38]. Впродовж зими снігове навантаження на покриття споруди набуває невідомих заздалегідь значень, т. е. є випадковою величиною. Неодноразові обвалення покриттів будівель і споруд із-за снігового навантаження привели до того, що завдання нормування снігових навантажень на покриття споруд стало дуже актуальним.

За результатами численних досліджень [48-85] серед усіх відомих моделей, що формалізують імовірнісний підхід до формування снігового навантаження, виявлений найбільш прийнятний. Він полягає в уявленні вибіркової послідовності річних максимумів  $S_m$  у вигляді безперервної випадкової величини, розподіленої згідно із законом Гумбеля. При такому способі представлення снігового навантаження розрахункове значення має деякий запас, на відміну від другого способу. Але він не являється, яким-небудь, значним або критичним. До того ж, саме перший метод закладений в сучасних будівельних нормах. Грунтуючись на приведених аргументах, доцільно розглядати снігове навантаження як безперервну випадкову величину річних максимумів, розподілену згідно із законом Гумбеля.

Щільність її вірогідності визначається як:

$$f(S_m) = \frac{1}{\beta} \exp \left[ \frac{\alpha - S_m}{\beta} - \exp \left( \frac{\alpha - S_m}{\beta} \right) \right] \quad (2.3)$$

а відповідна функція розподілу :

$$F(S_m) = \exp \left[ - \exp \left( \frac{\alpha - S_m}{\beta} \right) \right] \quad (2.4)$$

де:  $\alpha = m_{S_m} - k_\alpha \sigma_{S_m}$  ;  $(2.5)$       $\beta = k_\beta \sigma_{S_m}$  ;  $(2.6)$

$\sigma_{S_m}$ ,  $m_{S_m}$  - математическое очікування і стандарт вибіркової сукупності цих метеорологічних спостережень  $k_\alpha$ ,  $k_\beta$ - коефіцієнти Гумбеля, які можуть бути апроксимовані формулами (2.7, 2.8)[38].

$$k_\alpha = 0,45 + 0,34N^{-0.69} ; \quad (2.7) \quad k_\beta = 0,78 + 1,54N^{-0.75} ; \quad (2.8)$$

Для отримання реальних залежностей (2.3,2.4) слід розглядати дані по річних значеннях снігових максимумів за тривалий період (в якості даного інтервалу рекомендується брати відрізок часу не менше десяти років).

Враховуючи снігове навантаження, як імовірнісну величину в розрахунках на надійність, вимагається генерувати вибірки випадкових чисел на підставі виразів (2.3, 2.4). Оскільки готових генераторів випадкових чисел по розподілу Гумбеля, в яких-небудь математичних або прикладних комплексах не знайдено, потрібно було скласти його математичну модель. Це завдання було вирішене з використанням методу інверсії. Для цього функція розподілу вірогідності випадкової величини інтегрується в межах від вибраного мінімально значення снігового навантаження (вибирається шляхом аналізу статистичних значень річних снігових максимумів) і максимально допустимого значення, узятого з нормативних документів, діючих в даному регіоні. Отримане вираження прирівнюється до змінної, яка набуває значень в межах [0...1], є випадковою величиною і має рівномірний розподіл. Математично вираження представлене у формулі (2.9) :

$$\int_{\min}^{S_{\max}} \frac{\exp \left[ - \exp \left( \frac{\alpha - S}{\beta} \right) \right]}{\beta} dS = R ; \quad (2.9)$$

де:  $\min$  - мінімальне значення снігового навантаження, прийняте шляхом аналізу статистики вибірки річних максимумів за даний період;  $S_{\max}$  - максимальне значення снігового навантаження (приймається з нормативної

документації або цих метеорологічних станцій); R - генератор рівномірно розподілених випадкових чисел в інтервалі [0.1].

Отримане таким чином випадкове значення снігового навантаження використовується в циклічному розрахунку конструкції для обчислення характеристик безпеки. На кожному новому циклі розрахунку моделюється нове значення навантаження і виконується детермінований розрахунок в межах циклу, і далі усе повторюється. Таким чином, снігове навантаження враховується в розрахунках як випадкова величина.

Отже, найбільш прийнятним, для цієї роботи, способом обліку снігового навантаження є спосіб її представлення у вигляді безперервної випадкової величини, розподіленої за подвійним експоненціальним законом Гумбеля. В якості початкової вибірки значень розглядається статистика річних максимумів за певний період років. Природно, чим більше даний інтервал часу, тим точніше моделюється поведінка снігового навантаження. Для забезпечення задовільного рівня достовірності рекомендується брати період не менше десяти років.

### **2.3 Облік початкової геометричної недосконалості перерізів і прочностних властивостей металопрокату**

Як відомо з робіт [66, 70, 72, 108] розрахунки надійності в обов'язковому порядку вимагає наявність в правій частині основного рівняння безвідмовної роботи (1.1) статистичних даних про прочностних характеристики матеріалу даної конструкції. Цей факт змушує бути уважнішими як до прочностним властивостей фасонного металопрокату, так і до його геометричних характеристик перерізів. Вони можуть відрізнятися від нормативних в наслідку порушення технологічного процесу виробництва.

В процесі виготовлення труб з листового прокату міняються механічні властивості стали [47, 69, 81, 91]: межа плинності (вид кривої напруження-деформація, довжина і сама наявність майданчика плинності та ін.),

пластичність, ударна в'язкість, перехідна температура крихкого руйнування і навіть тимчасовий опір. Властивості змінюються як в поперечному, так і в подовжньому напрямі (у останньому випадку не проявляється ефект Баушингера і межа плинності може тільки зростати). Але, найбільш важлива межа плинності в поперечному напрямі, оскільки він може як збільшуватися, так і зменшуватися при переділі листа в трубу.

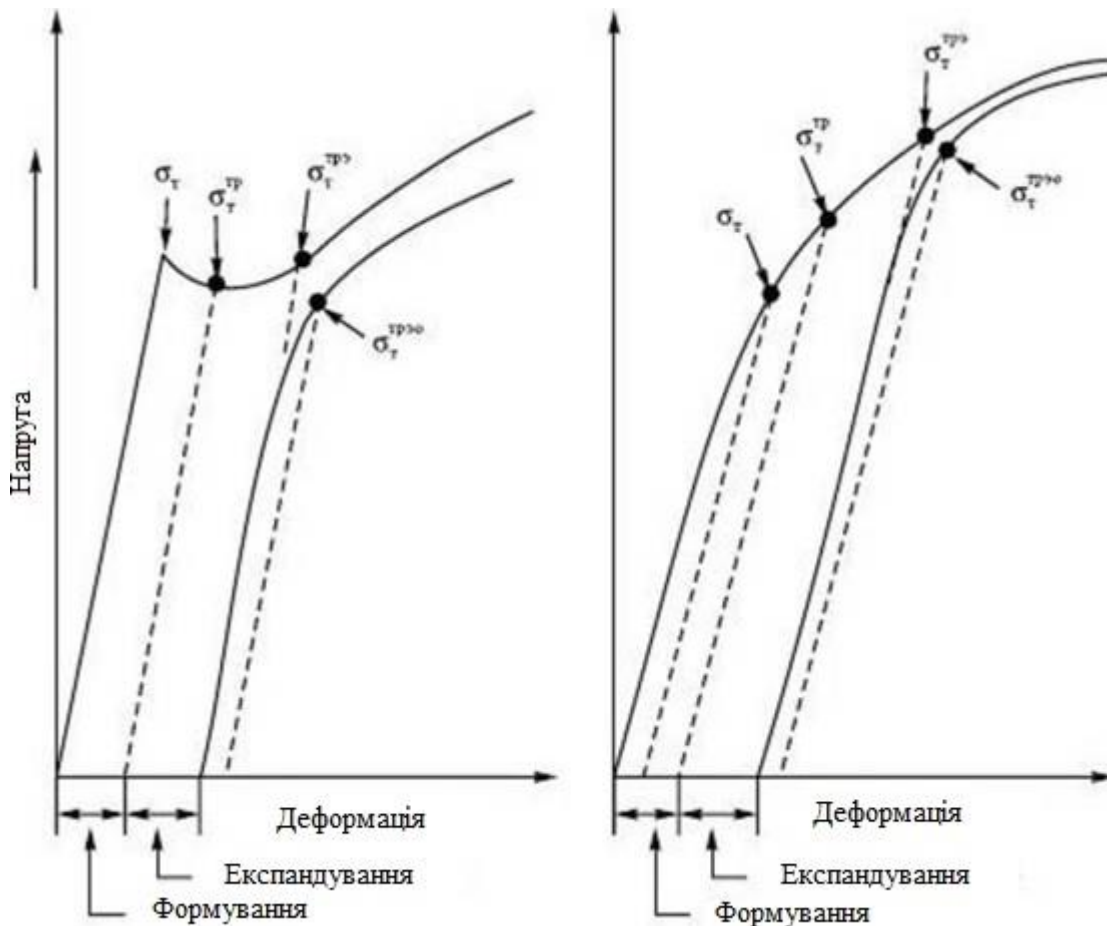


Рисунок 2.3 - Діаграма зміни прочностних властивостей сталі з різними початковими діаграмами розтягування.

$\sigma_t$  — предел плинність листа;  $\sigma_t^{tr}$  — «реальна» межа плинності неекспандированной сурми;  $\sigma_t^{tr3}$  — «реальна» межа плинності експандированной сурми  $\sigma_t^{tr30}$  — межа плинності експандированной сурми (на розігнутому зразку)

Зазначені зміни властивостей відбуваються при різних технологічних



процесах виготовлення труби з листа, в першу чергу при холодному формуванні (рис.2.3).

Облік реальних геометричних і прочностних характеристик металопрокату в програмному комплексі за визначенням надійності виконується на етапі формування матриць жорсткості циклічного розрахунку. Для цього методами математичної статистики обробляється вибірка реальних характеристик металопрокату з метою визначення виду розподілу випадкових величин і обчислення їх основних характеристик. Далі, використовуючи генератор випадкових чисел, для необхідного закону розподілу налічується матриця жорсткості на кожному циклі.

З метою визначення статистичного закону розподілу геометричних і прочностних характеристик використовуваного в конструкції металопрокату, за допомогою проведення експерименту випробування стали на розрив [22] формуються вибірки прочностних характеристик (Е- модуль пружності,  $R_B$  - тимчасовий опір і  $R_T$  - межа текучості ) і за допомогою прямих вимірів формуються вибірки геометричних характеристик перерізів (товщина стінки, висота перерізу, ширина перерізу). Отримані вибірки обробляються засобами математичної статистики. Якщо вибірка задана у вигляді  $X_1, X_2, \dots, X_n$ , то математичне очікування випадкової величини визначається як середньо вибіркоче:

$$\tilde{X} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n X_i; \quad (2.10)$$

Дисперсія випадкової величини заданою вибіркою визначається як вибіркова дисперсія:

$$D = \frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \tilde{X})^2}{n - 1}; \quad (2.11)$$

Знаючи характеристики наявних вибірок, можливо висунути гіпотези про відповідність даних випадкових величин певним законам розподілу. Для

цього будується гістограма відносних частот вибірки. Візуально аналізуючи її зовнішній вигляд, висуваються гіпотези про відповідність закону розподілу випадкової величини, щільність розподілу якого найточніше описує верхні точки стовпців діаграм відносних частот.

Далі висунені гіпотези перевіряються за допомогою різних статистичних критеріїв. Цих критеріїв в математичній статистиці існує чимала кількість, але найбільш прийнятними (з точки зору потужності даного критерію, а також способу реалізації самого розрахунку) для цього завдання виступають критерії згоди Пірсону, Колмогорова-Смирнова, Шапиро-Уилка,  $\chi^2$  аналіз.

Роблячи висновок по 2.3 слід зазначити безперечну важливість геометричних і прочностних характеристик металопрокату в загальній картині надійності конструкцій рамно-консольних покриттів над трибунами стадіонів (чи яких або інших стержневих систем).

В силу нестачі статистичного матеріалу по розкиду прочностних і геометричних характеристик металопрокату, ставиться завдання формування власних вибірок характеристик прокату використовуваного безпосередньо на будівельному майданчику.

## **2.4 Облік імовірнісного характеру геометричної недосконалості отримуваних конструкцією на монтажі**

Геометрична недосконалість, що отримується конструкцією в процесі монтажу, призводить до відхилень геометрії конструкції від первинної форми. Це може викликати виникнення додаткової напруги в елементах системи. У ряді випадків додаткова напруга може набувати досить великих значень, що в наслідок приведе до перевищення критичного рівня і може викликати аварійну ситуацію. Отже, відповідність геометрії конструкції проектним значенням (з обмовкою на монтажні допуски) є тяжкою умовою, що висувається до будівельно-монтажних робіт.

Нині використовуються два підходи до оцінки і обліку дефектів

монтажу (складальних погрішностей) конструкцій, що складаються з великої кількості елементів (якими є конструкції покриттів над трибунами стадіонів) :

- на основі виявлення розмірних зв'язків в конструктивно-технологічній схемі конструкції, складання розмірних ланцюгів і рішення рівнянь точності - розрахунок точності [24];

- на основі статичного розрахунку стержневої системи методом Мору, позволяющим визначити переміщення вузлів по заданих деформаціях стержнів [76].

Проте використання цих підходів для оцінки погрішностей зборки на етапі проектування просторових стержневих конструкцій зв'язане з істотними недоліками:

- внаслідок великого числа елементів конструкції, а так само в деяких випадках великої міри статичної невизначності системи не вдається скласти адекватні технологічній схемі складки, тому результати такої оцінки будуть некоректними;

- метод Мору, з одного боку, не відбиває реальної картини погрішностей, оскільки базується на нерозривності деформацій у вузлах, і з іншого боку, не враховує спосіб і послідовність зборки конструкцій, що теж призводить до невірного результату;

В силу складності реалізації математичної моделі дефектів найбільш доцільним був би прямий облік відхилень геометричної форми споруди від проектного положення, шляхом представлення відхилень в якості випадкової величини. Цей випадковий параметр слід враховувати в приведеному вище алгоритмі (п. 2.1) на етапі формування масиву координат вузлів системи і оновлювати дані на кожному етапі розрахунку.

Возникает вопрос об учете корректных данных в характеристиках рассматриваемой случайной величины. Эту проблему возможно разрешить двумя способами:

- використання статистичної інформації або безпосередньо характеристик

випадкових величин із вже опублікованих даних;

- безпосередній набір статистики відхилень конструкції від проектної геометрії шляхом геодезичної съёмки.

Перший варіант реалізується значно легше, але при його використанні виникає низка запитань, що стосуються застосовності відповідності стохастичних даних до конкретної конструкції. Другий варіант таких мінусів не має. До того ж, у разі обчислення характеристик надійності вже зведеної системи другий спосіб найточніше врахує параметри відхилень геометрії від проектного положення як випадкової величини, що, поза сумнівом, позитивно позначиться на точності обчислень.

Роблячи висновок по 2.4, слід зазначити, що облік дефектів конструкції отриманих на монтажі найдоцільніше робити шляхом представлення відхилень реальних значень координат вузлів від проектного положення як безперервну випадкову величину і вводити її в імовірнісний розрахунок характеристик надійності на етапі формування масиву координат вузлів, шляхом добавки приросту координат, вчисленої з використанням генератора випадкової величини за певним законом.

## **2.5 Облік можливих, що просіли основи в процесі експлуатації в імовірнісній схемі методу кінцевих елементів**

Найчастіше ушкодження споруд відбуваються із-за помилок проектуванні підстав і фундаментів [36, 49].

Математична модель поведінки основи, у разі точного розрахунку, для багатоелементних просторових систем виходить занадто складною, а в деяких випадках не реалізовується взагалі. Цю проблему можливо розв'язати використовуючи в розрахунках імовірнісні характеристики величин тих, що просіли підстави, отримані шляхом обробки статистичних вибірок деформацій вузлів кріплення конструкції до фундаменту.

Геодезичні натурні спостереження за вертикальними і

горизонтальними переміщеннями споруд (моніторинг) мають на меті описати картину деформацій з кількісного боку за якийсь проміжок часу. Спостереження проводяться з початку будівництва споруди і в перші роки його експлуатації до досягнення стабілізації деформацій. Спостереження виконуються циклічно, періодично. При цьому прагнуть спланувати цикли спостережень через рівні проміжки часу в найкоротші терміни.

Геодезичні виміри горизонтальних і вертикальних переміщень здійснюються по точках, закріплених в тілі досліджуваної споруди. Це так звані деформаційні марки. Виміри робляться відносно опорних пунктів, які розташовуються поза зоною можливих деформацій, і їх положення в просторі і в часі приймається як стабільне.

Вертикальні переміщення обчислюються за формулою 2.12:

$$S_i = (H_R + [h_i]_1^k) - (H_R + [h_0]_1^k); \quad (2.12)$$

де:  $H_R$  - висота вихідного репера;  $[h_i]_1^k$  і  $[h_0]_1^k$  - сума зрівняних перевищень відповідно поточного і початкового циклів спостережень по ходу від початкового репера до марки  $k$ .

Якщо нівелювання на станціях виконується приблизно з однаковою точністю, то можна записати:

$$m_H = m_h \sqrt{k}; \quad (2.13)$$

де:  $m_h$  - середня квадратична помилка виміряного перевищення на станції;

$k$  - число станцій від вихідного репера до спостережуваної станції;  $m_h$  - середня квадратична помилка з урахуванням віддаленості від станції (точки установки нівеліра).

Тоді середньоквадратична помилка знаходиться за формулою 2.14.

$$m_S = m_h \sqrt{n} \quad (2.14)$$

де:  $n$  - загальне число станцій в ході.

Роблячи висновок по 2.5, слід зазначити:

1. Без сумніву, просадочні деформації підстави мають вплив на напружений стан конструкції в цілому і вони повинні враховуватися при



визначенні надійності та живучості конструкцій (особливо таких відповідальних як конструкції стаціонарних покриттів над трибунами стадіонів).

2. При визначенні надійності системи «основа - споруда» не завжди можливо дати чисельну оцінку надійності, а якщо це і можливо розрахунок повинен враховувати значну кількість випадкових факторів, які не завжди можливо спрогнозувати. Обійти цю проблему при визначенні надійності та живучості будівельних конструкцій на стадії проектування можливо з огляду на додаткові напруги від максимально можливих деформацій просідання при визначенні ймовірності відмови системи в цілому.

## **2.6 Висновки по розділу**

Підсумовуючи інформацію, наведену в розділі 2, можна зробити наступні висновки:

1. На даний момент в нормативній літературі немає єдиного методу чи алгоритму для обчислення ймовірності відмови будівельних конструкцій. Грунтуючись на огляді і доводах, наведених в попередніх розділах, найбільш доцільним вбачається метод обчислення характеристик надійності конструкції, що базується на методі кінцевих елементів в варіаційної постановки.

2. Для багато разів статично невизначених систем проблематично, а іноді і неможливо (через складність реалізації математичного апарату) обчислити вірогідність відмови прямими методами надійності. У зв'язку з цим запропонована методика визначення групи найбільш відповідальних за надійність елементів конструкції, і запропонований до розробки алгоритм обчислення ймовірності відмови для даної сукупності елементів, як визначає надійність системи в цілому.

3. Найбільш прийнятним методом обчислення ймовірності відмови будівельних конструкцій є метод Монте-Карло, оскільки він дозволяє

визначити результати з достатньою точністю при відносно невеликій кількості розрахункових операцій. Так само метод можна застосовувати при будь-яких законах розподілу вихідних стохастичних величин.

4. Снігове навантаження, як дає найбільш істотний внесок в сумарні напруги, що діють в елементі, є важливим фактором при обчисленні ймовірності відмови. Найбільш доцільним є облік її в імовірнісних розрахунках як стохастичною величини, розподіл якої описується законом Гумбеля.

5. Наявність технологічних допусків, а так само істотний відсоток дефектів і вибракування при виробництві металопрокату, роблять геометричні характеристики перерізів і властивості міцності прокату значущими критеріями в розрахунках конструкцій на надійність. В силу відсутності, будь-яких, істотних статистичних даних за геометричними характеристиками перерізів і міцності властивостями металопрокату слід провести дослідження з метою набору статистичного матеріалу.

6. Геометричні недосконалості конструкції, отримані при монтажі, можуть призводити до істотного приросту зусиль в системі, що впливає на надійність споруди в цілому. У такій же мірі це відноситься до нерівномірних осідань підстави, що обумовлює необхідність врахування даних факторів при обчисленні показників надійності споруди.

7. Як правило, конструкція схильна до одночасного впливу всіх вище перерахованих факторів, що визначають надійність системи (по крайній мере, в зимовий період), що викликає необхідність їх комплексного обліку при обчисленні ймовірності відмови і характеристики безпеки, як основних характеристик надійності системи.

8. Метод граничних станів, який використовується в якості основи всіх сучасних будівельних норм в області проектування конструкцій, забезпечує необхідний рівень надійності шляхом введення в розрахунок різних коефіцієнтів надійності. Так як снігова навантаження, геометричні недосконалості форми перетину, просідання основи і відхилення геометрії,

отримані на монтажі, відносяться до факторів, що вносить неточність в розрахункову схему споруди, то коефіцієнтом, що враховує їх можливі відхилення, є коефіцієнт умов роботи  $\gamma_{\text{ус}}$ . Даний коефіцієнт не враховує ступінь відповідальності системи і для унікальних конструкцій покриттів над трибунами стадіонів рекомендується уточнити його значення за результатами чисельної оцінки ймовірності відмови за пропонованою методикою.

## РОЗДІЛ 3

### АНАЛІЗ ПОКАЗНИКІВ НАДІЙНОСТІ ВИБРАНИХ КОНСТРУКТИВНИХ СХЕМ РАМНО-КОНСОЛЬНОГО ПОКРИТТЯ

#### 3.1 Методика аналіз живучості стаціонарних рамно-консольних конструкцій покриттів над трибунами стадіонів

Аналіз аварій промислових і цивільних споруд показує, що у багатьох випадках процес руйнування конструкції носить лавиноподібний характер, якщо відмова окремих елементів і підсистем (навіть неповний) ініціювала виникнення інших, серйозніших відмов і руйнувань. Проте є і численні приклади систем, де ізольовані відмови окремих елементів не призводять до аварії, що пов'язано з деякими резервними можливостями, властивими структурі системи. Властивість системи зберігати здатність, що несе, при виході з ладу одного або декількох елементів природно називати живучістю.

З метою проведення аналізу живучості розглянутої вище конструктивної форми покриття над трибунами стадіону виконується чисельний розрахунок покриття, за результатами якого визначається і фіксується група зруйнованих елементів, що визначають верхню межу надійності конструкції в цілому.

Станом руйнування вважається момент припинення можливості подальшої експлуатації споруди внаслідок втрати здатності, що несе. З метою визначення порядку виходу з ладу елементів конструкції виконується поетапний чисельний розрахунок покриття при приведеній до вузлової дії (з використанням методу вантажних площ) характеристичному тимчасовому сніговому навантаженню  $S_{норм}$  для даного району будівництва. У випадку якщо жоден елемент покриття не руйнується, тимчасове навантаження збільшується етапами по 0.5 кН і виконується перерахунок.

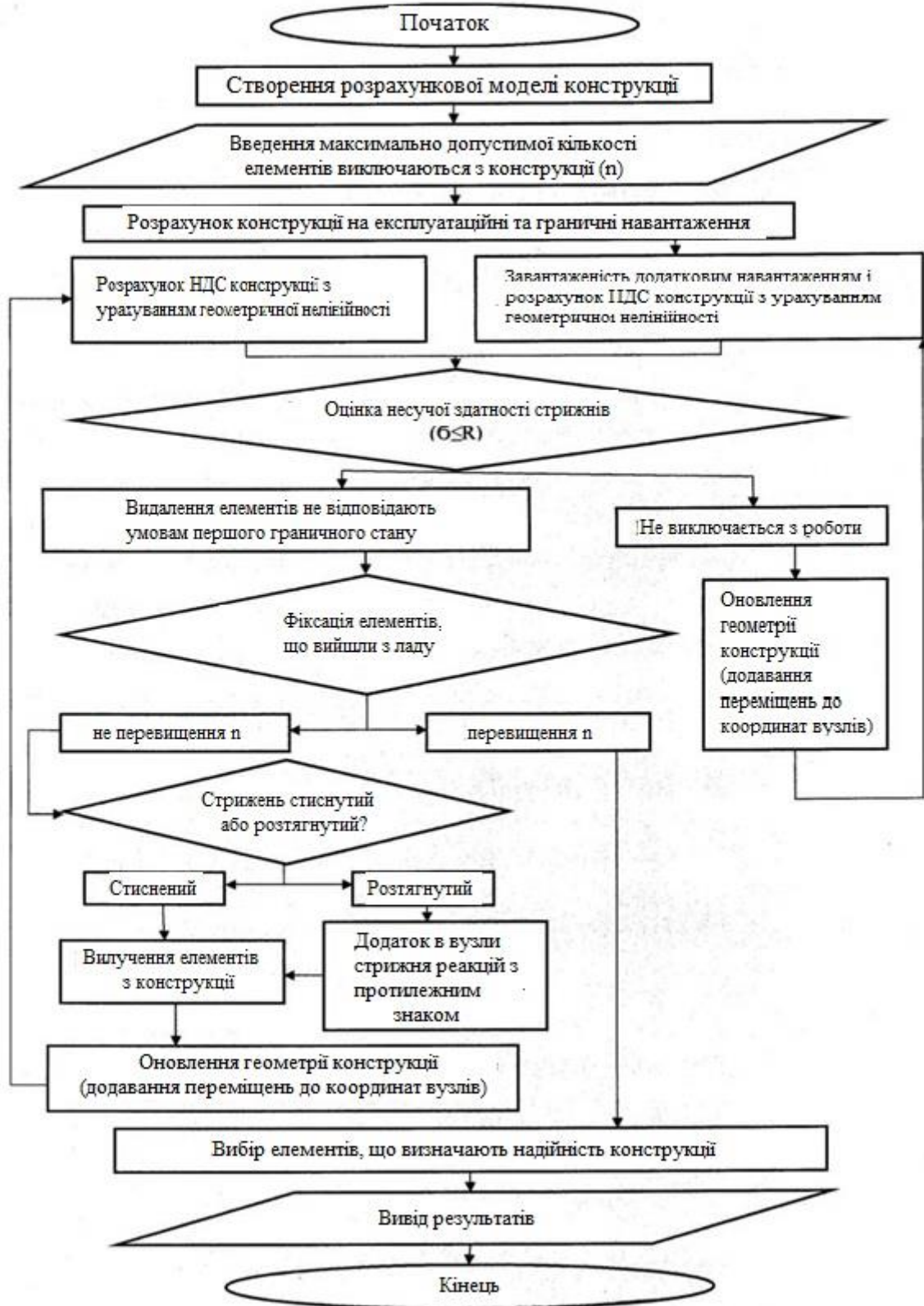


Рисунок 3.1 - Блок-схема визначення групи елементів конструкції, що характеризують надійність системи в цілому.



Далі, не міняючи схему вантаження і видаляючи по черзі елементи, в яких настала відмова, або внаслідок досягнення напругою межі плинності, або втрати стійкості (для видалених розтягнутих елементів їх ефект замінювався величинами внутрішніх зусиль відповідно до методики Стрілецького Н.С. [83]) фіксується група зруйнованих елементів, при яких подальша експлуатація покриття буде неможливою зважаючи на подальший розвиток лавиноподібних процесів руйнування, а також розташування найбільш напружених елементів ферм покриття, що несуть, і їх максимальні зусилля  $M$  і  $N$ .

Вивчаючи роботу сталевих ферм під навантаженням-розвантаженням, що циклічно повторюється, Н.С. Стрілецький відмічає значний запас здатності розтягнутих елементів, що несе, після перевищення напругою межі плинності в перерізах (30-60% залежно від марки сталі). Отже, виключати повністю з роботи такі стержні не коректно, оскільки їх уся здатність, що несе, не вичерпана. У свою чергу, стислі стержні мають незначний запас здатності, що несе, після моменту втрати стійкості (3-5%), тобто практично відразу, перестають сприймати зусилля що виникають в них. Грунтуючись на цих передумовах, з метою обліку конструктивної нелінійності системи, запропонована методика здійснення виключення стержневих елементів з роботи усєї конструкції. Стислі стержні просто видаляються з розрахункової схеми після моменту втрати стійкості конкретно даного стержня, а розтягнуті віддаляються після моменту перевищення напругою в перерізі елементу значення розрахункового опору, але у вузлах прикріплення стержня прикладаються зосереджені сили рівні реакціям опор і спрямовані у зворотний бік.

Для обліку геометричної нелінійності роботи конструкції, були використані функції Новожилова В. В. [58], що дозволяють враховувати нелінійний зв'язок між напругою, що виникають в елементі, і деформаціями. З цією ж метою, на кожному етапі розрахунку, робиться оновлення координат вузлів конструкції, з урахуванням переміщень отриманих на

попередньому етапі.

Після отримання порядку виходу з ладу елементів визначається група стержнів для якої налічуватимуться характеристики надійності, зокрема вірогідність відмови і в - характеристика безпеки (дальність відмови [32]). Таким чином, вибирається група з 5-7 стержнів, яка і визначатиме надійність системи в цілому.

Так само слід враховувати явище лавиноподібного руйнування конструкції. Якщо на якому-небудь етапі ітераційного розрахунку елементи системи почали виходити з ладу без додаткового приросту навантаження, то, отже, почалося лавиноподібне руйнування, допускати розвиток якого неприпустимо. Отже, обмежуються групою елементів, що вийшли з ладу, до настання цього явища. Блок-схема визначення групи найбільш відповідальних елементів приведена на рисунку 3.1.

### **3.2 Варійовані параметри вибраної конструктивної схеми покриття над трибунами стадіонів**

Для проведення чисельного експерименту з метою визначення показників надійності, на основі алгоритму, детально описаного в попередньому розділі роботи, прийнятий просторовий блок покриття над трибунами стадіону, що складається з шести консольних рам, що несуть, і, відповідно, п'яти прольотів. Геометрична схема консольних рам, що несуть, з маркіровкою основних параметрів конструкції приведена на рисунку 3.2.

Приведена конструкція рам покриття, що несуть, над трибунами стадіонів має велике поширення при реконструкції старих стадіонів, побудованих в Радянському Союзі (стадіон «Славутич Арена» м. Запоріжжя, стадіон «Чорноморець» м. Одеса), а так само на стадіонах невеликої місткості або запасних полях, але також застосовно на стадіонах середньої місткості до 10 000 сидячих місць.

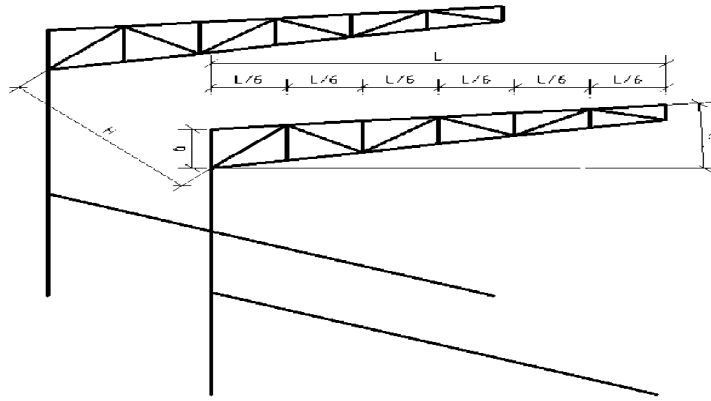


Рисунок 3.2 - Геометрична схема консольних рам покриття, що несуть, над трибунами стадіону.

З метою найбільшого охоплення діапазону можливих значень параметрів даної геометричної форми конструкції, були вибрані три найбільш значимих характеристики системи. Для кожної з характеристик, виходячи з конструктивних обмежень і вимог доцільності, призначалися максимальне і мінімальне значення. Отже, розглядалося 8 варіантів комбінацій значень параметрів в конструкції (таблиця. 3.1).

В якості варійованих параметрів системи розглядалися наступні характеристики (таблиця. 3.2) :

L - виліт консольної ферми покриття (4-22 м);

a - кут нахилу покриття до горизонталі (0-30 );

H - крок рам (4-12 м), що несуть;

Висота ферми для кожного з даних варіантів конструкції покриття обчислювалася виходячи з конструктивних вимог, і хоча змінювала своє значення в даних варіантах, але варійованою величиною не є.

Слід зазначити, що в роботі розглядається стан тільки конструкцій консольної частини покриття, що напружено-деформується, напружений стан опорної стійки рами не увійшов до області вивчення. Цей, здавалося б, недолік легко пояснити тим, що при деяких даних значеннях вильоту консольної ферми (L), кроку рам (H), що несуть, конструкція покриття стає досить габаритною і момент, що вигинає, передається на опорну стійку рами,

набуває досить великих значень. Отже, підібрати для сжатоізогнутого елементу стійки який-небудь прокатний переріз не представляється можливим. У таких випадках найбільш доцільним рішенням, з конструктивної точки зору, було б заміна одного стержня на шарнірно - стержневу конструкцію у вигляді вертикальної фермової системи. Щоб уникнути значної зміни геометрії конструктивної схеми було прийнято рішення розглядати виключно конструкцію покриття.

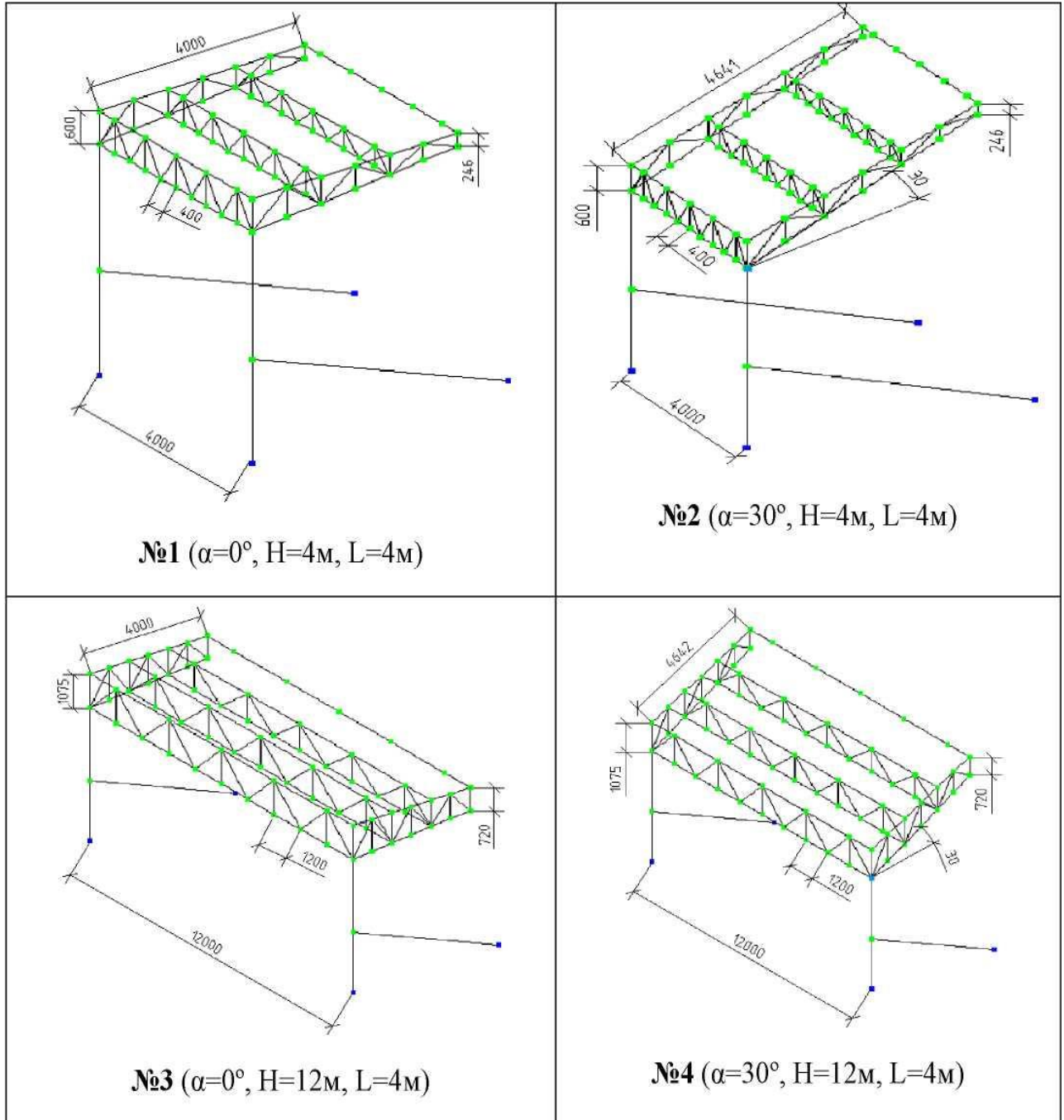
Таблиця 3.1 -Рассматриваемые комбінації варійованих параметрів системи

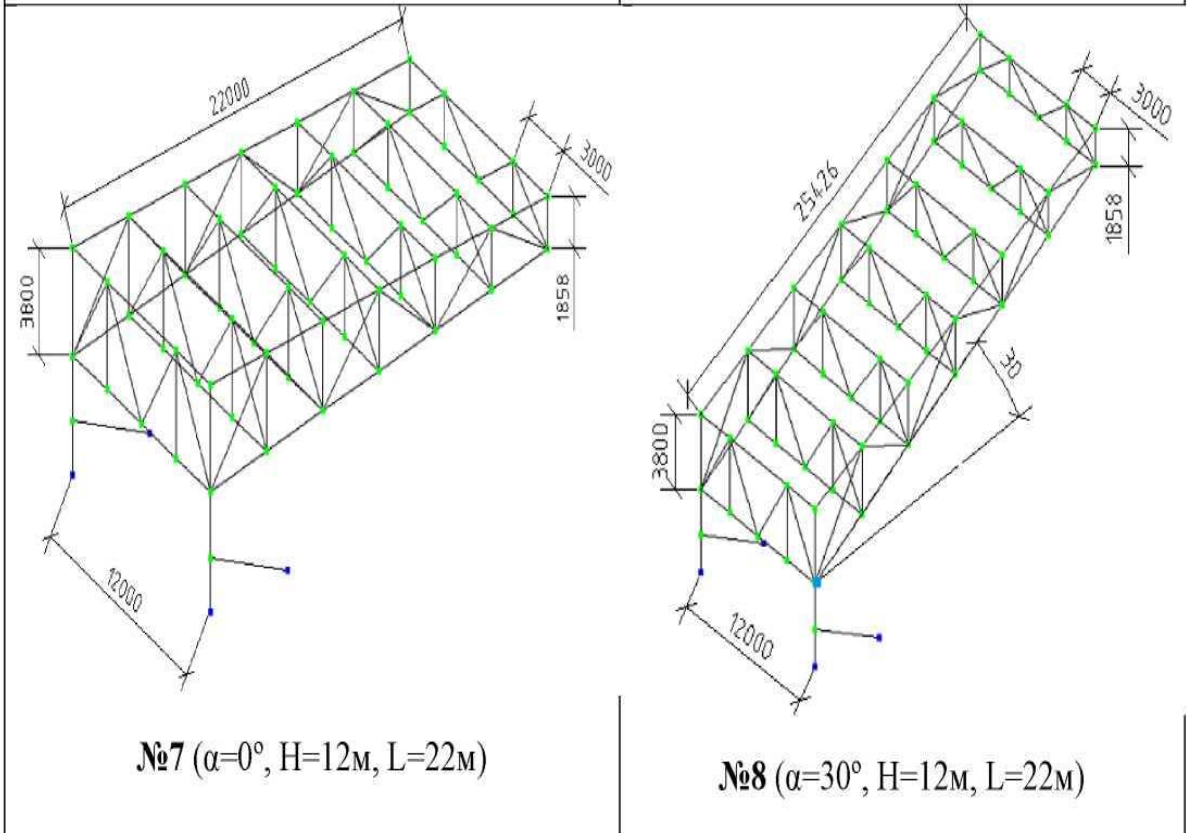
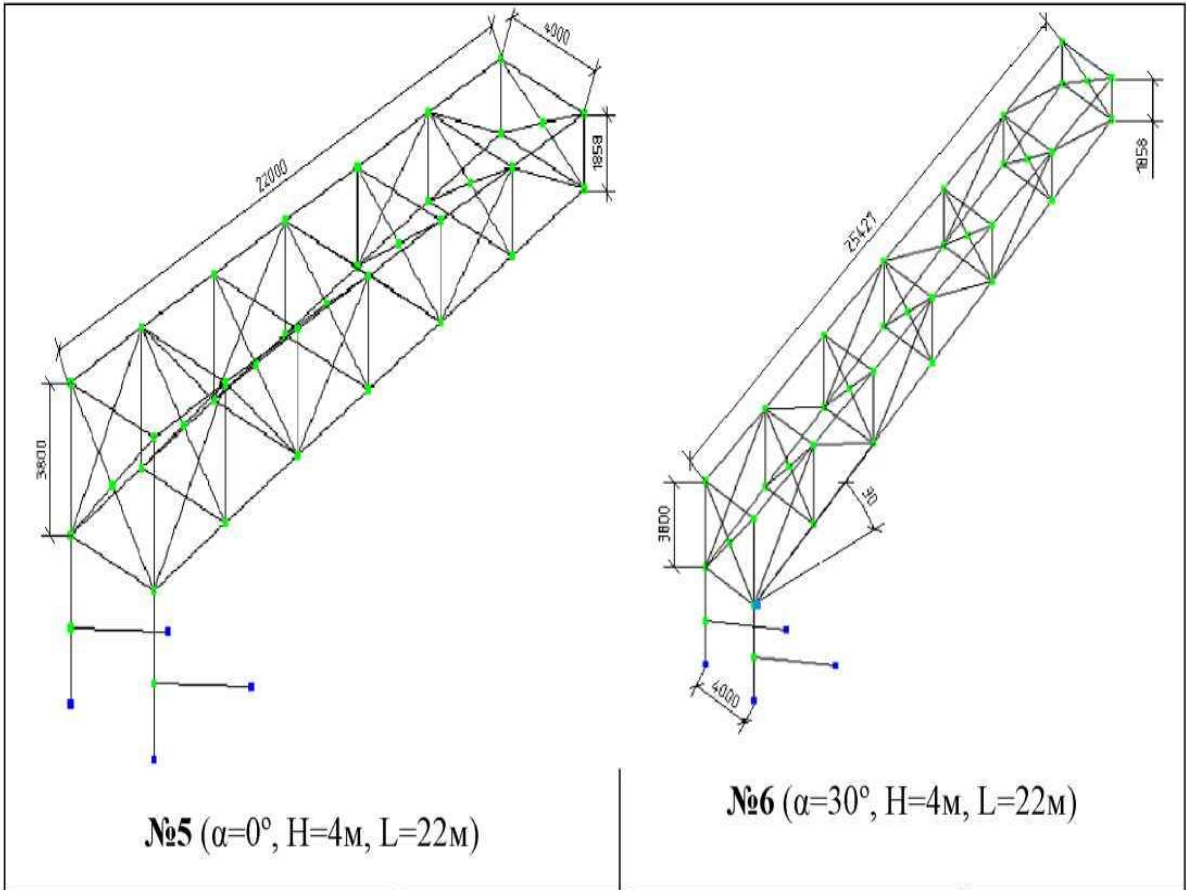
№ варіанту конструкції	Кут нахилу $\alpha$ (градуси)	Крок рам Н (м)	Виліт ферми L (м)
1	0	4	4
2	30	4	4
3	0	12	4
4	30	12	4
5	0	4	22
6	30	4	22
7	0	12	22
8	30	12	22

У конструкції покриття найбільш відповідальними є елементи ферм, що несуть, вертикальні зв'язки і прогони мають меншу міру відповідальності.

Отже, в цілях зменшення об'єму аналізу даних, отриманих при розрахунку показників надійності і порядку виходу елементів з ладу методом кінцевих елементів у варіаційній постановці, обмежимося аналізом роботи саме елементів ферм, що несуть. З цією метою аналізується робота блоку покриття того, що складається з шести рам, що несуть, сполучених вертикальними зв'язками по покриттю.

Таблиця 3.2 - Дані конструктивні варіанти покриття над трибунами





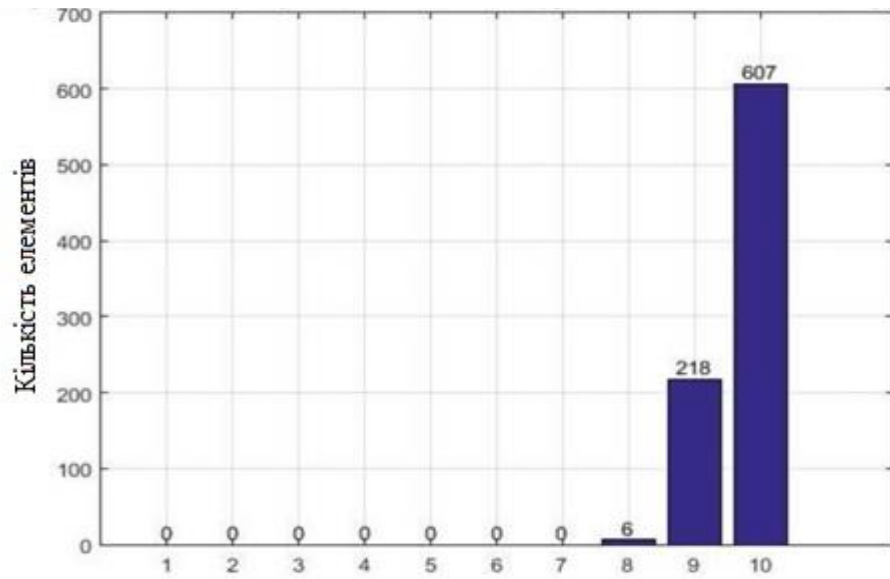


### 3.3 Аналіз живучості даної конструктивної схеми

Розрахунок системи проводиться в програмному комплексі, розробленому на основі мови програмування MATLAB (п. 2.1). З метою перевірного розрахунку, зусилля в стрижнях на першому етапі розрахунку паралельно перераховувалися в програмному комплексі ЛПА САПР 2013. Початковий підбір перерізів елементів, так само проводився в програмному комплексі ЛПА САПР 2013. Підбір перерізу здійснювався виходячи з вимог першого і другого граничних станів.

Як видно з приведених гістограм руйнування варіантів конструкції покриття, на певному етапі додаткового догруження тимчасовим навантаженням відбувається вихід групи елементів з ладу. Після цього в конструкції перерозподіляються зусилля, система стабілізується і знову довантажуються додатковим навантаженням. Після додаткового догруження, в усіх розглянутих варіантах, починається лавиноподібне руйнування. Далі, на певному кроці, система знову стабілізується і вимагається наступний етап додаткового приросту навантаження. Другий етап лавиноподібного обвалення, для варіантів 2,7,8, призводить до повного руйнування конструкції, а для інших варіантів, фіксуються проміжні етапи стабілізації системи.

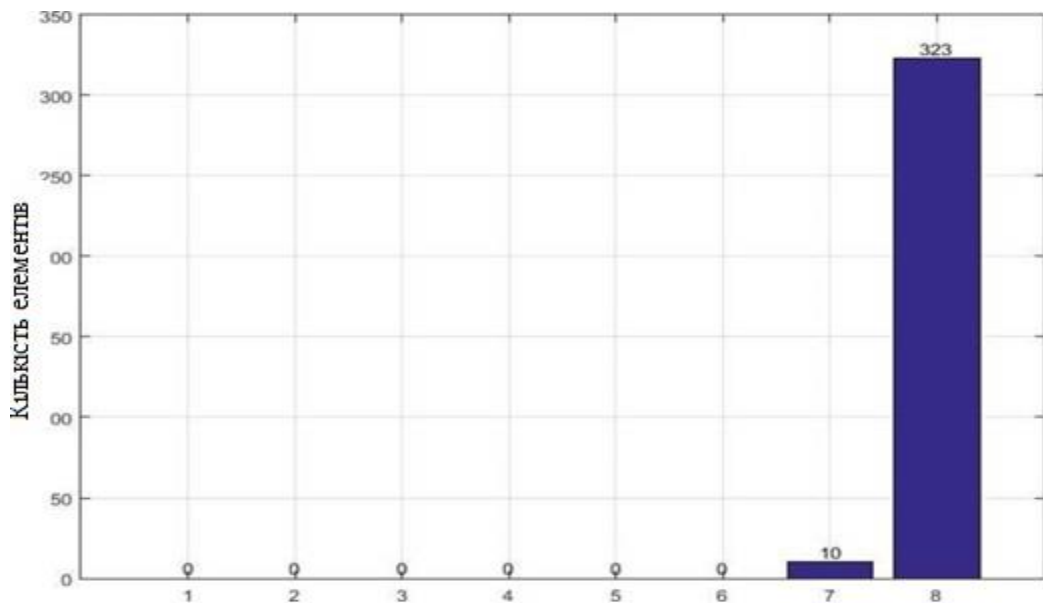
Графік виходу з ладу елементів конструкції на кожному кроці вантаження



#### Крок навантаження

Рисунок 3.3 - Графік виходу з ладу елементів конструкції на кожному кроці додаткового догруження для варіанту конструкції №1.

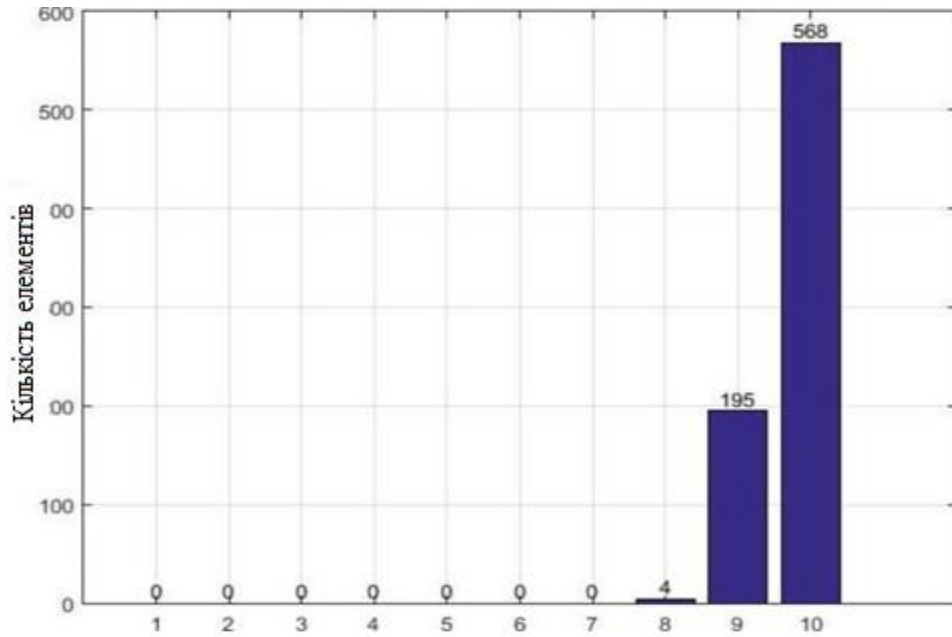
Графік виходу з ладу елементів конструкції на кожному кроці вантаження



#### Крок навантаження

Рисунок 3.4 - Графік виходу з ладу елементів конструкції на кожному кроці додаткового догруження для варіанту конструкції №2.

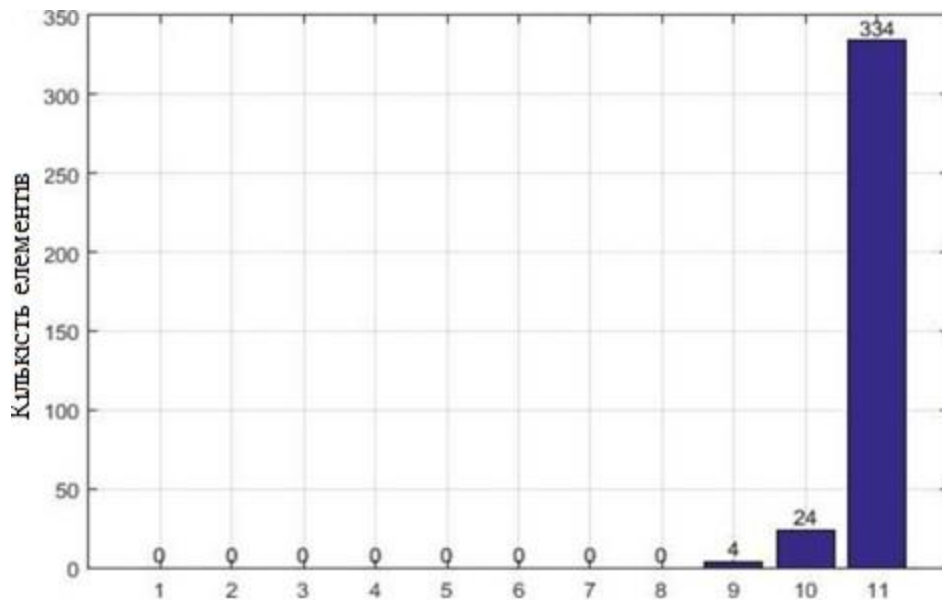
Графік виходу з ладу елементів конструкції на кожному кроці вантаження



**Крок навантаження**

Рисунок 3.5 -Графік виходу з ладу елементів конструкції на кожному кроці додаткового догруження для варіанту конструкції №3.

Графік виходу з ладу елементів конструкції на кожному кроці вантаження



**Крок навантаження**

Рисунок 3.6 - Графік виходу з ладу елементів конструкції на кожному кроці додаткового догруження для варіанту конструкції №4.

Графік виходу з ладу елементів конструкції на кожному кроці вантаження

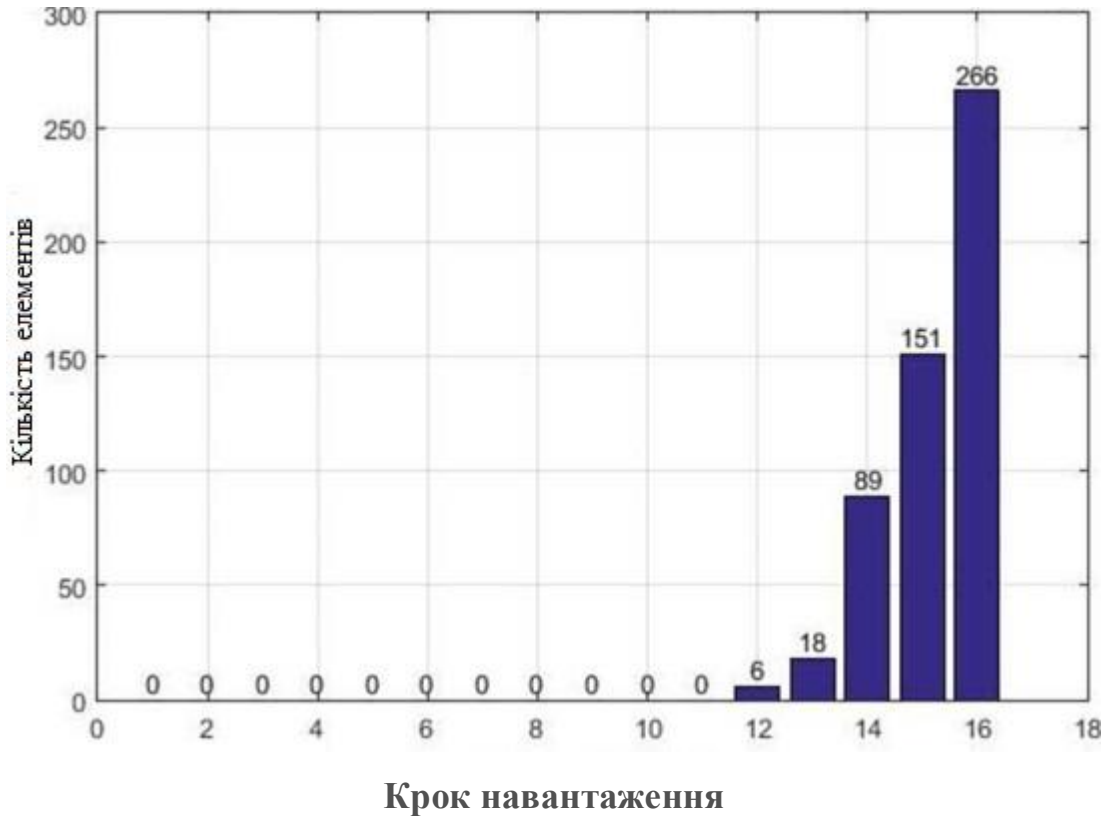


Рисунок 3.7 - Графік виходу з ладу елементів конструкції на кожному кроці додаткового догруження для варіанту конструкції №5.

Графік виходу з ладу елементів конструкції на кожному кроці вантаження

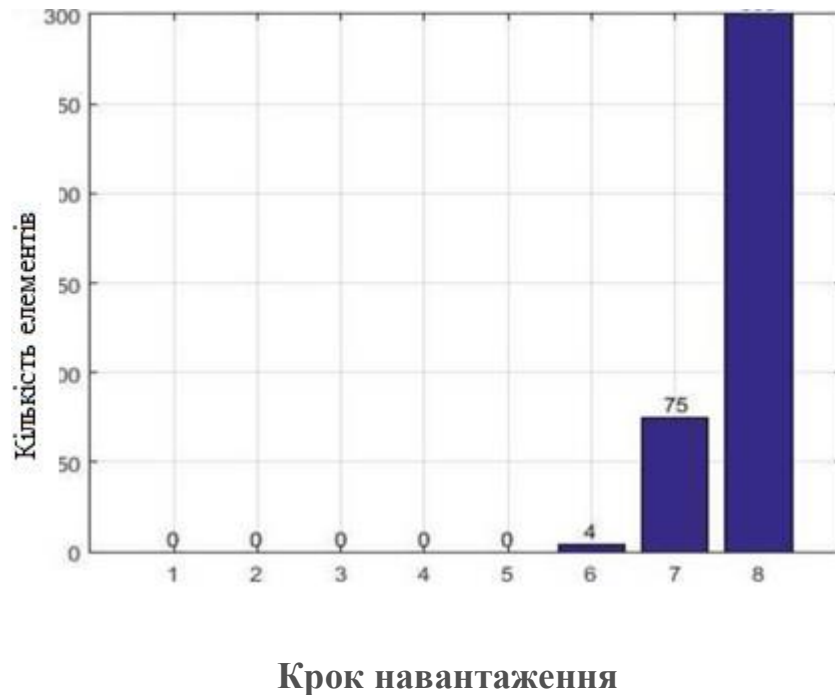
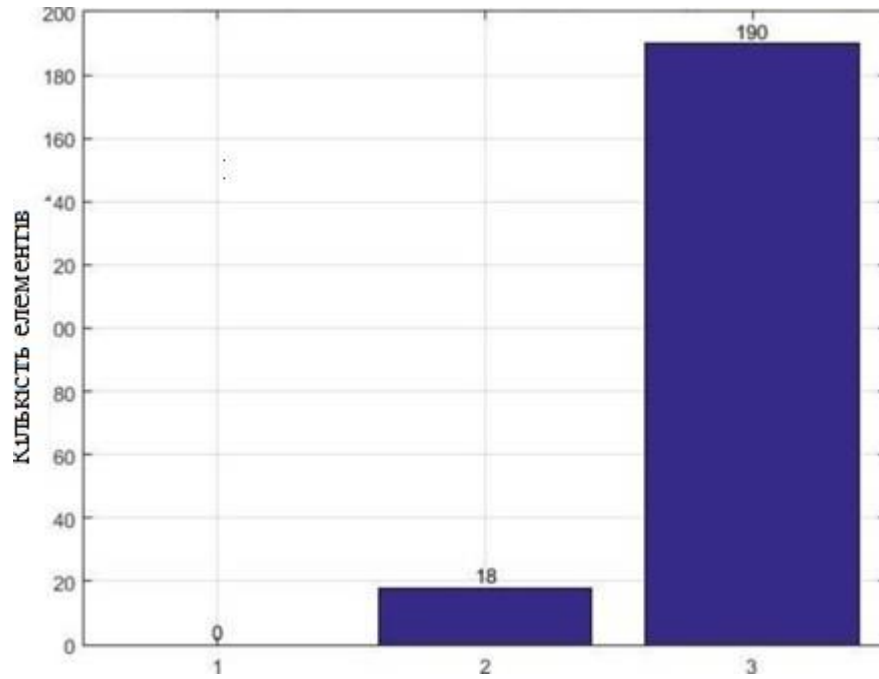


Рисунок 3.8 - Графік виходу з ладу елементів конструкції на кожному кроці додаткового довантажування для варіанта конструкції №6.

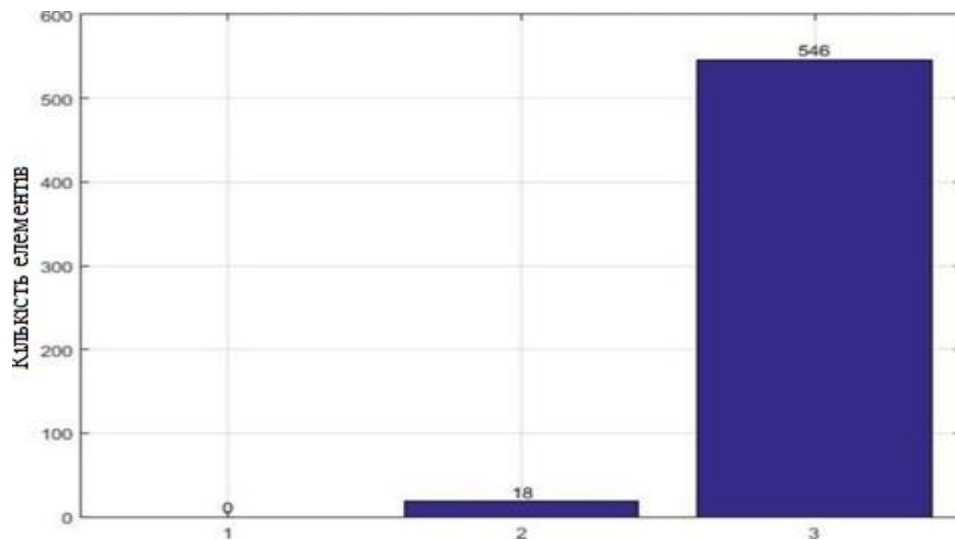
Графік виходу з ладу елементів конструкції на кожному кроці вантаження



**Крок навантаження**

Рисунок 3.9 -Графік виходу з ладу елементів конструкції на кожному кроці додаткового догруження для варіанту конструкції №7.

Графік виходу з ладу елементів конструкції на кожному кроці вантаження



**Крок навантаження**

Рисунок 3.10 - Графік виходу з ладу елементів конструкції на кожному кроці додаткового догруження для варіанту конструкції №8.

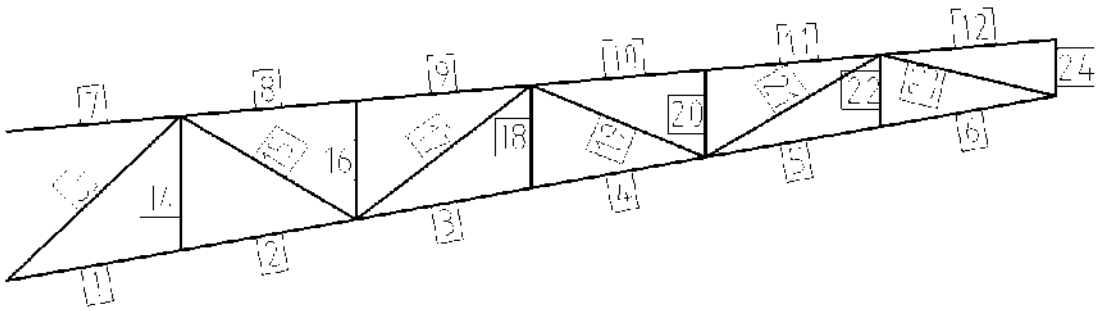


Рисунок 3.11 -Присвоение порядкових номерів стержням ферми, що несе

Якщо детально проаналізувати схему руйнування конструкції, то видно, що стержні, що виходять з ладу в першу чергу (до першого етапу лавиноподібного руйнування), належать основній несній конструкції - консольній фермі. У таблиці 3.3 приведенний список елементів що вийшли з ладу на першому етапі руйнування системи, але у рамках однієї ферми, із стержнями що випробовують найбільші значення нормальної напруги.

Таблиця 3.3 - Інформація про вихід з ладу стержнів ферми, що має найбільшу напругу в елементах

№	Крок рам H (м)	Виліт ферми L (м)	Кут нахилу $\alpha$ (°)	Крок довантажуван ня конструкції	Кількість стержнівщо виключаються	Номери стержнів що виключаються стержнів.
1	4	4	0	8	1	1
2	4	4	30	7	3	1,2,7
3	12	4	0	8	1	2
4	12	4	30	9	1	1
5	4	22	0	12	1	7
6	4	22	30	6	1	1
7	12	22	0	2	3	1,2,7
8	12	22	30	2	4	1, 2, 7, 13



В силу симетрії блоку покриття, найбільш напружені елементи знаходяться в двох середніх фермах.

Отже, надійність усього покриття може визначатися надійністю елемента або групи елементів приведених в таблиці 3.3.

### **3.4 Алгоритм обчислення характеристик надійності системи**

Слід зазначити, що розгляд системи покриття, як статично визначною, дозволяє зафіксувати нижню межу надійності системи, визначувану вірогідністю відмови однієї, найбільш напруженого елемента,. Проте, насправді, система покриття є багаторазово статично невизначною, і вихід з ладу одного елемента не спричинить руйнування усього покриття. В цьому випадку оцінка надійності зводиться до визначення вірогідності відмови сукупності елементів системи покриття в цілому, яка дозволить зафіксувати верхню межу надійності досліджуваної конструкції. Таким чином, загальний рівень надійності покриття завжди буде у рамках цих двох значень.

Для выбранных в предыдущем этапе расчете элементов выполняется циклический расчет, основанный на методе конечных элементов, с учетом указанных в разделе 2 случайных величин. Количество циклов расчета определяется совокупностью значений выборки входных случайных величин. Таким образом, формируется выборка напряжений для рассматриваемой группы стержней. Выборка должна иметь значительный объем. Исследуя эту проблему ряд авторов (Райзер, Шпетте, Пичугин) приводят числа в интервале  $10^4$ - $10^8$ .

В якості другої та, що становить рівняння (1.1) виступає випадкова величина характеристики опору матеріалу конструкції (межа плинності)  $R(t)$ , яка формується на основі аналізу статистичних даних, отриманих на металургійних заводах або експериментально.

Отримані дві узагальнені випадкові величини обробляються методами математичної статистики (визначаються їх закони і щільність розподілу).

$$P(t) = \int_0^{\infty} R(t) p_s(t) dt = F_R(S) \approx \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m F_R(S_i); \quad (3.1)$$

На кожному випробуванні по щільності вірогідності величини моделюється її реалізація  $t_i$  і визначається значення функції розподілу величини  $R$  при аргументі  $t$ . Потім визначається середнє з цих значень по усіх проведених випробуваннях. У нашому випадку величина  $S(t)$  (напруга в конструкції) є функція декількох змінних, тому на кожному випробуванні по щільності вірогідності цих величин моделюється їх реалізація і обчислюється  $S(t)$ . Тобто, маючи налічені вибірки площі перерізу і снігового навантаження, обчислюються реалізації напруги в конструкції, які складають вибірку  $S(t)$  в об'ємі не менше 10000 значень. Методами математичної статистики визначається закон розподілу, який з належною точністю апроксимує дану безперервну випадкову величину напруги в перерізі елементу конструкції. Для межі плинності матеріалу також визначається відповідний закон розподілу випадкової величини. Далі, після підстановки значень напруги у функцію розподілу межі плинності обчислюємо середнє значення отриманої сукупності  $i$ , відповідно до формули (3.1), ділимо отримане число на кількість випробувань.

### **3.5 Дослідження вірогідності відмови, обумовленою мінливістю снігових навантажень**

Снігове навантаження є основною силовою дією на дану конструкцію покриття над трибунами стадіонів. Для обчислення вірогідності відмови, обумовленого дією снігового навантаження, використовується методика, приведена в розділі 3.4. В якості початкових випадкових величин в рівнянні 1.1 виступають снігове навантаження і випадкова величина межі плинності стали.

Використовуючи методику, описану в розділі 2.2 і дані [40],

сформовано вираження для генерації снігового навантаження :

$$S = 521.48 - 270.413 \ln(-1.0 \ln(R + 0.0375)) \quad (3.2)$$

де: R - генератор рівномірної випадкової величини в межах [0...0,935];

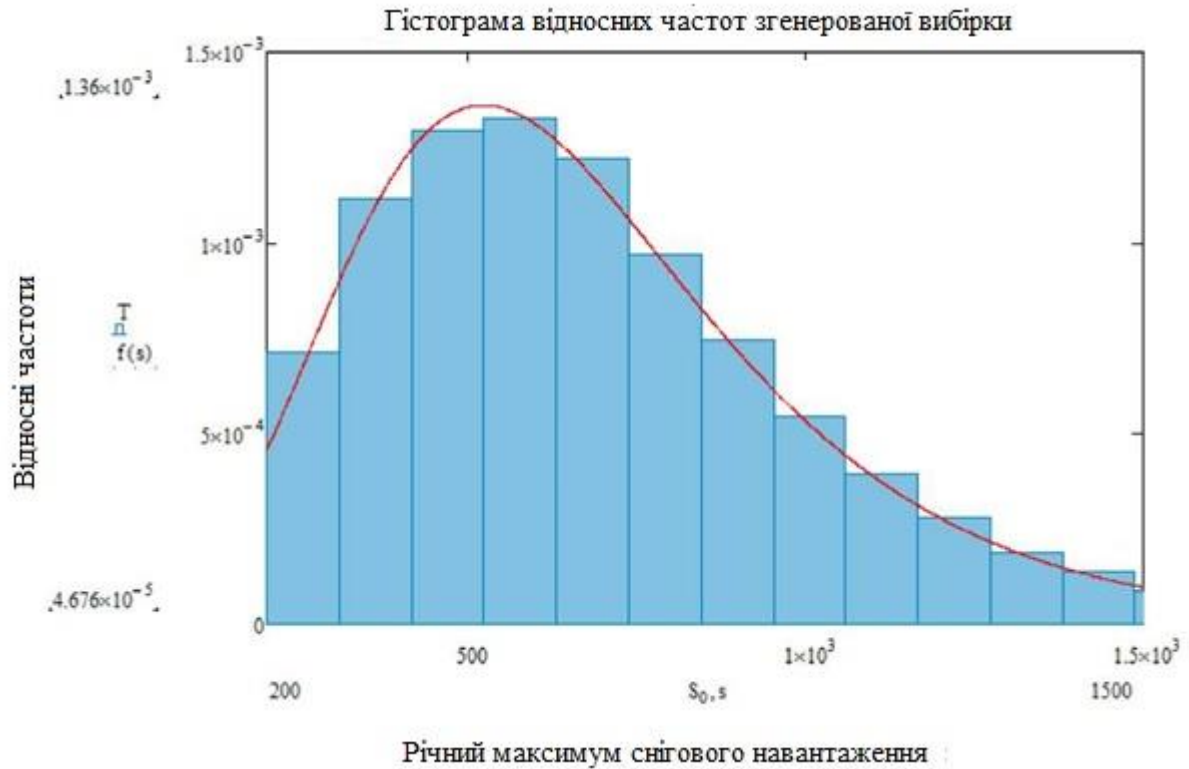


Рисунок 3.12 - Гістограма відносних частот згенерованої вибірки снігового навантаження.

Необхідні параметри розподілу Гумбеля отримані шляхом аналізу статистики річних снігових максимумів в течії 40 років [22]. Аналізуючи вираження (3.2) видно, що повинне виконуватися умова:  $\ln(R + 0.0375) < 0$ , щоб значення снігового навантаження не перейшли в область комплексних чисел. При використанні максимального значення  $R=0,935$  цього не станеться. Це вираження налічує снігове навантаження в межах від 200 до 1500 Па, що відповідає характеру навантаження для даного регіону. Використовуючи формулу (3.3) в «Mathcad 15», генеруємо вибірку снігового навантаження в об'ємі 10000 значень (рис.3.12)

Отримані значення вибірки снігового навантаження використовуються для формування вибірки напруги в даних елементах конструкції.

Розрахунок напруги робиться в розробленому автором програмному

комплексі, реалізованому на мові програмування MATLAB, по алгоритму, приведеному в розділі 3.4. Облік імовірнісного характеру снігового навантаження робиться на етапі формування вектору еквівалентних вузлових навантажень. Вибірка отриманої напруги в елементах конструкції обробляється методами математичної статистики, на предмет визначення закону розподілу випадкової величини. Для цієї мети, зокрема, були застосовані критерії згоди Шапиро- Уилка і Колмогорова-Смирнова. За результатами обчислень було встановлено, що ця випадкова величина з вірогідністю 95% (був встановлений рівень значущості 0.05) відповідає нормальному розподілу Гауса, для усіх даних геометричних варіантів.

Таблиця 3.4 - Характеристики надійності найбільш відповідального елемента конструкції при обліку снігового навантаження, як випадкової величини

№ схеми	Характеристики безпеки $\beta$	Вірогідність відмови $P_f$
1	5,46	$0,946 \cdot 10^{-7}$
2	5,21	$0,564 \cdot 10^{-7}$
3	5,41	$0,629 \cdot 10^{-7}$
4	5,77	$0,994 \cdot 10^{-7}$
5	5,91	$0,547 \cdot 10^{-8}$
6	5,04	$0,743 \cdot 10^{-7}$
7	4,85	$0,217 \cdot 10^{-5}$
8	4,81	$0,443 \cdot 10^{-5}$

В якості другої випадкової величини рівняння 1.1. розглядається стохастична величина межі плинності стали. Характеристики цієї величини приймаються на підставі експериментальних даних отриманих в розділі 3.4.

У результаті були отримані значення вірогідності відмови і характеристики безпеки приведені в таблиці 3.4.

### 3.6 Дослідження мінливості показників надійності конструкції

Оскільки способи обліку геометричної недосконалості, що отримується конструкцією на монтажі, а також, обумовлені податливістю підстави, описані в розділах 2.4 і 2.5, у край складно реалізуються для багато разів статично невизначної системи, якої являється дана конструкція покриття над трибунами стадіону, то облік цих чинників здійснюється у вигляді випадкових величин відхилень вузлів конструкції від заданого первинного положення [90]. На практиці це реалізувалося за допомогою фіксації координат вузлів конструкції методами геодезичного контролю [111].

Саме використання сучасних супутникових технологій GPS в комбінації з класичними методами високоточної нівеляції дає найбільш відчутні результати, як по оперативності визначення деформацій, так і по точності вимірів. В ході досліджень були закладені 3 пункти геодезичної мережі стадіону і ряд контрольних точок на стійках, що несли, і фермах зорової трибуни стадіону (рис. 3.14, 3.15). В результаті експерименту були виконані 3 цикли вимірів декартових координат  $X$ ,  $Y$ ,  $Z$  і перепади висот контрольних точок методами GPS - зйомки і нівеляції. Пізніше, виконаний незалежний аналіз деформацій споруд в часі і в просторі, використовуючи дані GPS і ці нівеляції окремо. У дослідженнях застосовувалися система Leica GPS 1200 і цифровий нівелір Leica Sprinter 50.





Рисунок 3.13 - Конструкція стаціонарного покриття над трибунами стадіону СК «Олімпік»

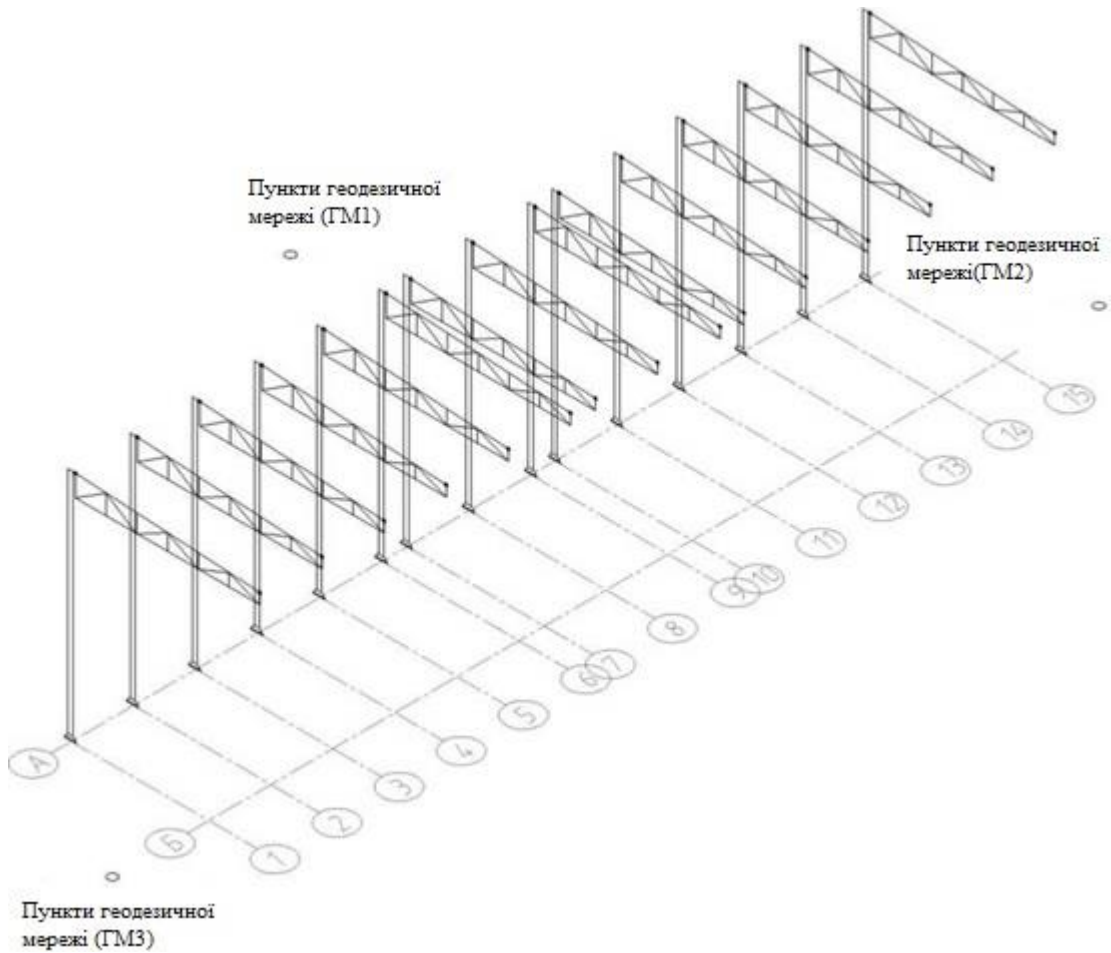


Рисунок 3.14 - Схема геодезичної мережі для моніторингу конструкцій трибун.



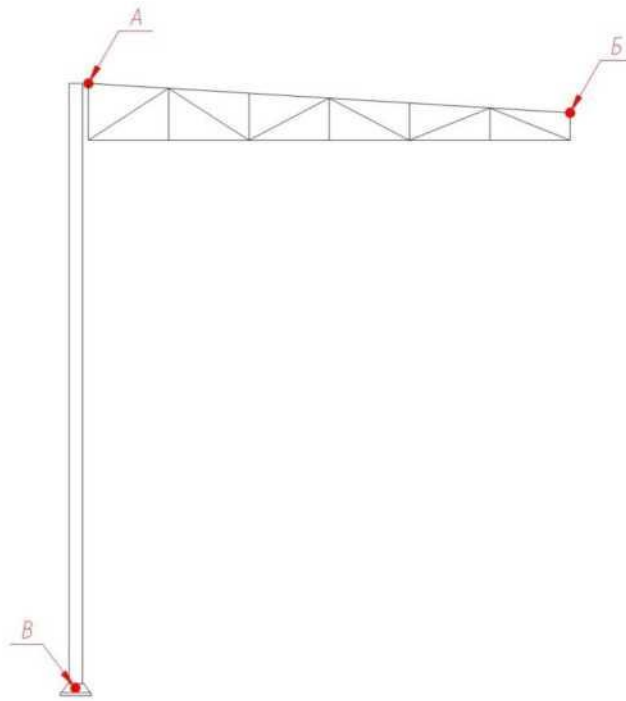


Рисунок 3.15 - Схема контрольних точок на конструкціях трибун.

Геодезична мережа була побудована з метою контролю геометричних параметрів конструкцій, а також для подальшого моніторингу споруди в процесі експлуатації. Спостереження виконувалися трьома циклами з інтервалами в 1 місяць. У нульовому циклі були зафіксовані початкові координати пунктів мережі і координати контрольних точок на несних конструкціях трибуни стадіону. Аналіз деформацій будівельних конструкцій оцінювався за результатами подальших двох циклів спостережень, в яких визначалися стабільні і нестабільні точки зйомки.

Аналіз деформацій споруди оцінювався в три етапи. На першому етапі, виміри, які проводилися в першому і другому циклах спостережень, зрівнюються окремо відповідно до методу вільного зрівнювання. На цій стадії виявляються і усуваються погрішності і систематичні помилки вимірів. На другому етапі виконується комплексна оцінка експерименту, по якій перевіряються стабільності точок знімальної мережі в інтервали часу :

$$\Delta t_n = T_n - T_{n-1} \quad (3.3)$$

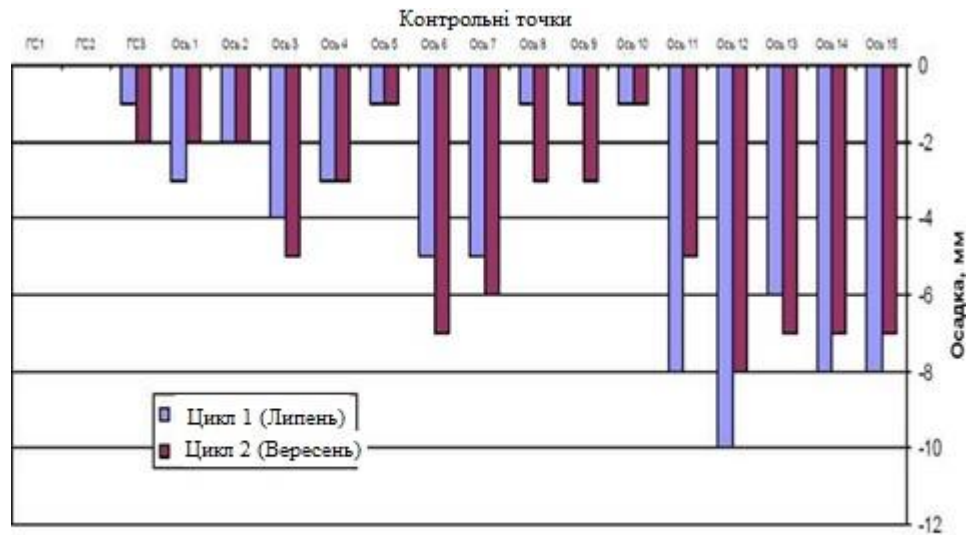


Рисунок 3.16. -Графік осад конструкцій трибун стадіону по точці «В».



Рисунок 3.17 - Графік розкиду висотних відміток точки «А».

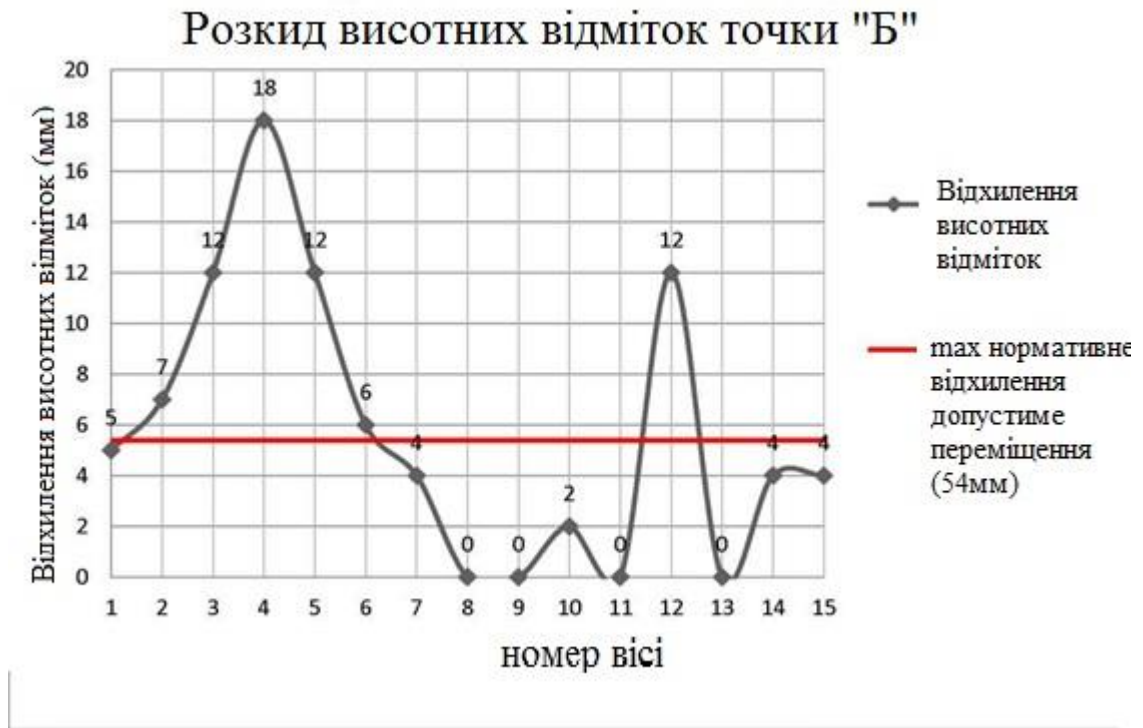


Рисунок 3.19 - Графік розкиду висотних відміток точки «Б»

Для цієї мети, значення відхилень по висоті розраховуються для кожної з точок мережі, окрім стабільних точок, і вони порівнюються з критичними значеннями, які даються в таблиці розподілу Фишера.

Метод традиційного аналізу деформацій був застосований в усіх трьох схемах: нівеляція контрольних точок; GPS зйомка висот і комбінація обох методів. Результат, отриманий з оцінки цих трьох схем, показаний в графіках [24] (рис. 3.16-3.18) .

На основі аналізу вибірки відхилень геометрії точок А, Б, В, отримана при геодезичній зйомці геометрія і просіли конструкції стаціонарного рамноконсольного покриття над трибунами стадіону «Олимпик», побудована гістограма розподілу відхилень (рис. 3.19 ). Представляючи відхилення геометрії точок як випадкову величину, розглядалися декілька законів розподілу на предмет апроксимації (  $X_{I2}$ , логнормальне і нормальне розподіли)[72, 100]. В якості того, що апроксимує, ухвалений нормальний закон розподілу. Додатково дана випадкова величина було піддано  $X_{I2}$ -аналізу за критерієм Пірсона (використовувався Microsoft Excel 2010). Аналіз

показав, що розподіл відхилень випадкової величини по даних точках відрізняється від нормального не більше ніж на 5% (був заданий рівень значущості 0,05). Отже, можна вважати нормальний закон розподілу прийнятним.

Гістограма розподілу відхилень координат вузлів конструкції з апроксимуючими кривими

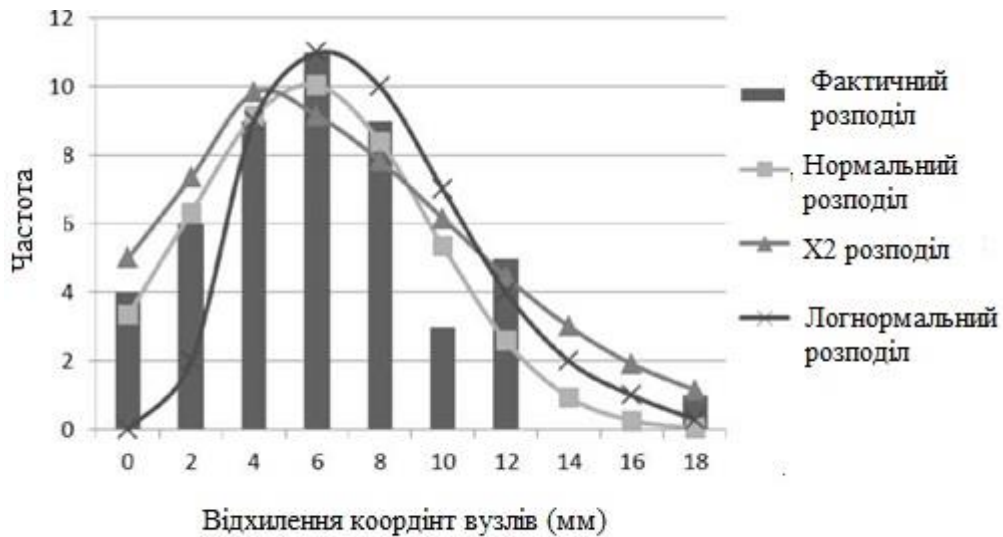


Рисунок 3.19 - Гістограма розподілу відхилень координат вузлів конструкції з апроксимуючими кривими.

Облік геометричних відхилень (як отриманих на монтажі, так і виниклих внаслідок тих, що просіли фундаментів) враховується в програмному комплексі (п.3.4) на етапі формування масиву координат вузлів, шляхом генерації приросту координат і подальшого коригування.

Використовую вище викладений метод кінцевих елементів в імовірнісній постановці і враховуючи геометричні відхилення в якості випадкової величини, обчислюється вірогідність відмови конструкції і характеристика безпеки. Дані отримані в результаті розрахунку приведені в таблиці 3.5.

Таблиця 3.5 - Характеристики надійності найбільш відповідального елемента конструкції при обліку податливості основи і геометричної недосконалості отриманої на монтажі, як випадкової величини

№ схеми	Характеристики безпеки $\beta$	Вірогідність відмови $P_f$
1	5,72	$0,235 \cdot 10^{-9}$
2	5,33	$0,783 \cdot 10^{-8}$
3	5,64	$0,698 \cdot 10^{-7}$
4	5,93	$0,988 \cdot 10^{-7}$
5	6,07	$0,255 \cdot 10^{-9}$
6	5,21	$0,815 \cdot 10^{-7}$
7	4,82	$0,348 \cdot 10^{-5}$
8	4,79	$0,321 \cdot 10^{-5}$

### 3.7 Облік спільної дії вищеперелічених чинників при визначенні показників надійності даних схем

Оскільки чинники розглянуті в розділах 3.5-3.6 як правило роблять спільний ефект на конструкцію покриття над трибунами стадіону (принаймні в зимовий період), то цілком логічною дією був би спільний облік їх впливу при обчисленні прочностних характеристик системи [73].

Вірогідність відмови і характеристику надійності даних форм конструкції покриття над трибунами стадіону при спільному обліку таких випадкових величин як: прочностні властивості металопрокату, початкова геометрична недосконалість прокату, снігове навантаження, податливість основи (просіла) і геометрична недосконалість отримані конструкцією на монтажі представлені в таблиці 3.6.

Характеристики і розподіли даних випадкових величин приймаються аналогічними, приведеним в попередніх розділах.

Таблиця 3.6 - Характеристики надійності найбільш відповідального елемента конструкції при комплексному обліку ряду випадкових величин

№ схеми	Експериментальні значення		Нормативні значення (ДБН)	
	$\beta$	Pf	$\beta_1^{ex}$	$Pf_1^{ex}$
1	4,47	$0,824 \cdot 10^{-4}$	4,76	$1 \times 10^{-6}$
2	4,49	$0,772 \cdot 10^{-4}$		
3	4,52	$0,835 \cdot 10^{-4}$		
4	4,89	$0,568 \cdot 10^{-6}$		
5	5,01	$0,986 \cdot 10^{-6}$		
6	3,57	$0,378 \cdot 10^{-4}$		
7	3,22	$0,267 \cdot 10^{-4}$		
8	3,08	$0,399 \cdot 10^{-4}$		

Примітка: сірим кольором виділені осередки, в яких вказаний рівень надійності нижче нормативного значення.

Слід відразу відмітити, що вірогідність відмови є імовірнісною величиною і отже може варіюватися. При повторних пересчетах даних вона мала амплітуду розкиду в межах 10-12%. Характеристика безпеки в є стабільнішою величиною, але теж мала розкид в межах 6-8%. Це пояснюється обчисленням характеристики безпеки на підставі обробки двох вибірок : вибірки напруги в найбільш відповідальному елементі і вибірки випадкового значення межі плинності матеріалу конструкції.

Аналізуючи дані приведені в таблиці 3.6 однозначно можна сказати, що комплексний облік стохастичних величин дає більше значення вірогідності відмови, чим кожній окремо.

Отримані в ході чисельного експерименту значення характеристик безпеки порівнянні з нормативними [32], але у більшості варіантів (1-3, 6-8) не задовольняють вимоги надійності, висуненим до покриттів над трибунами стадіонів як до конструкцій, у разі обвалення яких можуть бути великі фінансово-економічні, а також, людські втрати.



### 3.8 Висновки по розділу

Аналізуючи дані отримані за результатами чисельного експерименту по розділу 3 можна зробити ряд висновків :

1. За результатами випробування сталевих зразків гнуто-зварних труб двох виробників, було виявлено невідповідність реальних фізико-механических характеристик матеріалу нормативним значенням. За результатами випробування сталевих зразків гнуто-зварних труб на розрив сформована реальна статистична інформація про прочностных властивостей чотирьох типоразмеров (60x40x3, 100x100x3, 100x60x30, 120x60x3) металопрокату у вигляді гнутих замкнутих зварних труб. Реальні прочностные характеристики металопрокату відрізняються від приведених в нормативній літературі (до 10%), що може призводити до перенапруження перерізу і руйнування елемента.Ця проблема розв'язана. Шляхом використання реальних стохастичних значень прочностных характеристик в чисельних розрахунках рамно-консольних конструкцій з використанням прямих методів теорії надійності реалізованих в програмному комплексі на мові програмування MATLAB.

2. При випробуванні зразків на розрив, згаданих в п. 1 справжніх висновків, був відсутній характерний майданчик плинності. Це явище може бути пояснене тим, що майданчик плинності вичерпується процесі переділу листової заготовлі в прямокутну форму, проте відмічений ефект вимагає окремого додаткового вивчення і обґрунтування.

3. Аналіз випадкових величин геометричних характеристик досліджених перерізів, а так само прочностных властивостей дослідженого металопрокату двох українських виробників («Луганський трубний завод» і «ПАО Дніпропетровський металургійний завод ім. Комінтерну»), дозволяє стверджувати, що вони підкоряються нормальному закону розподілу, що доведено за допомогою проведення X2- тесту (*Microsoft Excel 2010*). При

цьому встановлено, що розподіл кожної з випадкових величин відрізняється від нормального не більше, ніж на 5%.

4. Комплексний і приватний облік таких стохастичних величин як прочностные властивості металопрокату, початкова геометрична недосконалість прокату, снігове навантаження, податливість підстави (просіла) і геометрична недосконалість, отримані конструкцією на монтажі; дозволяє оцінити вплив кожного окремого чинника на загальну надійність системи. Шляхом аналізу вірогідності відмови окремо розглянутого чинника встановлено, що найбільший вплив на надійність робить снігове навантаження, і далі (в порядку убутання) податливість підстави і геометрична недосконалість, отримані на монтажі, початкова геометрична недосконалість прокату.

5. Аналіз показників надійності розглянутих конструктивних схем, запроектованих відповідно до вимог нормативних документів у рамках розрахунку по граничних станах, показує, що такий підхід у більшості випадків не забезпечує необхідного рівня надійності унікальних конструкцій, якими є стаціонарні сталеві рамно-консольні покриття над трибунами стадіонів. Отже, можна зробити висновок про необхідність застосування прямих методів теорії надійності для підбору перерізів елементів конструкції, визначення показників надійності з подальшим уточненням відповідних значень приватних коефіцієнтів надійності.

## РОЗДІЛ 4

### ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ТЕХНОГЕННА БЕЗПЕКА

#### 4.1 Техніка безпеки при проведенні монтажних робіт

Безпечне виконання заготівельних і монтажних робіт вимагає строгого дотримання працівниками правил техніки безпеки. Кожний працівник повинен добре знати й виконувати безпечні приймання роботи. Виробничий травматизм відбувається внаслідок ряду причин:

- неправильна організація робіт, допущення до роботи осіб, що не одержали інструктажу з безпечного її виконання;
- відсутність або несправність огорожень і запобіжних обладнань;
- несправний стан інструмента і пристосувань;
- неправильне обслуговування встаткування і механізмів;
- зневага працівниками заходами обережності

При користуванні вантажопідйомними механізмами необхідно строго дотримувати наступних правил:

- не можна застосовувати вантажопідйомні механізми, розраховані на вагу, менший чому вага вантажу, що піднімається;
- вантажопідйомні механізми повинні мати справно діючі гальма, у зубчастих і черв'ячних передачах не повинне бути ніяких ушкоджень;
- вантажопідйомні механізми повинні бути атестовані відповідним порядком, експлуатація механізмів без атестації або із простроченим строком чергової атестації заборонена;
- при переміщенні ваг не можна перебувати під вантажем, а також у місцях, де може виявитися вантаж у випадку обриву троса

При користуванні слюсарним інструментом необхідно дотримувати наступних правила техніки безпеки:

- забороняється користуватися інструментом несправним або не

відповідним до виконуваної роботи;

- бойки молотків і кувалд повинні мати гладку, злегка опуклу поверхню; і молотки й кувалди повинні бути міцно насаджені на рукоятки й закріплені на них клинами;

- при роботі трубними й гайковими ключами не допускається надягати відрізки труби на ручки ключів і застосовувати металеві підбивки під губки ключів

При користуванні електроінструментом необхідно строго дотримувати правил техніки електробезпеки:

- неприпустимо працювати близько струмоведучих частин, не захищених огороженнями, кожухами;

- металеві кожухи, електродвигуни, електродрилі, металеві частини пускових приладів, верстатів і інших обладнань, які можуть виявитися під напругою у випадку ушкодження ізоляції, повинні бути заземлені;

- проведення, що проводять електрострум до зварювального апарата й від зварювального апарата до місця зварювання, повинні бути ізольовані і захищені від дії високих температур і механічних ушкоджень

При проведенні зварювальних робіт необхідно:

- закривати особа спеціальними щитками, для того щоб захистити очі від шкідливої дії світлового й невидимого ультрафіолетового й інфрачервоного випромінювання;

- для усунення причин, що сприяють виникненню пожеж при проведенні зварювальних робіт, необхідно ретельно захищати дерев'яні й інші легко займисті частини й конструкції будинків від запалення листовим азбестом;

- після закінчення зварювальних робіт слід ретельно перевіряти приміщення й зону, де проводилися зварювальні роботи, і не залишати відкритого полум'я й тліючих предметів.

## 4.2 Вимоги пожежної безпеки для зовнішнього утеплення фасадів

В Україні для зовнішнього утеплення фасадів широко використовують пінополістирол. Відомі факти підміни більш дорогого мінераловатного утеплювача або екструдованого пінополістиролу на звичайний бісерний “термоударний” пінополістирол на вже існуючих об’єктах без заміни проектної документації та проведення необхідних розрахунків. При цьому задля більшої економії замість пінополістирольних плит марки хоча б П25 - П35 використовується “пакувальний” пінополістирол марки ПП5.

Само по собі застосування пінополістиролу в якості зовнішнього утеплення не є “злочином”, але в реальних умовах при зовнішній теплоізоляції будинків пінополістиролом спостерігається масове порушення нормативних вимог, що може призвести до незадовільного температурного та вологісного режиму приміщень взимку та наявності теплових відмов огорожень.

Розглянемо вимоги, які висуваються вітчизняними нормативними документами до зовнішнього утеплення пінополістиролом, і фактичну ситуацію з цього приводу.

Основним документом, що регламентує питання застосування, проектування, улаштування та експлуатації конструкцій зовнішнього утеплення є ДБН В.2.6-33:2008 «Конструкції будинків і споруд. Конструкції зовнішніх стін із фасадною теплоізоляцією. Вимоги до проектування, улаштування та експлуатації». Цей нормативний документ є основоположним у системі нормативів, що зараз розробляється, в яких встановлюються основні конструктивні принципи проектування фасадної теплоізоляції будинків та вимоги безпеки.

Основною вимогою безпеки, що регламентує застосування пінополістиролу для зовнішнього утеплення, є вимоги пожежної безпеки.

Згідно з ДБН В.2.6-33:2008 матеріали груп горючості Г1, Г2 (до яких відноситься пінополістирол) можуть застосовуватись тільки в системах зовнішнього утеплення з опорядженням штукатурками та з опорядженням цеглою. Застосування пінополістиролу в конструкціях вентиляованого фасаду з опорядженням індустриальними елементами та в системах з світлопрозорим опорядженням не допускається. А насправді: існують об'єкти багатоповерхових житлових будинків з навісними вентиляованими фасадами, в яких в якості утеплювача використовується пінополістирол.

Нормативні вимоги до такого типу конструкцій встановлені в ДСТУ Б В.2.6-36:2008 «Конструкції будинків і споруд. Конструкції зовнішніх стін із фасадною теплоізоляцією та опорядженням штукатурками. Загальні технічні умови».

#### **4.3 Вимоги утримання будівель, приміщень та споруд**

Усі будівлі, приміщення і споруди повинні своєчасно очищатися від горючого сміття, відходів виробництва і постійно утримуватися в чистоті. Терміни очищення встановлюються технологічними регламентами або інструкціями.

У разі реконструкції, перепланування, капітального ремонту приміщень, будинків та інших споруд, їх технічного переоснащення як зі зміною, так і без зміни функціонального призначення, необхідно виконувати протипожежні вимоги, визначені нормативно-правовими документами в галузі будівельного, технологічного проектування та чинними правилами.

Приступати до виконання вищевказаних робіт дозволяється лише за наявності проектної документації, яка пройшла попередню експертизу на відповідність нормативно-правовим актам з питань пожежної безпеки з позитивним результатом в органах державного пожежного нагляду.

Протипожежні системи, установки, устаткування

приміщень, будівель та споруд (протидимовий захист, пожежна автоматика, протипожежне водопостачання, протипожежні двері, клапани, інші захисні пристрої у протипожежних стінах і перекриттях тощо) повинні постійно утримуватися у справному робочому стані.

Отвори у протипожежних стінах, перегородках та перекриттях повинні бути обладнані захисними пристроями (протипожежні двері, вогнезахисні клапани, водяні завіси тощо) проти поширення вогню та продуктів горіння.

Не допускається встановлювати будь-які пристрої, що перешкоджають нормальному зачиненню протипожежних та протидимних

дверей, а також знімати пристрої для їх самозачинення.

У разі перетинання протипожежних перешкод

(протипожежних стін, перегородок, перекриттів), інших конструкцій з нормованими межами вогнестійкості різними комунікаціями зазори (отвори), що утворилися між цими конструкціями та комунікаціями, повинні бути наглухо зашпаровані негорючим матеріалом, який забезпечує межу вогнестійкості та димогазонепроникнення, що вимагається будівельними нормами для цих перешкод.

Дерев'яні конструкції в будинках усіх ступенів

вогнестійкості, крім V, повинні піддаватися вогнезахисній обробці, за винятком вікон, дверей, воріт, підлоги, вбудованих меблів, стелажів, якщо в будівельних нормах не зазначені інші вимоги. Пошкодження вогнезахисних покриттів (штукатурки, спеціальних фарб, лаків, обмазок тощо) будівельних конструкцій, горючих оздоблювальних і теплоізоляційних матеріалів, повітроводів, металевих опор та перегородок повинні негайно усуватися.

Після виконання вогнезахисних робіт підрядною організацією за участю замовника має бути складений акт про виконані роботи. Після закінчення термінів дії обробки (просочення) та у разі втрати або погіршення вогнезахисних властивостей обробку (просочення) треба повторити. Перевірку стану вогнезахисної обробки (просочення) слід проводити не



менше одного разу на рік зі складанням акта перевірки.

Для всіх будівель та приміщень виробничого,

складського призначення і лабораторій повинна бути визначена категорія щодо вибухопожежної та пожежної небезпеки згідно з вимогами ОНТП 24-86 "Определение категорий помещений и зданий по взрывопожарной и пожарной опасности", а також клас зони за ДНАОП 0.00-1.32-01( v0272203-01 ) "Правила будови

електроустановок. Електрообладнання спеціальних установок", у тому числі для зовнішніх виробничих і складських діляниць, які необхідно позначати на вхідних дверях до приміщення, а також у межах зон усередині приміщень та ззовні.

Визначення категорії будівель та приміщень за вибухопожежною та пожежною небезпекою на стадії проектування повинно проводитися розробником технологічного процесу згідно з вимогами ОНТП 24-86 "Определение категорий помещений и зданий по взрывопожарной и пожарной опасности". Для діючих підприємств категорії за вибухопожежною та пожежною небезпекою можуть визначатися технологами самих підприємств або організаціями, що мають відповідних фахівців.

Вибухопожежонебезпечні приміщення у багатоповерхових будівлях повинні розміщуватися біля зовнішніх стін верхніх поверхів.

У підвальних та цокольних поверхах не допускається:

Розміщення вибухопожежонебезпечних виробництв,

зберігання та застосування ЛЗР і ГР, вибухових речовин, балонів з газами, целулоїду, горючої кіноплівки, карбіду кальцію та інших речовин і матеріалів, що мають підвищену вибухопожежну небезпеку (за винятком випадків, обумовлених чинними нормативно-правовими документами).

4Улаштування (за винятком індивідуальних житлових та дачних будинків) складів горючих матеріалів, майстерень, де використовуються

горючі матеріали, а також інших господарських приміщень, якщо вхід до них не ізолюваний від загальних евакуаційних сходових кліток.

Не дозволяється використовувати горища, технічні поверхи й приміщення (у т.ч. вентиляційні камери, електрощитові) під виробничі ділянки, для зберігання продукції, устаткування, меблів та інших предметів, для влаштування голуб'ятень тощо.

Двері горищ, технічних поверхів, вентиляційних камер, електрощитових, підвалів повинні утримуватися зачиненими. На дверях слід вказувати місце зберігання ключів. Вікна горищ, технічних поверхів, підвалів повинні бути засклені.

Прямки віконних прорізів підвальних і цокольних поверхів треба регулярно очищати від горючих відходів виробництва, сухого листя, трави тощо. Не допускається зачиняти їх наглухо, а також захаращувати або закладати віконні прорізи.

У житлових, громадських і адміністративно-побутових будинках не дозволяється розміщувати магазини та склади товарів побутової хімії, ЛЗР, ГР, вогнебезпечних (горючих) речовин і матеріалів (фарб, розчинників, лаків, пороху тощо), балонів з газом, майстерні та інші приміщення з категорією за вибухопожежною небезпекою А і Б.

Стаціонарні зовнішні пожежні сходи, сходи на перепадах висот і огорожі на дахах (покриттях) будівель та споруд повинні втримуватися постійно справними, бути пофарбованими.

У разі необхідності встановлення на вікнах приміщень, де перебувають люди, ґрат, останні повинні розкриватися, розсуватися або зніматися. Під час перебування в цих приміщеннях людей ґрати мають бути відчинені (зняті).

Установлювати глухі (незнімні) ґрати дозволяється у квартирах, банках, касах, складах, коморах, кімнатах для зберігання зброї і боєприпасів, на об'єктах торгівлі, розрахованих на одночасне перебування до 50 осіб, та в інших випадках, передбачених нормами і правилами, затвердженими в

установленому порядку.

У будівлях, приміщеннях, спорудах забороняється:

прибирати приміщення і прати одяг із застосуванням бензину, гасу та інших ЛЗР та ГР, а також відігрівати замерзлі труби паяльними лампами та іншими засобами із застосуванням відкритого вогню;

розкидати й залишати неприбраними промаслені обтиральні матеріали. Їх необхідно прибирати в металеві ящики, щільно закривати кришками і після закінчення роботи видаляти з приміщення у спеціально відведені за межами будівель місця, забезпечені негорючими збірниками з кришками, які щільно закриваються.

Для індивідуального захисту обслуговуючий персонал підприємств, де в технологічних процесах використовуються легкозаймисті, горючі рідини або гази, повинен бути забезпечений комплектом спеціального термозахисного одягу. Спецодяг повинен завчасно пратися та ремонтуватися, зберігатися у розвішеному вигляді в металевих шафах, установлених у спеціально відведених для цього приміщеннях.

Під час організації і проведення заходів з масовим перебуванням людей слід дотримуватись таких вимог:

при кількості людей понад 50 осіб використовувати приміщення, забезпечені не менш як двома евакуаційними виходами, що відповідають вимогам будівельних норм, не мають на вікнах глухих ґрат і розташовані не вище другого поверху в будівлях з перекриттями з горючих матеріалів, групи горючості ГЗ, Г4 згідно з ДСТУ Б В.2.7-19-95 "Матеріали будівельні. Методи випробування на горючість";

особи, яким доручено проведення таких заходів, перед їх початком зобов'язані ретельно оглянути приміщення і переконатись у повній готовності останніх у протипожежному відношенні, у тому числі в забезпеченості потрібного кількістю первинних засобів пожежогасіння, справності засобів зв'язку, пожежної автоматики і сигналізації;

повинно бути організоване чергування на сцені та у приміщеннях залів членів ДПД або працівників місцевої пожежної охорони об'єкта чи відповідальних чергових;

не дозволяється заповнення приміщень людьми понад установлену норму, зменшення ширини проходів між рядами, установка в проходах додаткових крісел, стільців тощо, повне відключення під час спектаклів або вистав світла, використання віконниць для затемнення, проведення вогневих, фарбувальних та інших пожежо- і вибухонебезпечних робіт, застосування дугових прожекторів, свічок, бенгальських вогнів, відкритого вогню, феєрверків, а також включення в програму (сценарій) номерів (вистав) з використанням вогневих ефектів і паління.

На вимогу органів державного пожежного нагляду здійснюються й інші (додаткові) протипожежні заходи.

## ВИСНОВКИ

1. На підставі виконаних теоретичних і експериментальних досліджень досягнута основна мета роботи, що полягає в аналізі методики розрахунку і проектування стаціонарних рамно-консольних сталевих шарнірно-стержневих конструкцій покриттів над трибунами стадіонів, що базується на визначенні чисельних показників надійності проекрованої конструкції.

2. На основі методу кінцевих елементів в геометрично і конструктивно нелінійній постановці використана методика визначення послідовності руйнування конструкції (виходу з ладу її основних конструктивних елементів), на підставі якої визначається група найбільш відповідальних елементів, надійність яких і визначає надійність системи в цілому.

3. На основі методу кінцевих елементів в імовірнісній постановці проаналізована методика обчислення верхньої і нижньої межі надійності конструкції, а так само максимального і мінімального значення характеристики безпеки  $\beta$  (дальності відмови) найбільш відповідальної групи елементів конструкції, які і характеризує надійність системи в цілому :

4. Проаналізована методика оцінки запасу живучості рамно-консольних конструкцій покриттів над трибунами стадіонів, що дозволяє оцінювати можливість розвитку лавиноподібного руйнування системи, що базується на зміні індексу дальності відмови  $\Delta\beta$ . При цьому, зміна  $\Delta\beta < 2$  при порівнянні рівнів надійності 1-го (найбільш напруженого) елемента і групи 8.10 (найбільш напружених) елементів свідчить про настання в досліджуваних рамно-консольних конструкціях стану, передування лавиноподібному руйнуванню.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Авакян В. В. Прикладна геодезія: технологія інженерногеодезических робіт. - 2-е видавництво - М.: Инфра-інженерія, 2016. - 588с.
2. Айзен, А.М. До імовірнісної оцінки снігового навантаження  
Текст. / А.М. Айзен, Д.М.Ротштейн // Будівельна механіка і розрахунок споруд. -М., 1981.- №5.-С.7-9.
3. Ананьин А.И., Аверин А.Н. До розрахунку гнучких і жорстких ниток // Дослідження висячих комбінованих конструкцій. - Видавництво ВГУ, 1980. - С. 7-12.
4. Андреева И.И., Москалев Н.С. Аварія висячого покриття велотреку в Мілані // Просторові конструкції в новому будівництві і при реконструкції будівель і споруд. Тез. докл. междун. конгресу МКПК- 98. М., 1998.Т. 2.-С. 81-85.
5. Аугусти Г., Баратта А., Кашиатти Ф. Імовірнісні методи у будівельному проектуванні. - М.: Стройиздат, 1988. - 584 с.
6. Балдин В. А., Гольденблат И.И., Коченов В. І., Пильдиш М.Я., Таль К.Э. Розрахунок будівельних конструкцій по граничних станах. М.: Строиздат, 1951, 272 с.
7. Беленя Е.И, Стрілецький Н.Н., Ведеников Г. С., Клепиков Л.В., Морачев- ский Т. Н. Металеві конструкції / Спец. Курс: Навчальний посібник для внз. - М.: Стройиздат, 1991г. - 687с.
8. Беляев Б.И., Корниенко В. С. Причини аварій сталевих конструкцій і способи їх усунення. - М.: Смройиздат, 1968. - 206 с.
9. Болотин В. В. Методи теорії вірогідності і теорій надійності в розрахунках споруд . -М.:Стройиздат, 1982; 351с.
10. Болотин В. В. Застосування методів теорії вірогідності і теорії надійності в розрахунках споруд. - М.: Стройиздат, 1971. - 256 с.
11. Ведеников Г. С., Телоян А.Л. Нелінійний метод розрахунку

изгибно- жесмтких вант / Будівельна механіка і розрахунок споруд. - 1997. - №6 - с.4750.

12. Гаранжа І. М. Експериментальні дослідження багатогранних композитних конструкцій на основі бетону, що самоуплотнюючогося, при осьовому стискуванні [Текст] / І. М. Гаранжа, А. В. Танасогло, А. А. Ягмур, С. А. Фоменко, А. Н. Орже- ховский // Сучасне промислове і цивільне будівництво/ 2015, Том 11, Номер 2, 45-55с.

13. Гвоздев А.А. Нове проектування бетонних ти залізобетонних конструкцій / Москва / Строиздат - 1978г. 204с.

14. Гвоздев А.А. Розрахунок здатності конструкцій, що несе, по методу граничної рівноваги / Державне видання будівельної літератури. / Москва. - 1949г. 280с.

15. Гвоздев А.А., Краківський М.Б., Бруссер М.И., та ін. Зв'язок статистичного контролю міцності бетону з надійністю залізобетонних конструкцій // Бетон і залізобетон. - 1985.- №3. - с. 37-39.

16. Гмурман В. Е. Теорія вірогідності і математична статистика : Навчальний посібник для вnz. Видавництво 7-е, стереотипне. - М.: Вища школа, 2000. - 479с.

17. Гольдинблат І. І. Проектування сейсмостійких гідротехнічних транспортних і спеціальних споруд / Москва / Строиздат - 1971г. 230 с.

18. Горохів Е. В., Мущанов В. Ф., Кинаш Р. І., Шимановский А. В., Лебе- дич І. Н. Конструкції стаціонарних покриттів над трибунами стадіонів (2-е видання, виправлене і доповнене) / Під загальною редакцією Е. В. Горохова і А. В. Шимановского. - Макіївка, РІО ДонНАСА, 2008. - 404 с.

19. Горохів Е.В., Мущанов В. Ф., Касимов В. Р. Конструкції стаціонарних покриттів над трибунами стадіонів. Макіївка, «НордКомпьютер», 2002г

20. Горохів Е.В., Мущанов В. Ф., Корольов В. П. Забезпечення надійності вкливопролітних покриттів мембранного типу / Изв. вnz. Будівництво - №8, 1996. - С. 31 - 35.



21. Горохів Е.В., Мущанов В. Ф., Левин В. М., Мнацаканян К.Б., Касимов В. Р. Основні принципи формування системи моніторингу технічного стану покриття над трибунами стадіонів./ Збірник наукових праць Українського науково- дослідного та проектного інституту сталевих конструкцій імені В. М. Шимановського. - Випуск 5, 2010 р.- С. 5-14.
22. ГОСТ 1497-84 Метали. Методи випробування на розтягування; ИПК видавництво стандартів; Москва 1986; 40 с.
23. ГОСТ 21014-88 Термінів і визначення дефектів поверхні // Государственный комитет СРСР із стандартів. Видавництво стандартів. Москва 1989.  
С. 61.
24. ГОСТ 21780-2006. Система забезпечення точності геометричних параметрів у будівництві. Розрахунок точності. - М.: МГС. - 13 с.
25. ГОСТ 27.002-89. Надійність в техніці. Основні поняття. Терміни і визначення. / Надійність в техніці: Сб. Гостів. -М.: ИПК Видавництво стандартів, 2002.
26. ГОСТ 27751-2014 Надійність будівельних конструкцій і підстав. Основні положення // М.: Стандартиформ, 2015. - 50с.
27. ГОСТ 27772-2015 Прокат для будівельних сталевих конструкцій. Загальні технічні умови // Міждержавний стандарт / Стандартиформ. Москва 2016. С. 19.
28. ГОСТ 30245-2003 Профілі сталеві гнуті замкнуті зварні квадратні і прямокутні для будівельних конструкцій. Технічні умови // Міждержавний стандарт/ Міждержавна науково-технічна комісія із стандартизації, технічного нормування і сертифікації у будівництві. Москва 2003. С. 30.
29. ГОСТ 8645-68 Труб сталевих прямокутних. Сортамент.; Міждержавний стандарт; ИПК видавництво стандартів; Москва 1991; 10 ст.
30. Грудев І. Д., Філіпов В. В., Корнілов Т. А., Риків А. В. Визначення нормативних і розрахункових значень снігових навантажень //

Пром. і гражд. стр-во. 2007.-№4-С. 39

31. Гунст И.А. Про перекриття великої спортивної арени центрального стадіону в Лужниках / Просторові конструкції будівель і споруджень покриття результати роботи науково технічної конференції - Москва-Білгород, 1998. - С. 193-202.

32. ДБН В 1.2-14-2009. Загальні принципи забезпечення надійності та конструктивної безпеки будівель, споруд, будівельних конструкцій та основ [Текст]. - Відведене вперше (зі скасуванням в Україні ГОСТ 27751, СТ СЭВ 3972-83, СТ СЭВ 3973-83, СТ СЭВ 4417-83, СТ СЭВ 4668-84); чинні з 2009-12-01. - Київ: Мін - регіонбуд України, 2009. - 49 с.

33. ДБН В. 1.2-2:2006 «Навантаження і дії. Норми проектування»; Минстрой. України; Київ 2006; 80 ст.

34. ДБН В. 2.6-163:2010 «Сталеві конструкції. Норми проектування, виготовлення і монтажу»; Мінрегіонбуд України; Київ 2011; 202 ст.

35. Добромыслов А.Н. Аналіз аварій промислових будівель і інженерних споруд. ; Промислове будівництво, 1990, №9, с.9- 10.

36. Добромыслов А.Н. Помилки проектування будівельних конструкцій : Наукове видання. - М.: Видавництво Асоціації будівельних ввз, 2007. - 184 с.

37. Еремеев П. Г. Особливості проектування унікальних вкливопротитних будівель і споруд. / Москва, ЦНИИСК ім. В. А. Кучеренко, 2006.

38. Золина Т. В., Садчиків П. Н. Моделювання снігового навантаження на покриття промислової будівлі [Текст] / Т. В. Золина, П. Н. Садчиків // Проектування і конструювання будівельних систем. Проблеми механіки у будівництві. Вісник Московського державного будівельного університету : сб. наукових робіт. / МГСУ. - Москва, 2016 - Вып. 8/2016, Том 1. - С. 25-33.

39. Зусман Л.Л. Про оцінку якості металопрокату // Сталь. 1976. №6. С. 549-552.

40. Кінаш Р. І., Бурнаєв О. М. Снігове навантаження в Україні. Монографія. - Львів: Видавництво науково-технічної літератури, 1997. - 848 с.
41. Клепиков С. Н., А.С. Трегуб, И.В. Матвеев. Розрахунок будівель і споруд на ґрунтах просадчиків. - До.: Будівельник, 1987. - 200 с.
42. Колесніков, Г. Н. Про облік випадкових відхилень довжин стержнів від проектних розмірів при розрахунку ферм [Текст] / Г. Н. Колесніков ; Петро заводський державний університет. - Петрозаводськ, 1985. - 15 с. - Деп. у ВИНТИ 07.06.85, № 397885. 7.
43. Корнілов, Т. А. Про введення територіальних будівельних норм по снігових навантаженнях Текст. / Т. А.Корнілов, А.Т.Копылов, А.В.Рыков // Проблеми градосфери і ризик стихійних катастроф.- Якутськ, 1997.- С. 62-64.
44. Краснощеков Ю. В., Заполева М. Ю. Імовірнісне проектування конструкцій по заданому рівню надійності / Ю. В. Краснощеков, М. Ю. Заполева / Вісник СибАДИ, випуск 1 (41), 2015.- С. 68-73.
45. Крилов И.И., Шевцов Ю.П. Класифікація причин відмов сталевих конструкцій виробничих будівель і споруд.; Вісті ВНЗ. Будівництво і архітектура, 1983, №11, с. 16-19.
46. Кудзис А.П. Оцінка надійності залізобетонних конструкцій. Вільнюс, Москва, 1985.-156 с.
47. Маневич В. А., Глущенко В. Г., Галаєв И.П. Про оцінку якості металопрокату // Сталь. 1977. №6. С. 556-559.
48. Мельчаков А.П., Чебоксаров Д.В. Прогноз, оцінка і регулювання ризику аварії будівель і споруд : теорія, методологія і інженерні застосування. Челябінськ: Видавництво ЮУрГУ, 2009. 111 с.
49. Металеві конструкції. Загальний курс [Текст] : Підручник для вnz / Е. І. Беленя, В. А. Балдин, Г. С. Веденников та ін.; Під общ. ред. Е. І. Беленя. — М. : Стройиздат, 1986. — 560 с.
50. Мущанов В. Ф. Дійсна робота і надійність мембранних

конструкцій : Дисс.д-ра техн. наук: 05.23.01. - Одеса, 1997. - 390 с.

51. Мущанов В. Ф. Методи обліку дійсної роботи і визначення системи приватних коефіцієнтів надійності для вкливопролітних покриттів мембранного типу // Просторові конструкції будівель і споруд : (дослідження, розрахунок, проектування і застосування) : Сб. статей. Вып.8 / Асоціація «Просторові конструкції»; БелГТАСМ; гл.редактор Г. До. Хайдуков. - М.- Білгород: Видавництво БелГТАСМ, 1996. - С. 136-141.

52. Мущанов, В. Ф. Визначення траєкторії руйнування конструкцій над три-бунами стадіонів на прикладі стадіону «Металург» в місті Донецьк [Текст] / В. Ф. Мущанов, А.Н. Оржеховский // Вісник ДонНАБА. - Макіївка: ДонНАБА, 2012. - Вип. 2012-3(95). - С. 40-43.

53. Мущанов, В. Ф. Експериментальне дослідження прочностних і геометричних характеристик гнучо-зварних труб прямокутного перерізу українських про-изводителів [Текст] / В. Ф. Мущанов, А.Н. Оржеховский // Вісник Дон- НАБА. - Макіївка: ДонНАБА, 2013. - Вип. 2013-3(101). - С. 9-12.

54. Мущанов, В. Ф. Чисельне визначення вірогідності відмови сталевого стержня, що згинається [Текст] / В. Ф. Мущанов, И.М. Гаранжа, А.Н. Оржеховский // Металеві конструкції. - 2017. - Том 23, № 1. - С. 15-23. - [Електронний ресурс] . - Режим доступу : [http://donnasa.ru/publish-house/journals/mk/2017-1/02\\_mushchanov\\_garanzha\\_orzhekovskiy.pdf](http://donnasa.ru/publish-house/journals/mk/2017-1/02_mushchanov_garanzha_orzhekovskiy.pdf)

55. Мущанов В. Ф., Прядко Ю.Н. Загальний алгоритм визначення показників надійності всячого покриття, утвореного жорсткими нитками наскрізного перерізу / В. Ф. Мущанов // Металеві КОНСТРУКЦІЇ. - Т. 18, №3. - 2012. - С. 159-169

56. Мущанов В. Ф., Прядко Ю.Н. Визначення чисельних показників надійності елементів жорсткої нитки наскрізного перерізу методом Монте-Карло / В. Ф. Мущанов // Вісник ДонНАБА - Вип. 2010-4(84). Макіївка. - 2010. - С. 11-14

57. Надійність будівельних конструкцій у світлі вимог європейських і російських нормативних документів по проектуванню / В. В. Надольский,

В.

В. Тур, М. Голицки, М. Сыкора // Вісник Брестського державного технічного університету. Серія: Будівництво і архітектура. - 2013. - №1. - С. 164-168.

58. Новожилов В. В. Основи нелінійної теорії пружності. Сучасні проблеми механіки [Текст] / В. В. Новожилов; під общ. ред. А.И. Лурье і Л.Г. Лойцянского. -Ленинград Москва: ОГИЗ Державне видавництво техникотеоретической літератури. - 1948г. - 214 с.

59. Визначення коефіцієнта перевантаження вертикального навантаження крану на підставі статистичного вивчення роботи кранів в діючих цехах: автореферат дисертації кандидата технічних наук / Би. Н. Кошутин. — Москва, 1961.

60. Отставнов В. А., Смирнов А.Ф., Райзер В. Д., Сухов Ю.Д. Облік відповідальності будівлі і споруд в нормах проектування будівельних конструкцій // Строи- тільна механіка і розрахунок споруд. 1981. № 1. С. 11-14.

61. Оцінка необхідного (цільового) рівня надійності на підставі попереднього досвіду нормування / В. В. Надольский, Ю.С. Мартинов // Вісник Полоцького державного університету. Серія Ф. Прикладні науки. Будівництво: науково-теоретичний журнал / гл. ред. Лазовский Д.Н. - 2014. - № 8. - С. 27-34.

62. Пашинский В. А., Фенко А.Г. Імовірнісний опис максимальних значень снігового навантаження на будівельні конструкції // Шляху підвищення ефективності будівництва : Тематична збірка наукових праць. - До.: 1993. - с. 65-72.

63. Пащенко А.Н. Імовірнісний розрахунок стислих елементів стрительных конструкцій [Текст]: автореф. дис. на соиск. вчений. степ. канд. технич. Наук (05.23.01) / Пащенко Андрій Миколайович; Полтавський національний технічний університет імені Юрія Кондратюка. - Полтава, 2004. -22с.

64. Перельмутер А.В. Обрані проблеми надійності і безпеки

будівельних конструкцій [Текст] / А.В. Перельмутер.- Москва, видавництво АСВ, 2007. - 254 с.

65. Перельмутер А.В. Про оцінку живучості несних конструкцій // Металеві конструкції. Роботи школи професора Н. С. Стрілецького. - М: МГСУ 1995. - С. 62-68.

66. Пичугин С. Ф. Надійність сталевих конструкцій виробничих будівель : Монографія. - Полтава: Видавництво «АСМІ», 2009. - 452 с.

67. Плотникова О. С. Визначення надійності металевих конструкцій у складі будівель і споруд при обмеженій статистичній інформації про контрольовані параметри. / [Текст]: текст дис. на соиск. вчений. степ. канд. технич. Наук (05.23.01) / Плотникова Ольга Серафимівна; Вологодський державний технічний університет. - Вологда, 2008.- 241 з

68. Підвищення довговічності конструкцій промислових будівель / А. І. Кикин, А. А. Васильєв, Би. Н. Кошутин. — Москва, 1969. С. 99.

69. Процес подальшого переділу металу [Текст] Електронний ресурс / Усе про металургію: /<http://metal-archive.ru/metallurgiya/757-process-dalneyshego-peredela-metalla-trubnyu-peredel.html>

70. Райзер В. Д. Теорія надійності у будівельному проектуванні [Текст] / В. Д. Райзер- М.: вид-во АСД, 1998 - 304 стор.

71. Ржаницын А. Р., Сухов Ю. Д., Булычев А. П. Імовірнісний метод розрахунку конструкцій, що сприймають снігове навантаження. //Будівельна механіка і розрахунок споруджень М.: - 1974. - №4. - 40-43 с.

72. Ржаницын, А. Р. Теорія розрахунку будівельних конструкцій на надійність / А. Р. Ржаницын. - М.: Стройиздат, 1978. - 239 с.

73. Роменский, Д.И. Підбір перерізу елементів сталевих рамноконсольних по-критий над трибунами стадіонів з урахуванням вимог надійності [Текст] / Д.И. Роменский, А.Н. Оржеховский // Науково-теоретичний журнал «Вісник БГТУ ім. В. Г. Шухова». - 2017. - №8. - С. 35-46.

74. Руднева И.Н. Методика розрахунку і проектування

вкликпролітної висячої оболонки, що враховує експлуатаційну надійність конструкцій, що захищають, виконаних з углепластиків // Журнал «Металеві конструкції». - Том 9. - №1. Макіївка. - 2006. - С. 5-17.

75. Сахновский М.М., Титов А.М. Уроки аварій сталевих конструкцій. - До.: Будивельник, 1969. - 200с.

76. Смирнов А. Ф., Александров А. В., Лащенков В. Я. Будівельна механіка. Стержневі системи. - М.: Стройиздат. - 1981. - 512 с.

77. Сно В. Е. Вплив геометричних погрешностей збірних каркасів на роботу конструкцій багатоповерхових будівель [Текст] : дис. ... кандидата технічних наук / В. Е. Сно. - М. : ЦНИИСК ім. В. А. Кучеренко, 1981. - 164 с.

78. СП 16.13330.2011 Сталевих конструкцій. Актуалізована редакція СНиП II - 23-81\* (зі Зміною N 1) / Москва 2011 р. 172с.

79. СП 20.13330.2011. Навантаження і дії. Актуалізована редакція СНиП 2.01.07-85\*; введений в дію з 20 травня 2011 р. М. : Минрегион Росії, 2010.

80. Стандартизація металевих матеріалів і виробів металургійного виробництва / Під ред. В. В. Бойцова.- М.: Вид-во стандартів, 1978.392 с.

81. Стеблов А.В. Комплексний показник якості металопрокату і його застосування // Литво і металургія. 2017. №1 (86). С. 97-102.

82. Стрілецький Н. С. Конструкції пролітних будов мостів / Металеві конструкції. Спеціальний курс. — М.: Стройиздат, 1965. — 366 с.

83. Стрілецький Н. С. Обрані праці. Під ред. Е.И. Беленя. М., Стройиздат, 1975. 422 с. Сост.: Е.И. Беленя, Н.Н. Стрілецький, Н.П. Мельников та ін.

84. Таль К.Э. Питання надійності залізобетонних конструкцій за кордоном //Бетон і залізобетон, 1973. - N11. - с. 42-43

85. Тамразян А.Г. Розрахунок елементів конструкцій при заданій надійності і нормальному розподілі навантаження і здатності //, що несе, Вісник МІЛІГРАМА СУ. 2012. № 10. С. 109-115.

86. Теличенко В. І. Технологія зведення будівель і споруд [Текст]:

Підручник для Внз/ В. І. Теличенко, О. М. Терентьева, А.А. Лapidус.- 2-е видання перероблене і Дополненное.-Москва, Высш. шк., 2004 г.-446с.

87. Терещенко Ю.И. Особливості реконструкції обласного спортивного комплексу «Металіст» в м. Харкові / Збірник наукових праць Українського науково- дослідного та проектного інституту сталевих конструкцій імені В. М. Шимановського. - Випуск 5, 2010 Р.-С. 15-24

88. Технологія зведення повнозбірних будівель [Текст]: Підручник/ А.А. Афанасьєв, С. Г. Арутюнов, И.А. Афонин, Ю.А. Вильман, Е.А. Король, Г. До. Соколов, А.М. Тауенис- Вид-во. АСВ, 2000 р.

89. Тимашев С. А. Надійність великих механічних систем / С. А. Тимашев. М.: Наука, 1982. - 184 с.

90. Облік імовірного характеру геометричної недосконалості форми просторових покриттів над трибунами стадіонів рамно-консольного типу. / В. Ф. Мушанов, А. Н. Анненков, А. Н. Оржеховский // Металеві конструкції. Донбасівська національна академія будівництва і архітектури. - 2014. - №3 том 20. - С. 169-178.

91. Фрейдензон М.Е., Соколкин Б.П.,Винокурів И.Я. та ін. До питання комплексної оцінки якості металопрокату // Сталь. 1977. №1. С. 82-84.

92. Фролов Н.Н, Чорних О. Н., Кубенов Р. Т., Будикова А.М. Нормативному рівні надійності гідротехнічних споруд [msuee .ru/ science/ht/10/2004/04\_2/2.11. doc].

93. Хог Э., Чой До., Грудок В. Аналіз чутливості при проектуванні конструкцій// Пер. з англ. — М.: Світ, 1988. — 428 с.: мул.

94. Черкесів Г. Н. Методи і моделі оцінки живучості складних систем. - М.: Знання. 198. - 116с.

95. Чирас А. А. Будівельна механіка. Аналіз і оптимізація стержневих систем пружнопластичності : Конспект лекцій / А. Чирас, Р. Каркаускас, А. Крутинис; Вильн. инж.-строит. ін-т. - Вільнюс: М-во высш. і середовищ. спец. утворення ЛитССР, 1986. - 87, 310с.



96. Шпете Г. Надійність несних будівельних конструкцій [Текст] / Г. Шпете / Пер. з йому. О. О. Андрєєва-м.: Стройиздат, 1998 г.- 288 с.
97. Експериментальне дослідження прочностних і геометричних характеристик гнутосварних труб прямокутного перерізу українських виробників. / В. Ф. Муцанов, А. Н. Оржеховский // Вісник донбасівської національної академії будівництва і архітектури. - 2013. -выпуск 2013-3(101). - С. 9-12.
98. Півднів А. М. Моделювання монтажу просторових стержневих конструкцій / А. М. Півднів, А. б. Бондарев // Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди. - 2013. - Віп. 25. - С. 629-634. - Режим доступу : [http://nbuv.gov.ua/UJRN/rmkbs\\_2013\\_25\\_85](http://nbuv.gov.ua/UJRN/rmkbs_2013_25_85).
99. Півднів А. М. Методика визначення складальних зусиль у вкливопротітній просторовій стержневій системі [Text] / А. М. Півднів, А. б. Бондарев // Металеві конструкції. - 2013. - Том 19, № 3. - С. 137-142.
100. Півднів А. М. Чисельне статистичне дослідження можливих погрішностей зведення однопоясної металевої оболонки покриття циліндричної форми [Text] / А. М. Півднів, А. б. Бондарев // Збірка доповідей науково практичної конференції, присвяченою 100летию з дня народження професора Е. І. Бе ліні «Розрахунок і проектування металевих конструкцій». 25 березня 2013 року, м. Москва / під. ред. А. Р. Туснина. - Москва: МГСУ, 2013. - С. 247-251.
101. Ярыгина О. В. Методи розрахунку надійності залізобетонних конструкцій у складі будівель і споруд при обмеженій статистичній інформації. / [Текст]: текст дис. на соиск. вчений. степ. канд. технич. Наук (05.23.01) / Ярыгина Ольга Валентинівна; Волгоградський державний архітектурно-будівельний університет.- Волгоград, 2013.- 157 с.
102. Bae, H.; Grandhi, R.; Canfield, R. Sensitivity analysis of structural response uncertainty propagation using evidence theory. In: Proc.of 9. th AIAA, Atlanta, Georgia, USA, September 2002.- P. 1. - 11.
103. Donova, D., Zdrzilova, N., The comparison of the probabilistic

calculation of course of temperatures in peripheral construction with actual measured data. *Advanced Materials Research*, 1041:154- 157, 2014. DOI: 10.4028/www.scientific.net/AMR. 1041.154.

104. EN 1991-1-3. Eurocode 1: Actions on structures. CEN, 2003, 48 p. 42. 104

105. Eurocode - Basis of structural design: EN 1990:2002+A1. - Brussels: Management Centre, 2002. - 116 c. - (European Standard).

106. Feth Th., Oberguggenberger M. Propagation of uncertainty through multivariate functions in the framework of sets of probability measures // *Reliability Engineering and System Safety*, 2004/ Vol. 85, N 1-3. P. 73-87.

107. Janas P., Krejsa, M., Krejsa V., Bris R., Structural reliability assessment using Direct Optimized Probabilistic Calculation with respect to the statistical dependence of input variables. In: *Proceedings of 25th European Safety and Reliability Conference (ESREL 2015) : Safety and Reliability of Complex Engineered Systems*. CRC Press : Taylor & Francis Group, 2015. ISBN 978-1-138-02879-1.

108. Kovalenko L., Popov N., Radchenko V. Solution of the plane stochastic creep boundary value problem // *Journal of Applied Mathematics and Mechanics*. 2009. Vol. 73, no. 6. Pp. 727-733.

109. Krejsa M., Janas P., Krejsa V., Application of the DOProC Method in Solving Reliability Problems. *Applied Mechanics and Materials*, 821:717- 724, 2016. DOI: 10.4028 /www.scientific.net/AMM. 821.717.

110. Michael Havbro Faber . *Statistics and Probability Theory/ M. H. Faber.- Swiss Federal Institute of Technology ETH, Zurich, Switzerland. 2012.- pp. 129-142.*

111. Mushchanov, V. Accounting for the probabilistic nature of geometric imperfections form spatial coatings on the stands braced - cantilever type [Текст] / V. Mush - chanov, A. Annenkov, A. Orzhekovskiy // *Металеві конструкції*. - 2014. - Том 20, №3. - С. 169-178.

112. Penmetsa R.; Grandhi R.: Efficient estimation of structural reliability

for problems with uncertain intervals. *International Journal of computers and Structures*, 80(2002) March. P 1103-1112.

113. Rackwitz R. Reliability Analysis Past, Present and Future // 8 - th ASCE Specialty Conference on Probabilistic Mechanics and Structural Reliability, Indiana, July 2026, 2000.

114. Yubin, L.; Zhong, Q.; Guangyuan, W.: Fuzzy random reliability of structures based on fuzzy random variables. *Fuzzy Sets and Systems*, 86 (1997), 345-355.

115. Oehme P. SclicAlen an Sthahltrawerken : Statistische Schadensanalyse unter Deachtung juristischer Aspekte.— Berlin : Bauinformation, 1990, — 40 s.

## ВІДГУК

керівника кваліфікаційної роботи

здобувача рівня вищої освіти «другий (магістерський)»

Акіл Аюб  
(П.І.Б.)

Кваліфікаційна робота на тему: «Надійність покриттів трибун стадіонів на стадіях проектування та експлуатації».

Викона згідно до завдання, відповідає темі, містить мультипрезентація листів графічного матеріалу і пояснювальну записку з 114 сторінок, підписана консультантами і має рецензію.  
(не) згідно (не) відповідає

1. Актуальність теми, наявність замовлення роботи підприємством (організацією) \_\_  
Слід визначити, що тема магістерської роботи є актуальною тому що розробки методики обчислень характеристик безпеки конструкцій стаціонарних рамно-консольних покриттів над трибунами стадіонів є однією з головних складових підвищення надійності функціонування спортивних споруд.

2. Глибина обґрунтувань прийнятих рішень (повнота розрахунків, наявність багатоваріантності) \_\_\_\_\_

У кваліфікаційній роботі наведені сучасні методи розрахунку і проектування сталевих стержневих рамно-консольних покриттів над трибунами стадіонів на основі чисельного визначення показників надійності з урахуванням мінливості значимих проектних і експлуатаційних чинників.

3. Загальний рівень підготовки та ерудиції здобувача ступеня вищої освіти «магістр»  
відповідає прийнятним вимогам

4. Творчий потенціал і ступінь самостійності студента у вирішенні поставлених задач  
на достатньому професійному рівні

5. Науковий рівень (для робіт дослідницького характеру) та глибина експериментальних досліджень виконано у повному обсязі та відповідає вимогам

6. Застосування сучасних системних та інформаційних технологій, фізичного або математичного моделювання, наявність обґрунтування вибору типу ЕОМ, застосування стандартних та оригінальних програм, наявність аналізу результатів та їх використання у

роботі кваліфікаційна робота магістра виконана за допомогою сучасних комп'ютерних технологій та сучасних нормативних документів

7. Відповідність оформлення до вимог діючих стандартів оформлено згідно норм та стандартів

8. Дотримання студентом графіка виконання роботи дотримано

9. Наукова цінність роботи, практична значимість \_\_\_\_\_

Наукова цінність роботи одержаних результатів полягає в наступному: на основі аналізу отриманих схем руйнування сталевих рамноконсольних конструкцій покриттів над трибунами стадіонів запропонований алгоритм розрахунку і проектування конструкцій і їх окремих елементів з урахуванням геометричної і конструктивної нелінійності роботи системи, що дозволяє забезпечити необхідний рівень надійності конструкцій підвищеної відповідальності.

Практичне значення одержаних результатів полягає у аналізі загальної методики розрахунку і проектування сталевій шарнирностержневої рамно-консольної конструкції покриття над трибунами стадіону, з кінцевим визначенням показників надійності проектованої або експлуатованої конструкції.

10. У кваліфікаційній роботі магістра можна відмітити такі недоліки: \_\_\_\_\_

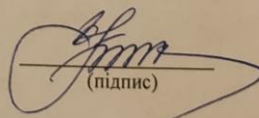
Як побажання слід висловити наступне: бажано було б доповнити роботу техніко-економічним обґрунтуванням проектних рішень конструкцій покриття над трибунами стадіону, але приведені зауваження не впливає на якість виконання роботи

Кваліфікаційна робота магістра у цілому виконана на відповідальному рівні

і при відповідному захисті заслуговує на оцінку:

кількість балів 30 національною Відм. ЕКТС А

Керівник професор  
(посада, науковий ступінь)

  
(підпис)

Банях В.А.  
(ПІБ)

## Рецензія

здобувача рівня вищої освіти «другий (магістерський)» Акіл Аюб  
(ПІБ.)

Кваліфікаційна робота на тему: «Надійність покриттів трибун стадіонів на стадіях проектування та експлуатації».

Кваліфікаційна робота магістра виконана згідно до завдання відповідає темі,  
(не) згідно (не відповідає)

містить мультимедійну репрезентацію листів графічного матеріалу і пояснювальну записку з 114 сторінок.

1. Актуальність теми (повнота постановки проблеми, формування проблеми та її значимість, постановка завдань досліджень) Тема магістерської роботи є актуальною тому що розробки методики обчислень характеристик безпеки конструкцій стаціонарних рамно-консольних покриттів над трибунами стадіонів є однією з головних складових підвищення надійності функціонування спортивних споруд.

2. Ступінь науковості роботи (широта вивчення результатів досліджень за проблемою, методика дослідження, наявність елементів наукової новизни та ступінь їх розробки)

У кваліфікаційній роботі наведені сучасні методи розрахунку і проектування сталевих стержневих рамно-консольних покриттів над трибунами стадіонів на основі чисельного визначення показників надійності з урахуванням мінливості значимих проектних і експлуатаційних чинників

Наукова цінність роботи одержаних результатів полягає в наступному: на основі аналізом отриманих схем руйнування сталевих рамноконсольних конструкцій покриттів над трибунами стадіонів запропонований алгоритм розрахунку і проектування конструкцій і їх окремих елементів з урахуванням геометричної і конструктивної нелінійності роботи системи, що дозволяє забезпечити необхідний рівень надійності конструкцій підвищеної відповідальності.

3. Якість подачі матеріалу роботи (ступінь взаємозв'язку розділів роботи, застосування комп'ютерних технологій, чіткість і технічна грамотність оформлення роботи, науковий стиль викладення матеріалу)

Магістерська робота виконана за допомогою сучасних комп'ютерних технологій. Усі



розділи магістерської роботи оформлені згідно норм та відповідають вимогам, що висуваються до магістерських робіт. Розділи взаємозв'язані один з одним, чітко та технічно грамотно оформлені. Науковий стиль викладення матеріалу – виконано у повному обсязі та відповідає вимогам, що висуваються до магістерської роботи.

4. Практична значимість результатів роботи (рівень реальності результатів та пропозицій, техніко - економічні показники запропонованих рішень, наявність публікацій за темою роботи) \_\_\_\_\_

Практичне значення одержаних результатів полягає у аналізі загальної методики розрахунку і проектування сталевих шарнирностержневої рамно-консольної конструкції покриття над трибунами стадіону, з кінцевим визначенням показників надійності проєктованої або експлуатованої конструкції.

5. Недоліки кваліфікаційної роботи магістра: в роботі відсутнє техніко-економічним обґрунтуванням проектних рішень конструкцій покриття над трибунами стадіону. Приведене зауваження не впливає на якість виконання роботи.

6. Кваліфікаційна робота магістра у цілому виконана (ний) на відповідальному рівні і заслуговує оцінки:

кількість балів 90

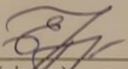
за національною шкалою А, М

за шкалою ЄКТС А

Рецензент доцент кафедри міського будівництва і господарства

Запорізького національного університету

(посада, місце роботи)

  
(підпис)

Фостащенко О.М.  
(П.І.Б.)