

Міністерство освіти і науки України
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

Факультет інженерії машин, споруд і технологій
(повна назва факультету)
Кафедра будівельної механіки
(повна назва кафедри)

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття освітнього ступеня

Магістр

(назва освітнього ступеня)

на тему: Скінченно-елементне моделювання підвісної конструкції при дії
вітрових навантажень.

Виконав: студент 6 курсу, групи МБнм-61
спеціальності _____

192. Будівництво та цивільна інженерія

(шифр і назва спеціальності)

Студент

(підпис) Філюк А. А.
(прізвище та ініціали)

Керівник

(підпис) Гудь М. І.
(прізвище та ініціали)

Нормоконтроль

(підпис) Мещерякова О. М.
(прізвище та ініціали)

Завідувач кафедри

(підпис) Ясній В. П.
(прізвище та ініціали)

Рецензент

(підпис) Богуславська В.Ю.
(прізвище та ініціали)

Міністерство освіти і науки України
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

Факультет Факультет інженерії машин, споруд і технологій

(повна назва факультету)

Кафедра Будівельної механіки

(повна назва кафедри)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

Ясній В.П.

(підпис)

(прізвище та ініціали)

« »

2025 р.

З А В Д А Н Н Я
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

на здобуття освітнього ступеня Магістр

(назва освітнього ступеня)

за спеціальністю 192 Будівництво та цивільна інженерія

(шифр і назва спеціальності)

студенту Філюку Артему Анатолійовичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Скінченно-елементне моделювання підвісної конструкції при дії вітрових навантажень.

Керівник роботи Гудь Михайло Іванович. к.т.н., доц.

(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

Затверджені наказом ректора від « 11 » 04 2025_ року № 4/7-287

2. Термін подання студентом завершеної роботи _____

3. Вихідні дані до роботи _____

4. Зміст роботи (перелік питань, які потрібно розробити)

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень, слайдів)

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Охорона праці	Каспрук В.Б. доцент		
Безпека в надзвичайних ситуаціях	Стручок В.С. ст. викл.		
Нормоконтроль	Мещерякова О.М. ст.викл.		

7. Дата видачі завдання

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

[illegible]

Студент

(підпис)

Філюк А. А.

(прізвище та ініціали)

Керівник роботи

(підпис)

Гудь М. И.

(прізвище та ініціали)

ЗМІСТ

ВСТУП	5
РОЗДІЛ 1 РОЗВИТОК КОНСТРУКТИВНИХ ФОРМ, МЕТОДІВ РОЗРАХУНКУ ТА ОПТИМІЗАЦІЇ ВАНТОВИХ СИСТЕМ.....	8
1.1 Принципи формоутворення вантових систем.....	8
1.2 Існуючі приклади вантових конструкцій	9
1.3 Вантові стабілізуючі пружні розтяжки для контурних опорних елементів тентових покриттів.....	11
1.4 Підвісні або висячі вантові покриття з однією несучою стійкою або пілоном	12
1.5 Підвісні вантово-стрижневі покриття з несучими стійками в один або кілька рядів	13
1.6 Висячі вантово-арочні (арочно-вантові) покриття	20
1.7 Консольно-вантові системи	22
1.8 Вантові конструкції баштового типу у формі односмугового гіперболоїда, з вантами, що збігаються з прямими, які утворюють односмуговий гіперболоїд.....	24
1.9 Висячі мости	25
1.10 Розв'язання задачі з використанням розрахункового комплексу "ЛІРА" .	26
1.11 Висновки до розділу 1	30
РОЗДІЛ 2 РОЗРАХУНОК І СИСТЕМНИЙ АНАЛІЗ ДІЇ ВІТРУ НА КОНСТРУКЦІЮ НА ОСНОВІ ВЕРИФІКОВАНОГО РОЗРАХУНКУ ВАНТОВОЇ СИСТЕМИ	31
2.1 Огляд прийнятого верифікованого розрахунку	31
2.1 Вихідні дані для проектування	34
2.2 Опис конструкції.....	35
2.3 Опис розрахункової схеми	36
2.4 Збір навантажень	37
2.4.1 Постійні навантаження	37

2.4.2 Снігове навантаження	37
2.4.3 Вітрове навантаження	38
2.4.4 Схеми завдання вітрового навантаження на розрахункову схему навісу ..	39
2.4.5 Основне вітрове навантаження	40
2.4.6 Пікове вітрове навантаження	41
2.4.7 Розрахункові поєднання зусиль	42
2.5 Результати розрахунку	43
2.5.1 Результати в ПК «ЛІРА»	43
2.6 Висновки до розділу 2	48
РОЗДІЛ 3 ДОСЛІДЖЕННЯ ЗАЛЕЖНОСТІ ЗМІНИ РЕЗУЛЬТАТІВ НДС КОНСТРУКЦІЇ ВІД СПОСОБУ ЗАВДАННЯ МОДЕЛІ	49
3.1 Лінійна постановка задачі	49
3.2 Об'ємна постановка задачі	55
3.3 Аналіз і порівняння отриманих результатів	62
3.4 Висновки до розділу 3	63
РОЗДІЛ 4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ	64
4.1 Охорона праці	64
4.1.1 Інженерні рішення з охорони праці	65
4.1.2 Огородження території	67
4.1.3 Визначення небезпечних зон на будівельному майданчику	67
4.2 Безпека в надзвичайних ситуаціях	69
4.2.1 Законодавча база України	69
4.2.2 Заходи при землетрусі	69
4.2.3 Системи сейсмосахисту будівель і споруд	70
4.3 Висновки до розділу 4	71
ВИСНОВКИ	72
БІБЛІОГРАФІЯ	73

ВСТУП

У сучасному будівництві впродовж кількох останніх десятиліть спостерігається виразний тренд до збільшення площ скління, як контуру будівлі, влаштування скління фасадів, так і всередині неї, тут, звісно ж, ідеться про оздоблювальні роботи.

Застосування скла на входних групах позначилося і на конструкціях, що утримують їх. Такими конструкціями останнім часом стають ванти. Особливість їх застосування пов'язана з великими розтягуючими зусиллями, що виникають у них, які неминуче з'являються у зв'язку з великою довжиною конструкцій, що утримуються ними, а також, звісно ж, їхньою економічною ефективністю, низькою матеріаломісткістю та архітектурною виразністю.

Розрахунками висячих і вантових конструкцій займалися багато вчених діячів, серед яких: А.Нав'є, Дж. Мелан, Тимошенко С.П і багато інших.

Але з розвитком методів розрахунку вантових конструкцій постала проблема корегування напружено-деформівного стану (НДС) цих конструкцій з плином тривалої експлуатації. Керування напружено-деформівним станом висячої системи передбачає перерозподіл внутрішніх зусиль в елементах у разі зміни розрахункової схеми за допомогою зміни величини розрахункових, температурних чи інших впливів, тому керування НДС конструкції дає змогу підвищити надійність цієї будівельної конструкції в умовах змінних чинників зовнішнього впливу на період життєвого циклу.

Ідея управління напружено-деформівним станом (НДС) вантових структур знайшла значне застосування при будівництві мостів автомобільного, пішохідного шляхів, а також у роботах: Д. Харріса, Л. Клойбера, Д. Мейєра.

Корегування НДС вантових конструкцій дасть змогу досягти таких важливих якостей:

- підвищити стабільність і надійність конструкцій за постійного аналізу НДС системи;

- зменшити матеріаломісткість, підвищити ефективність роботи конструкцій завдяки вбудовуванню керованих систем;
- уникнути аварійних ситуацій, що призвели до повної недієздатності функціональних завдань конструкцій, а також запобігти їхньому руйнуванню.

Мета роботи: дослідження напружено-деформованого стану вантової світлопрозорої конструкції під час дії динамічних пікових вітрових навантажень.

Об’єкт досліджень – світлопрозорий навіс.

Предмет дослідження –напружено-деформівний стан світлопрозорого навісу при дії пікових вітрових навантажень.

Для вирішення поставленої мети дослідження визначено такі **завдання**:

- огляд наявних способів і методів розрахунку вантових систем на дію вітрових навантажень;
- розрахунок і аналіз дії вітру на конструкцію, на основі верифікованого розрахунку вантової системи;
- дослідження та аналіз НДС конструкції, отриманого в результаті динамічного розрахунку при різних способах завдання розрахункової схеми і навантаження в програмних комплексах ЛІРА, ANSYS;
- зведений аналіз результатів чисельних досліджень, оптимізація та регулювання конструкції з цільовою функцією зменшення площі поперечного перерізу елементів.

Методи дослідження –скінченно-елементне моделювання.

Галузю застосування результатів роботи є проектування нових, реконструкція та експлуатація існуючих будівель.

Наукова новизна отриманих результатів: отримала подальший розвиток методика чисельних досліджень з розрахунку НДС вантового світлопрозорого накриття на дію динамічного навантаження.

Практичне значення отриманих результатів: виконані автором дослідження можуть бути актуальними під час проєктування та реконструкції вантових навісів,

систем і підсистем.

Апробація результатів магістерської роботи виконана роботи виконана на VIII Міжнародній студентській науково-технічній конференції «Природничі та гуманітарні науки. Актуальні питання» (Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, 24-25 квітня 2025 року.).

Публікація результатів магістерської роботи здійснена у збірнику тез вищезазначеної конференції.

Робота виконана згідно з тематикою науково-дослідних робіт кафедри будівельної механіки ТНТУ та державними програмами надійності і економічності будівельних виробів, матеріалів і конструкцій.

Ключові слова: ванти, навіс, світлопрозоре накриття, напружено-деформівний стан, скінченно-елементне моделювання.

.

РОЗДІЛ 1

РОЗВИТОК КОНСТРУКТИВНИХ ФОРМ, МЕТОДІВ РОЗРАХУНКУ ТА ОПТИМІЗАЦІЇ ВАНТОВИХ СИСТЕМ

1.1 Принципи формоутворення вантових систем

Нині існуюча проблема теорії статичного розрахунку висячих систем і підсистем бере свій початок з основних робіт Нав'є в 1825 році. Причиною цього стало таке: значне збільшення прольотів і, відповідно, як зовнішніх, так і внутрішніх навантажень споруд, що будуються, поява нових надміцних матеріалів, які застосовують переважно для основних конструктивних елементів покриття, до них можна віднести кабелі, троси, і, звісно ж, удосконалення математичних методів розрахунку та безпосередньо самої обчислювальної техніки, що дають змогу розв'язувати нові задачі під час проектування висячих систем і підсистем.

Особливість застосування високоміцних матеріалів пов'язана здебільшого з тим, що ці елементи працюють тільки на розтяг, а саме сталеві канати, кабелі, ланцюги, прокатний метал і листові мембрани. Але також всупереч звичайній схемі вантових систем, існують конструкції, в яких ванти є стабілізуючими елементами або ж беруть геометричну участь у створенні образу споруди. Найпростішою структурою, в якій ванти не чинять жодного опору згину і крученню, вважають ідеальну нитку.

Залежно від конструктивних особливостей і призначення слід виділити таку класифікацію вантових структур:

- вантові стабілізуючі пружні розтяжки для контурних опорних елементів тентових покриттів;
- висячі вантові структури, що підтримують в окремих точках тентові покриття;
- підвісні вантово-стрижневі покриття з несучими стійками в один або кілька рядів;
- підвісні або висячі вантові покриття з однією несучою стійкою або

пілоном;

- висячі вантово-арочні (арочно-вантові) покриття;
- консольні вантові системи;
- вантові конструкції баштового типу у формі односмугового гіперболоїда, з вантами, що збігаються з прямими, які утворюють односмуговий гіперболоїд;
- тросові відтяжки високих щогл;
- висячі мости.

Висячі тросові конструкції та покриття споруд складно віднести до вантових структур, тому в розглянутій класифікації вони не беруть участі, хоча, з іншого боку, спільно з мембранним покриттям вони формують ширший клас висячих конструкцій.

1.2 Існуючі приклади вантових конструкцій

Виходячи з класифікації, запропонованої в п. 1.1, опишемо вже зведені й експлуатовані конструкції та споруди.

Висячі вантові структури, що підтримують в окремих точках тентового покриття.

Щоб проілюструвати існування такого типу вантових структур треба придивитися до куполоподібного даху Національного тенісного центру в Лондоні, Велика Британія. Покриття перекриває близько 11500 м² в плані. По площі центру сформовані підрозділи різного призначення: 6 тенісних кортів, тренерська, клініка та гімнастичний зал тощо. Один із підрозділів центру перекрито тентовою конструкцією, яка утримується в проєктному положенні завдяки системі вант із двома опорами трубчастого поперечного перерізу. Зображення вигляду конструкції представлено на рисунку 1.1.



Рисунок 1.1 - Національний тенісний цент у Лондоні [5]

Наступною до класифікації висячих вантових структур можна включити тентову конструкцію літнього кафе, закріплену до центрального сталевого стовпа завдяки вантовим відтяжкам. Краї покриття закріплені на поперечному в периметрі алюмінієвому профілі за допомогою ремінців і скоб. Неможливо уявити використання масивного каркасу, сформованого завдяки металевим фермам і балкам, для подібних тентових покриттів, саме тому використання вант тут доречне. Зображення тентово-вантового літнього кафе представлено на рисунку 1.2.



Рисунок 1.2 - Тентово-вантове літнє кафе

Усі перераховані вище конструкції, безсумнівно, можуть бути зараховані як до тентових структур, так і до висячих вантових систем. До цієї ж групи висячих вантових структур можна додати не тільки покриття, сформоване тентовим матеріалом, але також і будь-яким іншим, що працює теж тільки на розтяг. Яскравим представником такого типу є покриття Олімпійського стадіону в Мюнхені, Німеччина (рис.1.3).



Рисунок 1.3- Фрагмент покриття Олімпійського стадіону в Мюнхені, Німеччина [7]

1.3 Вантові стабілізуючі пружні розтяжки для контурних опорних елементів тентових покриттів

У цьому виді конструкцій ванти виконують роль стабілізаційних елементів комбінованої структури, яка містить у собі висяче тросове покриття. Загальний вигляд такої комбінованої конструкції представлений на рисунку 1.4. У цьому разі, як і в попередньому, такий тип конструкції може бути зарахований як до тросових висячих структур, так і до висячих вантових систем. Але під час проектування споруди такого типу необхідно ретельно розробити сполучення елементів із ґрунтовою основою, за допомогою анкерних пристроїв. Викликана така велика увага у зв'язку з утворенням зовнішнього вітрового навантаження, яке докладатиметься з внутрішньої тентової частини, а отже, анкерні елементи повинні мати достатню велику міцність на розрив.



Рисунок 1.4 - Тросово-вантова структура [7]

Впровадження в роботу конструкції подібних вант безумовно зумовлює підвищення жорсткості і стійкості всієї структури.

Прикладом таких конструкцій у будівництві є складське приміщення з трипрольотним висячим покриттям, що представлено на рисунку 1.5.



Рисунок 1.5 - Складське приміщення з трьохпрольотним висячим покриттям [7]

1.4 Підвісні або висячі вантові покриття з однією несучою стійкою або пілоном

Ще одним неоднозначним прикладом цього типу вантових структур можна вважати укриття автостоянки у Швейцарії. Зображення такого виду конструкції представлено на рисунку 1.6. У цьому випадку до двох опор, однієї з яких основної та іншої допоміжної, яка встановлена під кутом до горизонту і слугує у вигляді відтяжки

першої, прикріплене покриття. Для стійкості опор використано вантову відтяжку, яка розміщена між опор по довжині укриття, до того ж для додаткової стійкості допоміжної опори розтягнуто вздовж торця навісу вантові відтяжки.



Рисунок 1.6 - Укриття автостоянки, Швейцарія 1998 р. [6]

1.5 Підвісні вантово-стрижневі покриття з несучими стійками в один або кілька рядів

Також цей тип покриття називають вантово-балковим і відносять до найбільш простих і поширених видів вантових структур. Схема зумовлює таке: балка жорсткості підтримується вантами в одній або декількох точках, зі свого боку, ванти закріплюються на стійках, які розчалоно в поперечному і поздовжньому напрямку.

Наводять таку класифікацію вантово-балкових покриттів:

- а) підвісне покриття з поперечною вантовою системою і двома рядами несучих стійок;
- б) підвісне покриття з поперечною вантовою системою і центральним рядом несучих стійок;
- в) підвісне покриття з поздовжньою вантовою системою з одним або кількома

рядами несучих стійок.

До другого підвиду вантово-балкових покриттів слід віднести павільйон Великої Британії на ЕКСПО-70 в Осаці, що представляє собою однорядну систему їхніх 4-х сталевих рам заввишки 34 м, до яких підвішено несучу конструкцію даху та пов'язану з нею стінну огорожу за допомогою вантових відтяжок. Павільйон з несучим вантовим покриттям зображений на рисунку 1.7.

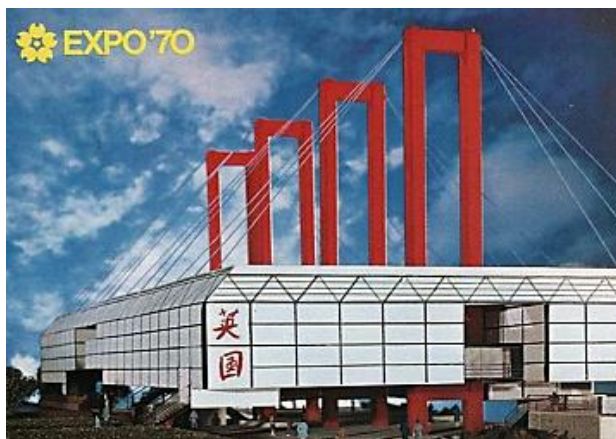


Рисунок 1.7 - Павільйон Великої Британії на ЕКСПО-70 в Осаці, Японія [8]

Однорядна з трьох колон система, до яких в одному рівні прикріплені ванти, що підтримують покриття у двох поперечних напрямках, як у попередньому описаному випадку, описана у статті [26] на прикладі однієї з вантових споруд у Римі, що іменується Italtubi Warehouse, Італія.

Урбаністична будівля Технологічного центру в Прінстоні запроєктована архітектором Р. Роджерсом у стилі "хай тек" у період 1960-1990 років, коли стався пік популярності такого стилю. Будівництво будівлі було завершено 1982 року. Архітектор ухвалив рішення відмовитися від традиційних колон і балок на користь сталевих конструкцій, які зазвичай застосовують у мостобудуванні та під час проектування підйомних кранів. Для скорочення термінів будівництва було застосовано модульну (блокову) технологію складання споруди. Вигляд будівлі представлено на рисунку 1.8.



Рисунок 1.8 - Технологічний центр у Прінстоні, США [7]

Підвісні покриття і вантово-балкові конструкції знайшли своє застосування в архітектурі "зелених дахів". Як приклад наведемо підвісне покриття площею 8000 м² у формі парасолькової поверхні на Півдні Франції в м. Ліон, запроєктоване архітекторами Jourda і Perraudin. На цьому підвісному даху ростуть дикі квіти і трава, хоча під дахом розташовані аудиторії міжнародної школи. Зовнішній вигляд конструкції зображено на рисунку 1.9.



Рисунок 1.9 - Підвісний дах у Ліоні, Франція [8]

Такий формат не зупинився на Франції, у Штутгарті, Німеччина, "зелений підвісний дах" перекриває ще більшу площу. У цій будівлі зараз розташовується Громадська транспортна компанія. Зображення підвісного вантового покриття представлено на рисунку 1.10.



Рисунок 1.10 - Зелений дах у Штутгарті [6]

Перше у світі підвісне покриття з покрівлею з прозорої пластмаси було побудовано в Мілані, Італія, над автобусною зупинкою в 1949 році. Похилі опори пов'язані за допомогою системи з двох поздовжніх вант з похилим покриттям. Рівновага всієї системи забезпечується за рахунок введення в роботу спеціальних відтяжок, прикріплених до країв покриття. Вид із сусіднього даху на підвісне покриття з поздовжньою вантовою системою зображено на рисунку 1.11



Рисунок 1.11 - Підвісне покриття з поздовжньою вантовою системою, Мілан, Італія [8]

Одним з унікальних прикладів такого типу підвісних конструкцій можна вважати Атлетичний центр університету Чикаго, США, в якому вперше були застосовані несиметричні композитні стійки для кріплення вант. Схему поперечного

перерізу, а також вигляд будівлі зображено на рисунках 1.12-1.13. Рішення відмовитися від застосування залізобетону, на думку архітекторів проєкту, дало низку переваг, зокрема й економічних. Сталеві стійки нахилені під 10° до вертикалі з двох причин: естетичної та конструктивної, обумовленої з роботи асиметричної конструкції [9]. До кожної опори приєднано 3 викривлені балки, розряджені вантовими відтяжками по довжині, від великої стійки тягнутися три ванти, від малої одна.

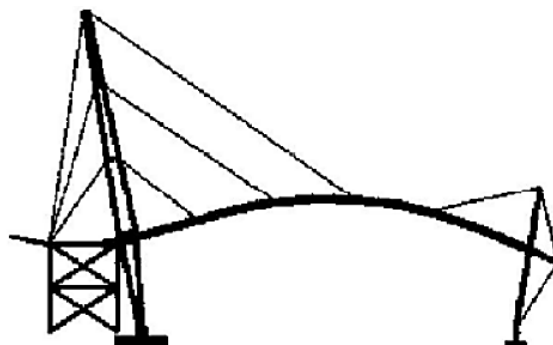


Рисунок 1.12 - Схема поперечного перерізу атлетичного центру університету Чикаго [7]



Рисунок 1.13 - Атлетичний центр університету Чикаго, США [8]

Олімпійський стадіон у Скво-Веллі, США, вкритий підвісним покриттям, що вміщає в себе 8000 глядачів, з такими розмірами в плані - $94,82 \times 70,80$ м. Підвісне покриття являє собою вісім пар похилих коробчастих балок змінного перерізу,

підтримуваних вантами. Через 10,11 м встановлено стійки, до яких прикріплено ванти. По балках укладено прогони з періодичним кроком, за якими встановлено плити коробчатого перерізу довжиною 3,8 м. Діаметр тросів вант становить 57 мм [10]. Вигляд стадіону в м. Скво-Веллі представлено на рис. 1.14.



Рисунок 1.14 - Атлетичний центр університету Чикаго, США[7]

Ще одним прикладом підвісного вантового покриття з поперечною вантовою системою і центральним рядом несучих стійок стало вантове покриття залізничної станції в м. Nanjing, Китай. Зображення підвісного покриття представлено на рисунку 1.15.



Рисунок 1.15 - Покриття залізничної станції, Nanjing, Jiangsu Province, Китай [8]

У 1963 році було побудовано висяче покриття над будівлею паперової фабрики в м. Мантуї, Італія. Яке у своїй конструкції містить шість поздовжніх балок жорсткості

прольотом 163 м із симетричними консолями по 43 м. Покриття утримується завдяки підкріпленню до чотирьох вант, які, своєю чергою, тягнутися до двох залізобетонних пілонів заввишки 45 м. Зовні будівля нагадує форму висячого моста [6]. Зображення будівлі паперової фабрики представлено на рисунку 1.16.



Рисунок 1.16 - Висяче покриття над будівлею паперової фабрики в м. Мантуї, Італія [7]

Всупереч запропонованій класифікації є споруда, що зобов'язує запровадити четвертий вид вантових покриттів - підвісне покриття з поперечно-поздовжньою вантовою системою, що називається Fleetguard factory Quimper, Франція. Покриття фабрики містить 25 структур, площа яких становить 18 м². Зображення Fleetguard factory Quimper представлено на рисунку 1.17



Рисунок 1.17 - Fleetguard factory Quimper, Франція [9]

1.6 Висячі вантово-арочні (арочно-вантові) покриття

Складно оцінити й розкрити потенціал усіх можливостей вантових структур, проте таким іменитим архітекторам, як Норман Фостер і Сантьяго Калатрава вдалося їх використати з усією своєю красою й ефективністю під час проектування стадіонів "Вемблі", Велика Британія, "Спірос-Луїс", Греція. Зображення стадіонів представлені на рисунках 1.18-1.19.



Рисунок 1.18 - Стадіон "Вемблі", висяче вантове покриття, Лондон [4]

На рисунку 1.19 зображено стадіон "Спірос Луїс", запроектований Сантьяго Калатрава.



Рисунок 1.19 - Стадіон "Спірос Луїс", висяче вантове покриття, Афіни [5]

Ці споруди належать до окремої групи висячих покриттів і іменуються як пілонні ааточно-вантові. Прийнято називати таку висячу систему, оскільки покриття, що підтримується вантами, підвішене до системи пілонів - арок. Також слід зазначити, що на ванти і на пілони покриття не укладають, оскільки огорожувальні конструкції покриття розташовані нижче за несучі конструкції.

Стадіон "Вемблі" - найдовша однопролітна арково-вантова структура у світі. Несуча арка тримає край північної секції даху стадіону. Процес відкриття стадіону для пропуску сонячного світла становить усього лише 15 хвилин, за які прибираються рухомі панелі в південну нерухому секцію даху. Усього лише за 15 хвилин можна повністю відкрити стадіон, просто прибираючи рухомі панелі в південну нерухому секцію даху.

Наступний стадіон "Durban's Moses Mabhida Stadium", побудований до чемпіонату світу з футболу 2010 року, є візитною карткою м. Дурбан, ПАР. Проектуванням цього стадіону займався Герхард Ле Ру, і вигляд побудованого стадіону представлений на рисунку 1.20. Єдина несуча арка несе на собі все навантаження тентового покриття, підкріплених за допомогою вант, організованих у сітчасту структуру [8]. У таких описаних нами спорудах дуже гостра проблема корозії металу, тому як захисні засоби тут застосовують оцинкування, забарвлення, покриття пласмасою.



Рисунок 1.20 - Стадіон у м. Дурбан, ПАР [8]

1.7 Консольно-вантові системи

Консольно-вантові системи являють собою просту схему: балки жорсткості, що підтримуються за один кінець вантами, а іншим кінцем спираються безпосередньо на споруду. Найпростішим прикладом такої одноконсольної системи є вантове консольне накриття, який кріпиться до несучої стіни за допомогою спеціальних розтяжок у вигляді вант, яка може бути у вигляді тяги. Тяги можуть виготовлятися з прутків, труб або тросів. Накриття консольно-вантового типу за бажанням архітектора можуть мати більшу зону покриття, тому що другий кінець конструкції підтримують ванти, через які навантаження від накриття передають знову ж таки на основну споруду, ту саму несучу стіну або колону. На рисунку 1.21 зображено накриття консольно-вантового типу довжиною 6,5 м. Прогини кінців консолі консольно-вантових структур можуть досягати великих величин порядку кількох десятків сантиметрів, тому їхні вильоти зазвичай приймають не більше 40-50 м.



Рисунок 1.21 - Накриття консольно-вантового типу [9]

Масивним представником двоконсольного підвісного покриття є ангар в аеропорту Франкфурта-на-Майні з вильотом однієї консолі 55,65 м, зображений на рисунку 1.22. У цьому випадку структура покриття міститься з 16 оболонок з кожного боку опори. Розміри однієї прямокутної монолітної оболонки залишають 10,7 м - ширина, 8 см - товщина. По периметру оболонок сформовані бортові елементи перетином 22х30 см. Схема конструкції така: частина, що примикає до центральної будівлі, шарнірно оперта на її каркас, а кожна консольна частина підтримується шістьма канатами, кожен з яких сформований із 40 дротів овального перерізу та поміщений у сталеву трубку товщиною 0,35 мм. Допустимий прогин кінця консолі - 90 см.



Рисунок 1.22 - Ангар в аеропорту Франкфурта-на-Майні [6]

Висяче вантове покриття футбольного клубу "Ренн", збудоване 2004 року в м. Ренн, Франція, також слід зарахувати до консольно-вантових систем, зображення якого наведено на рисунку 1.23.

Структура конструкції наступна: опорна нижня частина у вигляді трибун перекривається жорсткими консольними балками, які за один кінець підтримуються вантами, а іншими кінцями спираються на стійки за трибунами, також для стійкості конструкції передбачено кріплення до землі за допомогою відтяжок і анкерів.



Рисунок 1.23 - Висяче вантове покриття футбольного клубу в м. Ренн, Франція [7]

1.8 Вантові конструкції баштового типу у формі односмугового гіперболоїда, з вантами, що збігаються з прямими, які утворюють односмуговий гіперболоїд

Існує ще один різновид вантових структур, де гнучкі ванти сприймають тільки розтягувальні зусилля. Але ці структури виділено в окрему групу, оскільки тут ванти на відміну від висячих структур забезпечують стійкість і жорсткість споруди, а головною несучою конструкцією є центральний пілон (стовп).

Баштовий тип формою односмугового гіперболоїда обертання стає унікальним і можливим завдяки вантам. Зазвичай така споруда складається з центрального циліндричного пілона, на якому закріплені кільцеві майданчики, зовнішній контур яких збігається з паралелями односмугового гіперболоїда, а ванти розташовані в напрямку твірних гіперболоїда. Слід показати до споруд такого типу Сіднейську телевежу та 108-метрову вежу в порту Кобе, збудовану за проектом компанії Nikken Sekkei 1963 року. Обидві схожі одна на одну вежі зображені на рисунках 1.24а-1.24б. Але ця схожість тільки непряма, якщо почати детально порівнювати їх між собою, то знайдеться більше відмінностей, ніж подібностей.



а)



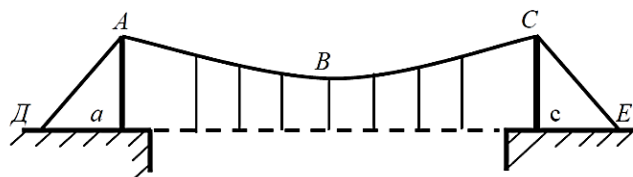
б)

а) Телевежа в м. Сідней, Австралія б) Вежа в порту Кобе, Японія.

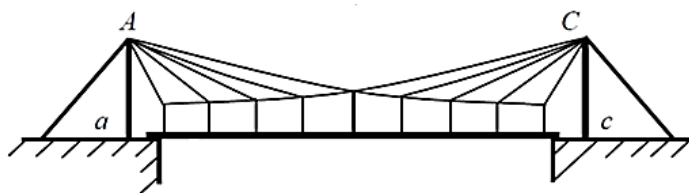
Рисунок 1.24 - Гіперболоїдні вантові конструкції [8]

1.9 Висячі мости

І останнім найпоширенішим і найчарівнішим типом висячих структур є висячі мости. Їх зазвичай поділяють на дві основні групи, схеми яких представлено на рисунку 1.24. У мостах першої групи елемент АВС виготовляється з окремих ланок, об'єднаних у ланцюг. Ланцюг АВС разом з відтяжками АД і ЕС і пілонами Аа, Сс сприймає все навантаження. Нині елемент АВС роблять із тросів, але назву мостів цієї групи - "ланцюговий міст" - залишили незмінною, оскільки такі мости будували в Індії та Китаї вже в I столітті. Приклад такого моста зображено на рисунку 1.26. Вантові ж мости відносять до другої групи.



а)



б)

а) схема "ланцюгового" моста б) схема вантового моста.

Рисунок 1.25 - Принципові схеми висячих мостів [9]

Тут навантаження сприймають розкоси і пояси. Вантові висячі мости поділяють на 3 групи: статично визначені вантові ферми, статично невизначені попередньо напружені ферми без балок жорсткості і статично невизначені вантові ферми з балками жорсткості.

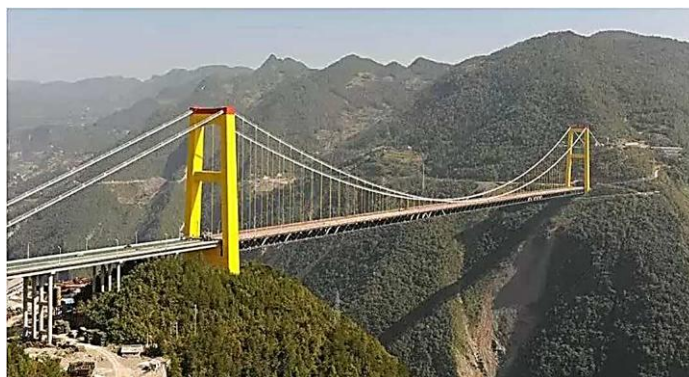
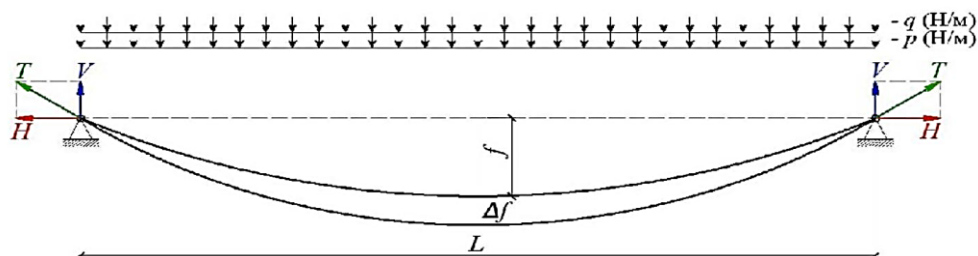


Рисунок 1.26 - Ланцюговий міст Siduhe River Bridge, 2009 рік. Довжина головного прольоту – 900 м, висота перекритого простору - 496 м до дна ущелини [9]

1.10 Розв'язання задачі з використанням розрахункового комплексу "ЛПА"

Для відображення аналізу роботи програмного комплексу наведемо приклад згідно з [2]. Вант із зігнутою віссю (трос) можна розрахувати в геометрично нелінійній постановці з використанням спеціалізованих програмних комплексів ЛПА.

Вихідна задача: Нехай на вант по всій довжині діє рівномірно розподілене постійне навантаження $q(\text{Н/м})$ і тимчасове навантаження p . Розрахункову схему ванта з відображенням навантаження зображено на рисунку 1.27.



L - проліт, м; f - провисання (стріла провисання), м; Δf - прогин (переміщення) ванта, м; q - рівномірно-розподілене навантаження, Н/м ; V - вертикальна складова опорної реакції, Н ; T - сила натягу (опорна сила), Н ; H - горизонтальна складова опорної реакції, Н .

Рисунок 1.27 - Розрахункова схема ванти – модель «вигнута лінія»

Проліт ванта між непіддатливими крайовими шарнірними опорами становить $L = 30,0$ (м), діаметр $\varnothing 0,017$ (м).

Вант виготовлений зі сталі і являє собою канат одинарного звивання типу ТК з провисанням (стрілою провисання) $f = 3,5$ (м).

Інтенсивність рівномірно розподіленого навантаження по всій довжині ванта з урахуванням власної ваги самого ванта становить $q = 10000$ (Н/м).

Згинальна жорсткість ванта $EA = 28628200$ (Н), власна вага ванта $m = 131,96$ (Н/м), початковий модуль поздовжньої пружності $E = 1,70293 \cdot 10^{11}$ (Н/м^2).

Коефіцієнт Пуассона $\nu = 0,3$. Результати розрахунку шарнірно-опертого ванта із застосуванням ПК ЛІРА за розрахунковою схемою (моделлю) "вигнута лінія" представлено на рисунках 1.27-1.28, на яких відображено переміщення вздовж осей прикладання навантаження.

Виконаємо спрощений статичний розрахунок ванта, наведений на рисунку 1.26. З урахуванням симетрії достатньо розглянути його половину, яка зображена на рисунку 1.28.

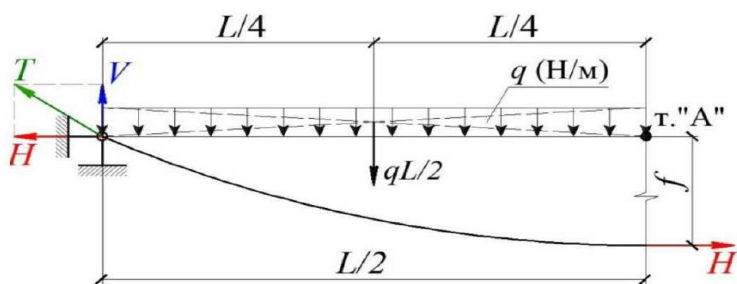


Рисунок 1.28 - Розрахункова модель половини ванта

За методами будівельної механіки визначимо силу натягу T , яка розкладається на складові: вертикальну V і горизонтальну H .

Визначаємо вертикальну складову опорної реакції ванта V , кН, за шарнірно-нерухомих опор за формулою

$$V = \frac{q \cdot L}{2}, \quad (1.1)$$

де q - рівномірно розподілене навантаження, ;Н/м

L - проліт ванта, м.

Підставляємо значення у формулу (1.1), отримуємо

$$V = \frac{10000 \cdot 30}{2} = 150 \text{ кН}.$$

Визначаємо горизонтальну складову опорної реакції ванта H , кН, у разі шарнірно-нерухомих опор за формулою

$$H = \frac{q \cdot L^2}{8f}, \quad (1.2)$$

де q - те саме що у формулі (1.1);

L - те саме що у формулі (1.1);

f - стріла провисання, м.

Підставляємо значення у формулу (1.2), отримуємо

$$H = \frac{1000 \cdot 30^2}{8 \cdot 3,5} = 321,43 \text{ кН.}$$

Дана формула дозволяє в будь-якій точці n визначити розпір вант H_n в тому випадку, якщо відомо значення стріли провисання f_n точки n . Але бувають випадки, коли необхідно дізнатися стрілу провисання f_n в якійсь певній точці n по довжині вант. Тоді необхідно обчислити згинальний момент M_n у точці n . У цьому випадку визначаємо відстань L_n від вертикальних сил до точки n за вже відомого значення розпору.

Визначаємо опорне зусилля - силу натягу T , кН, за формулою

$$T = \sqrt{H^2 + V^2} \quad (1.3)$$

де H - те саме що у формулі (1.2); V - те саме що у формулі (1.1).

Підставляємо значення у формулу (1.3), отримуємо

$$T = \sqrt{321,43^2 + 150^2} = 354,71 \text{ кН.}$$

Визначаємо прогин Δf , м, за формулою

$$\Delta f = \frac{3}{128} \cdot \frac{\mu^2}{f^2} \cdot \frac{q \cdot L^4}{EA}, \quad (1.4)$$

де q - те саме що у формулі (1.1);

L - те саме що у формулі (1.1);

f - те саме що у формулі (1.2);

EA - згинальна жорсткість вант, МН;

μ - коефіцієнт відношення довжини вант до прольоту, що дорівнює

$$\mu = 1 + \frac{8}{3} \cdot \left(\frac{f}{L}\right)^2 \quad (1.5)$$

де L - те саме що у формулі (1.1);

f - те саме що у формулі (1.2).

Підставляємо значення у формулу (1.5), отримуємо

$$\mu = 1 + \frac{8}{3} \cdot \left(\frac{3,5}{30}\right)^2 = 1,0363$$

Підставляємо значення у формулу (1.6), отримуємо

$$\Delta f = \frac{3}{128} \cdot \frac{1,0363^2}{3,5^2} \cdot \frac{1000 \cdot 30^4}{28628200} = 0,529 \text{ м}$$

На рисунку 1.28 представлено результати розрахунку вантової нитки за допомогою ПК "ЛІРА".

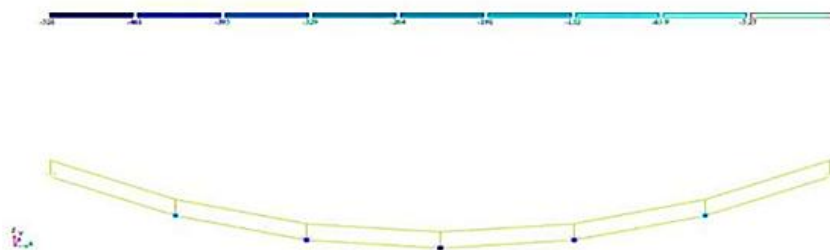


Рисунок 1.29 - Переміщення ванта по осі Z становило в центральному вузлі 0,528 (м)

Згідно з отриманими результатами, зробимо висновок - результати за прогинами ідентичні.

1.11 Висновки до розділу 1

Дослідивши спеціалізовану літературу в галузі вантових систем, виявлено і детально проілюстрували класифікацію вантових структур. Вивчено та проаналізовано стан питання в галузі проєктування вантових систем, починаючи від ручного способу розв'язання задачі і закінчуючи програмним.

РОЗДІЛ 2

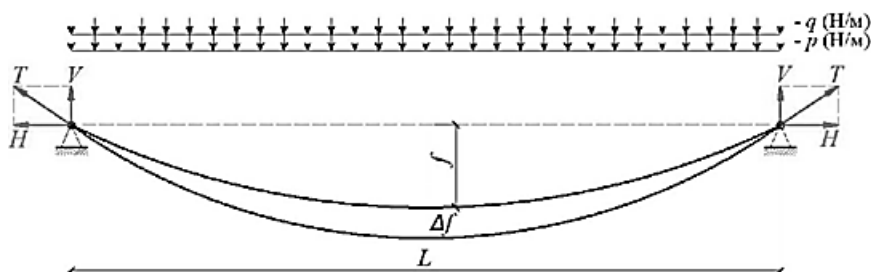
РОЗРАХУНОК І СИСТЕМНИЙ АНАЛІЗ ДІЇ ВІТРУ НА КОНСТРУКЦІЮ НА ОСНОВІ ВЕРИФІКОВАНОГО РОЗРАХУНКУ ВАНТОВОЇ СИСТЕМИ

2.1 Огляд прийнятого верифікованого розрахунку

Для достовірності отриманих результатів нами був проведений власний аналогічний розрахунок згідно з наведеним у розділі 1 розрахунком гнучкої нитки. Цей захід виконували в програмному комплексі ЛІРА з метою отримання достовірності результатів у подальших розрахунках вантової конструкції.

Вихідні дані приймаємо згідно з п.1.10 цієї роботи.

Нехай на вант по всій довжині діє рівномірно - розподілене постійне навантаження q (Н/м) і тимчасове навантаження p . Розрахункова схема ванта з відображенням навантаження зображена на рисунку 2.1.



L - проліт, м; f - провисання (стріла провисання), м; Δf - прогин (переміщення) ванта, м; q - рівномірно-розподілене навантаження, Н/м; V - вертикальна складова опорної реакції, Н; T - сила натягу (опорна сила), Н; H - горизонтальна складова опорної реакції, Н

Рисунок 2.1 - Розрахункова схема ванта - модель "вигнута лінія"

Проліт ванта між невіддатливими крайовими шарнірними опорами становить $L = 30,0$ (м), діаметр $\varnothing 0,017$ (м).

Вант виготовлено зі сталі, він являє собою канат одинарного звивання типу ТК із провисанням (стрілою провисання) $f = 3,5$ (м).

Інтенсивність рівномірно розподіленого навантаження по всій довжині ванта з урахуванням власної ваги самого ванта становить $q=10000$ (Н/м).

Згинальна жорсткість ванта $EA = 28628200$ (Н), власна вага ванта - $m = 131,96$ (Н/м), початковий модуль поздовжньої пружності $E = 1,70293 \cdot 10^{11}$ (Н/м²) згідно з [5]. Коефіцієнт Пуассона $\nu = 0,3$ [5].

Результати розрахунку шарнірно-опертого ванта із застосуванням ПК ЛПРА за розрахунковою схемою (моделлю) "нитка" представлено на рисунках 2.2-2.4, на яких відображено переміщення вздовж осей прикладання навантаження.

Навантаження проводили у двох стадіях, спочатку ванта була навантажена власною вагою, потім зовнішнім навантаженням q , кН/м, що дорівнює 10.

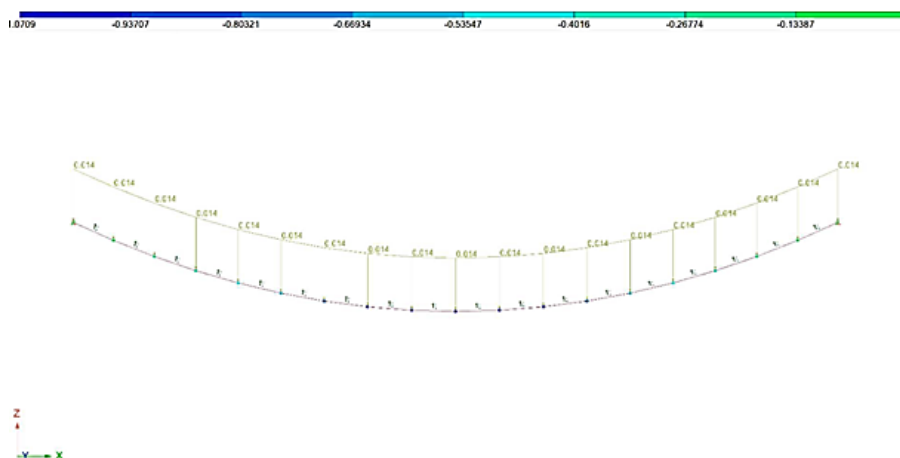


Рисунок 2.2 - Діаграма переміщень уздовж осі Z у першій стадії навантаження від власної ваги

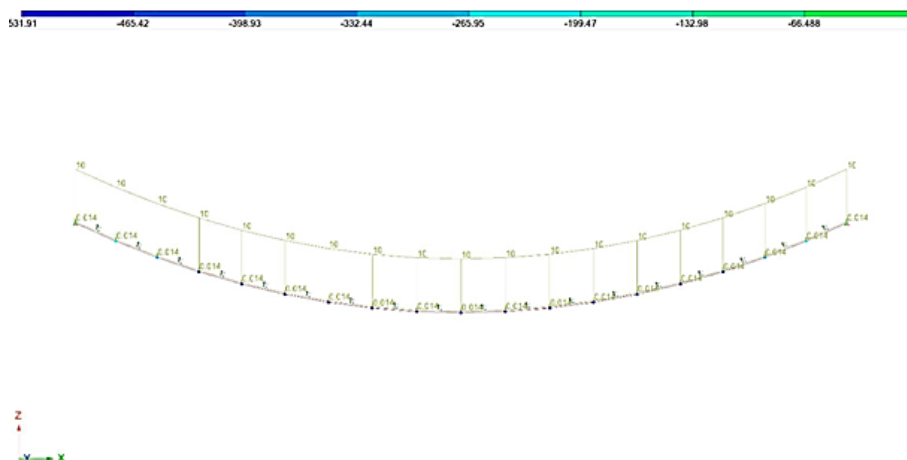


Рисунок 2.3 - Діаграма переміщень осі Z у другій стадії навантаження від власної ваги та зовнішнього рівномірно-розподіленого навантаження

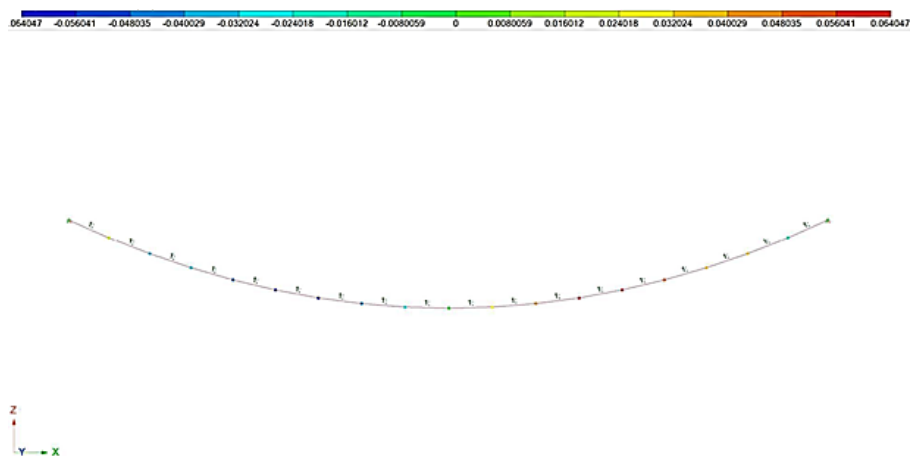


Рисунок 2.4 - Діаграма переміщень осі X у першій стадії навантаження від власної ваги

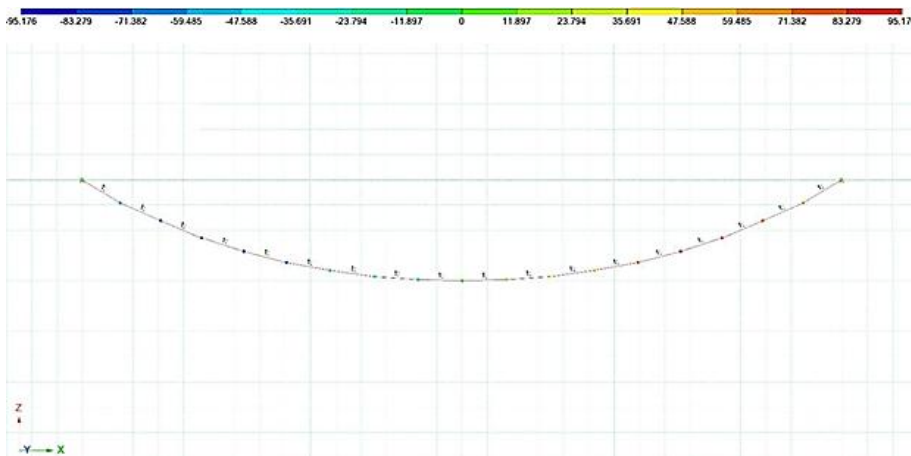


Рисунок 2.5 - Діаграма переміщень осі X у другій стадії навантаження від власної ваги та зовнішнього рівномірно-розподіленого навантаження

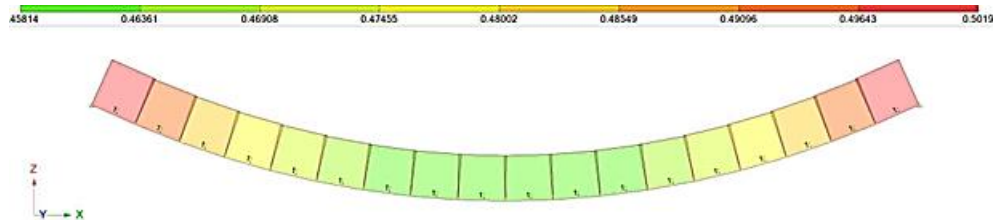


Рисунок 2.6 - Діаграма поздовжніх напружень N у першій стадії навантаження від власної ваги

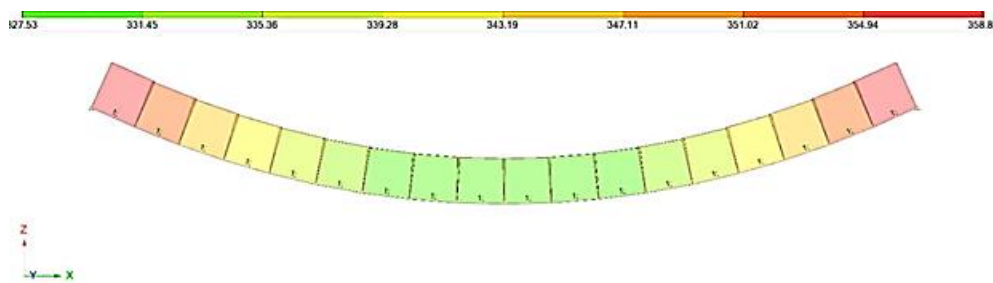


Рисунок 2.7 - Діаграма поздовжніх напружень N у другій стадії навантаження від власної ваги та зовнішнього рівномірно-розподіленого навантаження

Виходячи із зображень 2.2-2.7, а також 1.27-1.28 і значень, отриманих за формулами 1.3-1.4 сформуємо порівняльну таблицю отриманих результатів.

Таблиця 2.1 - Результати попереднього розрахунку

Поз.	Найменування показника	Значення показника при ручному розрахунку	Значення показника, отриманого при СЕ розрахунку	Значення показника, отриманого нами	Різниця, %
1	Сила натягу T в опорах конструкції, кН	354,71	354,71	358,85	1,16
2	Вертикальне переміщення середнього (проміжного вузла), мм	529	528	531,91	0,74
3	Горизонтальне переміщення середнього (проміжного вузла), мм	-	53,7	95,17	77,22

Різниця в значеннях сили натягу і вертикальних переміщеннях несуттєва.

У зв'язку з цим можемо вважати виконаний нами розрахунок верифікованим для подальшого його застосування в розрахунку навісу.

2.1 Вихідні дані для проектування

У рамках наукового дослідження було прийнято об'єкт - світлопрозорий консольно-вантовий навіс із такими параметрами:

- конструкція - світлопрозорий вантовий навіс, кількість прольотів за кроку колон 6м і 6,5м - 17;
- кількість прольотів по поперечних балках (між колон) - 4;
- довжина прольотів між поперечними балками - 1,5 м; Відмітка низу несучої конструкції покриття - 3,0 м;
- відмітка сполучення вант до стіни - 7,51 м;
- протяжність конструкції - 103 м; Сполучення балок до стіни - жорстке; сполучення вант до балок – шарнірне.

Кліматичні умови:

- сніговий район - IV;
- вітровий район – III;
- інтенсивність сейсмічного впливу - 6 балів.

2.2 Опис конструкції

Це висяча структура являє собою навіс, протяжністю 103 м, що підтримується на поперечних жорстко затиснутих у колони балках, а також вант у вигляді тросів.

Конструктивно конструкція виконана зі сталевого прокату. Ванти шарнірно-закріплені до металевих колон кріпляться за допомогою заставної деталі до поперечних балок, на яких, своєю чергою, покладено ламіноване багатошарове скло "триплекс". Поперечні балки жорстко затиснуті до колон, що виступають з фасаду будівлі, і мають кут нахилу в 95° від колони, забезпечуючи цим сходження з покриття талих вод, а також снігу.

Головні балки і стійки виконані зі сталевого прокатного профілю з труби 160x5. Ванти виконані у вигляді канатних металевих тросів діаметром 22 мм. Поперечні балки виконані зі сталевого прокатного таврового профілю 190x50x10 довжиною 2000 мм із влаштуванням декоративної трикутної перфорації.

Поздовжні балки виконані з прокатного трубчастого сталевого профілю 50x5 і

2.4 Збір навантажень

Для виконання розрахунку конструкції потрібно було сформувати навантаження. На навіс, згідно з чинними нормативними документами, діють два види навантажень, постійні та тимчасові. Постійні навантаження в цьому випадку представлені у вигляді власної ваги елементів конструкції, тимчасові ж насправді є короткочасними.

2.4.1 Постійні навантаження

Постійні навантаження, що діють на конструкцію, відображено в таблиці 2.2.

Таблиця 2.2 - Постійні навантаження

№	Вид навантаження	Нормативне значення, кН/м^2	Коефіцієнт надійності за навантаженням γ_f	Розрахункове значення, кН/м^2
1	Власна вага скла ($\gamma=2500 \text{ кг/м}^3$)	0,588	1,3	0,764
2	Власна вага поперечних балок ($l=2 \text{ м}$)	0,144	1,05	0,151
3	Власна вага поздовжніх балок ($l=6 \text{ м}$)	0,102	1,05	0,107
4	Власна вага вант ($l=5,4 \text{ м}$)	0,117	1,05	0,123
5	Власна вага головної балки ($l=6 \text{ м}$)	0,326	1,05	0,342
Разом:				1,487

2.4.2 Снігове навантаження

Значення снігового навантаження, що діє на конструкцію, зібрано згідно з вимогами [2] і відображено в таблиці 2.3.

Таблиця 2.3 - Снігове навантаження

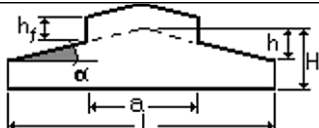
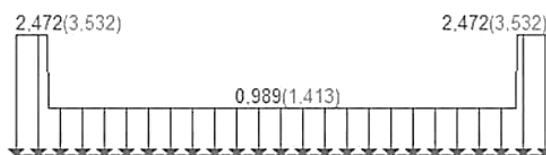
Параметр	Значення	Одиниці виміру
		
Висота будівлі H	11,5	м
Ширина будівлі B	103	м
h	4,14	м
α	5	град
L	33	м
h_f	4,14	м
a	29	м
Покриття	Скло	
Неутеплена конструкція з підвищеним тепловиділенням	Ні	
Коефіцієнт надійності за навантаженні f_y	1,4	

Рисунок 2.9 відповідає дійсній схемі розподілу величини снігового навантаження.

Рисунок 2.9 - Снігове навантаження, кН/м^2

2.4.3 Вітрове навантаження

Короткочасне вітрове навантаження під час розрахунку навісу є найістотнішим фактором у поєднанні з іншими навантаженнями. Оскільки саме вітер має здатність динамічного навантаження у вигляді пульсації. Для складання вітрового навантаження нами було зроблено таке:

Згідно з нормами [2] для будівель і споруд необхідно враховувати такий вплив

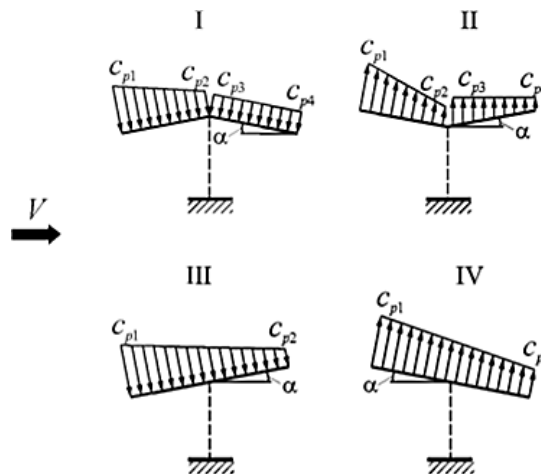
вітру:

- а) основний тип вітрового навантаження (надалі - "вітрове навантаження");
- б) пікові значення вітрового навантаження, що діють на конструкційні елементи огорожі та елементи їх кріплення;
- в) резонансне вихрове збудження;
- г) аеродинамічні нестійкі.

Резонансне вихрове збудження й аеродинамічні нестійкі коливання типу галопування необхідно враховувати для будівель і суцільно стінчастих споруд, у яких $h/d > 10$, де h - висота, d - характерний поперечний розмір.

2.4.4 Схеми завдання вітрового навантаження на розрахункову схему навісу

Згідно з нормами [2] для навісів необхідно враховувати наступний вплив вітру, зображеного на рисунку 2.10.



C_p - аеродинамічні коефіцієнти, α - кут нахилу до горизонтальної поверхні.

Рисунок 2.10 - Розрахункові схеми завдання вітрових навантажень

Залежно від виду схеми, зображеної на рисунку 2.10, а також від кута нахилу покриття навісу аеродинамічні коефіцієнти C_p приймають за таблицею 2.4.

Таблиця 2.4. Значення коефіцієнтів C_p під час розрахунку навісів

Тип схеми	α , град	Значення коефіцієнтів			
		c_{p1}	c_{p2}	c_{p3}	c_{p4}
I	10	0,5	-1,3	-1,1	0
	20	1,1	0	0	-0,4
	30	2,1	0,9	0,6	0
II	10	0	-1,1	-1,5	0
	20	1,5	0,5	0	0
	30	2	0,8	0,4	0,4
III	10	1,4	0,4	-	-
	20	1,8	0,5	-	-
	30	2,2	0,6	-	-
IV	10	1,3	0,2	-	-
	20	1,4	0,3	-	-
	30	1,6	0,4	-	-

Примітки до таблиці 2.4:

Коефіцієнти c_{p1} , c_{p2} , c_{p3} , c_{p4}) відповідають сумарному тиску на верхню і нижню поверхні навісів. Для негативних значень c_{p1} , c_{p2} , c_{p3} , c_{p4} напрямок тиску на схемах слід змінювати на протилежний. Для навісів з хвилястими покриттями аеродинамічний коефіцієнт тертя $c_f = 0,04$.

Для горизонтально розташованих навісів необхідно розглянути два варіанти навантаження, що відповідають схемам III і IV за умови $\alpha = 10^\circ$.

Відповідні до вихідних схем конструкцій навісу призначають із таблиці коефіцієнти C_p , які уточнюють дію динамічної сторони вітру, і застосовують під час розрахунку вітрового навантаження.

2.4.5 Основне вітрове навантаження

У розглянутому прикладі районом будівництва є м. Хмельницький, який розташований у III районі за швидкісним напором вітру [3].

Приймаємо тип місцевості В (міські території, лісові масиви та інші місцевості, рівномірно вкриті перешкодами заввишки понад 10 м).

Визначаємо еквівалентну висоту до розрахункової осі поздовжньої балки за $h =$

$11,8 \text{ м} < l = 24 \text{ м}, z_c = h = 11,8 \text{ м}.$

Згідно з отриманими розрахунками в таблиці 2.5 відображено результати значень рівномірно-розподілених трапецієподібних вітрових навантажень.

Таблиця 2.5 - Результати значень рівномірно-розподілених трапецієподібних вітрових навантажень.

Середня складова, кН/м ²		Пульсаційна складова, кН/м ²		Нормативне значення, кН/м ²		Коефіцієнт надійності для навантаження γ _f	Розрахункове значення, кН/м ²
Найм.	Знач.	Найм.	Знач.	Найм.	Знач.	Знач.	Знач.
Передача навантаження "зверху" за схемою №3							
W _{m1}	0,313	W _{p1}	0,307	W ₁	0,620	1,4	0,868
W _{m2}	0,091	W _{p2}	0,089	W ₂	0,180		0,252
Передача навантаження "знизу" за схемою №4							
W _{m1}	0,326	W _{p1}	0,320	W ₁	0,646	1,4	0,904
W _{m2}	0,039	W _{p2}	0,038	W ₂	0,077		0,108

2.4.6 Пікове вітрове навантаження

Відповідно до [2] навіси необхідно враховувати пікові позитивні W^+ і негативні W^- впливи вітрового навантаження.

Розрахунок навантаження "зверху", тобто за схемою 3 згідно з [2].

Згідно з отриманими розрахунками, у таблиці 2.6 відображено результати значень рівномірно-розподілених пікових вітрових навантажень.

Таблиця 2.6. Результати значень рівномірно-розподілених пікових вітрових навантажень.

Нормативне значення, кН/м^2		Коефіцієнт надійності для навантаження γ_f	Розрахункове значення, кН/м^2
Найм.	Знач.	Знач.	Знач.
Передача навантаження "зверху" за схемою №3			
W1+	0,615	1,4	0,861
Передача навантаження "зверху" за схемою №4			
W1+	0,641	1,4	0,897

2.4.7 Розрахункові поєднання зусиль

Згідно із зібраними навантаженнями [2] потрібно скласти комбінації навантажень із розрахунковими коефіцієнтами поєднання. Це необхідно для аналізу найбільш несприятливого навантаження з подальшими максимальними внутрішніми зусиллями і напруженнями, що виникають. Після отриманих максимальних значень зусиль проводиться конструктивний розрахунок конструкції.

Усі навантаження, що сприймаються конструкцією, та їхні значення зведені та відображені в таблиці 2.10

Таблиця 2.10 - Зведена таблиця навантажень

№ п/п	Найменування	Нормативне значення, кН/м ²	Коефіцієнт надійності за навантаженням γ_f	Розрахункове значення, кН/м ²
Постійні навантаження				
L1	Власна вага елементів конструкції	1,277		1,487
Тимчасові навантаження				
L2	Снігове навантаження	2,472	1,4	3,532
L3	Вітрове навантаження за схемою №3 "зверху"	0,620 0,180	1,4	0,868 0,252
L4	Вітрове навантаження за схемою №4 "знизу"	0,646 0,077	1,4	0,904 0,108
L5	Пікове вітрове навантаження за схемою №3 "зверху"	0,615	1,4	0,861
L6	Пікове вітрове навантаження за схемою №4 "знизу"	0,641	1,4	0,897

Комбінації навантажень із розрахунковими коефіцієнтами поєднання подано в таблиці 2.11

Таблиця 2.11 - Комбінації навантажень із розрахунковими коефіцієнтами поєднання

№ п/п	Ім'я комбінації	Формула
За основної вітрової в "зимовий час"		
1	L7	$L1 \cdot 1 + L2 \cdot 1 + L3 \cdot 0,9$
2	L8	$L1 \cdot 1 + L2 \cdot 1 + L4 \cdot 0,9$
3	L9	$L1 \cdot 1 + L3 \cdot 1 + L2 \cdot 0,9$
4	L10	$L1 \cdot 1 + L4 \cdot 1 + L2 \cdot 0,9$
У разі пікової вітрової в "зимовий час"		
5	L11	$L1 \cdot 1 + L2 \cdot 1 + L5 \cdot 0,9$
6	L12	$L1 \cdot 1 + L2 \cdot 1 + L6 \cdot 0,9$
7	L13	$L1 \cdot 1 + L5 \cdot 1 + L2 \cdot 0,9$
8	L14	$L1 \cdot 1 + L6 \cdot 1 + L2 \cdot 0,9$
За основної вітрової в "літній час"		
9	L15	$L1 \cdot 1 + L3 \cdot 1$
10	L16	$L1 \cdot 1 + L4 \cdot 1$
У разі пікової вітрової в "літній час"		
11	L17	$L1 \cdot 1 + L5 \cdot 1$
12	L18	$L1 \cdot 1 + L6 \cdot 1$

2.5 Результати розрахунку

За знайденими значеннями навантажень і формуванням розрахункової схеми у двох програмних комплексах було виконано динамічний розрахунок напружено-деформованого стану консольно-вантового навісу за допомогою методу скінченних елементів. Схеми були сформовані у вигляді стрижневої (лінійної) постановки задачі. Були опущені вимоги щодо перфорації стінок поперечних балок.

2.5.1 Результати в ПК «ЛПРА»

У результаті отриманих даних під час динамічного навантаження, сформованого за рахунок переведення статичних навантажень в інерційні маси і переданих на вузли конструкції, було виявлено найбільш несприятливе навантаження. Ним виявилось навантаження "L11", як зрештою, і очікувалося.

Результати вертикальних, горизонтальних і загальних переміщень під час

навантаження "L11" вантової конструкції зображено на рисунках 2.11-2.14.

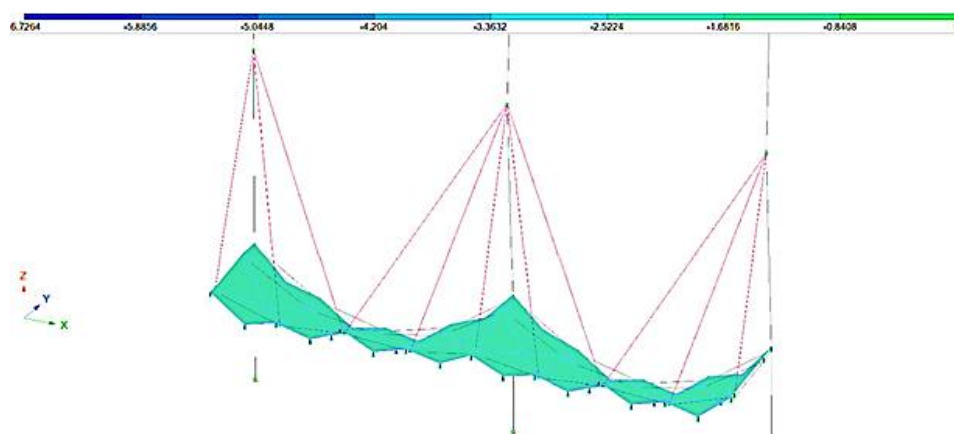


Рисунок 2.11 - Вертикальні переміщення вздовж осі z

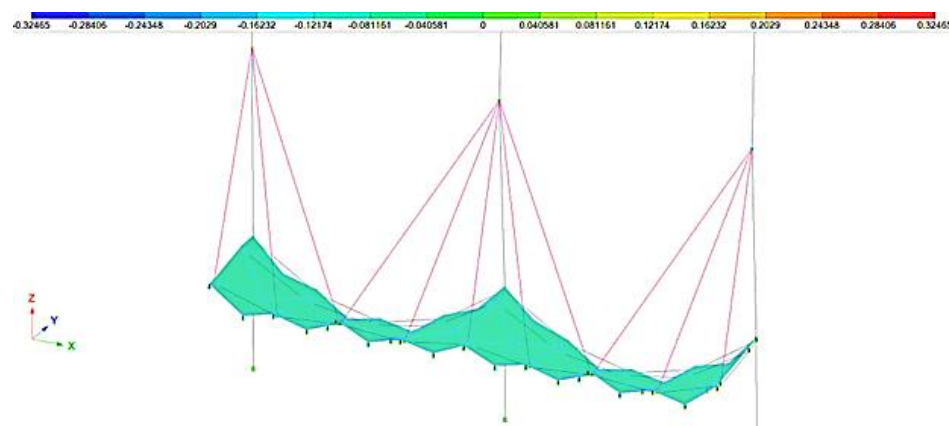


Рисунок 2.12 - Горизонтальні переміщення вздовж осі x

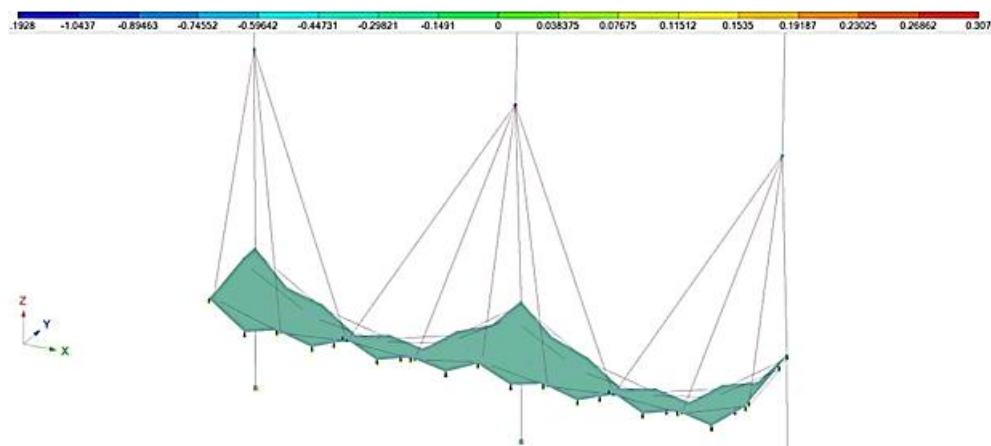


Рисунок 2.13 - Горизонтальні переміщення вздовж осі y

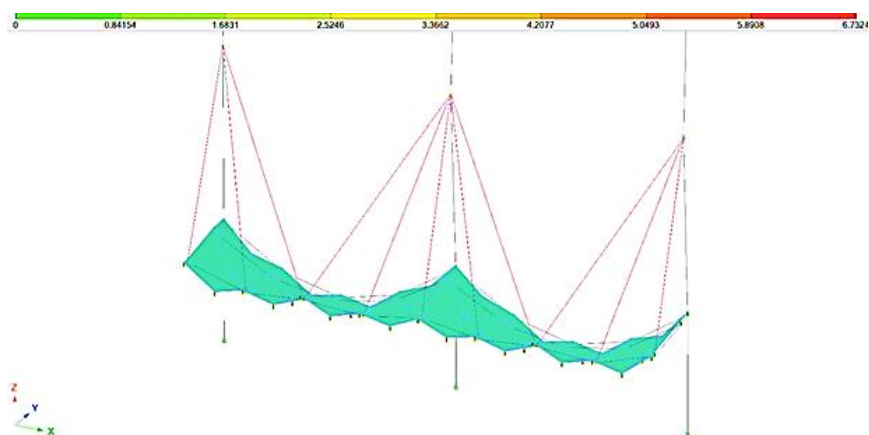


Рисунок 2.14 - Загальні лінійні переміщення

Загальні лінійні переміщення скляного полотна зображено на рисунку 2.15.

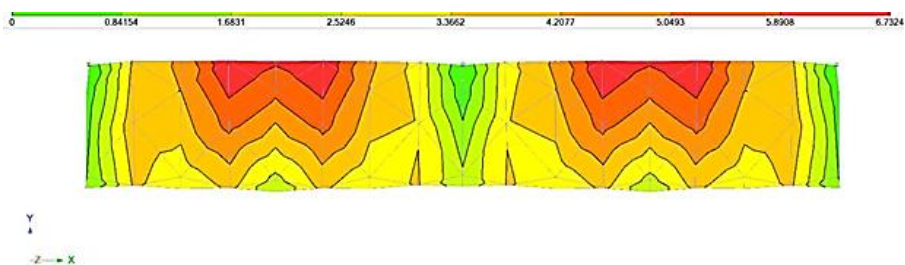


Рисунок 2.15 - Загальні лінійні переміщення скляного полотна

Результати поздовжніх зусиль N , кН, при навантаженні "L11" вантової конструкції зображено на рисунку 2.16.

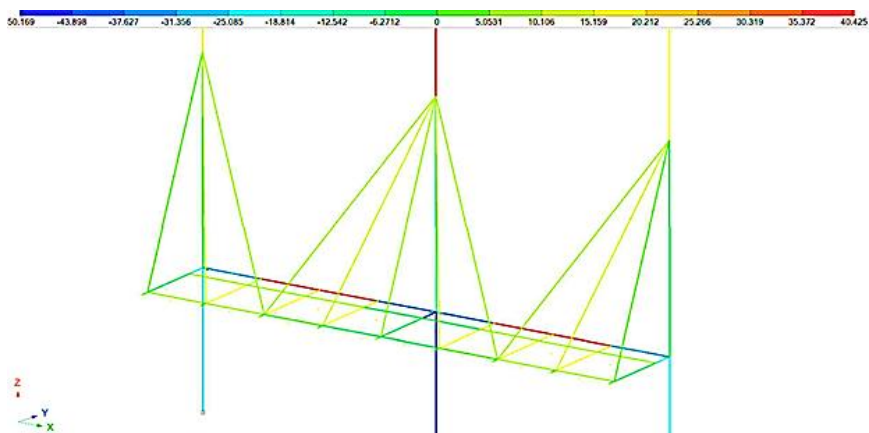


Рисунок 2.16 - Поздовжні зусилля, N , кН

Результати згинальних моментів M , кН·м, при навантаженні "L11" вантової конструкції зображено на рисунку 2.17.

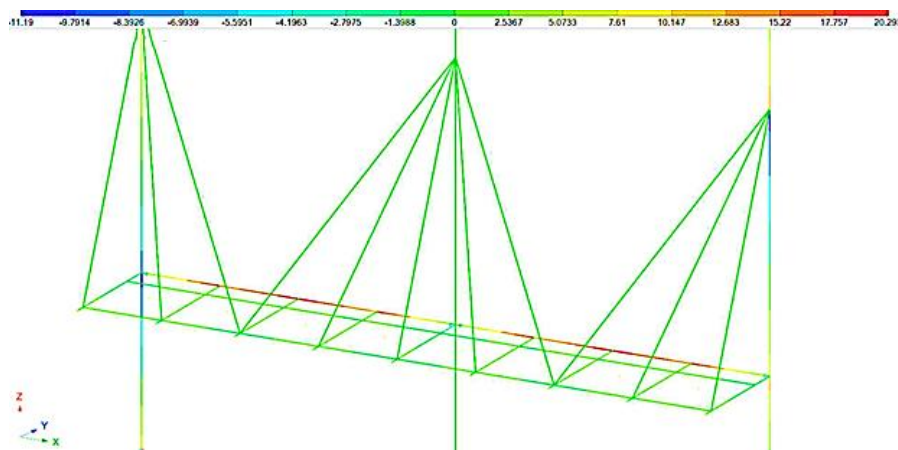


Рисунок 2.17 - Згинальні моменти, M , кН·м

Завдяки можливостям програмного комплексу у вигляді автоматичної перевірки та підбору перерізів елементів визначимо використання елементів із вимог нормативної документації. Результати використання елементів, %, за найбільш несприятливого навантаження зображено на рисунку 2.18.

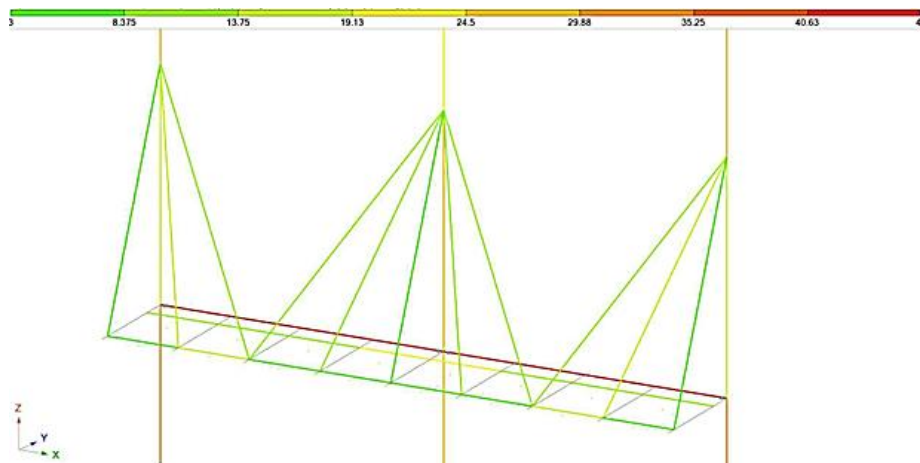


Рисунок 2.18 - Використання перерізів конструкції, %

Результати використання автоматично підібраних елементів, %, за найбільш

несприятливого навантаження зображено на рисунку 2.18.

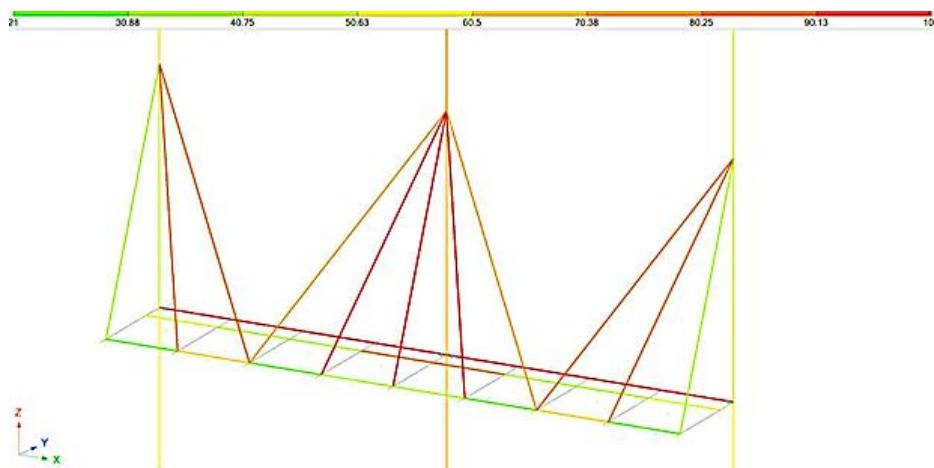


Рисунок 2.19 - Використання перерізів конструкції, %

На рисунку 2.18 представлено перерізи елементів, а також їх використання у формі таблиці. На рисунку 2.19 представлено перерізи елементів після Максимальне напруження в поперечній балці спостерігається в середині прольоту, що й має відповідати дійсності. Також звертаємо увагу на значення 34,7 МПа в центральній найбільш навантаженій тавровій балці та робимо висновок, що дана балка перебуває в пружній роботі НДС, і її запас міцності становить 87,44%. Виходячи з прогинів цього елемента резюмуємо, що жорсткість елемента також забезпечена. Загальну стійкість балок завдяки суцільному скляному настилу можна вважати забезпеченою.

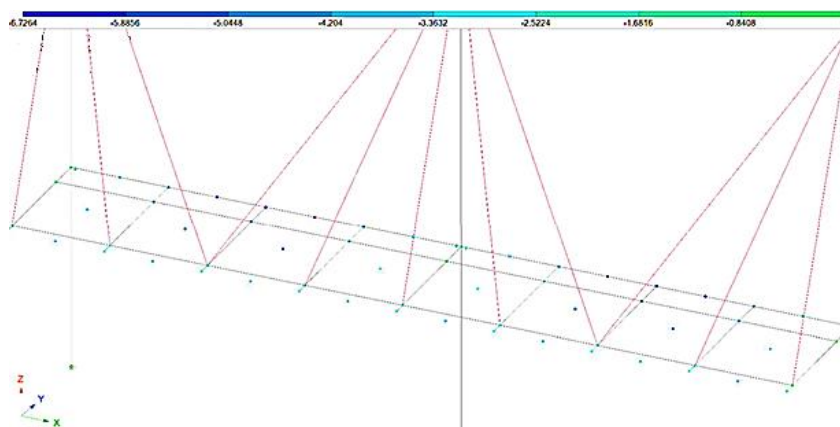


Рисунок 2.20 - Переміщення вздовж осі z поперечних балок, мм

2.6 Висновки до розділу 2

Виконано аналіз нормативної документації з розрахунку навісів і здійснено збір навантажень на розрахункову схему вантового світлопрозорого накриття;

Сформовано найбільш несприятливе навантаження "L11", яке включило в себе пікове вітрове навантаження, як статичну компоненту середнього вітрового тиску, так і динамічну у вигляді пульсаційної складової вітру;

Виконано та проаналізовано динамічний розрахунок вантової світлопрозорої конструкції в розрахунковому комплексі ЛПРА , а також здійснено автоматичну перевірку заданих сталевих перерізів профілів і виконано підбір перерізів елементів конструкції, в яких нами був виявлено факт малого початково заданого використання перерізів елементів, який становить у середньому 23,4%.

РОЗДІЛ 3

ДОСЛІДЖЕННЯ ЗАЛЕЖНОСТІ ЗМІНИ РЕЗУЛЬТАТІВ НДС КОНСТРУКЦІЇ ВІД СПОСОБУ ЗАВДАННЯ МОДЕЛІ

3.1 Лінійна постановка задачі

У цій частині предметом дослідження став розрахунковий комплекс "ANSYS WORKBENCH". Цей розрахунковий комплекс було прийнято у зв'язку з тим, що він дає змогу проектувати об'ємними стрижневі елементи, тобто профіль стрижня формується видавлюванням. Під час розрахунку кожне ребро і грань дробиться на сітку скінченних елементів. У цьому ж підрозділі розглядатиметься процес формування розрахункової схеми в лінійній постановці, тобто елементи будуть задані у вигляді стрижнів.

Початковими даними для проектування залишаються ті самі значення і вимоги, що і в розділі 2 цієї роботи:

- конструкція - світлопрозорий вантовий навіс Кількість прольотів за кроку колон 6м і 6,5м - 17;
- кількість прольотів по поперечних балках (між колон) - 4;
- довжина прольотів між поперечними балками - 1,5 м;
- відмітка низу несучої конструкції покриття - 3,0 м;
- відмітка сполучення вант до стіни - 7,51 м;
- протяжність конструкції - 103 м;
- сполучення балок до стіни - жорстке;
- сполучення вант до балок – шарнірне.

Кліматичні умови:

- сніговий район - IV;
- вітровий район – III;
- інтенсивність сейсмічного впливу - 6 балів.

Для формування геометричної схеми нами було використано програмний комплекс SpaceClaim. На рисунку 3.1 зображено геометричну модель вантового навісу.

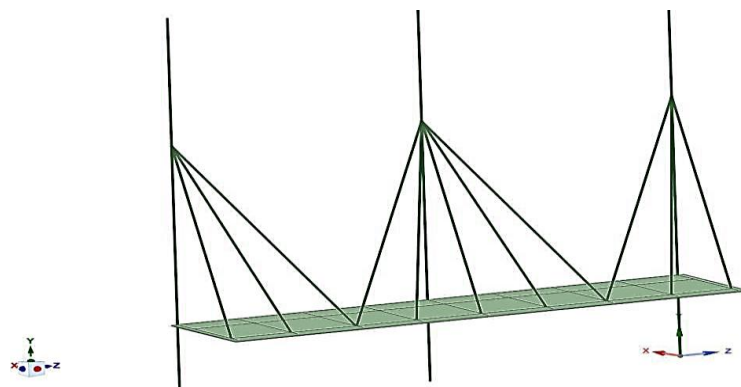


Рисунок 3.1 - Геометрична схема вантового навісу в SpaceClaim

Наведену на рисунку 3.1 геометричну схему було експортовано в розрахунковий комплекс WorkBench і розбито на скінченні елементи. Скінченно-елементна модель зображена на рисунку 3.2

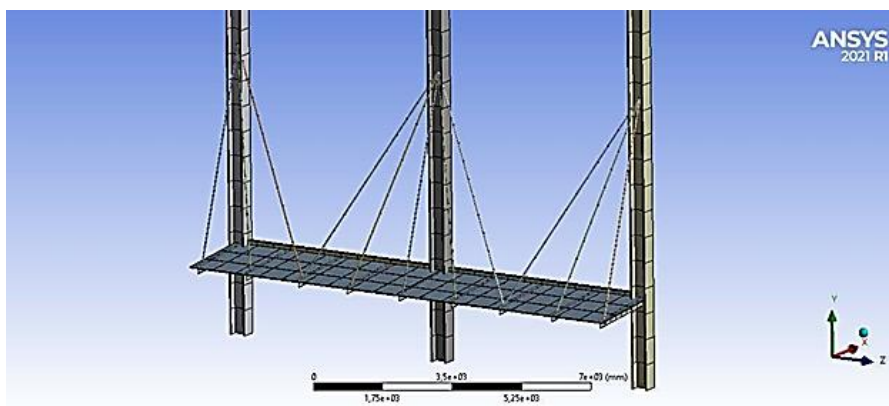


Рисунок 3.2 - Скінченно-елементна модель

На рисунку 3.3 зображено розрахункову схему фрагмента накриття з чинним навантаженням L11, що відповідає п. 2.2.

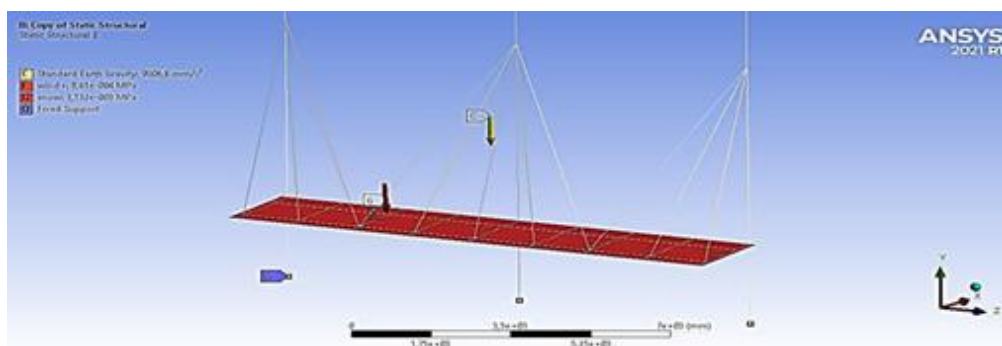


Рисунок 3.3 - Розрахункова схема з відображенням діючих на неї навантажень

Потім проводився статичний розрахунок, результати якого зображені на рисунках 3.4-3.12.

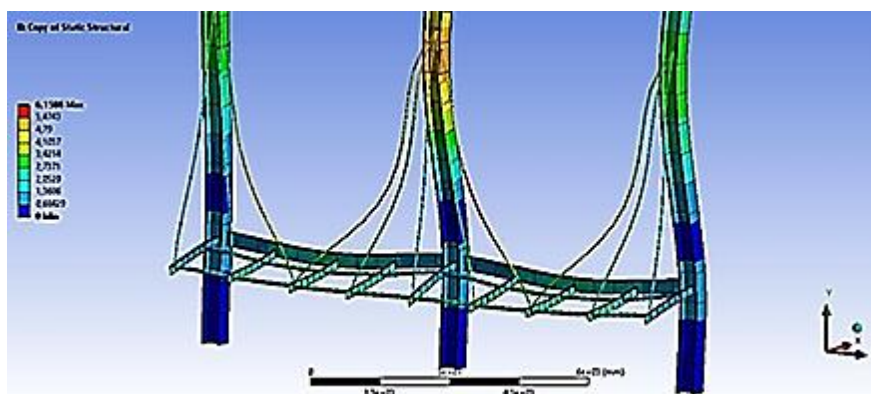


Рисунок 3.4 - Результати загальних переміщень стрижневих елементів конструкції

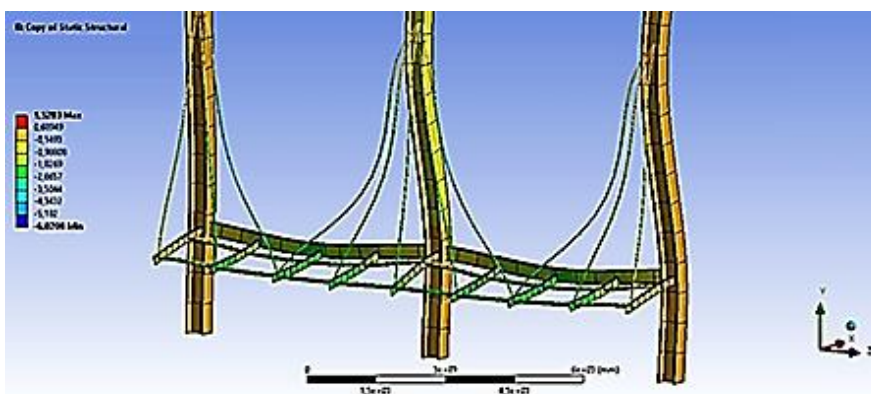


Рисунок 3.5 - Результати вертикальних переміщень стрижневих елементів конструкції

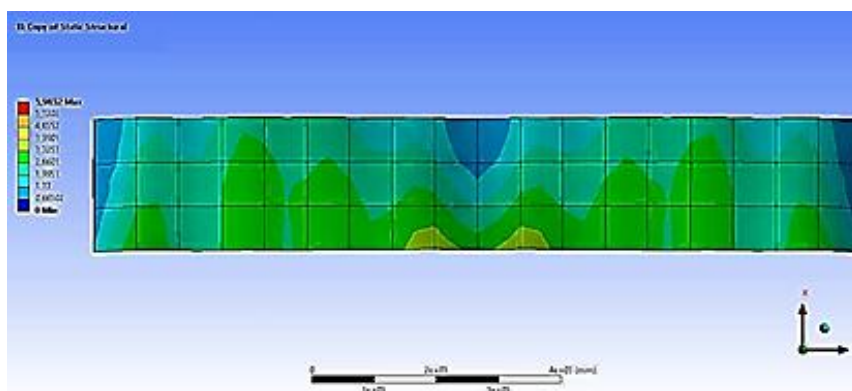


Рисунок 3.6 - Результати загальних переміщень пластинчастих елементів конструкції

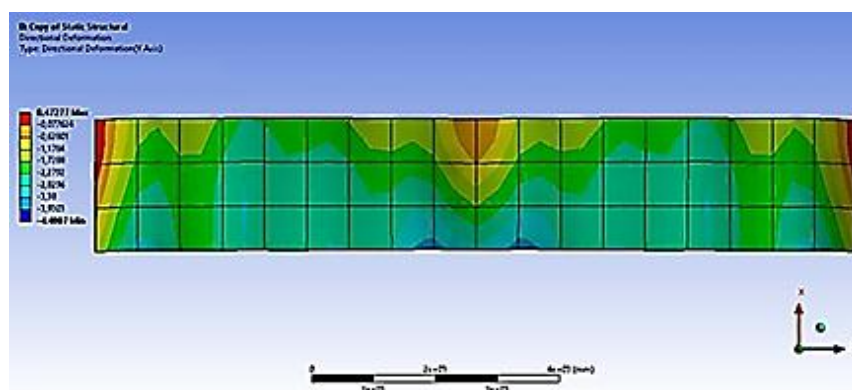


Рисунок 3.7 - Результати вертикальних переміщень пластинчастих елементів конструкції

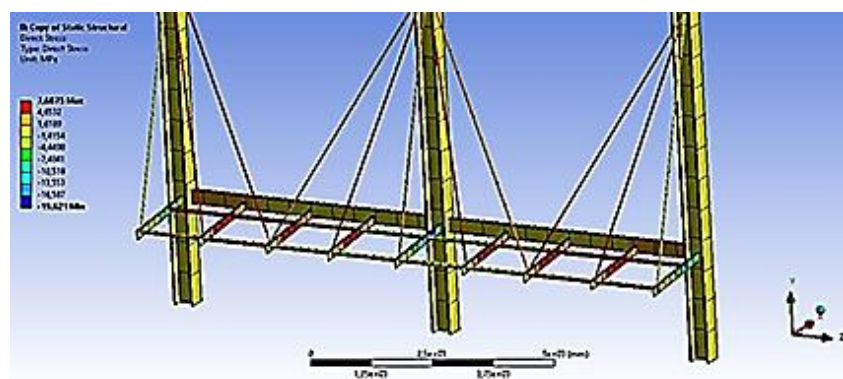


Рисунок 3.8 - Результати поздовжніх напружень стрижневих елементів конструкції

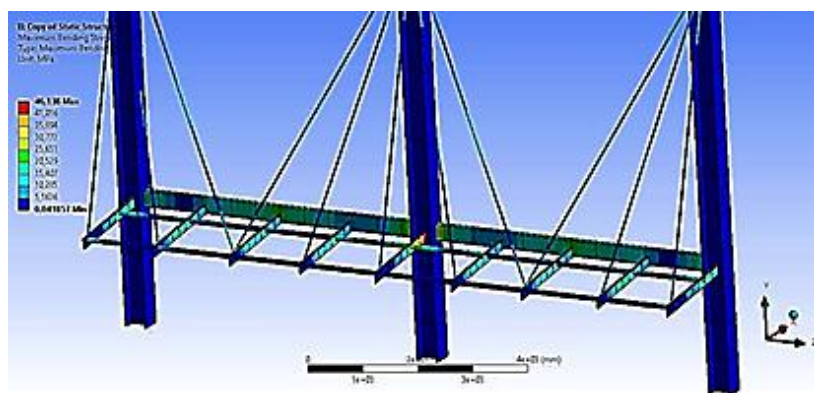


Рисунок 3.9 - Результати максимальних згинальних напружень стрижневих елементів конструкції

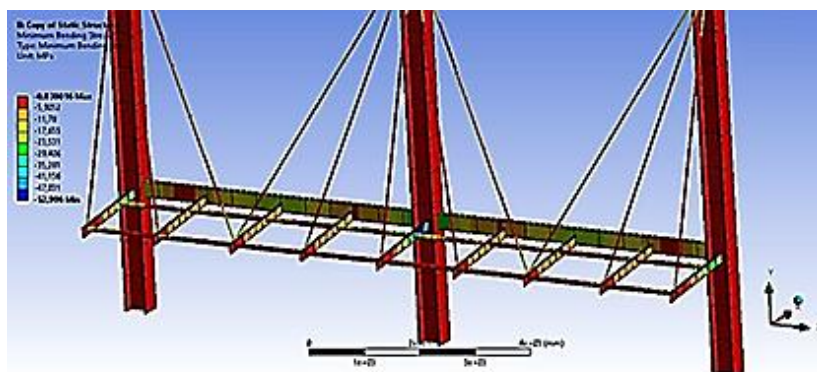


Рисунок 3.10 - Результати мінімальних згинальних напружень стрижневих елементів конструкції

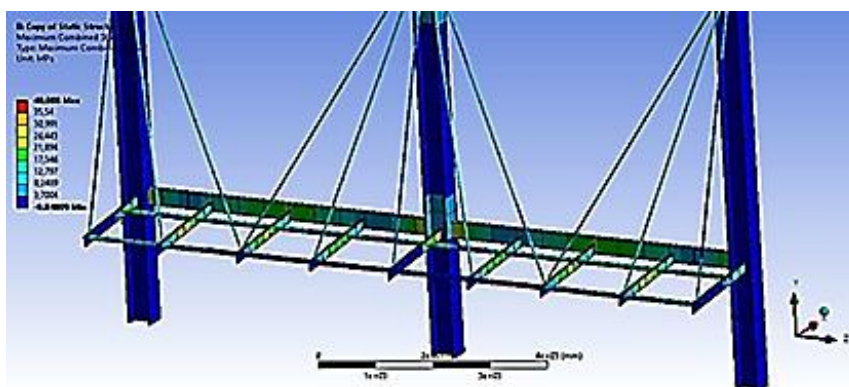


Рисунок 3.11 - Результати максимальних накладених напружень стрижневих елементів конструкції

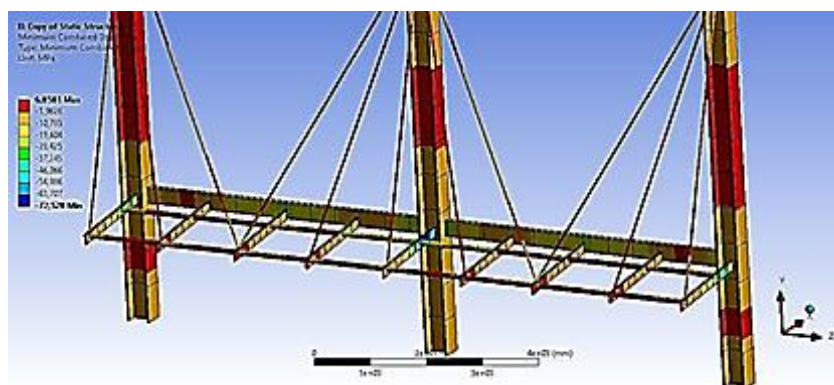


Рисунок 3.12 - Результати мінімальних накладених напружень стрижневих елементів конструкції

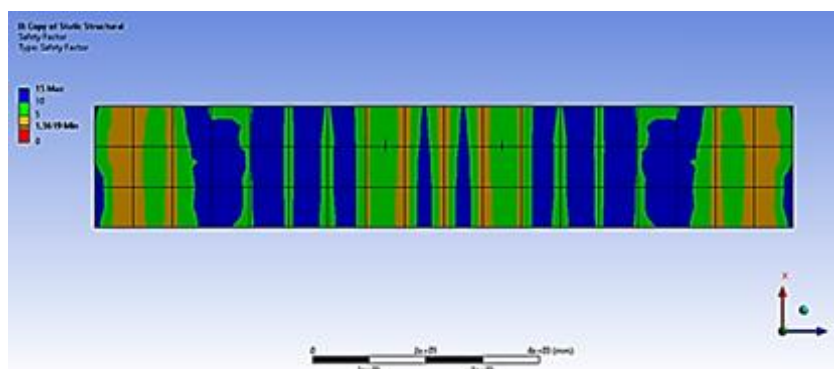


Рисунок 3.13 - Результати використання перерізу конструкції покриття

Отримані результати згідно з рисунками 3.4-3.13 для наглядності аналізу зведемо в таблицю 3.1.

Таблиця 3.1 - Результати розрахунку пластинчасто-стрижневої моделі

Поз.	Елемент конструкції	Фактор	Значення
Міцнісні чинники			
1	Основна поздовжня балка між колон	σ_s , МПа	2,39 -35,823
2	Поперечна консольна балка	σ_s , МПа	7,45 -52,91
3	Поздовжні стрижні покриття	σ_s , МПа	6,33 -27,53
4	Ванти	σ_s , МПа	7,62
5	Ламіноване скляне покриття	$\sigma_{\text{СКВ}}$, МПа	20,85

Продовження таблиці 3.1

Жорсткісні чинники			
6	Основна поздовжня балка між колон	s, мм	2,11
7	Поперечна консольна балка	s, мм	2,83
8	Поздовжні стрижні покриття	s, мм	2,67
9	Ванти	s, мм	5,98
10	Ламіноване скляне покриття	s, мм	5,98
Конструктивні чинники			
11	Основна поздовжня балка між колон	коефіцієнт запасу міцності	6,75
12	Поперечна консольна балка		3,3
13	Поздовжні стрижні покриття		11
14	Ванти		5

У рамках розрахунку за лінійною постановкою задачі, як і в попередніх обох перевірочних розрахунках, абсолютно переконливо можна зробити висновок про те, що конструкцію недовикористовують, оскільки використання перерізів елементів вкрай мале.

3.2 Об'ємна постановка задачі

У цьому разі розглядатиметься процес формування розрахункової схеми в об'ємній постановці, тобто елементи будуть задані у вигляді видавленого з площини профілю. У цьому розрахунку буде враховано архітектурну вимогу щодо перфорації стінок поперечних балок (форма отворів - рівнобедрений трикутник із катетами 110 мм)

Для формування геометричної схеми нами було використано програмний комплекс Autodesk Revit. На рисунку 3.14 зображено BIM-модель вантового навісу.

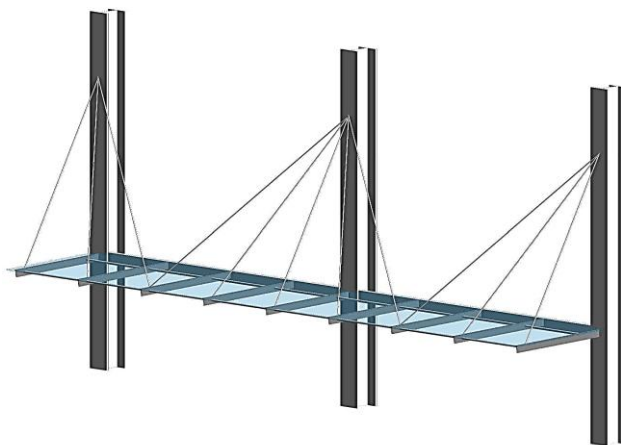


Рисунок 3.14 - BIM-модель вантового навісу в Revit

Наведену на рисунку 3.14 BIM-модель було експортовано в комплекс SpaceClaim для формування архітектурної перфорації стінки тавра. Готову до розрахунку геометричну модель із перфорацією стінок таврів зображено на рисунку 3.15

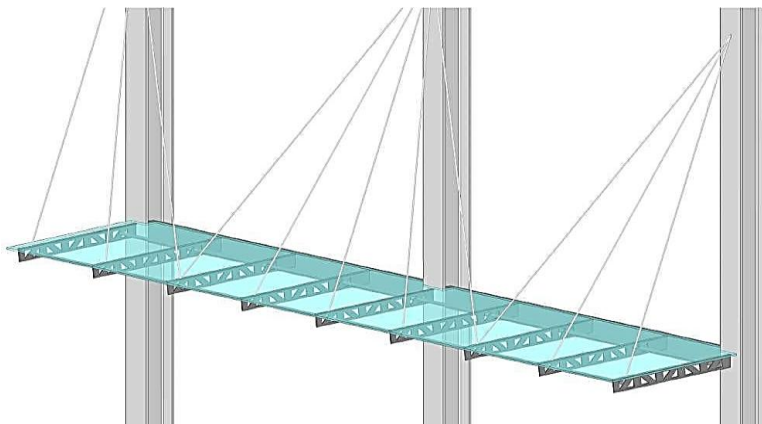


Рисунок 3.15 - Геометрична модель вантового навісу в SpaceClaim

Наведену на рисунку 3.15 геометричну схему було експортовано в розрахунковий комплекс WorkBench і розбито на кінцеві елементи. Скінченно-елементна модель зображена на рисунку 3.16

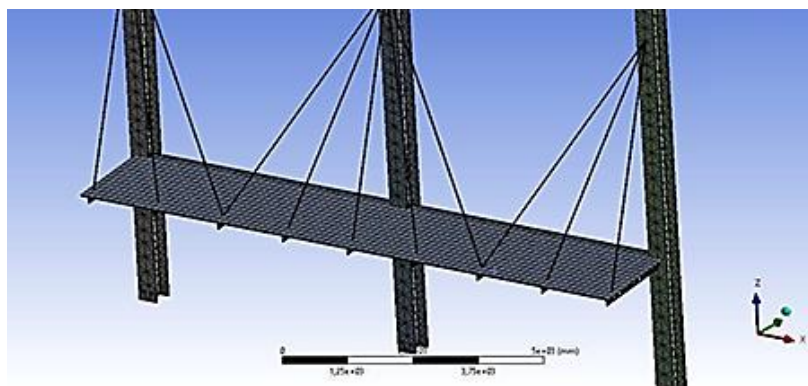


Рисунок 3.16 - Скінченно-елементна модель

Потім проводили статичний розрахунок на пікові навантаження згідно із навантаженням L11, результати якого зображено на рисунках 3.16-3.27.

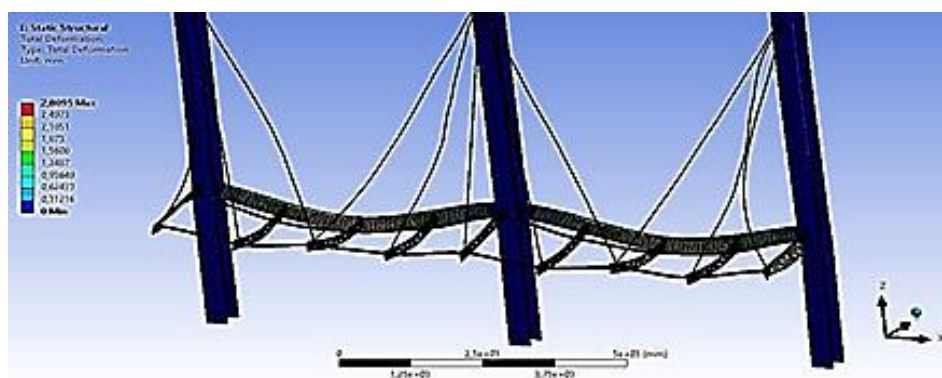


Рисунок 3.16 - Результати загальних переміщень сталевих елементів конструкції

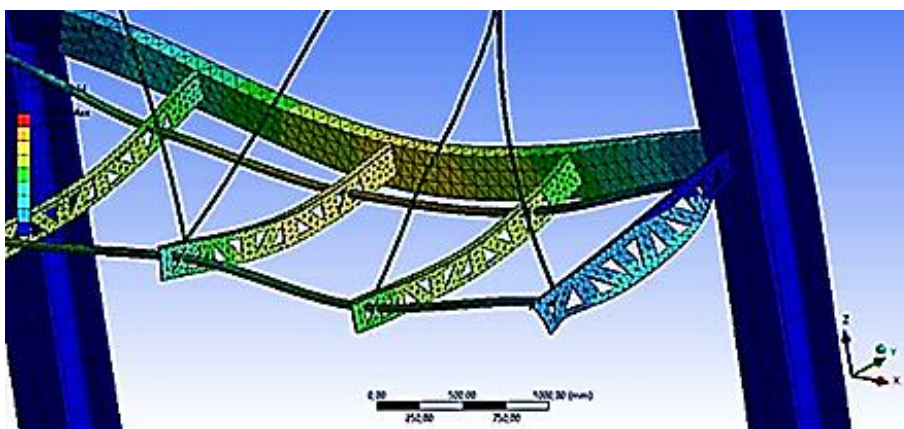


Рисунок 3.17 - Результати загальних переміщень сталевих елементів конструкції
(фрагментація)

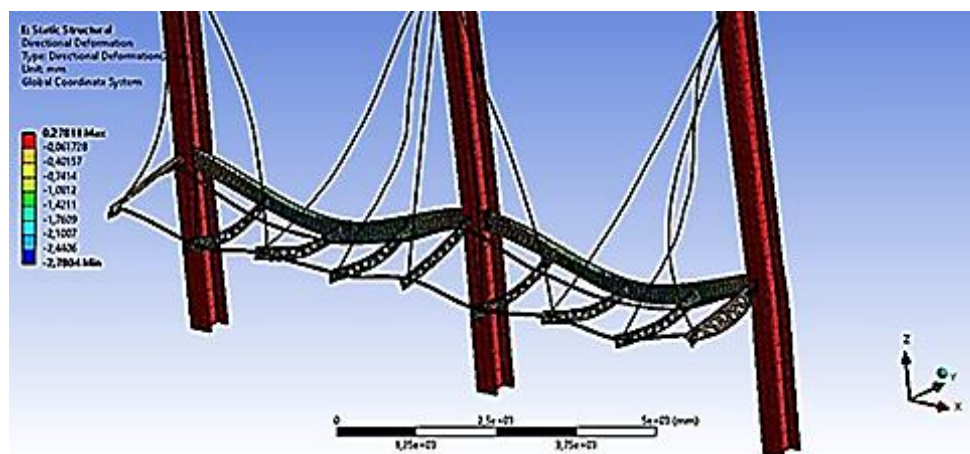


Рисунок 3.18 - Результати вертикальних переміщень сталевих елементів конструкції

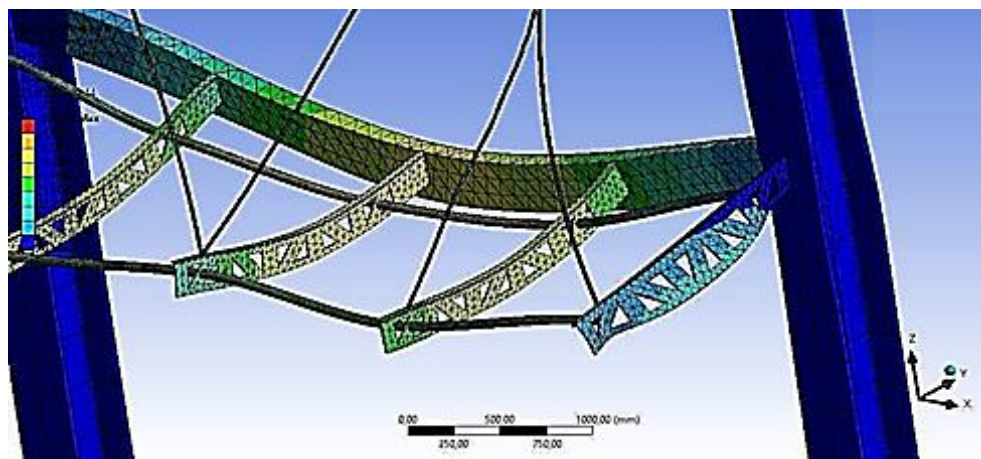


Рисунок 3.19 - Результати загальних переміщень сталевих елементів конструкції
(фрагментація)

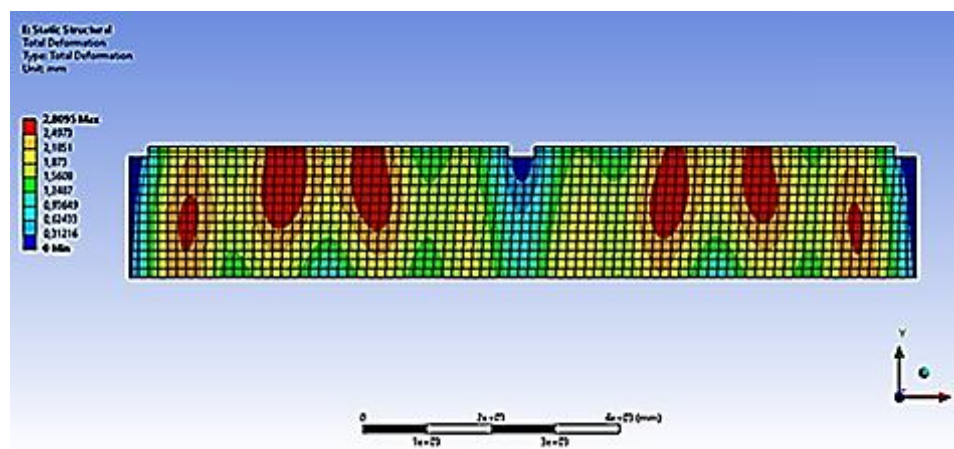


Рисунок 3.20 - Результати загальних переміщень скляного полотна

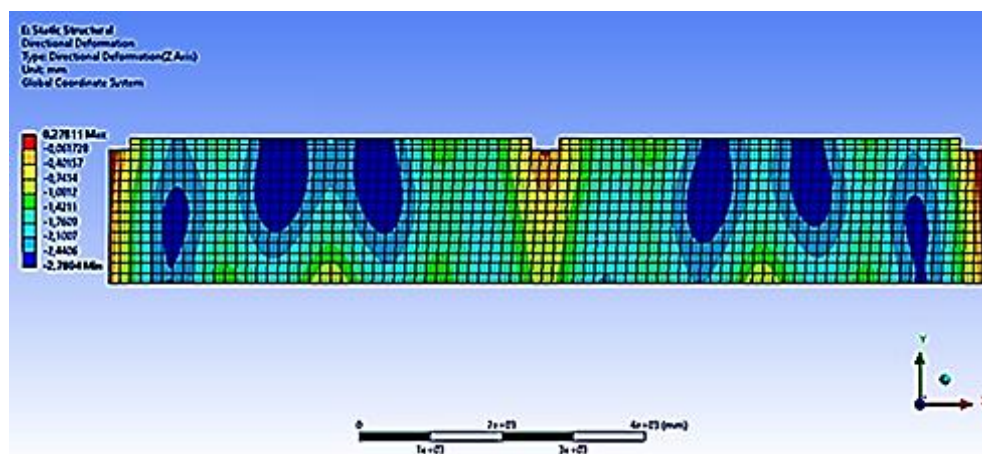


Рисунок 3.21 - Результати вертикальних переміщень скляного полотна

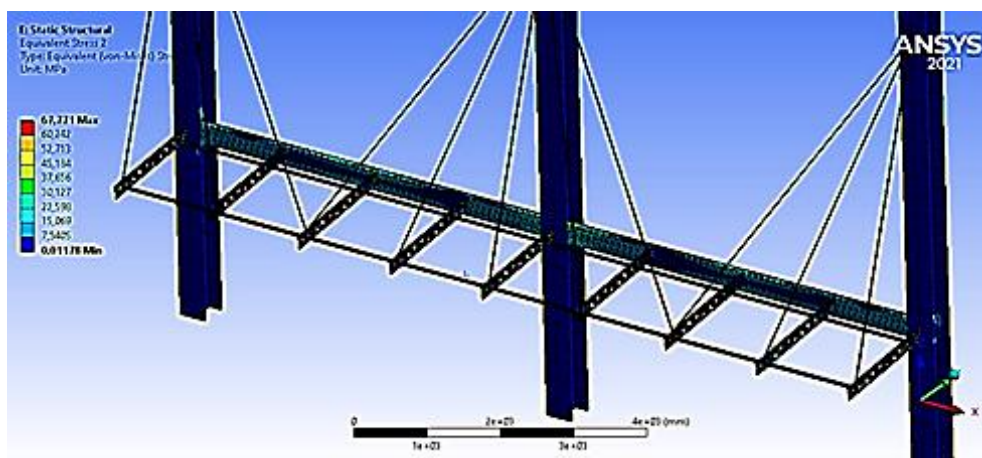


Рисунок 3.22 - Результати еквівалентних напружень сталевих елементів конструкції

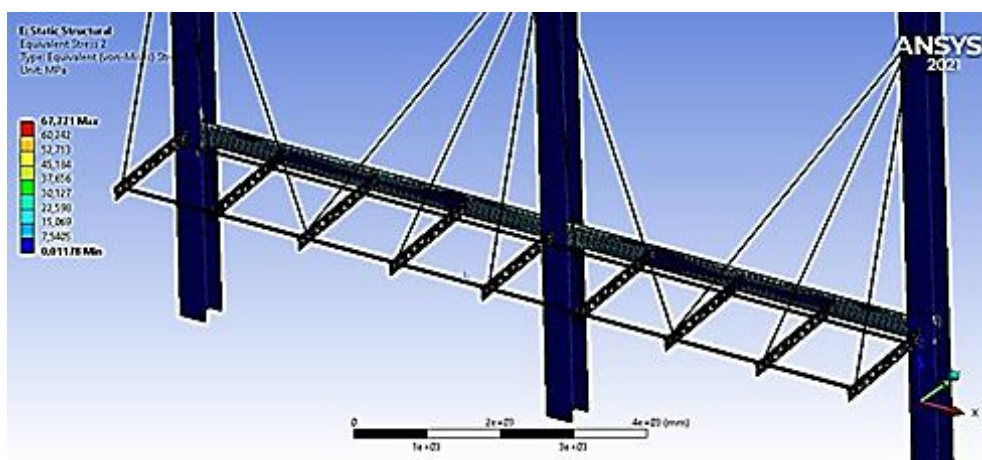


Рисунок 3.23 - Результати еквівалентних напружень сталевих елементів конструкції
(фрагментація)

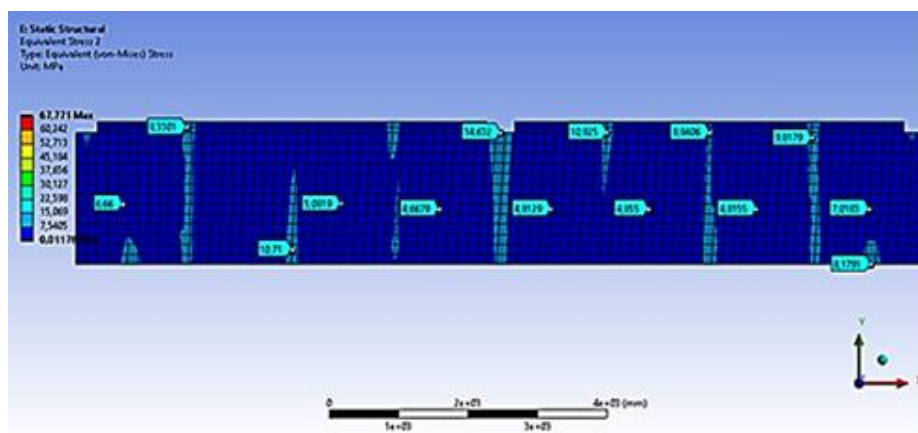


Рисунок 3.24 - Результати еквівалентних напружень скляного полотна

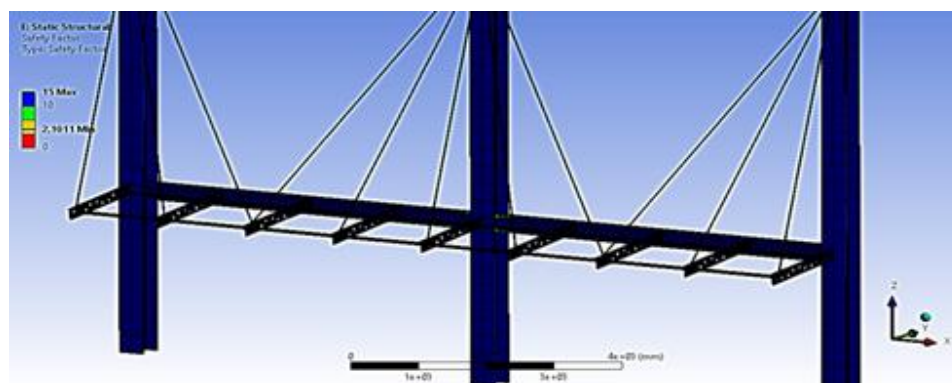


Рисунок 3.25 - Результати коефіцієнта використання перерізу сталевих елементів конструкції

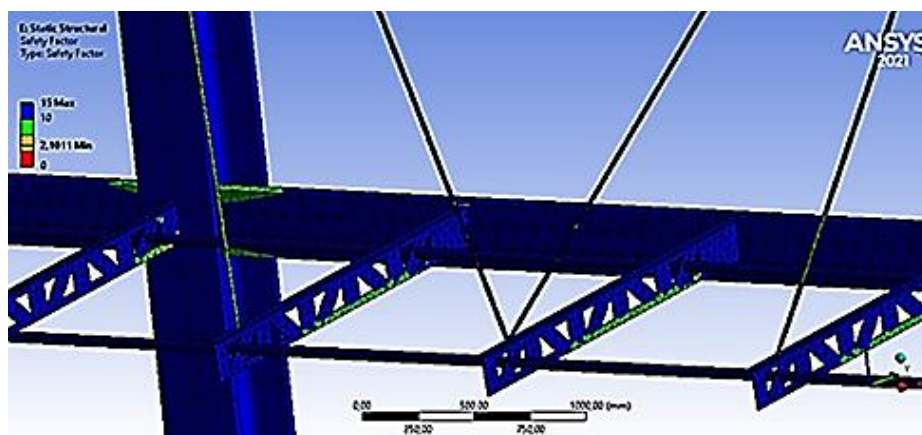


Рисунок 3.26 - Результати коефіцієнта використання перерізу сталевих елементів конструкції (фрагментація)

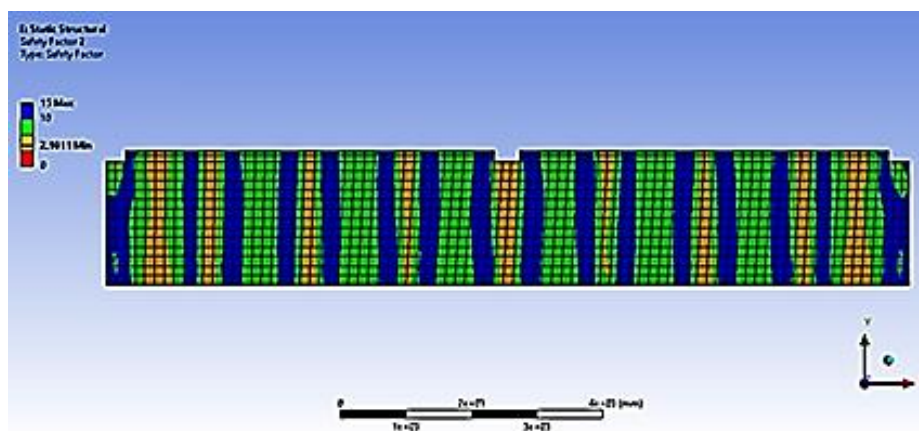


Рисунок 3.27 - Результати коефіцієнта використання перерізу конструкції скляного
ПОЛОТНА

Перфорована стінка тавра призвела до непостійних нормальних напружень у нижній частині.

Для наочності значень зведемо всі результати в таблицю 3.2

Таблиця 3.2. Результати розрахунку об'ємної моделі

Поз.	Елемент конструкції	Фактор	Значення
Міцнісні чинники			
1	Основна поздовжня балка між колон	σ_s , МПа	-1,83 -45,54
2	Поперечна консольна балка	σ_s , МПа	0,19 -60,09
3	Поздовжні стрижні покриття	σ_s , МПа	6,33 -22,72
4	Ванти	σ_s , МПа	7,85
5	Ламіноване скляне покриття	$\sigma_{екв}$, МПа	15,09
Жорсткісні чинники			
6	Основна поздовжня балка між колон	s, мм	2,11
7	Поперечна консольна балка	s, мм	2,11
8	Поздовжні стрижні покриття	s, мм	2,04
9	Ванти	s, мм	2,81
10	Ламіноване скляне покриття	s, мм	2,81
Конструктивні чинники			
11	Основна поздовжня балка між колон	коефіцієнт запасу міцності	5,22
12	Поперечна консольна балка		4,21
13	Поздовжні стрижні покриття		15
14	Ванти		4,48

Як видно з таблиці 3.2, перфорація стінки поперечної балки не призвела до істотних втрат міцності. Це пов'язано з тим, що, як ми зазначали раніше, конструкція недовантажена, а також, судячи з усього, така перфорація полегшила конструкцію, зменшивши власну вагу, і, відповідно, це призвело до менших значень напруження в перерізі елементу.

3.3 Аналіз і порівняння отриманих результатів

Зведена таблиця отриманих результатів при двох способах завдання розрахункової моделі представлена в таблиці 3.3.

Таблиця 3.3 - Зведена таблиця результатів досліджень

Поз.	Елемент конструкції	Фактор	Лінійна постановка	Об'ємна постановка	Різниця, %
Міцнісні чинники					
1	Основна поздовжня балка між колон	σ_s , МПа	2,39 -35,823	1,83 -45,54	-23 21
2	Поперечна консольна балка	σ_s , МПа	-52,91	-60,09	12
3	Поздовжні стрижні покриття	σ_s , МПа	6,33 -27,53	6,33 -22,72	0 -21
4	Ванти	σ_s , МПа	7,62	7,85	3
5	Ламіноване скляне покриття	$\sigma_{екв}$, МПа	20,85	15,09	-27
Жорсткісні чинники					
6	Основна поздовжня балка між колон	s, мм	2,11	2,11	0
7	Поперечна консольна балка	s, мм	2,83	2,11	-25
8	Поздовжні стрижні покриття	s, мм	2,67	2,04	-24
9	Ванти	s, мм	5,98	2,81	-53
10	Ламіноване скляне покриття	s, мм	5,98	2,81	-53
Конструктивні чинники					
11	Основна поздовжня балка між колон	коефіцієнт запасу міцності	6,75	5,22	-23
12	Поперечна консольна балка		3,3	4,21	27
13	Поздовжні стрижні покриття		7,5	15	36
14	Ванти		5	4,48	-11

Згідно з таблицею 3.3 результати внутрішніх зусиль, переміщень, а також використання самих перерізів відрізняються.

Загалом результати напружень елементів, що працюють на стиск і розтягнення під час переходу на об'ємну постановку задачі, зменшилися в середньому на 20%, але, і навпаки, напруження елементів, що працюють на згин, збільшилися на в середньому на 20%.

Результати напружень у скляному покритті також різняться в середньому на 20% у менший бік, пов'язано це найімовірніше з тим, що за об'ємної постановки задачі було згенеровано частішу сітку скінченних елементів, ніж лінійно. Переміщення в профілях покриття відрізняються в середньому на 25% у менший бік. Пов'язано це також внаслідок зменшення сітки скінченних елементів. Завдяки можливостям ANSYS відображати використання перерізу для матеріалу (сталь марки С255, скло загартоване) зміни коефіцієнта запасу міцності склали в середньому 22%.

3.4 Висновки до розділу 3

Здійснено та проаналізовано пластинчато-стрижневий спосіб завдання моделі з подальшим розрахунком на найбільш несприятливе навантаження "L11", описане у 2-му розділі цієї роботи, у розрахунковому комплексі ANSYS, результатом якого є виявлення нами проблеми недовантаження конструкції;

Як перевірку, описаного в першому пункті судження, ми виконали та проаналізували об'ємний спосіб задавання моделі, в якому ми виконали трикутну перфорацію стінки поперечної таврової балки, з подальшим розрахунком на навантаження "L11", результатом якого стало зменшення в поперечних балок покриття надмірно великого запасу міцності на 12%;

Проведено та проаналізовано порівняння отриманих результатів у двох постановках задачі, а саме в пластинчасто-стрижневій, в якій елементи були задані стрижнями та пластинами, та в об'ємній, в якій формування профілю кожного елемента відбувалося за допомогою його витискування із площини, та виявлено розбіжність у результатах залежно від досліджуваного фактору загалом на 25%.

РОЗДІЛ 4

ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

4.1 Охорона праці

Охорона праці – це зведення законодавчих актів і правил, відповідних їм гігієнічних, організаційних, технічних та соціально-економічних заходів, що забезпечують безпеку, збереження здоров'я та працездатність людини в процесі праці. Організація будівельного майданчика, ділянки робіт та робочих місць повинна забезпечувати безпеку праці працюючих на всіх етапах виконання робіт.

Законодавче забезпечення охорони праці в Україні ґрунтується на положеннях Конституції України, яка закріплює право кожного громадянина на належні, безпечні та здорові умови праці (ст. 43, 45, 46, 49, 57). Визначені конституційні гарантії є базою для формування державної політики у сфері охорони праці.

Кодекс законів про працю України регулює трудові відносини та містить основні положення, що стосуються охорони праці. Він встановлює зобов'язання роботодавців щодо створення безпечних умов праці, а також права працівників на захист від шкідливих виробничих факторів та компенсацію у разі отримання професійних захворювань або виробничих травм.

До основних нормативно-правових актів, які регламентують вимоги безпеки праці, належать:

- Закон України "Про охорону праці" – визначає принципи державної політики, права та обов'язки працівників і роботодавців, а також основні заходи у сфері охорони праці.
- Закон України "Про загальнообов'язкове державне соціальне страхування від нещасного випадку на виробництві та професійного захворювання" – регулює питання соціального захисту та компенсації потерпілим на виробництві.
- Закон України "Про охорону здоров'я" – містить норми щодо медичного забезпечення працівників, профілактики професійних захворювань.

- Закон України "Про пожежну безпеку" – визначає заходи безпеки та вимоги до протипожежного захисту на виробництві.
- Закон України "Про використання ядерної енергії і радіаційний захист" – регулює заходи щодо мінімізації небезпеки під час роботи з ядерними матеріалами.
- Закон України "Про забезпечення санітарного й епідемічного благополуччя населення" – встановлює вимоги щодо санітарних умов праці.
- Закон України "Про цивільну оборону" – містить норми щодо безпеки працівників у надзвичайних ситуаціях.

Державні будівельні норми регламентують вимоги до забезпечення безпеки праці у будівельній галузі. Одним із ключових нормативних документів у цій сфері є:

- ДБН А.3.2-2-2009 "Охорона праці і промислова безпека у будівництві. Основні положення", який встановлює вимоги до організації безпечних умов праці під час виконання будівельно-монтажних робіт.

4.1.1 Інженерні рішення з охорони праці

Проектом передбачені інженерні рішення з техніки безпеки будівельно-монтажних та супутніх допоміжних робіт.

При виробництві будівельно-монтажних робіт необхідно дотримуватись вимог [39]. Чинна система охорони праці (трудове законодавство, виробнича санітарія та техніка безпеки) забезпечує належні умови праці робітникам-будівельникам, підвищення культури виробництва, безпеку робіт та їх полегшення, що сприяє підвищенню продуктивності праці. Створення безпечних умов праці у будівництві тісно пов'язане з технологією та організацією виробництва. Відповідальність за безпеку робіт покладено у законодавчому порядку на технічних керівників будівель – головних інженерів та інженерів з охорони праці, виробників робіт та будівельних майстрів. Керівники будівництва зобов'язані організувати планування заходів з охорони праці та протипожежної техніки та забезпечити проведення цих заходів у

встановлені терміни. Поліпшення організації виробництва, створення на будівельному майданчику умов праці, що усувають виробничий травматизм, професійні захворювання та забезпечують нормальні санітарно-побутові умови – одне з найважливіших завдань, від успішного вирішення якого залежить подальше підвищення продуктивності праці на забудовах.

До обов'язків адміністрації будівельних організацій з охорони праці входять:

- дотримання правил охорони праці, здійснення заходів з техніки безпеки та виробничої санітарії;
- розробка перспективних планів та угод колективних договорів щодо покращення та оздоровлення умов праці;
- забезпечення працюючих спецодягом, спецвзуттям, засобами індивідуального захисту;
- проведення інструктажів та навчання робочих правил техніки безпеки;
- організація пропаганди безпечних методів праці, забезпечення будівельних об'єктів плакатами, запобіжними написами тощо;
- організація навчання та щорічної перевірки знань, правил та норм охорони праці інженерно-технічного персоналу;
- проведення медичних оглядів осіб, зайнятих на роботах із підвищеною небезпекою та шкідливими умовами;
- розслідування всіх нещасних випадків та профзахворювань, що сталися на виробництві, а також їх облік та аналіз;
- ведення документації та перевірка встановленої звітності з охорони праці;
- видання наказів та розпоряджень з питань охорони праці.

Загальне керівництво робіт з техніки безпеки та виробничої санітарії, а також відповідальність за її стан покладається на керівників (начальників та головних інженерів) будівельних організацій.

4.1.2 Огородження території

Територія будівельного майданчика має бути виділена на території огорожами:

- захисно-охоронними, призначеними для запобігання доступу сторонніх осіб на ділянки з небезпечними та шкідливими виробничими факторами та забезпечення збереження матеріальних цінностей;
- захисними, призначеними лише запобігання доступу сторонніх осіб у ділянки з небезпечними виробничими чинниками;
- сигнальними, призначеними для попередження про межі територій та ділянок з небезпечними та шкідливими виробничими факторами.

Панелі огорож повинні бути прямокутними зі стандартною довжиною $L=1,2; 1,6; 2,0$ м. Відстань між суміжними елементами огороження заповнення полотна панелей має бути 80...100 мм. Відстань між стійками сигнальних огорож не більше 6 м.

4.1.3 Визначення небезпечних зон на будівельному майданчику

При організації будівельного майданчика, розміщення ділянок робіт, робочих місць, проїздів будівельних машин, транспортних засобів, проходів для людей слід встановити небезпечні для людей зони, у яких постійно діють або потенційно можуть діяти небезпечні виробничі фактори.

До ділянок небезпечних виробничих факторів відносяться зони:

- у смузі шириною до 2-х метрів по периметру від не захищених перепадів за висотою на 1,3 м і більше;
- у місцях переміщення машин та обладнання або їх робочих органів та відкритих частин, що рухаються або обертаються;
- у місцях, над якими відбувається переміщення вантажів вантажопідіймальними кранами;

- поблизу від відкритих неізольованих струмопровідних частин електроустановок та ЛЕП;

- у місцях, де рівні шуму, вібрації чи забруднення повітря робочої зони перевищують гігієнічні норми:

До зон потенційно діючих небезпечних виробничих факторів відносяться:

- монтажні зони - ділянки території поблизу будівлі або споруди, що будується;

- поверхи (яруси) будівель та споруд в одній захватці, над якими відбувається монтаж (демонтаж) конструкцій або обладнання.

4.2 Безпека в надзвичайних ситуаціях

4.2.1 Законодавча база України

Основу нормативно-правової бази в сфері цивільної оборони, захисту населення і території від наслідків надзвичайних ситуацій складають: Кодекс цивільного захисту України, закони «Про війська цивільної оборони», «Про аварійно-рятувальні служби»; укази Президента України «Про Концепції захисту населення і територій у випадку загрози і виникнення НС» і Положення «Про міністерство України з питань НС і в справах захисту населення від наслідків Чорнобильської катастрофи», постанови Кабінету Міністрів України про затвердження «Положення про цивільну оборону України», «Про єдину державну систему попередження і реагування на НС техногенного і природного характерів», «Положення про керування з питань НС і цивільного захисту населення обласних і міських державних адміністрацій» та інші нормативні акти.

4.2.2 Заходи при землетрусі

Землетруси починаються раптово і охоплюють значні території. Руйнування будівель, зсуви і обвали крутих схилів є головними причинами людських жертв і великих матеріальних збитків при сильних землетрусах. Сейсмічними вважають райони, де зареєстровані або теоретично очікувані землетруси у 6 балів та вище. Основні вимоги до будівництва у сейсмічних районах зведено до вжиття таких заходів:

1. Вибір ділянки для будівництва.
2. Вибір конструктивного рішення (КР) та об'ємно-планувального рішення (ОПР).
3. Забезпечення високої якості будівництва.
4. Поділ будівель і споруд антисейсмічними швами.

Будівельні майданчики під населені пункти і споруди обираються з урахуванням геологічних даних, якнайдалі від можливих або явних розривних порушень, далеко від крутих схилів, що загрожують обвалами і зсувами. Несприятливими для будівництва вважають пухкі ґрунти і тріщинуваті породи. При виборі ділянки для забудови враховують такі поняття як сейсмостійкість будівельних об'єктів та сейсмічність будівельного майданчика. Сейсмостійкістю називають здатність ґрунтів, будівель і споруд протистояти сейсмічним впливам. Заходи з підвищення сейсмостійкості будівель застосовуються у районах із сейсмічністю у 7 балів і вище. Нормативне обґрунтування цих заходів здійснюється за «ДБН В.1.112:2006. Будівництво у сейсмічних районах України». За сейсмічності більше 9 балів зведення капітальних будівель заборонено.

4.2.3 Системи сейсмозахисту будівель і споруд

Загальна класифікація систем сейсмозахисту споруд представлена на рис. 4.1. Вона складається з традиційних методів забезпечення сейсмостійкості та спеціальних засобів сейсмозахисту.

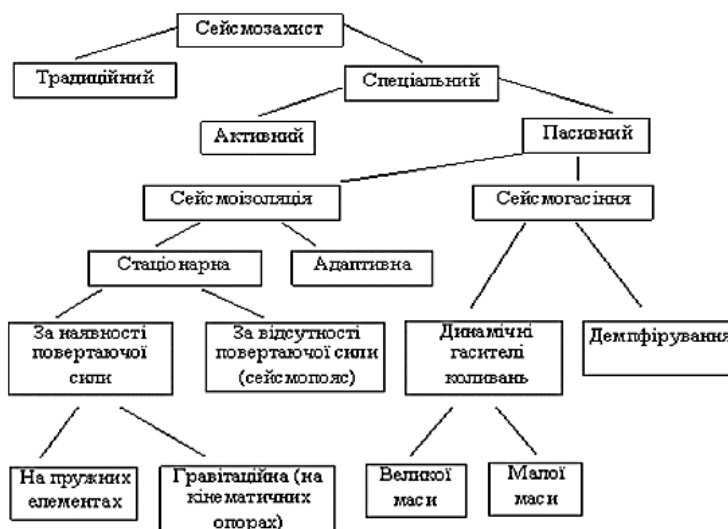


Рисунок 4.1 - Загальна класифікація систем сейсмозахисту споруд

4.3 Висновки до розділу 4

У цьому розділі було розглянуто безпеку в надзвичайних ситуаціях з фокусом на землетрусі.

Оскільки, землетруси є однією з найбільш небезпечних природних катастроф, які можуть призвести до значних матеріальних збитків та загибелі людей. Однак, певні заходи можуть бути прийняті, щоб зменшити ризик втрати життя та матеріальних збитків.

Було розглянуто заходи, які можуть бути прийняті в разі землетрусу. Вони включають в себе пошук безпечного місця, прикриття голови та шиї твердим предметом, уникнення ліфтів та швидкого виходу з будівлі.

Було також розглянуто заходи підвищення стійкості будівлі при землетрусі. Вони включають в себе правильне планування будівель, використання стійких матеріалів, які можуть поглинати енергію землетрусу, та використання підсилюючих конструкцій для підвищення стійкості будівлі.

Нарешті, було розглянуто системи сейсмозахисту будівель, які можуть допомогти зменшити ризик матеріальних збитків та загибелі людей. Ці системи включають в себе ізолятори, амортизатори та інші системи, які можуть допомогти зменшити вібрації та поглинати енергію землетрусу.

ВИСНОВКИ

У рамках вивчення і дослідження напружено-деформованого стану вантової системи під час динамічного пікового вітрового навантаження отримано наступні результати.

Отримано верифікований розрахунок для подальших обчислень вантової системи. Виконано і проаналізовано динамічний розрахунок вантової світлопрозорої конструкції в розрахунковому комплексі ЛІРА на сформоване найнесприятливіше навантаження "L11", яке включило в себе пікове вітрове навантаження, як статичну компоненту середнього вітрового тиску, так і динамічну у вигляді пульсаційної складової вітру. Здійснено автоматичну перевірку заданих сталевих перерізів профілів і виконано підбір перерізів елементів конструкції, в яких було виявлено факт малого початково недовантаження перерізів елементів, що становить в середньому 24,6%.

Здійснено і проаналізовано пластинчасто-стрижневий спосіб завдання моделі з подальшим розрахунком на найбільш несприятливе навантаження в розрахунковому комплексі ANSYS, результатом якого є виявлення нами проблеми недовантаження конструкції. Як перевірку було виконано та проаналізовано об'ємний спосіб задання моделі, в якому було виконано перфорацію стінки поперечної таврової балки, з подальшим розрахунком на найнесприятливіше навантаження, результатом якого стало зменшення в поперечних балок покриття великого запасу міцності на 11.8 %. Проведено та проаналізовано порівняння отриманих результатів у двох постановках задачі, а саме в пластинчасто-стрижневій, в якій елементи були задані стрижнями і пластинами та в об'ємній, в якій формування профілю кожного елемента здійснювалось за допомогою його видавлювання з площини, та виявлено розбіжність у результатах залежно від досліджуваного фактору загалом на 25%.

Здійснено і проаналізовано параметричну оптимізацію конструкції за допомогою розрахункового комплексу ANSYS з цільовою функцією зменшення площі поперечного перерізу елементів, результатом якої стало зменшення коефіцієнта запасу міцності. Критерієм регулювання стали переміщення скляного покриття більше ніж 6 мм.

БІБЛІОГРАФІЯ

1. Ковальчук Я. О. Методичний посібник для виконання кваліфікаційної роботи магістра за спеціальністю 192 “Будівництво та цивільна інженерія” / Я. О. Ковальчук, Г. М. Крамар, О. М. Мещерякова. - Тернопіль: ТНТУ, 2020. – 56 с.
2. ДБН В.1.2-2:2006. Навантаження і впливи / Мінбуд України. К: Сталь, 2006. – 70 с.
3. ДБН В.1.1-12:2014 Будівництво в сейсмічних районах України
4. Podolny, W.Jr. Construction and design of cable-stayed bridges / W.Jr.Podolny, J.B. Scalzi // 2nd ed.Wiley, New York, 1986. 227 с.
5. Luigi Zordan, Renato Morganti, "Large roofs, large spaces. Suspended cable roofing in Italy 1948-1970", Proc. of the First Int. Congress on Construction History, Madrid, 2003, pp. 2139-2148.
6. Kloiber, L.A. Design considerations in cable-stayed roof structures / L.A. Kloiber, D.E. Eckmann, Th.R. Meyer, St.J. Hautzinger // North American Steel Construction: Conference: Modern Steel Construction. – 03.2004. – P. 7.
7. "Vintage British high tech", Carnegie Mellon University School of Architecture, 2013. [Online]. Available: <https://cmuarch2013.wordpress.com/2009/07/09/vintage-british-hightech>
8. Hennig Wanda. The man who built Durban’s Moses Mabhida Stadium / Wanda Hennig // Cravings: A Zen-inspired memoir – 2012. URL: <http://www.wandahennig.com/2012/10/the-man-who-built-durbans-moses-mabhida-stadium>
9. Thoft-Christensen, P.; Nowak, A. Principles of Bridge Reliability: Application to Design and Assessment Codes; Structural Reliability Theory, No. 162, Volume R9751; Department of Building Technology and Structural Engineering: Aalborg, Denmark, 1997
10. Wadee, Ahmer & Hadjipantelis, Nicolas & Gardner, Leroy & Lozano-Galant, Jose. (2020). Stability of steel struts with externally anchored prestressed cables. Journal of

Constructional Steel Research. 164. 105790. 10.1016/j.jcsr.2019.105790.

11. Afshan, Sheida & Theofanous, Marios & Wang, Jie & Gkantou, Michaela & Gardner, Leroy. (2019). Testing, numerical simulation and design of prestressed high strength steel arched trusses. *Engineering Structures*. 183. 510-522. 10.1016/j.engstruct.2019.01.007.

12. Basara, M., Kovalchuk, Y., & Shynhera, N. (2021). Durability of a welded truss under cyclic loads. *Innovative Solution in Modern Science*, 5(41), 147-158.

13. Hud, Mykhailo, Nataliya Chornomaz, and Svitlana Danylchenko. "Modelling of the stress-strain state of a wooden frame under dynamic loads with local stiffening elements." *Procedia Structural Integrity* 59 (2024): 687-691.

14. Iasnii, V., Yasniy, O., Homon, S., Budz, V., & Yasniy, P. (2023). Capabilities of self-centering damping device based on pseudoelastic NiTi wires. *Engineering Structures*, 278, 115556.

15. Kovalchuk, Y., Shynhera, N., Shved, Y., & Voronchak, V. (2020). Fatigue damage of the heel joint of welded roof truss. *Вісник тернопільського національного технічного університету*, 99(3), 28-33.

16. Pidgurskyi, M., Stashkiv, M., & Pidgurskyi, I. (2025). Stress redistribution and failure of mobile machines frame during propagation of crack-like defects. *Engineering Failure Analysis*, 170, 109217.

17. Pidgurskyi, M., Pidgurskyi, I., Stashkiv, M., Ihnatieva, V., Danylchynko, S., Bykiv, D., & Pidluzhnyi, O. (2023). Peculiarities of studying the stress-strain state of structural steel perforated beams using the finite element method. *Scientific Journal of the Ternopil National Technical University*, 3, 111-126.

18. Soroachak, Andriy. "Methodical instructions for laboratory works on the course «Software for Engineering Design» for students of all forms of study of speciality 192 «Construction and Civil Engineering» Ternopil." (2022).

19. Методичний практикум на тему: “Інженерний аналіз в Ansys Workbench” з дисципліни: “Комп’ютерне моделювання процесів обробки матеріалів” для

практичних занять і самостійної роботи здобувачів освітнього рівня доктор філософії за спеціальністю 131 “Прикладна механіка” та блоку вибіркових дисциплін інших спеціальностей / Укладачі : Васильків В. В., Данильченко Л. М., Радик Д. Л., Дивдик О. В. – Тернопіль : Вид-во ТНТУ імені Івана Пулюя, 2021. – 58 с.

20. Підгурський М.І. Проектування металевих конструкцій. Сталевий каркас одноповерхової виробничої будівлі. Теоретичні основи проектування з прикладами розрахунку / М.І. Підгурський, І.М. Підгурський. – Тернопіль: ФОП Паляниця В.М, 2021. – 236 с..

21. Підгурський, І. М. Моделювання напружено-деформівного стану балок з різною перфорацією стінки / І. М. Підгурський, В. В. Слободян, О. М. Підлужний, Д. З. Биків, М. І. Підгурський // Комплексне забезпечення якості технологічних процесів та систем (КЗЯТПС – 2022) : тези доповідей XII Міжнародної науково-практичної конференції (м. Чернігів, 26–27 травня 2022 р.) : у 2 т. Т. 2. – Чернігів : НУ «Чернігівська політехніка», 2022. – С. 105.

22. Стручок В.С. Безпека в надзвичайних ситуаціях. Методичний посібник для здобувачів освітнього ступеня «магістр» всіх спеціальностей денної та заочної (дистанційної) форм навчання / В.С.Стручок. — Тернопіль: ФОП Паляниця В. А., 2022. — 156 с.

23. Методичні вказівки для написання розділу дипломного проекту з дисципліни «Охорона праці в галузі» / В. Б. Каспрук. - Тернопіль: ТНТУ, 2017. - 14 с.