

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття освітнього ступеня

магістр

(назва освітнього ступеня)

на тему: Проект критого велотреку в Мукачево з дослідженням
напружено-деформівного стану просторової ферми

Виконав(ла): студент(ка) 6 курсу, групи МБм-61
спеціальності 192 Будівництво та цивільна

інженерія

(шифр і назва спеціальності)

(підпис)

Василишин Т.І.
(прізвище та ініціали)

Керівник

(підпис)

Сорочак А.П.
(прізвище та ініціали)

Нормоконтроль

(підпис)

Мещерякова О.М.
(прізвище та ініціали)

Завідувач кафедри

(підпис)

Ясній В.П.
(прізвище та ініціали)

Рецензент

(підпис)

Бобик М.П.
(прізвище та ініціали)

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

Факультет інженерії машин, споруд та технологій
(повна назва факультету)

Кафедра будівельної механіки
(повна назва кафедри)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

Ясній В.П.

(підпис)

(прізвище та ініціали)

« ___ » _____ 2023 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 Василишин Тарас Ігорович
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Проект критого велотреку в Мукачево з дослідженням
напружено-деформівного стану просторової ферми

Керівник роботи к.т.н., доц. Сорочак Андрій Петрович
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

Затверджені наказом ректора від « 20 » листопада 2023 року № 4/7-1073

2. Термін подання студентом завершеної роботи 18 грудня 2023

3. Вихідні дані до роботи Район будівництва – місто Мукачево Закарпатської обл.
Вітровий район – 1. Сніговий район – 4.

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

Архітектурно-будівельна частина. Розрахунково-конструктивна частина.

Науково-дослідна частина. Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях.

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

Генплан. Фасади. Розрізи. План на відм. 2,000. План на відм. 16,500.

План фундаментів. Армуння колон. Результати дослідження НДС просторової ферми.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	5
РОЗДІЛ 1 АРХІТЕКТУРНО-БУДІВЕЛЬНА ЧАСТИНА.....	7
1.1 Основні відомості про район будівництва	7
1.1.1 Геологічні умови району будівництва	7
1.1.2 Природно-кліматичні умови	8
1.2 Проектування генерального плану	9
1.2.1 Економічна і топографічна оцінка району будівництва	9
1.2.2 Розпланування та забудова ділянки	10
1.3 Архітектурно-планувальні рішення	13
1.3.1 Функціональне призначення будівлі	13
1.3.2 Розрахунок геометрії треку	17
1.3.3 Розрахунок трибун для глядачів	21
1.3.4 Приміщення для спортсменів	24
1.3.5 Приміщення для працівників велотреку	26
1.3.6 Приміщення для глядачів та відвідувачів	26
1.3.7 Планувальні рішення критого велотреку	27
1.3.8 Заходи для забезпечення комфорту та безпеки для маломобільних груп населення.....	28
1.4 Основні конструктивні рішення	29
1.5 Інженерні мережі	30
1.5.1 Водопостачання	30
1.5.2 Каналізація. Зливова каналізація	30
1.5.3 Електропостачання	31
РОЗДІЛ 2 РОЗРАХУНКОВО-КОНСТРУКТИВНА ЧАСТИНА.....	32
2.1 Розрахунок вантового покриття	32
2.1.1 Аналіз роботи висячих покриттів	32
2.1.2 Визначення стріл прогину несучих і стабілізаційних тросів	38
2.1.3 Збір навантажень на ванти	38

2.1.4	Визначення необхідного попереднього натягу вант	39
2.1.5	Визначення зусиль у тросах	40
2.2	Проектування пальових фундаментів	41
2.2.1	Інженерно-геологічні умови майданчика будівництва	41
2.2.2	Визначення навантажень на фундаменти критого велотреку	42
2.2.3	Розрахунок несучої здатності палі	42
2.2.4	Розрахунок необхідної кількості паль	44
РОЗДІЛ 3 НАУКОВО-ДОСЛІДНА ЧАСТИНА		47
3.1	Аналіз напружено-деформівного стану опорних просторових ферм для вантових покриттів	47
3.2	Методика дослідження НДС просторової ферми опорного кільця вантової покрівлі	48
3.3	Результати дослідження НДС просторової ферми опорного кільця вантової покрівлі	52
3.4	Висновки до розділу	59
РОЗДІЛ 4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА У НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ		60
4.1	Загальна характеристика проєктованого об'єкта	60
4.2	Аналіз шкідливих виробничих факторів на будівельному майданчику ...	60
4.3	Стійкість об'єкта до вибухів та пожеж	62
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ.....		65
БІБЛІОГРАФІЯ.....		66
ДОДАТОК А Розрахунок перехідної кривої віражу в прямокутних координатах.....		71
ДОДАТОК Б Розрахунок вертикальних координат зовнішньої брівки треку відносно внутрішньої.....		72
ДОДАТОК В Прольоти робочих і стабілізаційних тросів та їхні стріли прогину		73
ДОДАТОК Г Координати поверхні покриття опорного контуру		75

ВСТУП

Актуальність роботи. За даними Міжнародного союзу велосипедистів, який регулює міжнародні положення в усіх видах велосипедного спорту, в Україні є лише один сертифікований велотрек відкритого типу в м. Київ. Для порівняння треба зазначити, що в таких країнах, як США, кількість сертифікованих велотреків становить 26, у Франції – 18, у Німеччині – 25, в Польщі – 7 [1].

Погодні умови дають змогу безпечно користуватися відкритими велотреками лише обмежену кількість днів на рік. Рішенням є будівництво критих споруд, що вимагає великих матеріальних вкладень.

Для підвищення показників повернення інвестицій в проєкт такого типу варто ще на етапі проєктування закладати можливість багатофункціонального використання споруди. Багатофункціональність дозволяє використовувати один простір для кількох видів діяльності, шляхом його членування на функціональні зони та зміни їх призначення за необхідності. Перевагою такого роду споруд є можливість трансформації в концертний зал, виставковий комплекс, спортивну арену. Інвестор, таким чином, отримує більш постійний дохід, що покриває витрати на експлуатацію комплексу. За умови правильного планування такий комплекс може бути прибутковим.

Будівництво споруд типу критого велотреку вимагає розв'язання цілого ряду складних технічних завдань, від раціонального та функціонального архітектурного вирішення до влаштування великопролітних покриттів, унікальних несучих елементів та фундаментів.

У цій кваліфікаційній роботі запропоновано концепцію багатоваріантного треку в м. Мукачево. В загальних рисах розглянуто можливі варіанти створення великого спортивного комплексу, до складу якого входитиме відкритий бетонний тренувальний велотрек, споруди комплексу шосейного спорту, котеджне містечко для тренерів і спортсменів, супутні споруди.

Мета роботи – дослідити характеристики напружено-деформівного стану просторової ферми опорного поясу під вантове покриття велотреку.

Задачі, що ставляться в роботі:

- визначення параметрів напружено-деформівного стану просторової ферми опорного поясу покриття велотреку та їх аналіз;
- перевірка несучої здатності конструктивних елементів.

Об'єкт дослідження – просторової ферми опорного поясу під вантове покриття проєктованого велотреку.

Предмет дослідження – напружено-деформівний просторової ферми опорного поясу під вантове покриття велотреку.

Основні методи досліджень – аналітичний, метод скінченних елементів.

Результати роботи характеризуються **науковою новизною**:

1. Отримала подальший розвиток методика розрахунку напружено-деформівного стану просторової ферми опорного поясу великопролітної вантової конструкції.

Практична цінність одержаних результатів. Результати та методика проведення досліджень НДС просторової ферми опорного поясу великопролітного вантового покриття можуть бути використані при розрахунку та проєктуванні конструкцій подібного типу для споруд громадського та спортивного призначення.

Апробація результатів роботи. Результати досліджень даної кваліфікаційної роботи магістра доповідались на VI Міжнародній студентській науково-технічній конференції «Природничі та гуманітарні науки. Актуальні питання».

Публікації. Васишин Т. Застосування генеративного дизайну в проєктуванні будівельних конструкцій / Васишин Т., Сорочинський Є. // VI Міжнародна студентська науково-технічна конференція «Природничі та гуманітарні науки. Актуальні питання», 27-28 квітня 2023. — Т. : ТНТУ, 2023. — С. 36–37. — (Архітектура та будівництво).

Ключові слова: ПРОСТОРОВА ФЕРМА, НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМІВНИЙ СТАН, ВАНТОВЕ ПОКРИТТЯ.

РОЗДІЛ 1

АРХІТЕКТУРНО-БУДІВЕЛЬНА ЧАСТИНА

1.1 Основні відомості про район будівництва

1.1.1 Геологічні умови району будівництва

Район будівництва критого велотреку знаходиться в Закарпатській області в м. Мукачево. В геоморфологічному відношенні даний район знаходиться на південному схилі альпійської геосинклінальної області Карпат, яка через Мукачівську улоговину переходить в Паннонський серединний масив.

В районі Мукачева на поверхню виходять горизонти Чопської світи, складені в основному суглинками, глинами, алевролітами, пісковиками та галечниками. Верхній родючий шар сформований дерновими середньо- і сильнопідзолистими глейовими супіщаними та суглинковими ґрунтами.

Основою під фундаменти служать суглинки напівтверді жовто-бурі, суглинки темно-бурі, супіски пластичні з гравієм, галькою і гніздами піску.

Рівень ґрунтових вод стабільний на глибині 4,7 м.

Рельєф земельної ділянки, відведеної для планування на західній околиці м. Мукачево, в переважній більшості спокійний. Ділянка знаходиться поза межами гірського хребта, який пролягає на північний схід від міста.

Абсолютні відмітки змінюються в напрямку з заходу на схід від 119,50 м до 117,90 м, що при середній протяжності 800 м дає ухили поверхні значно менші 0,01%. В напрямку з півночі на південь абсолютні відмітки змінюються від 119,50 м до 118,30 м, що при протяжності 730 м дає ухили поверхні менше 0,01%. Таким чином, ділянка не вимагає особливого вертикального планування для підготовки будівельного майданчика, а також дозволяє забезпечити водостік з горизонтальних поверхонь за рахунок незначного природного ухилу.

В північно-західній частині ділянки є пагорб з перепадом висот до 1,50 м, що вимагатиме попередньої інженерної підготовки території.

Складність інженерно-геологічних умов середня за [2].

Глибина промерзання ґрунтів відповідно до [3] становить 0,65 м.

Для Закарпатської області сейсмічність становить 7 балів згідно [4].

1.1.2 Природно-кліматичні умови

Для району будівництва – м. Мукачево Закарпатської області – характерний помірно-континентальний клімат з достатньою кількістю опадів, нестійкою весною, не дуже спекотним літом, теплою осінню і м'якою зимою. В регіоні переважає морське повітря помірних широт, яке південно-західними вітрами переноситься з Атлантичного океану і Середземного моря. Морське повітря зумовлює в зимовий період досить високі температури і відносну вологість повітря.

Ділянка будівництва належить до ШБ кліматичного підрайону за [2].

Для міста Мукачево характерні абсолютна мінімальна температура зовнішнього повітря -25°C . Найхолодніший місяць – січень з середньою температурою $-2,4^{\circ}\text{C}$ та середньодобовою амплітудою температури повітря $6,6^{\circ}\text{C}$. Середня відносна вологість повітря в січні 85%.

Абсолютна максимальна температура $+30^{\circ}\text{C}$. Найтепліший місяць – липень з середньою температурою $-20,3^{\circ}\text{C}$ та середньодобовою амплітудою температури повітря $11,3^{\circ}\text{C}$. Середня відносна вологість повітря в липні складає 69%.

Середня тривалість безморозного періоду – 160 – 170 діб.

В січні пориви вітру можуть сягати максимальної швидкості 3,2 м/с, переважаючий напрям – південно-східний. В липні пориви вітру можуть сягати максимальної швидкості 3,4 м/с, переважаючий напрям – північний, північно-західний [2].

Загальна річна кількість опадів – 500 – 550 мм.

Сніговий покрив малопотужний – 20 – 30 см. Середня кількість діб зі снігом – 30 – 40 діб.

Місто Мукачево належить до снігового району 4 за [5] з характеристичним значенням снігового навантаження $S_0 = 1490$ Па .

За вітровим навантаженням район будівництва належить до вітрового району 1 за [5] з $W_0 = 370$ Па .

1.2 Проектування генерального плану

1.2.1 Економічна і топографічна оцінка району будівництва

Закарпатський регіон характеризується хорошою транспортною доступністю. Це один з основних туристичних регіонів країни, де добре розвинена готельна інфраструктура. Місто Мукачево є одним з найбільших міст регіону з населенням близько 100 тис. чол. В місті та його околицях розміщені більше 20 готелів різного рівня, здатних прийняти спортсменів та глядачів змагань.

Будівництво великого спортивного комплексу в регіоні дасть значний поштовх до розвитку сфери транспорту і обслуговування та забезпечить створення нових робочих місць як в процесі будівництва, так і після його завершення.

Розташування ділянки будівництва також дуже вигідне з точки зору міжнародних зв'язків. За 50 км проходить кордон Румунії та Угорщини, далі на заході Закарпаття межує з Словаччиною та Польщею. Відстань до міжнародного аеропорту Ужгород складає 50 км. Це дозволяє легко проводити змагання найвищого міжнародного рівня.

Що стосується велоспорту, особливо шосейних перегонів, головним критерієм є рельєф місцевості. Перепади висот на дорогах Закарпаття в районі Мукачево становлять більше 250 м, отже, за умови довжини траси в 250 км загальний перепад може становити понад 5000 м, що дає змогу проводити перегони найвищого рівня.

Площа, яку займе комплекс, становить понад 25 га. Тому очевидним є винесення території за межі міської забудови. Виходячи з планів проведення

шосейних перегонів та потреби в переважно рівнинному рельєфі територію доцільно розташувати на західному виїзді з міста Мукачево (рис. 1.1).

Головні переваги даної ділянки:

- хороша транспортна доступність. Об'єкт буде розташовуватися поблизу перетину автомагістралей М24 та Е50, що зв'яжуть комплекс з аеропортом Ужгород, вокзалами, та забезпечать зручний доїзд глядачів, в тому числі з країн Європи;
- можливість створення стартового/фінішного майданчика для шосейних перегонів;
- близькість до міської інфраструктури з численними готелями, ресторанами та туристичними центрами;
- на обраній ділянці відсутні будь-які споруди.



Рисунок 1.1 – Розміщення ділянки будівництва спорткомплексу

1.2.2 Розпланування та забудова ділянки

Генплан ділянки проектового комплексу розроблено на топографічній карті в масштабі 1:500 з підземними комунікаціями в ув'язці з існуючою навколишньою забудовою та дорожньою мережею, згідно з чинними нормами і правилами [6].

Плановій позначці 0,000 відповідає рівень чистої підлоги першого поверху критого велотреку, що має значення абсолютної позначки 118,40.

Архітектурно-планувальний концепт спорткомплексу та території розроблено, враховуючи вимоги технологічності та протипожежної безпеки [7-9]. При цьому враховано оптимальність розв'язок для в'їзду та руху автомобільного транспорту на території спорткомплексу, а також мінімізацію довжини інженерних комунікацій і максимально ефективного використання наявної території.

Ділянка, на якій планується спорудження критого велотреку та спорткомплексу загалом, має в плані неправильну форму завширшки від 800 до 1200 м та висотою 730 м, що пояснюється наявністю захисної зони високовольтної лінії електропередач на захід від неї зі сторони міста.

Через територію комплексу в напрямку з півдня на північ прокладено основний транспортний проїзд, що функціонує як основний зв'язок між комплексом та міськими та регіональними дорогами. Крім того, цей проїзд виконує функцію об'єднуючого елемента, який інтегрує житлові зони, спортивні майданчики та інші складові в єдиний, органічно взаємопов'язаний комплекс.

Ширина головної дороги за [10] становить 18 м, другорядних – 12 м, проїздів – 6 м. Мінімальний радіус повороту, прийнятий у проєкті – 6 м.

На території об'єкта запроєктовано 4 в'їзди-виїзди завширшки 8,5 м з електричним шлагбаумом і дистанційним управлінням.

У центральній зоні спорткомплексу розташована кругла будівля критого велотреку, сполучена критим переходом з адміністративним блоком з підземним паркінгом. Ця структура інтегрується в єдину об'єднану площу з відкритим велотреком, майданчиком для організації шосейних перегонів, а також спортивними майданчиками та легкоатлетичним стадіоном. Відкритий велотрек вирішено розташувати паралельно до головного проїзду. Головний вхід критого велотреку розташований з південного боку.

Центральний елемент у вертикальному плануванні комплексу представлений великопролітною будівлею критого велотреку, яка характеризується діаметром

120 м та висотою 26 м. Конструкція споруди реалізована за допомогою сідлоподібної вантової покрівлі двоякої Гаусової кривизни, що включає елементи плавного підвищення та пониження покрівлі. Висота споруди велотреку змінюється в діапазоні від 14,6 м до 26 м, надаючи об'єкту динамічність та характерні архітектурні обриси.

Розташування критого велотреку на генплані обрано відповідно до вимог, що стосуються організації змагань і громадських заходів та забезпечення комфортного перебування значної кількості глядачів у проєктованій будівлі.

З метою ефективної реалізації концепції організації руху глядацьких потоків в напрямку «автостоянка – критий трек» або «автостоянка – відкритий трек», вздовж можливих маршрутів передбачено розташування зон відпочинку. Одночасно забезпечено безперешкодний рух глядачів доріжками та тротуарами, що не перетинають проїжджих частин.

На вільних ділянках території комплексу, що не зайняті спортивними об'єктами, розташовані парковки для автомобілів відвідувачів та глядачів спорткомплексу, спортсменів, співробітників та службового автотранспорту. Також на цих ділянках розташовані зони розміщення інженерних комунікацій та обслуговуючі будівлі.

У північно-східній частині зони забудови передбачається зведення котеджів, розрахованих на розміщення спортсменів і дитячої спортивної школи.

Водовідведення дощових стоків передбачено за проєктними ухилами покриттів у дощоприймальні колодязі, на площах для стоянки автомашин колодязі запроєктовані з фільтропатронами. Проїжджа частина від тротуарів і газонів відокремлена бордюром заввишки 0,15 м. Покриття проїжджої частини та стоянок – двошаровий асфальтобетон, тротуарів – тротуарна плитка, дитячого та відпочинкового майданчика – садово-паркового типу. Озеленення території вільної від покриттів виконується влаштуванням газону, висаджуванням дерев і квітників.

З західного боку від головної будівлі велотреку розміщена зона для організації шосейних перегонів, де буде відбуватися старт та фініш змагань.

На генплані спорткомплексу виділяють:

- головну споруду критого велотреку на 5200 місць;
- відкритий трек з трибунами на 1200 місць;
- легкоатлетичний стадіон;
- житлова зона з котеджною забудовою;
- парковки для автомобілів;
- гараж для службового автотранспорту;
- приміщення комерційного призначення з рестораном;
- майданчики для збору відходів.

Для видовищної споруди велотреку з розрахунку 15 автомобілів на 100 глядачів прийнято (за максимальною кількістю глядачів в концертному режимі функціонування споруди) $9500 \cdot 15 / 100 = 1275$ машиномісць. Із розрахунку 25 м^2 на одне паркомісце приймаємо $1275 \cdot 25 = 31875 \text{ м}^2$.

Машина спортсменів і персоналу розміщуються в підземному паркінгу в адміністративному блоці велотреку.

Враховуючи вимоги пожежної безпеки [9], було ухвалено рішення про забезпечення відстані між будівлями та спорудами мінімум 12 м. Зокрема, споруда критого треку, що призначена для перебування великої кількості глядачів одночасно (максимально 9,5 тис. чол. в концертному режимі функціонування), розташована з врахуванням безпечної віддалі від інших будівель. Навколо неї запроєктовані кругові проїзди та аварійні виходи, що потрібно для ефективного реагування в разі виникнення пожежі.

1.3 Архітектурно-планувальні рішення

1.3.1 Функціональне призначення будівлі

Спорудження велотреку являє собою складний і унікальний проєкт, який повинен відповідати одночасно багатьом вимогам. Будучи одночасно і тренувальним, і видовищним об'єктом, будівля спланована й облаштована таким

чином, щоб прийняти найбільшу кількість спортсменів не тільки на основному об'єкті (велотреку), а й також у супутніх залах, прилеглий території та прибудові.

Доріжка велотреку складається з двох прямолінійних паралельних відрізків, які з'єднані віражами. З історії розвитку треків видно, що до 1920 року віражі виконували у формі простих сегментів кола. З підвищенням швидкостей перегонів почали використовувати коробові та еліптичні криві. У період з 1950 до 1970 років для віражів почали використовувати дорожні криві, серед яких найбільше відома спіраль Корню.

У 70-80-х роках використовували велотреки витягнутої форми з відносно довгими прямими ділянками (19 – 24 м) та короткими віражами (12 – 15 м). Однак високі швидкості перегонів потребували зниження відцентрової сили і, відповідно, значно більших радіусів віражів. Тому сучасні велотреки проєктуються з відносно короткими прямими ділянками.

Швидкості, на які розраховані велотреки, досягають від 85 до 110 км/год. Саме такі розрахункові значення потрібні для сертифікації треку на відповідність міжнародним та олімпійським змаганням [11].

Розглянемо основні елементи конструкції сучасного велотреку. В ній виділяють основне полотно для руху велосипедів, яке має складну криволінійну форму. Зі сторони центрального ядра воно обмежене внутрішньою брівкою, а з протилежного боку зовнішньою брівкою відділене від трибун глядачів.

З боку внутрішньої брівки знаходиться так звана зона тихої їзди. Яка використовується спортсменами для розгону та гальмування. Її ширина складає $1/10$ від ширини полотна і не менше 0,6 м. Її поперечний ухил приймають нульовим.

Вздовж зовнішньої брівки згідно вимог безпеки при проведенні змагань обов'язковим є влаштування бар'єру безпеки висотою від 0,8 м на прямих ділянках до 1,2 м на віражах з плавним переходом між ними. Також з міркувань безпеки вимагається влаштування прозорої стінки висотою 1,5–1,8 м з внутрішньої сторони зони тихої їзди. Вона потрібна, щоб уникнути виїзду чи падіння

спортсменів на центральне ядро, якщо там є зміни висоти підлоги чи воно використовується для інших цілей [11].

Для виходу спортсменів на центральне ядро велотреку використовуються тунелі в протилежних кінцях треку на ділянках віражів.

Оскільки приміщення велотреку розраховане на одночасне перебування великої кількості глядачів, в ньому передбачено примусову припливно-витяжну вентиляцію з кратністю повітрообміну 2,5 – 2,7.

Виходячи з функціональних вимог, а саме щоб уникнути деформування дерев'яного полотна треку, рекомендована температура приміщення повинна знаходитися в межах $17 \pm 1^\circ\text{C}$ на протязі цілого року.

Оскільки покрівля треку не світлопрозора, потрібно забезпечити штучне освітлення полотна з рівнем 200 – 250 люкс із коефіцієнтом нерівномірності $C_R \geq 0,9$ [11].

Враховуючи необхідність забезпечення постійного доходу від діяльності спорткомплексу, спорудження якого потребує значних інвестицій, рекомендується раціональне багатофункціональне використання об'єкта за додатковими призначеннями. Зокрема, така споруда легко піддається модернізації для проведення концертів різної місткості, також може використовуватися як виставкова зала для різних культурних заходів.

Можливості проведення концертів визначаються різноманітністю компоновки споруди, яка може бути адаптована під конкретний вид заходу та кількість глядачів, від 4,3 до 9,5 тисяч осіб.

Передбачено можливість розміщення глядачів у центральному ядрі треку як сидячи, так і стоячи, в залежності від потреб та формату подій. Такий підхід дає можливість максимізувати використання споруди та розширити її функціональні можливості, що сприятиме сталому доходу від об'єкта.

Розміри спортивного ядра велотреку одночасно із тренуваннями з велоспорту забезпечують комфортне проведення різноманітних тренувань з інших видів спорту, таких як баскетбол, волейбол та теніс. З метою забезпечення комфорту для

спортсменів, передбачено достатню кількість роздягалень, велосипедних боксів та інших допоміжних приміщень.

Простір велотреку зароектовано як багатофункціональний. Це означає, що його можна перетворити в універсальний спортивний зал для проведення змагань з різних видів спорту, забезпечивши при цьому всі необхідні вимоги з боку організаторів змагань та комфорт для глядачів. Висота головного залу велотреку змінюється від 12 м до 20 м, що дозволяє розмістити в центральному ядрі баскетбольне чи волейбольне поле, один або два боксерських ринги, два або три тенісні корти чи до дванадцяти столів для змагань з настільного тенісу.

Такі особливості будівлі велотреку надають унікальні можливості для проведення різноманітних видів спорту в одному просторі, забезпечуючи спортсменам і тренерам високий рівень функціональності та ефективності тренувань.

Критий перехід на рівні цокольного поверху сполучає приміщення критого велотреку з будівлею допоміжного адміністративного блоку, де розташовані додаткові спортивні та тренажерні зали, допоміжні та адміністративні приміщення, а також підземна парковка для спортсменів.

Таким чином, основна будівля критого велотреку може використовуватися в наступних режимах:

1. Тренувальний режим з велоспорту та інших видів спорту одночасно за рахунок використання центрального ядра та окремих спортзалів.
2. Режим проведення змагань, що виключає додаткове використання площі центрального ядра треку.
3. Концертний режим, який передбачає різну конфігурацію залу з кількома варіантами розміщення сцени.
4. Виставковий комплекс, що передбачає максимальне використання площі центрального ядра під експозицію.

Запроектвані заходи з оповіщення та евакуації людей враховують різні режими роботи споруди.

1.3.2 Розрахунок геометрії треку

Для планування внутрішнього об'єму велотреку необхідно виконати розрахунок геометрії полотна треку, оскільки від цього значною мірою залежить розміщення трибун, проходів та оглядовість споруди.

Максимальна швидкість, з якою можна пройти віраж, дорівнює

$$v = \sqrt{\frac{Rg(\operatorname{tg}\alpha + f)}{1 - f\operatorname{tg}\alpha}} \quad (1.1)$$

де f – коефіцієнт зчеплення шин колеса велосипеда з поверхнею доріжки велотреку;

g – прискорення вільного падіння.

Звідси нахил доріжки велотреку для радіуса R

$$\operatorname{tg}\alpha = \frac{\frac{v^2}{Rg} - f}{1 + f\frac{v^2}{Rg}} \quad (1.2)$$

З умови рівноваги на горизонтальній поверхні відомо, що для забезпечення стійкості велосипеда необхідно, щоб кут α був завжди більшим за кут тертя φ , тобто $\operatorname{tg}\alpha > \operatorname{tg}\varphi$.

Однак, якщо нахил $\operatorname{tg}\alpha$ більший за коефіцієнт тертя f , то неможливо проходити віраж зі швидкістю, нижчою за розрахункову.

Таким чином, щоб трек відповідав вимогам щодо сертифікації, треба мати можливість проходити його велогонщику з граничною швидкістю. Для цього необхідно, щоб віраж мав нахил, що не перевищує коефіцієнт зчеплення f . Тоді матимемо

$$\frac{\frac{v^2}{Rg} - f}{1 + f \frac{v^2}{Rg}} < f$$

$$\text{Звідси } R \geq \frac{v^2}{g} \cdot \frac{1 - f^2}{2f}$$

Так як $f = \operatorname{tg} \varphi$, то $R \geq \operatorname{ctg} (2\varphi)$.

Починаючи з 1984 р., кути нахилу регламентує Міжнародний союз велосипедистів. Вони становлять для прямих ділянок треку $12,5^\circ$, що є мінімальним кутом, та 42° для віражів [11].

Прийнявши $\varphi = 42^\circ$, отримаємо $R \geq 18,22$ м.

Приймемо радіус кругової частини віражу $R = 20$ м, загальну довжину треку $L = 250$ м (1/4 кілометра) згідно рекомендацій [11].

Для забезпечення плавності руху велосипедиста при переході з прямолінійної ділянки треку у віраж використовують гладкі криві, серед яких рекомендовано обирати спіраль Корню, що також відома як клотоїда.

Основною характерною властивістю даної кривої є пропорційна залежність її кривизни та довжини дуги, проведеної від початку координат, в кожній точці. За рахунок цього забезпечується постійне кутове прискорення матеріальної точки, що переміщується по даній кривій з незмінною швидкістю. Саме ця властивість робить клотоїду практично ідеальним вибором для побудови перехідних кривих, в тому числі для спортивних велотреків.

Відрізок спіралі Корню служить тільки як крива з'єднання від прямої лінії до кола. Віраж починається сегментом клотоїди OB і переходить в дугу кола BA (рис. 1.2). Починаючи з т. B кривизна і нахил полотна треку будуть постійними.

При таких параметрах геометрії треку по аналогії з критими треками, спорудженими за останні 20 років в Європі [1], приймемо відстань між паралельними ділянками (ширину центрального ядра) орієнтовно 42 м. Тоді

Остаточні геометричні розміри треку:

- довжина 250 м;
- довжина напіввіражу 42,703 м;
- з них 20,095 м дуги постійного радіуса і 22,608 м перехідної кривої;
- загальна довжина віражів 170,812 м;
- довжина прямої ділянки 39,584 м;
- ширина полотна 7 м;
- ширина центрального ядра 42,08 м.

Основною умовою побудови вертикального перерізу віражу приймаємо, що розгін перевищення зовнішньої бровки доріжки велотреку над внутрішньою має бути виконаний у межах перехідної кривої. Таким чином, ухил i зовнішньої лінії віражу дорівнюватиме:

$$i = \frac{h}{S} \quad (1.4)$$

де h – перевищення зовнішньої бровки над внутрішньою при переході на кругову ділянку віражу при $S = 22,608$ м.

Ширина полотна треку складає $b = 7$ м, тоді максимальна висота при $\alpha = 42^\circ$ рівна $h = b \sin \alpha = 7 \sin 42^\circ = 4,6839$ м.

$$i = \frac{4,6839}{22,608} = 0,2071$$

Для полегшення переходу з прямих ділянок доріжки велотреку на віражі приймаємо перевищення зовнішньої бровки доріжки велотреку над внутрішньою на 1,51 м, що становить рекомендований кут нахилу $12,5^\circ$. У цьому випадку необхідно розігнати висоту $4,6939 - 1,51 = 3,1739$ м з ухилом $i = \frac{3,1729}{22,608} = 0,1404$ в межах зовнішньої бровки перехідної кривої.

Додатково необхідно врахувати висоту зовнішнього бар'єру безпеки, що змінюється від 0,8 м на прямій ділянці до 1,2 м на віражі [11]. Також включимо в розрахунок значення умовного рівня для забезпечення видимості треку глядачам з трибун, перевищення якого над зовнішньою брівкою треку приймемо 0,485 м.

Результати розрахунку вертикальних координат для зовнішньої брівки треку наведено в додатку Б по окремих поперечних перерізах.

1.3.3 Розрахунок трибун для глядачів

Для розміщення глядацьких трибун в плані керуються принципом зорового сприйняття, що означає, що потрібно забезпечити достатню оглядовість спортивної арени в горизонтальному напрямку [7]. Оскільки конструкція проєктованого велотреку передбачає великопролітне вантове покриття без додаткових опор, то можемо прийняти розміщення трибун в плані навколо полотна треку на всі 360°, забезпечивши необхідні проходи.

Для вертикального планування глядацьких трибун потрібно забезпечити видимість спортивної арени над головами передніх глядачів. З [8] для критих спортивних споруд перевищення променя зору має складати 12–15 см, щоб дана умова виконувалася. Такий підхід допомагає забезпечити оптимальні умови для сприйняття подій та підвищити комфорт глядачів під час змагань.

Точкою фокусу F при розрахунках приймемо внутрішню брівку полотна треку (рис. 1.3). Тоді вертикальну відмітку ока глядача i -го ряду можна визначити за допомогою формули:

$$Y_i = \frac{X_i}{X_0} (Cn + Y_0) \quad (1.5)$$

де C – величина перевищення променя зору;

X_0 – відстань по горизонталі від точки F до ока глядача першого ряду;

X_i – відстань по горизонталі від точки F до ока глядача i -го ряду;
 Y_0 – відстань по вертикалі від точки F до ока глядача першого ряду;
 Y_i – відстань по вертикалі від точки F до ока глядача i -го ряду;
 n – число проміжків між рядами.

Вертикальне перевищення i -го ряду над попереднім r_i знайдемо як:

$$r_i = Y_i - \frac{Y_0}{n}$$

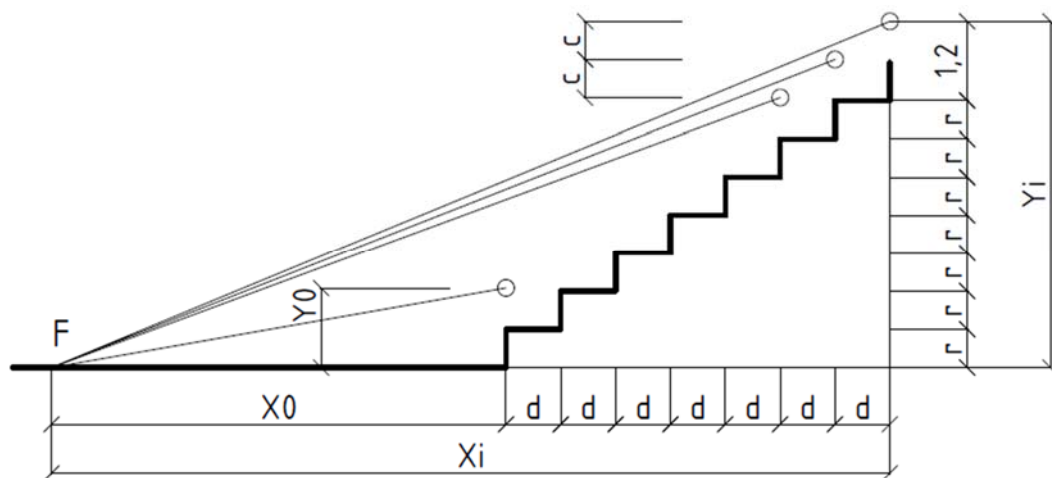


Рисунок 1.3 – Побудова профіля трибуни

Оскільки полотно велотреку має криволінійну форму на віражах, для розрахунку глядацьких трибун використаємо перерізи з кроком 2 м.

Для прямолінійної ділянки треку приймемо зміщення ока глядача першого ряду відносно точки F (внутрішня брівка треку) $X_0 = 9,4$ м при ширині полотна треку 7 м. Вертикальне положення ока глядача першого ряду приймемо $Y_0 = 3$ м при висоті захисного бар'єру 2,8 м.

Задамося значеннями перевищення кута зору $C = 12$ см та ширини ряду $d = 85$ см. Дані розрахунку за формулою (1.5) наведено в табл. 1.1, їх графічне представлення на рис. 1.4.

Таблиця 1.1 – Дані для побудови кривої видимості

Ряд	X_i	Y_i	Ухил	Горизон- тальні проходи	Перевищення над попереднім рядом	Крутизна	Кут зору (вертикальний), градуси
1	9,4	3	0,319149	0	0	0	17,7
2	10,25	3,40	0,331915	0	0,40	0,473091	18,4
3	11,1	3,81	0,343622	0	0,41	0,484799	19,0
4	11,95	4,24	0,354433	0	0,42	0,495609	19,5
5	12,8	4,67	0,364475	0	0,43	0,505651	20,0
6	13,65	5,10	0,37385	0	0,44	0,515026	20,5
7	14,5	5,55	0,382641	0	0,45	0,523818	20,9
8	15,35	6,00	0,390917	0	0,45	0,532093	21,4
9	16,2	6,46	0,398735	0	0,46	0,539911	21,7
10	17,05	6,92	0,406142	0	0,47	0,547318	22,1
11	17,9	7,40	0,41318	0	0,47	0,554357	22,4
12	18,75	7,87	0,419884	0	0,48	0,56106	22,8
13	21,2	9,04	0,426284	1,6	1,16	1,369877	23,1
14	22,05	9,52	0,431944	0	0,49	0,573121	23,4
15	22,9	10,02	0,437387	0	0,49	0,578563	23,6
16	23,75	10,51	0,442627	0	0,50	0,583803	23,9
17	24,6	11,01	0,447679	0	0,50	0,588856	24,1
18	25,45	11,52	0,452557	0	0,50	0,593734	24,3
19	26,3	12,03	0,457273	0	0,51	0,598449	24,6
20	27,15	12,54	0,461835	0	0,51	0,603012	24,8
21	28	13,06	0,466255	0	0,52	0,607432	25,0
22	28,85	13,58	0,470541	0	0,52	0,611717	25,2
23	29,7	14,10	0,4747	0	0,52	0,615877	25,4
24	30,55	14,63	0,478741	0	0,53	0,619917	25,6
25	31,4	15,16	0,482669	0	0,53	0,623845	25,8
26	32,25	15,69	0,48649	0	0,53	0,627667	25,9
27	33,1	16,23	0,490211	0	0,54	0,631388	26,1
28	33,95	16,77	0,493837	0	0,54	0,635013	26,3

Внаслідок проведених розрахунків можемо прийняти рішення, що максимальна кількість рядів на прямолінійній ділянці треку не повинна перевищувати 28, оскільки далі їх буде обмежувати висота стелі приміщення (20 м).

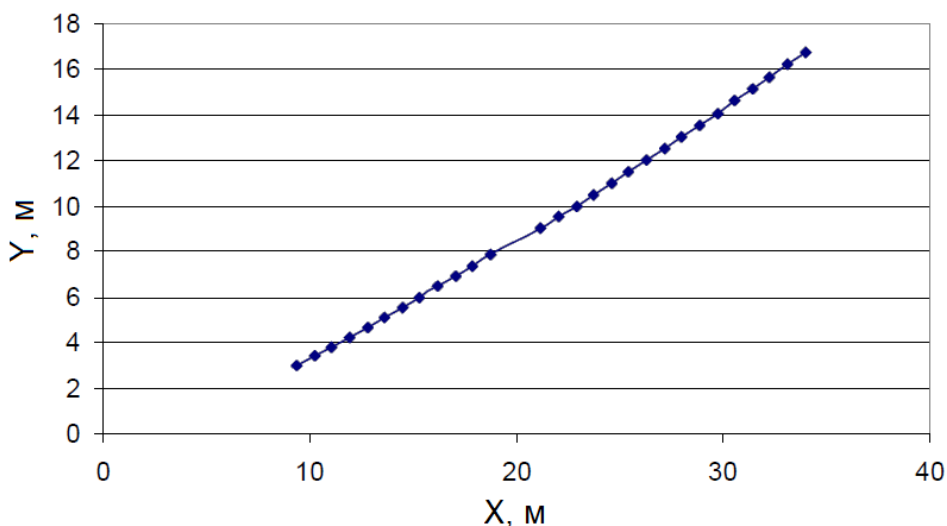


Рисунок 1.4 – Профіль трибун вздовж прямої ділянки треку

Оскільки вертикальна відмітка зовнішньої брівки швидко зростає вздовж перехідної кривої на початку віража, величина перевищення кожного наступного ряду буде швидко збільшуватися та значно відрізнятись від значень перевищення для прямолінійної ділянки треку. Це ускладнить проектування глядацького залу, тому приймаємо рішення по віражах трибуни не розташовувати. За рахунок цього можемо прийняти споруду критого велотреку круглою в плані.

1.3.4 Приміщення для спортсменів

Для забезпечення комфорту та необхідних умов обслуговування спортсменів на велотреку передбачено ряд допоміжних приміщень, що включають кімнати для зберігання велосипедів, ремонтні майстерні, кімнати для теоретичної підготовки, роздягальні та душові.

Біля виходів на велотрек влаштовано роздягальні для команд, що беруть участь в змаганнях. Площа кожної роздягальні – $40 - 50 \text{ м}^2$, їх кількість – 4 шт. Біля кожної роздягальні розміщено бокс для велосипедів площею 20 м^2 . Для пересування спортсменів з велосипедами до боксів та від них до центрального ядра

треку через тунель запроектовано коридори шириною 2,5 м. В них замість сходинок використовуються пандуси в місцях зміни рівня підлоги.

Крім самого велотреку, спортсменам для успішної підготовки потрібна додаткова тренувальна база. Щоб забезпечити її, проєктований комплекс крім критого велотреку включає в себе адміністративний блок та відкриті спортивні майданчики. Для тренувань спортсменів передбачено спортзал для ігор та загальнофізичної підготовки (38×18×8 м), зали силової (12×6×4 м) та тренажерної (12×6×4 м) підготовки.

Приміщення для тренерів прийнято з розрахунку 2 м² на кожного тренера, кількість тренерів – 1 на 15 осіб, що займаються в залах. Тренерські обладнуються закритими душовими кабінами зі шлюзами для переодягання.

Повний список допоміжних приміщень для спортсменів наведено в табл. 1.2.

Таблиця 1.2 – Список допоміжних приміщень для спортсменів

Найменування	Площа, м ²
Гардеробна верхнього одягу	0,1 на 1 чол.: 225·0,1=23
Тренерська	30
Методичний кабінет	20
Санвузли, 4 шт	4
Душові на 15 осіб, 4 шт	23
Командні роздягальні на 15 спортсменів, 4 шт	50
Бокс для велосипеда при кожній роздягальні	20
Душова на 25 осіб, 2 шт	35
Роздягальня, 2 шт	32,5
Зал ОФП	648
Душова на 30 осіб, 2 шт	40
Роздягальня, 4 шт	30
Тренажерний зал, 2 шт	50
Інвентарні, 2 шт	18
Суддівська	10
Приміщення відпочинку, 2 шт	30
Процедурна	12
Кабінет лікаря	16
Майстерні, 2 шт	40
Приміщення для зберігання велосипедів, 4 шт	60

1.3.5 Приміщення для працівників велотреку

Для працівників спорткомплексу передбачено виробничі та побутові приміщення, список яких наведено в табл. 1.3.

Таблиця 1.3 – Список основних приміщень для працівників велотреку

Найменування	Площа, м ²
Кабінет директора	18
Кабінет заступника директора	12
Кабінет головного інженера	12
Кабінет головного бухгалтера	12
Приймальня	12
Кабінети завідувачів відділами та службами, 4 шт	12
Кабінети працівників відділів, 12 шт.	4 м ² на чол., 16
Відділ кадрів	12
Роздягальня, 2 шт	15
Зал зборів	72
Душова на 6 осіб, 2 шт	8
Туалети, 4 шт	4
Кімната коменданта	8
Приміщення зберігання інвентарю, 2 шт	18 і 9
Ремонтна майстерня, 2 шт.	12
Приміщення відпочинку	18

Кабінети адміністративного персоналу та побутові приміщення в основному розміщуються в окремій будівлі адміністративного блоку, що сполучена з основними приміщеннями велотреку критим переходом. Кабінети та виробничі приміщення різних відділів розташовані поблизу відповідних технологічних приміщень та обладнання. Для зберігання спортивного інвентарю передбачені спеціальні приміщення на рівні позначки треку.

1.3.6 Приміщення для глядачів та відвідувачів

Приміщення для глядачів та відвідувачів включають зони загального користування, такі як фойє, вестибюль, хол, гардероб та кафетерій.

Загальна площа вестибюля становить 142 м^2 . Площа фойє з двох сторін глядацького залу 775 м^2 та 935 м^2 . Площа холу перед входом до глядацького залу 84 м^2 .

Загальна площа, необхідна для гардеробу, визначається виходячи з потреби $0,1 \text{ м}^2$ на глядача. При максимальній кількості глядачів 9500 (концертний режим) це складає 950 м^2 . Загальна площа гардеробу розділена на 4 окремих приміщення з різних сторін від центрального залу.

Кафетерій розділений на кілька зон в різних частинах будівлі велотреку для забезпечення кращої доступності. Їх сумарна площа становить 585 м^2 .

Головний зал для глядачів має площу 4850 м^2 , з нього передбачено 16 виходів.

1.3.7 Планувальні рішення критого велотреку

Основні приміщення велотреку розміщуються на цокольному поверсі та включають зони загального користування для глядачів та відвідувачів (фойє, вестибюль, хол, гардероб та кафетерій), санвузли, зона контролю безпеки.

Головний вхід розміщено з південної сторони будівлі в осях 22–24. Службовий вхід для працівників велотреку та спортсменів знаходиться з протилежного боку по осі 8.

В осях 12–13 передбачено пандус для в'їзду автомобілів, який також може використовуватися як окремий вхід для VIP-персон.

З будівлі критого велотреку передбачено 16 евакуаційних виходів, розміщених по всьому периметру.

Вихід до головного залу з глядацькими місцями організовано через 6 проходів з кожного боку треку. Передбачено 4 ліфтових групи по 2 ліфти вантажопідйомністю 600 кг , розташовані з різних сторін залу.

Адміністративний блок з'єднаний з будівлею велотреку критим переходом на рівні цокольного поверху. В ньому розміщуються адміністративні приміщення, кімнати теоретичної підготовки, тренажерний та спортивний зали, кабінети працівників.

1.3.8 Заходи для забезпечення комфорту та безпеки для маломобільних груп населення

Для забезпечення безперешкодного та комфортного переміщення маломобільних груп населення на території спорткомплексу з критим велотреком прийнято наступні рішення:

- ширина тротуарів та смуг руху не менше 1,8 м , що забезпечує параметри для зручного зустрічного роз'їзду;
- ухили на шляхах руху не перевищують 8% – у поздовжньому напрямку, 2% – у поперечному, що сприяє легкості переміщення;
- входи в будівлю обладнано пандусами, глибина майданчика перед входом 1,5 м , над входами передбачено навіси;
- глибина вхідних тамбурів прийнята 1,5 м , ширина 1,8 м та більше;
- ширина ліфтового холу 2,0 м ;
- передбачено подвійну звукову та візуальну сигналізацію для оповіщення про виникнення пожежі;
- ділянки підлоги на відстані 0,2 м і шириною 0,4 м перед дверними прорізами на шляхах евакуації виконані з тактильних смуг з рифленою поверхнею згідно [12];
- двері та прорізи в стінах мають ширину не менше 0,9 м , висота порогів до 0,025 м .

1.4 Основні конструктивні рішення

Полотно для треку виготовляється з деревини хвойних порід згідно рекомендацій Міжнародного союзу велосипедистів [11]. Воно розміщується по лагах на основі металевого каркасу. Каркас кріпиться до залізобетонних конструкцій перекриття. Таке рішення дозволяє виготовити конструкції, що дуже точно відтворюють складний криволінійний профіль треку, що критично важливо для забезпечення функціонування об'єкту.

Основні несучі елементи споруди виконуються з монолітного залізобетону, включаючи перекриття, сходи, ліфтові шахти, основи під трибуни глядачів.

Товщина монолітних стін та перекриттів – 200 мм.

Огороджуючі конструкції прийнято із сендвіч-панелей. Внутрішні перегородки між приміщеннями – з гіпсокартону 150 мм.

Двері вхідної зони для глядачів – електричні розсувні, для входу спортсменів та працівників – металопластикові.

Засклення – енергоефективні склопакети.

Покриття будівлі вантове, сідлоподібної форми, кругле в плані. Виконане за ортогональною схемою з попереднім напруженням вант. Використано сталеві канати діаметром 56 мм, крок вант – 2 м. Покрівля з профнастилу по вантах, з шаром утеплювача товщиною 150 мм та наплавним шаром.

В якості опорного поясу для вантового покриття виступає просторова металева ферма з криволінійними поясами висотою 4,6 м, виконана з гарячекатаних безшовних труб.

Стійки опорного поясу – металеві, шарнірно з'єднані з пілонами. Самі пілони – монолітні залізобетонні перерізом 600 × 600 мм.

Фундаменти будівлі велотреку прийнято пальові з плитним ростверком з монолітного залізобетону. Довжина паль 13 м. Плита ростверку складається з окремих частин, влаштованих під трибунами, центральним ядром та полотном треку, що розділені деформаційними швами.

Фундаменти під пілони покриття також пальові, незалежні.

1.5 Інженерні мережі

1.5.1 Водопостачання

Водопостачання проєктованого спорткомплексу передбачено шляхом підключення до господарсько-питного водопроводу міста. На вході в будівлі в місцях підключення водопостачання передбачено влаштування фільтрувальних вузлів з водомірами.

На всій ділянці спорткомплексу передбачено влаштування пожежних гідрантів згідно вимог [9] з максимальною відстанню між ними не більше 50 м. Пожгідранти та система гасіння пожежі дречерного типу в будівлі велотреку підключені до системи пожежного водопроводу.

Гаряче водопостачання та опалення будівель спорткомплексу передбачено від проєктованої котельні на території забудови, що буде підключена до районних газових мереж.

1.5.2 Каналізація. Злизова каналізація

Усю площу ділянки спроектовано з організованою системою поверхневого водовідведення, яка направляє стічні води до закритої мережі зливових стічних вод. Додатково на ділянці розташовані дощоприймальні колодязі, які забезпечують видалення поверхневих стоків з території. Зібрані поверхневі стоки подаються на міські очисні споруди для подальшого очищення від забруднень.

Проєкт включає у себе систему злизової каналізації, яка охоплює всю територію комплексу. Злизова каналізація транспортує стічні води до колектору та далі до очисних споруд. Люки злизової каналізації розміщуються на відстані від 25 м до 40 м один від одного для забезпечення ефективного функціонування системи.

Так само на міські очисні споруди направляються стоки основної фекальної каналізації, що потребує прокладання нової ділянки колектора.

Підключення систем водопостачання та каналізації виконується до наступних будівель комплексу:

- критий велотрек;
- адміністративний блок;
- приміщення комерційного призначення з рестораном;
- котеджне містечко;
- громадські вбиральні на спортмайданчику та відкритому велотреку.

1.5.3 Електропостачання

Електропостачання забезпечується від проєктованої трансформаторної підстанції на території спорткомплексу. Передбачається підключення трансформаторної підстанції до районних електромереж виділеною високовольтною лінією.

Для забезпечення ефективного та надійного розташування електричних кабелів, передбачено підземне прокладання на глибині не менше 0,7 м від планувальної позначки землі.

РОЗДІЛ 2

РОЗРАХУНКОВО-КОНСТРУКТИВНА ЧАСТИНА

2.1 Розрахунок вантового покриття

2.1.1 Аналіз роботи висячих покриттів

Розмір головного залу велотреку, що визначається виходячи з геометрії полотна треку та розташування трибун для глядачів, складає 115 м. Це вимагає ретельного підбору конструкції покриття для нього. Типові металеві та залізобетонні конструкції для таких великих прольотів є неефективними з економічної точки зору. Застосування арочних конструкцій дозволяє влаштувати перекриття прольоту такої величини, але значно збільшує висоту приміщень, що в даному випадку непотрібно.

Також варто відзначити необхідність забезпечення хорошої оглядовості полотна треку для глядачів з усіх ракурсів, що в ідеалі виключає використання проміжних опор.

Враховуючи вищенаведені фактори, в даній роботі в якості конструкцій покриття пропонується використати перехресну вантову систему.

Вперше подібне покриття для великих спортивних споруд було застосовано в 1952 р. в США при спорудженні спортзалу Релей-арена та показало свою ефективність.

Перехресна система вант (рис. 2.1) складається з двох наборів канатів, які розміщені у взаємно перпендикулярних напрямках. Всі канати вантової системи мають форму парабол, тому її ще називають висячою покрівлею. При цьому, ванти розташовані в одному напрямку опуклістю вниз, в іншому – опуклістю вгору. Перші сприймають корисне навантаження від покрівлі та додаткове навантаження від поперечних вант і називаються робочими (рис. 2.2). Другі слугують тільки для задання попереднього натягу, який дозволяє значно зменшити прогини покриття, і називаються стабілізуючими (рис. 2.3).

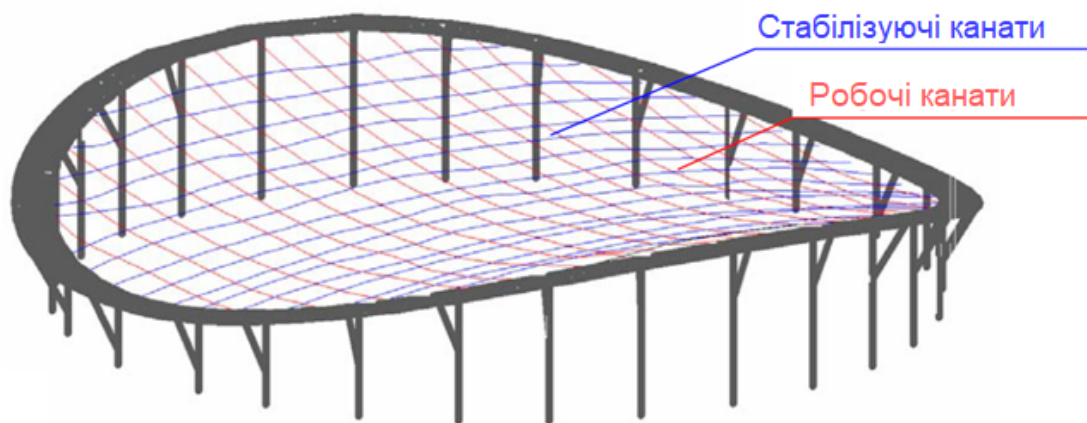


Рисунок 2.1 – Перехресна вантова система

Канати в межах кожного набору мають подібну параболічну форму, що вказує на те, що вони навантажені рівномірно по всій довжині. Для забезпечення стоку з покрівлі окремим канатам кожного набору надаються певні вертикальні зміщення, що утворює подвійну кривизну даного покриття.

Натяг усіх стабілізуючих канатів перехресної вантової системи приймають однаковим. Відповідно, на канати робочого набору вант з їх боку передаються однакові сили, розміщені з постійним кроком. Це дозволяє нам замінити такі зосереджені сили рівномірно розподіленим навантаженням деякою величиною q_c .

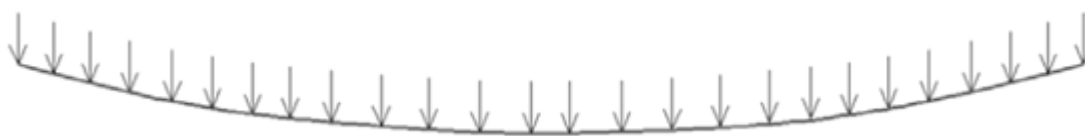


Рисунок 2.2 – Обрис та навантаження робочого канату вантової системи

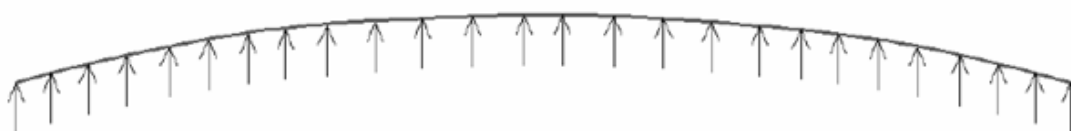


Рисунок 2.3 – Обрис та навантаження натяжного канату вантової системи

Стабілізуючі троси призначені виключно для задання попереднього натягу на вантову систему, що значно підвищує її жорсткість. Вони не сприймають жодного корисного навантаження від покрівлі. Величину їх натягу також можна замінити на рівномірно розподілене навантаження величиною q_c .

Запишемо рівняння стабілізуючого каната, розташованого в площині XOZ проліт і стрілу прогину цього каната позначимо l і f . Використовуючи рівняння параболи, отримаємо:

$$z = -\frac{4fx^2}{l^2} \quad (2.1)$$

Подібним чином, для робочого каната прольотом L і стрілою прогину F , що розміщений в площині YOZ (рис. 2.4), отримаємо:

$$z = -\frac{4Fy^2}{L^2} \quad (2.2)$$

Ці канати називаються головними. Будь-який інший робочий канат, розміщений на деякій відстані x від головного, характеризується прольотом L_x і стрілою прогину F_x . Оскільки натяг всіх канатів однаковий, то

$$\frac{qL_x^2}{8F_x} = \frac{qL^2}{8F}$$

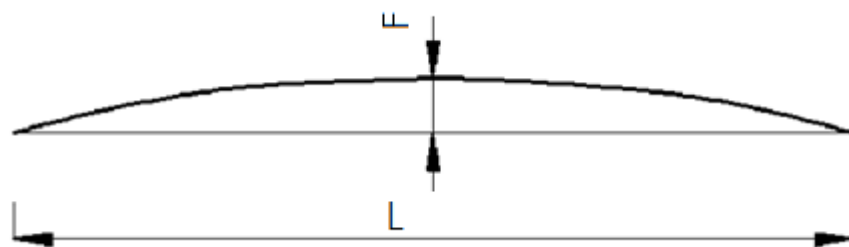


Рисунок 2.4 – Схема головного каната

Звідси

$$F_x = F \frac{L_x}{L^2} \quad (2.3)$$

Оскільки такий робочий канат буде розміщений на відстані x від головного, що проходить через початок координат, то вершина його параболи буде зміщена на величину z , що визначається рівнянням стабілізуючого канату (2.1). Таким чином, одержимо наступне рівняння:

$$z = -\frac{4fx^2}{l^2} + \frac{4F_x y^2}{L_x^2}$$

Прийнявши до уваги рівняння (2.3), отримаємо рівняння гіперболічного параболоїда, що описує форму нашого покриття:

$$z = -\frac{4fx^2}{l^2} + \frac{4F y^2}{L^2} \quad (2.4)$$

Виходячи з даного рівняння, визначимо форму опорного поясу для покриття.

Припустимо, що опорний пояс не буде працювати на згин. Оскільки навантаження на опорний пояс будуть прикладені в точках кріплення канатів з певним рівномірним кроком, а натяг у всіх канатах кожного набору буде однаковим, то ми можемо замінити їх на рівномірні навантаженнями p_l і p_L . Їх значення залежать від натягу робочих та стабілізуючих канатів вантової системи.

Розглянемо деяку точку на опорному поясі з координатами x і y , для якої приймемо, що згинальний момент рівний нулю.

$$p_l \frac{L}{2} \left(\frac{L}{2} - y \right) - p_l \frac{\left(\frac{L}{2} - y \right)^2}{2} - \frac{p_L x^2}{2} = 0,$$

$$p_l \left(\frac{L}{2} \right)^2 - p_l y^2 - p_L x^2 = 0$$

Це рівняння еліпса, яке може бути переписано як

$$\frac{y^2}{\left(\frac{L}{2}\right)^2} - \frac{p_L}{p_l} \frac{x^2}{\left(\frac{L}{2}\right)^2} = 1 \quad (2.5)$$

Якщо врахувати, що в точці, де $y = 0$ і $x = l/2$, момент (як і в усіх інших точках) дорівнює нулю, отримаємо

$$\frac{p_L \left(\frac{L}{2}\right)^2}{p_l \left(\frac{L}{2}\right)^2} = 1.$$

Звідки $\frac{p_L}{p_l} = 1$.

Тобто суцільні навантаження по кільцю однакові в усіх напрямках, кільце завантажене рівномірним навантаженням по всій своїй довжині.

Підставляючи цей вираз у рівняння (2.5), отримаємо рівняння кола у звичайному вигляді

$$x^2 + y^2 = \left(\frac{L}{2}\right)^2 = R^2$$

Дане рівняння ґрунтується на припущенні, що опорне кільце не працює в плані на згин. Цим рівнянням не можна скористатися для визначення L , бо самі величини навантажень p залежать від L .

Натяг робочих тросів дорівнює

$$H_p = \frac{(q + q_c)L^2}{8F} \quad (2.6)$$

Прийнявши відстань між тросами рівною d , отримаємо

$$p_L = \frac{H_p}{d} = \frac{(q + q_c)L^2}{8Fd} \quad (2.7)$$

де q – повне постійне погонне навантаження на трос,

q_c – погонне навантаження, що передається на робочий трос від стабілізуючих.

Абсолютно аналогічно, натяг стабілізуючого троса:

$$H_c = \frac{q_c l^2}{8f}, \quad (2.8)$$

$$p_l = \frac{H_c}{d} = \frac{q_c l^2}{8fd} \quad (2.9)$$

З цих рівнянь випливає

$$q_c = \frac{q}{\frac{F}{f} - 1} \quad (2.10)$$

Величина q_c в рівнянні (2.10) отримана з умови відсутності згинальних моментів в опорному поясі за постійного навантаження. При нерівномірному чи змінному навантаженні формула вже буде несправедливою, робота покриття зміниться і натяг в різних канатах буде відрізнятися.

Підсумовуючи вищенаведені результати можемо сказати, що характерною рисою перехресних вантових систем є однакові значення сили натягу в робочих та стабілізуючих канатах при симетричному навантаженні на покрівлю. В даному випадку в елементах опорного поясу не виникають згинальні моменти.

У випадку ж несиметричного навантаження дана умова перестає виконуватися, і в елементах опорного поясу будуть виникати згинальні моменти. При цьому натяг різних канатів буде різним, їх навантаження може бути нерівномірним, що може впливати як на жорсткість, так і на форму покриття в цілому.

У випадку круглого опорного поясу всі канати вантового покриття мають різну довжину, а значить і різні власні частоти коливань. Це значно покращує динамічні характеристики конструкції, оскільки унеможливорює одночасний резонанс для всіх канатів.

Покриття має форму гаусової поверхні з двоякою кривизною, що забезпечує вільне відведення поверхневих опадів без необхідності влаштування водостоку.

2.1.2 Визначення стріл прогину несучих і стабілізаційних тросів

У площині YOZ проходять несучі троси. Для головного несучого троса стрілу прогину приймемо за рекомендаціями [13]

$$F \approx \frac{L}{15} = \frac{115}{15} = 7,67 \text{ м.}$$

Остаточно приймемо $F = 8 \text{ м}$

У площині XOZ розташовуються стабілізуючі троси. Для них рекомендована величина стріли прогину складає [13]

$$f \approx \frac{l}{25} = \frac{115}{25} = 4,6 \text{ м}$$

Остаточно приймемо $f = 4 \text{ м.}$

Приймемо відстань між робочими і натяжними тросами $d = 2 \text{ м}$, виходячи із конструктивних вимог щодо розташування листів профнастилу для покриття.

Визначимо стрілки всіх робочих і натяжних тросів за формулою (2.4). Результати обчислення наведено в наведено в додатку В.

2.1.3 Збір навантажень на ванти

Визначимо погонне навантаженням q на канат вантової системи.

Для фрагменту каната завдовжки 1 м вантажна площа становить 2 м^2 , оскільки крок робочих канатів прийнято $d = 2 \text{ м}$.

Навантаження від власної ваги каната прийmemo $g_{\text{канат}} = 0,03 \text{ кН/м}$.

Вага конструкцій покриття з профнастилу, утеплювача товщиною 150 мм та наплавної покрівлі для вантажної площі $g_{\text{покр}} = 0,12 \cdot 2 = 0,24 \text{ кН/м}$.

Тривале корисне навантаження $g_k = 0,48 \cdot 2 = 0,96 \text{ кН/м}$.

Снігове навантаження для 4-го снігового району [5]:

$$g_{\text{сн}} = \gamma_f S_0 \mu d = 1,4 \cdot 1,49 \cdot 1 \cdot 2 = 4,17 \text{ кН/м}.$$

Тоді загальне погонне навантаження на робочий канат вантової системи складе:

$$q = g_{\text{канат}} + g_{\text{покр}} + g_k + g_{\text{сн}} = 0,03 + 0,24 + 0,96 + 4,17 = 5,4 \text{ кН/м}.$$

2.1.4 Визначення необхідного попереднього натягу вант

Визначимо параметр q_c , що визначає величину погонного навантаження, яке передається на робочі троси від стабілізуючих. Його значення дозволяє визначити необхідну силу попереднього натягу системи стабілізуючих канатів.

З одного боку, збільшення попереднього натягу в стабілізуючих канатах вантової системи дозволяє підвищити жорсткість покриття та зменшити його деформації, а з іншого призводить до необхідності використовувати канати більшого перерізу, а також до збільшення витрат матеріалів на конструкцію опорного поясу, оскільки вона повинна сприймати збільшені навантаження від натягу канатів, що негативно впливає також на вартість влаштування покрівлі.

За формулою (2.10) з розділу 2.1.1 отримаємо:

$$q_c = \frac{q}{\frac{F}{f} - 1} = \frac{5,4}{\frac{8}{4} - 1} = 5,4 \text{ кН/м}$$

Як бачимо, в нашому випадку величина попереднього натягу стабілізуючих канатів буде рівна величині навантаження та відповідного натягу в робочих канатах вантової системи.

2.1.5 Визначення зусиль у тросах

За формулами (2.6) і (2.8) визначаємо натяг робочих і стабілізуючих тросів.

$$H_p = \frac{(q + q_c)L^2}{8F} = \frac{(5,4 + 5,4) \cdot 115^2}{8 \cdot 8} = 2231,72 \text{ кН}$$

$$H_c = \frac{q_c l^2}{8f} = \frac{5,4 \cdot 115^2}{8 \cdot 4} = 2231,72 \text{ кН}$$

Прийнявши коефіцієнт надійності рівним 1,1, знайдемо мінімальну необхідну несучу здатність канату нашої вантової системи:

$$H_{\min} = 2231,72 \cdot 1,1 = 2455 \text{ кН}$$

Приймаємо канат закритий несучий діаметром 56 мм класу $6 \times K36WS - IWRC$ (1-7-7+7-14) марки 2160 з $F_{\min} = 2520$ кН за стандартом [14] (рис. 2.5).

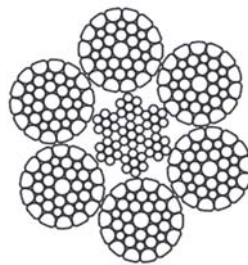


Рисунок 2.5 – Переріз каната $6 \times K36WS - IWRC$ (1-7-7+7-14)

Скориставшись формулами (2.7) і (2.9), визначимо еквівалентне рівномірно розподілене навантаження на опорний пояс вантового покриття.

$$p_L = p_l = \frac{2455}{2} = 1227,5 \text{ кН/м.}$$

При погонній вазі каната 15 кг/м [14] та сумарній довжині всіх канатів вантового покриття 1824 м (див. додаток В) повна маса вант складе 27,36 т.

Використовуючи рівняння (2.4) та (2.5), визначимо координати опорного поясу вантової покрівлі та профіль її поверхні. Результати наведено в додатку Г.

З практики проектування вантових конструкцій також відомо, що при невеликих значеннях стрілок прогинів стабілізуючих канатів крайніх рядів можлива ситуація недостатнього навантаження робочих канатів, за рахунок чого жорсткість покриття на даних ділянках буде суттєво знижена і воно може провисати.

Найпростішим варіантом вирішення даної проблеми може слугувати влаштування додаткових відтяжок, що передаватимуть додаткові зусилля на робочі канати.

2.2 Проектування пальових фундаментів

2.2.1 Інженерно-геологічні умови майданчика будівництва

Виходячи з геологічних умов майданчику будівництва, проаналізованих в розділі 1.1.1, зведемо інженерно-геологічні дані в табл. 2.1.

Таблиця 2.1 – Інженерно-геологічні дані майданчика будівництва

Номер ІГЕ	Глибина підшви	Абсолютна відмітка.	Потужність шару	Тип ґрунту
1	0,2	118,81	0,20	Ґрунтово-рослинний шар – дерновий середньо-підзолистий супісок
2	0,8	118,21	0,60	Суглинок напівтвердий, жовто-бурий
3	2,1	116,91	1,30	Суглинок напівтвердий стрічковий, жовто-бурий
4	3,2	115,81	1,1	Супісок напівтвердий пилювато-жовтий із гравієм, галькою
5	6,1	112,91	2,9	Супісок коричнево-бурий, з гравієм, галькою і гніздами піску
6	8,0	111,01	1,9	Суглинок напівтвердий темно-бурий із гравієм і галькою
7	9,3	109,71	1,3	Супісок пластичний буро-коричневий, з гравієм, галькою і гніздами піску
8	15,4	103,61	6,1	Супісок твердий буро-коричневий з гравієм і галькою
9	18,4	100,69	3,0	Суглинок шаруватий, напівтвердий, темно-бурий з гравієм, галькою, з рідкісними валунами

2.2.2 Визначення навантажень на фундаменти критого велотреку

Виходячи з даних розрахунку вантового покриття в розділі 2.1 та концептуального проектування основних конструкцій в розділі 1, визначимо вертикальні навантаження на фундаменти та зведемо їх в табл. 2.2.

Таблиця 2.2 – Вертикальні навантаження на фундаменти велотреку

№	Найменування	Величина
1	Навантаження від вантового покриття	27,36 т
2	Навантаження від покриття покрівлі	316 т
3	Навантаження від опорного кільця	240 т
4	Навантаження від колон	294 т
5	Навантаження від зв'язків	150 т
6	Навантаження від трибун	1200 т
7	Навантаження від полотна велотреку	1417 т бетону + 140 т деревини
8	Навантаження від перекриттів	18270 т
9	Корисне навантаження	3000 т
10	Плита ростверку	14175 т
11	Снігове навантаження	1547 т
	Разом на колони опорного кільця (пілони)	7260 т
	Разом на споруду	27500 т

2.2.3 Розрахунок несучої здатності палі

Проектування фундаментів критого велотреку в місті Мукачєво виконаємо на основі даних про інженерно-геологічні умови району будівництва та зібрані навантаження, користуючись перевітками за першою групою граничних станів.

Розглядаємо пальовий фундамент із низьким ростверком. Його глибину закладання визначимо, виходячи з глибини сезонного промерзання ґрунтів та конструкцій цокольного поверху, рівною $d_1 = 2,1$ м.

Приймаємо палі квадратного перерізу типу ПН130.40-А600С за [15]. Заглиблення кінця палі становить $-15,100$.

Усі палі працюють як висячі, тобто їх несуча здатність забезпечується тертям бічної поверхні по ґрунту та відпором ґрунту під п'ятою палі.

Несуча здатність однієї висячої палі визначається за формулою [3]:

$$F_d = \gamma_c (\gamma_{cr} RA + p \sum \gamma_{cf} f_i h_i) \quad (2.11)$$

де $\gamma_c = 1,0$ – коефіцієнт умов роботи палі в ґрунті;

R – питомий опір ґрунту під нижнім кінцем палі;

A – площа спирання палі на ґрунт;

$\gamma_{cr} = 1,0$, $\gamma_{cf} = 1,0$ – коефіцієнти, що залежать від способу занурення палі та виду ґрунту;

f_i – питомий опір шару ґрунту основи по бічній поверхні;

h_i – товщина однорідного шару ґрунту, що стикається з поверхнею палі, не повинна перевищувати 2 м;

p – зовнішній периметр поперечного перерізу палі.

Результати обчислень опору по бічній поверхні палі зведено в табл. 2.3.

Схема до розрахунку показана на рис. 2.6.

Таблиця 2.3 – Розрахунковий опір по бічній поверхні палі

h , м	Z , м	ІГЕ	IL	IP	e	f , кПа	$f \times h$
0,7	2,85	4	0,7	0,2	0,8	17,35	12,145
1,5	3,95	5	0,25	0,2	0,8	25,3	37,95
1,4	5,4	5	0,25	0,2	0,8	25,3	35,42
1,9	7,05	6	0,5	0,2	0,6	25,5	48,45
1,3	8,65	7	0,5	0,2	0,8	18,15	23,59
2	10,3	8	0,5	0,2	0,8	22,06	44,12
2	12,3	8	0,5	0,2	0,8	22,06	44,12
1,8	14,2	8	0,5	0,2	0,8	22,06	39,70
12,6	сума						285,50

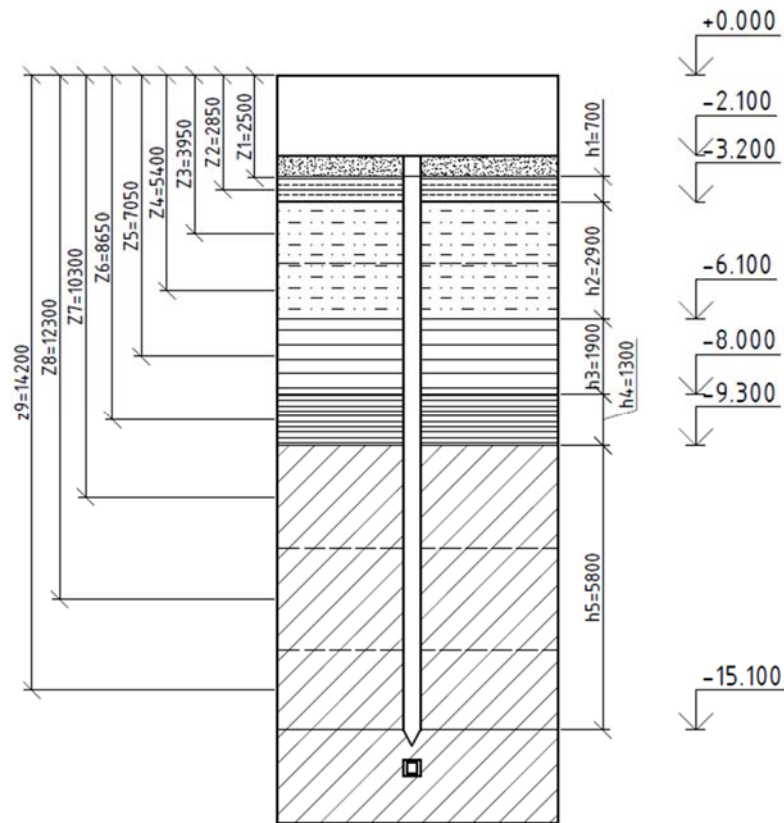


Рисунок 2.6 – Схема до розрахунку несучої здатності палі

Тоді за формулою (2.11) $F_d = 1 \cdot (1 \cdot 1596 \cdot 0,16 + 1,6 \cdot 285,5) = 712,16$ кН.

З врахуванням коефіцієнту надійності $\gamma_f = 1,4$, отримаємо допустиме вертикальне навантаження на палю $N = 712,16/1,4 = 508,69$ кН

2.2.4 Розрахунок необхідної кількості палей

Припускаємо, що на палі діють виключно вертикальні навантаження. Тоді необхідну кількість палей для фундаментів велотреку знайдемо з рівняння

$$n = \frac{N_d}{N} \quad (2.12)$$

де N_d – загальне навантаження на фундамент;

N – розрахункове навантаження на одну палю.

Визначимо кількість паль під кожну колону опорного поясу вантового покриття. Зусилля в колонах визначимо з результатів розрахунку моделі споруди (рис. 2.7). З епюри очевидно, що зусилля в різних пілонах сильно відрізняються і необхідна кількість паль буде різною.

Найбільші значення нормальних сил спостерігаються в пілоні №1:

$$N_{d1} = 10160 \text{ кН}.$$

Тоді за формулою (2.12) мінімально необхідна кількість паль для цього пілона

$$n_1 = \frac{10160}{509} = 19,96 \approx 20.$$

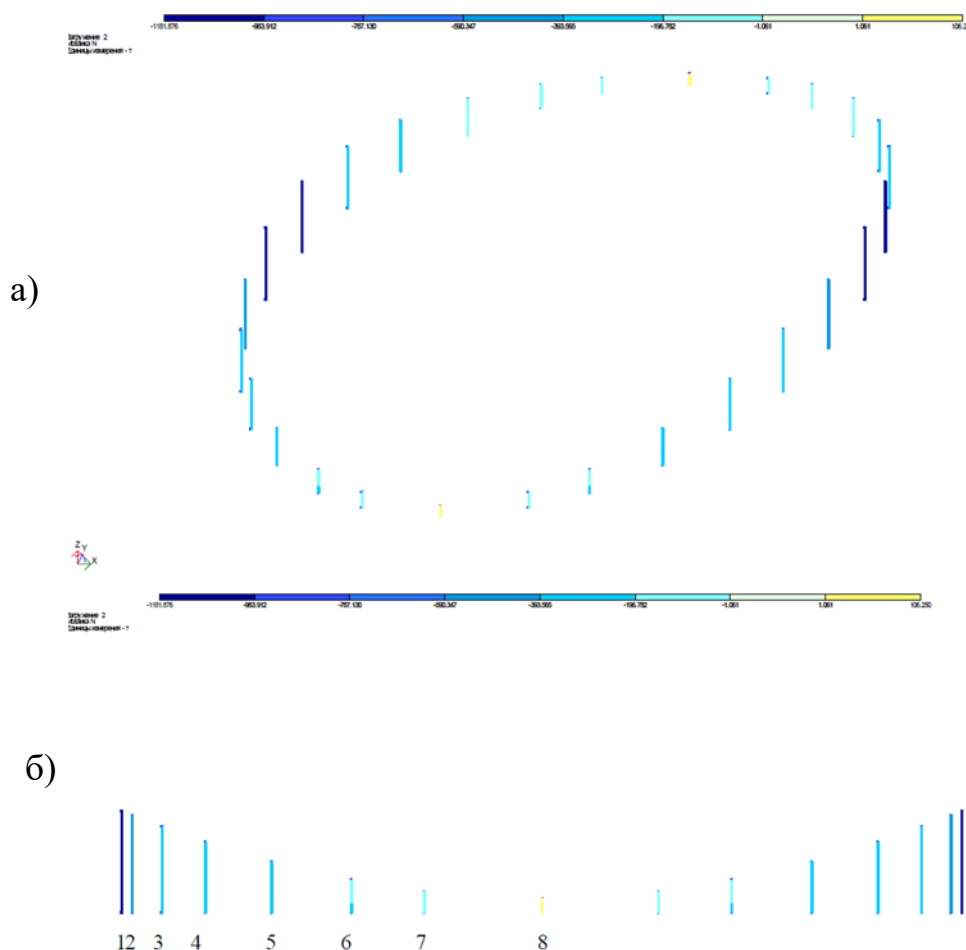


Рисунок 2.7 – Мозаїка поздовжніх сил в пілонах та їх нумерація:

а) – просторовий вигляд; б) – проекція на площину XOZ

Проведемо розрахунок кількості паль за формулою (2.12) для решти пілонів.

$$n_2 = \frac{4040}{509} = 7,94 \approx 8.$$

$$n_3 = \frac{3580}{509} = 7,03 \approx 7. \text{ Виходячи з умови конструювання симетричного}$$

ростверку приймаємо $n_3 = 8$.

$$n_4 = \frac{3115}{509} = 6,12 \approx 6.$$

$$n_5 = \frac{2890}{509} = 5,68 \approx 6.$$

$$n_6 = \frac{1975}{509} = 3,89 \approx 4.$$

Як видно з епюри (рис. 2.7), пілон №8 виявилися розтягнутими, що пояснюється попереднім натягом стабілізуючих тросів. З умови їхньої роботи вектор результуючого натягу спрямований вгору, а навантаження від робочих тросів в даній точці відсутнє.

Конструктивно для пілонів №7 і №8 прийmemo кількість паль $n_7 = n_8 = 4$.

Для споруди загалом (за винятком фундаментів під пілони) за формулою (2.12) укрупнено отримаємо необхідну кількість паль, що дорівнює

$$n = \frac{231000}{509} = 453,8 \approx 454.$$

Розміщуємо палі в плані таким чином, щоб виконувалася умова відокремлення деформаційними швами наступних елементів конструкції:

1. Фундамент під полотно велотреку;
2. Фундамент під пілони вантового покриття;
3. Фундамент під стіни та трибуни.

РОЗДІЛ 3

НАУКОВО-ДОСЛІДНА ЧАСТИНА

3.1 Аналіз напружено-деформівного стану опорних просторових ферм для вантових покриттів

Опорні пояси для великопролітних вантових конструкцій можуть виконуватися з різних матеріалів, мати різні форми, подекуди досить складні та криволінійні, що залежить від конфігурації та типу прийнятого вантового покриття [16-19]. Найчастіше використовуються монолітні залізобетонні пояси у випадку плоского опорного контура та металеві у випадку складної просторової конфігурації покриття [13, 20, 21].

В даній роботі пропонується використати вантове покриття подвійної гаусової кривизни для приміщення критого велотреку в місті Мукачево прольотом 115 м. Геометричні параметри покриття були розраховані в розділі 2.1.

Оскільки його сідлоподібна форма вимагає криволінійного просторового опорного поясу, конструктивне вирішення прийнято з металоконструкцій у вигляді просторової ферми. Такий варіант володіє значними перевагами, оскільки просторові ферми є дуже ефективними за показником несучої здатності приведеної до одиниці маси [22, 23].

Отже, об'єктом дослідження в даній роботі є просторова металева ферма опорного поясу вантового покриття велотреку прольотом 115 м.

Предметом дослідження виступає напружено-деформівний стан (НДС) даної просторової ферми.

Відповідно, в роботі ставляться наступні задачі:

- визначення параметрів НДС просторової ферми опорного поясу покриття велотреку (переміщень, внутрішніх сил та моментів) та їх аналіз;
- перевірка несучої здатності конструктивних елементів.

3.2 Методика дослідження НДС просторової ферми опорного кільця вантової покрівлі

Аналіз напружено-деформівного стану просторових металевих ферм є складною задачею, для вирішення якої на практиці найчастіше використовують методи скінченно елементного аналізу [24, 25]. Основна ідея полягає в розділенні конструкції на значну кількість прямолінійних простих стержневих скінченних елементів, для кожного з яких відносно просто скласти рівняння, що описують його напружено-деформівний стан. Сукупність таких елементів, що взаємодіють один з одним, дозволяє досить точно проаналізувати роботу складної конструкції. При цьому складні геометричні форми апроксимуються короткими переважно прямолінійними сегментами, що дозволяє якнайкраще врахувати геометрію конструкції.

Для побудови розрахункової моделі методу скінченних елементів було обрано програмний комплекс Ліра-САПР, який є відомим вітчизняним продуктом на ринку. Він використовує класичний підхід до розрахунку моделей у формі методу переміщень та дозволяє реалізувати необхідні нам геометрію та навантаження моделі, поєднуючи це зі зручними інструментами для аналізу результатів [26].

Для створення геометрії розрахункової схеми було використано координати опорного контуру, визначені в розділі 2.1 та наведені у додатку Г. Під час розрахунку використано просторову ознаку схеми 5, що має 6 ступенів вільності в кожному вузлі.

В модель крім власне конструкцій просторової ферми опорного кільця покриття включали ще вертикальні пілони та розкоси для передачі навантажень від покриття на фундаменти (рис. 3.1). Такий сумісний розрахунок дозволяє максимально повно врахувати взаємну роботу різних частин конструкції та більш точно оцінити їх НДС.

Сама просторова ферма складається з двох паралельних поясів, виконаних з гарячекатаних безшовних труб діаметром 1420 мм, що проходять на відстані 4,6 м

одна від одної. Пояси з'єднуються між собою розкосами з гарячекатаних безшовних труб діаметром 200 мм.

Ферма має складну просторову геометрію, оскільки вертикальне перевищення зовнішнього поясу над внутрішнім змінюється вздовж ферми залежно від кривизни сідлоподібної покрівлі. Воно коливається в межах від $-1,1$ м в найнижчій точці до $+1,1$ м в найвищій, що є додатковим фактором, котрий впливає на напружений стан елементів просторової ферми.

Конфігурація розкосів відрізняється в різних сегментах просторової ферми. На ділянках, де переважають навантаження одного напрямку, прийнято перехресну схему розкосів (рис. 3.2, а). На ділянках, де одночасно діють значення навантаження в двох взаємно перпендикулярних напрямках, прийнято трикутну розкісну схему з проміжними стійками (рис. 3.2, б). На перехідних ділянках по довжині ферми прийнято звичайну трикутну розкісну схему (рис. 3.2, в). Такий підхід добре узгоджується з рекомендаціями [27] та результатами досліджень [23, 24].

В'язі на елементи розрахункової схеми задавали в точках стикування пілонів з фундаментом. Для них прийнято жорстке зацімлення за всіма ступенями вільності.

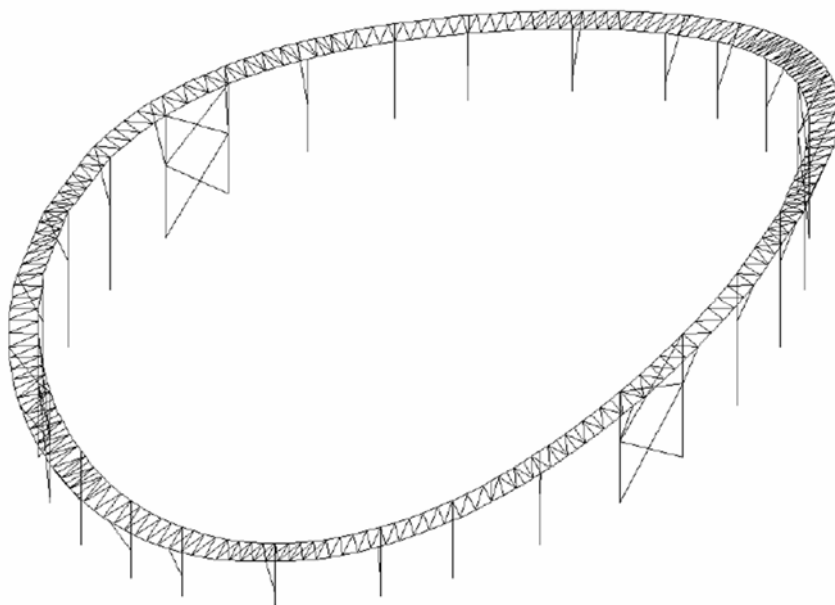


Рисунок 3.1 – Загальний вигляд розрахункової схеми

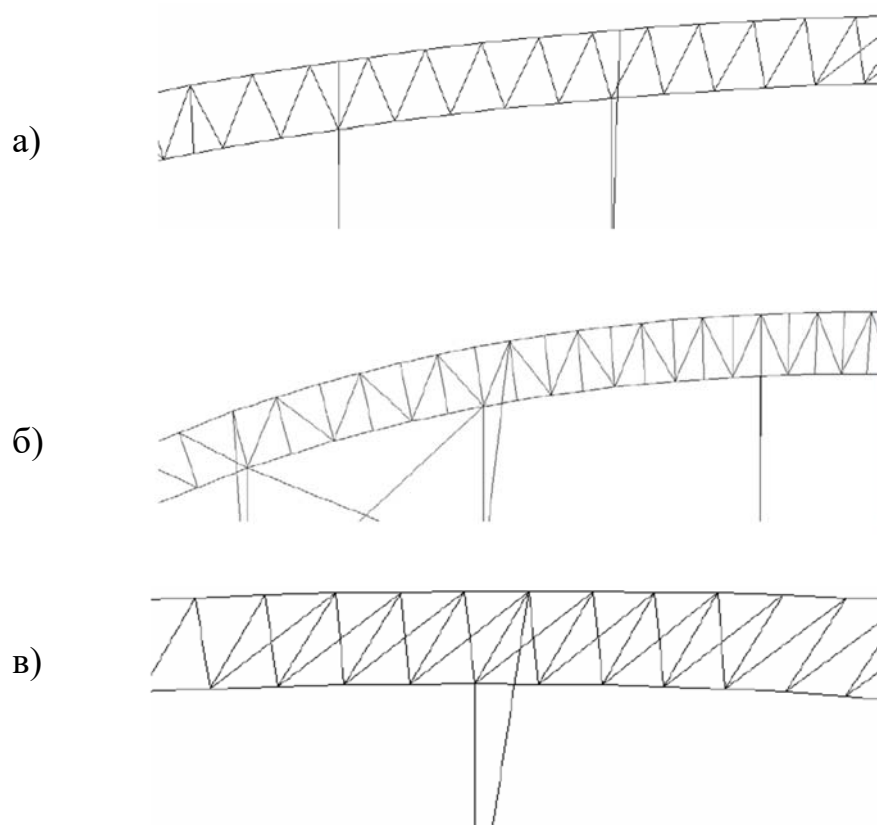


Рисунок 3.2 – Прийняті схеми поясів просторової ферми: а) – розкісна; б) – розкісна з проміжними стійками; в) – перехресна

Навантаження від натягу робочих та стабілізуючих канатів (рис. 3.3) прикладали як рівномірно розподілені на внутрішній пояс просторової ферми. Величина натягу визначена в розділі 2.1 та складає 2455 кН, а відповідне їй рівномірно розподілене навантаження 1227,5 кН. Оскільки напрям навантажень залежить від орієнтації канатів вантової системи, визначали їх значення в проекціях на осі координат (рис. 3.4, 3.5).

Як було показано в розділі 2.1, дію окремих сил від натягу вант можна замінити на рівнорозподілене навантаження по кільцю опорного поясу.

Додатково враховували навантаження від власної ваги елементів конструкції, що були включені в модель.

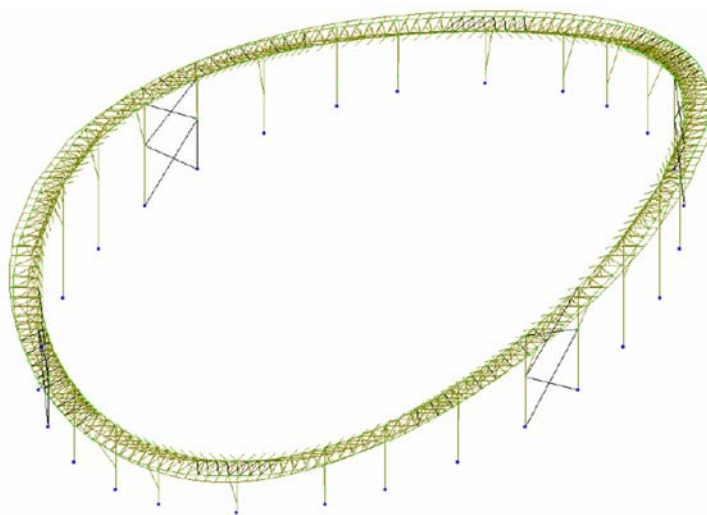


Рисунок 3.3 – Навантаження, прикладені на опорний контур

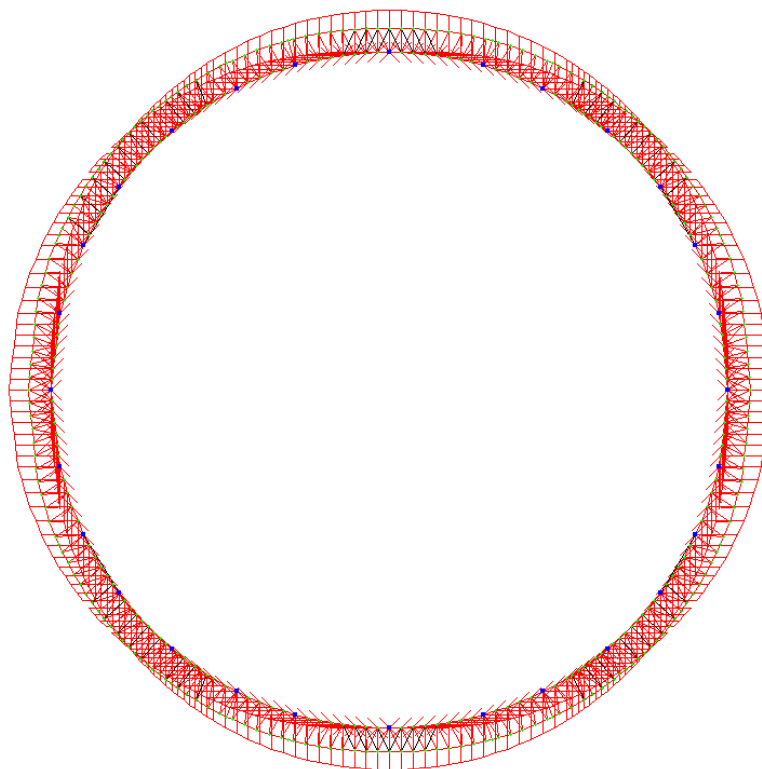


Рисунок 3.4 – Горизонтальні навантаження на просторову ферму опорного поясу

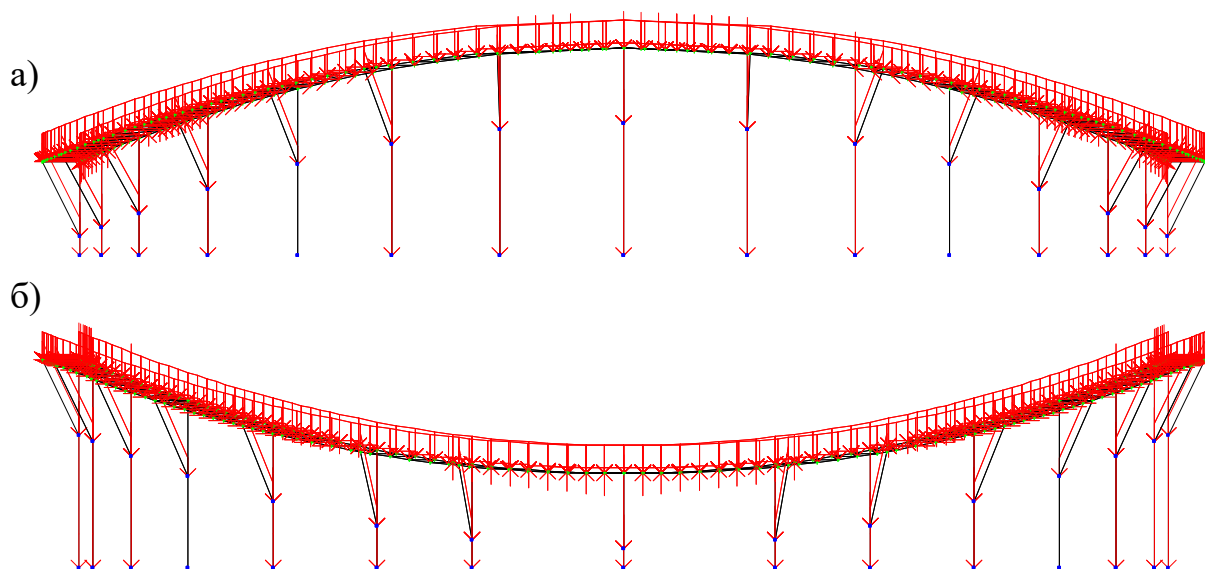


Рисунок 3.5 – Вертикальні навантаження: а) – проекція на площину XOY ;
 б) – проекція на площину XOZ

3.3 Результати дослідження НДС просторової ферми опорного кільця вантової покрівлі

Для початку проаналізуємо результати вузлових переміщень розрахункової схеми.

В напрямку вертикальної осі Z (рис. 3.6) найбільші прогини спостерігаються у вузлах внутрішнього поясу просторової ферми, що розміщені в найвищих точках сідлоподібного покриття, де кріпиться головний трос робочих вант, а навантаження на схемі напрямлені вздовж осі X . Вони становлять 69,5 мм. Найбільші додатні значення переміщень спостерігаються для вузлів зовнішнього поясу просторової ферми на ділянках, де одночасно діють навантаження в двох взаємно перпендикулярних напрямках, та становлять 150 мм. Це свідчить, що на даних ділянках на похилі стійки опор просторової ферми будуть передаватися розтягуючі навантаження.

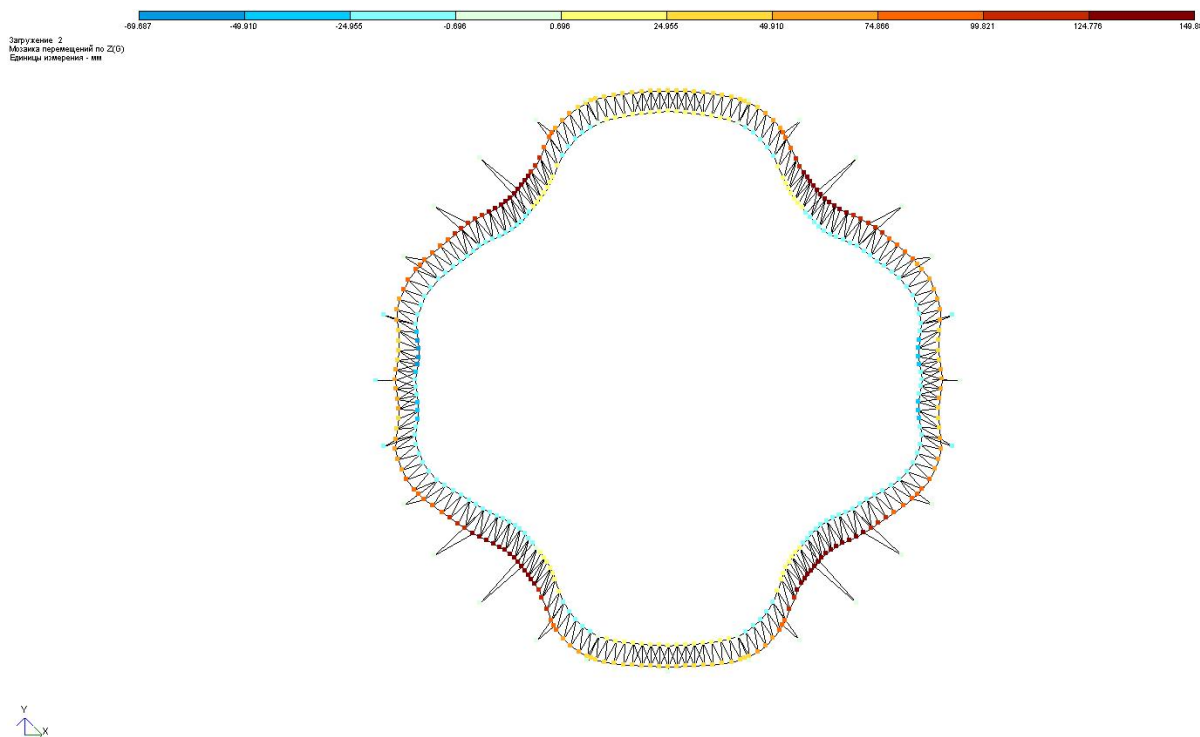


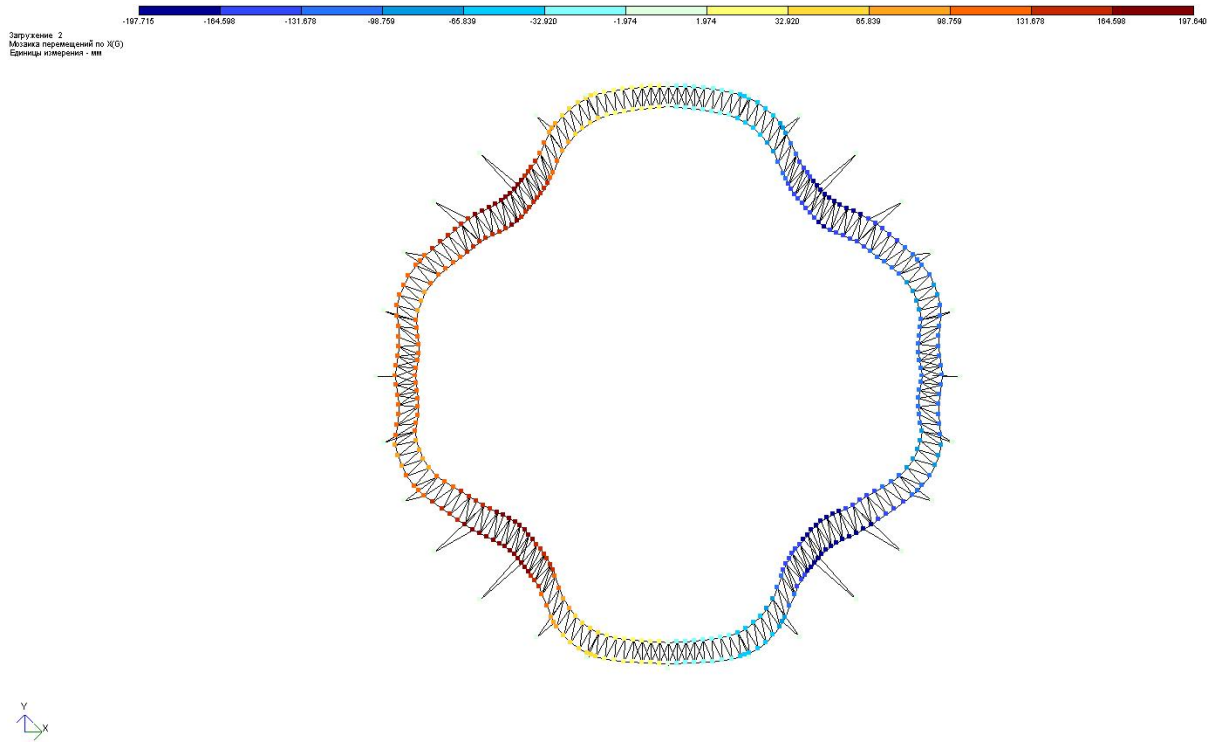
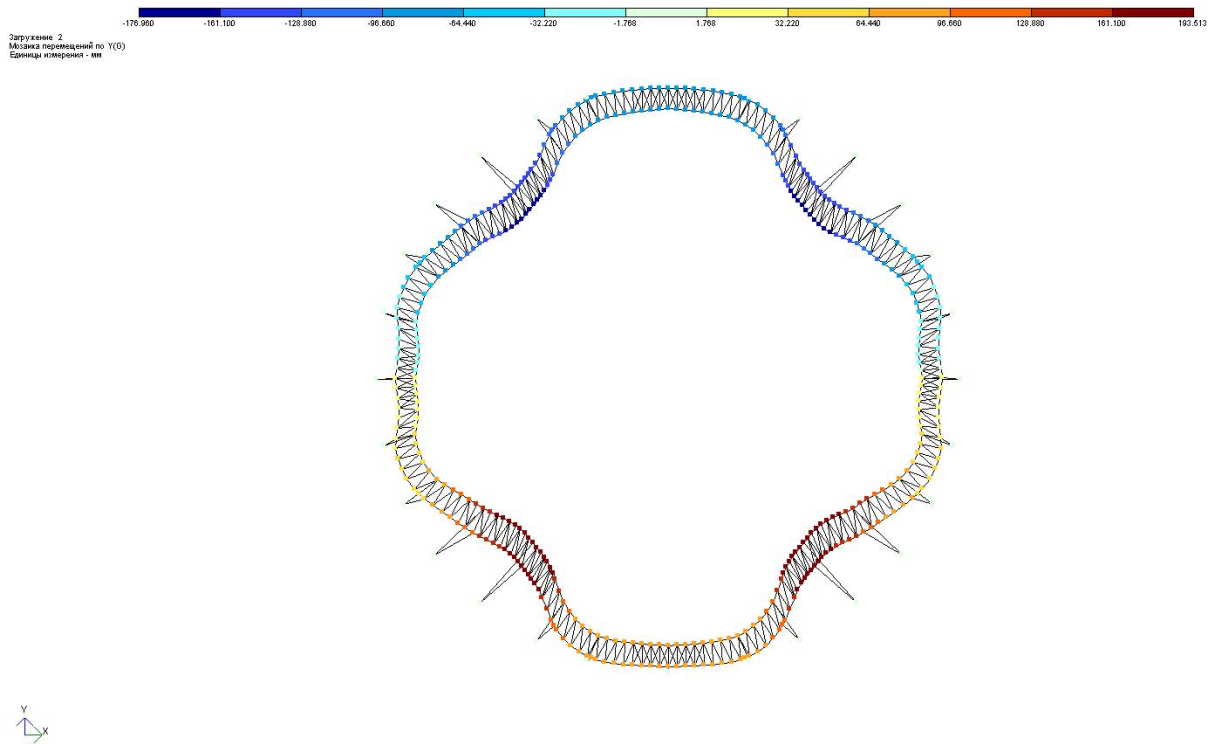
Рисунок 3.6 – Мозаїка вузлових переміщень по Z

Мозаїки переміщень в горизонтальному напрямку вздовж осей X та Y , як бачимо з рисунків 3.7, 3.8, є абсолютно ідентичними, що пояснюється осесиметричністю даної задачі. Найбільші переміщення напрямлені всередину опорного кільця, досягають значень 197,7 мм та спостерігаються на ділянках, розміщених під кутом 45° до осей моделі, де на пояс ферми одночасно прикладені навантаження в двох взаємно перпендикулярних напрямках.

Найбільші кутові деформації в даних точках складають близько 1° по напрямках UX та UY та на мозаїках не показані.

Перейдемо до аналізу внутрішніх силових факторів елементів просторової форми опорного кільця вантової покрівлі проектованого велотреку.

Мозаїка нормальних сил (рис. 3.9) показує, що обидва пояси просторової ферми є стисненими за рахунок прикладеного навантаження від робочих та стабілізуючих вант. Найбільше значення нормальної сили у внутрішньому поясі просторової ферми складає 49698 кН та досягається на ділянках біля найвищої та найнижчої точок сідлоподібної покрівлі, де діють навантаження одного напрямку.

Рисунок 3.7 – Мозаїка вузлових переміщень по X Рисунок 3.8 – Мозаїка вузлових переміщень по Y

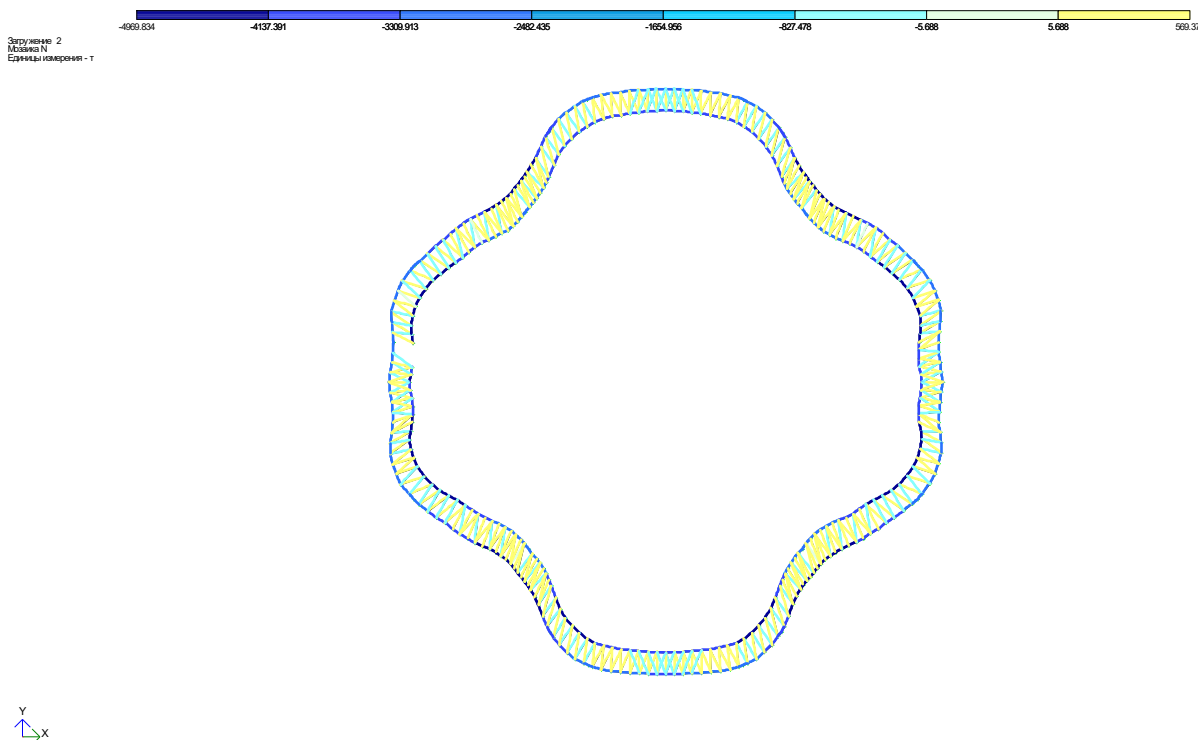
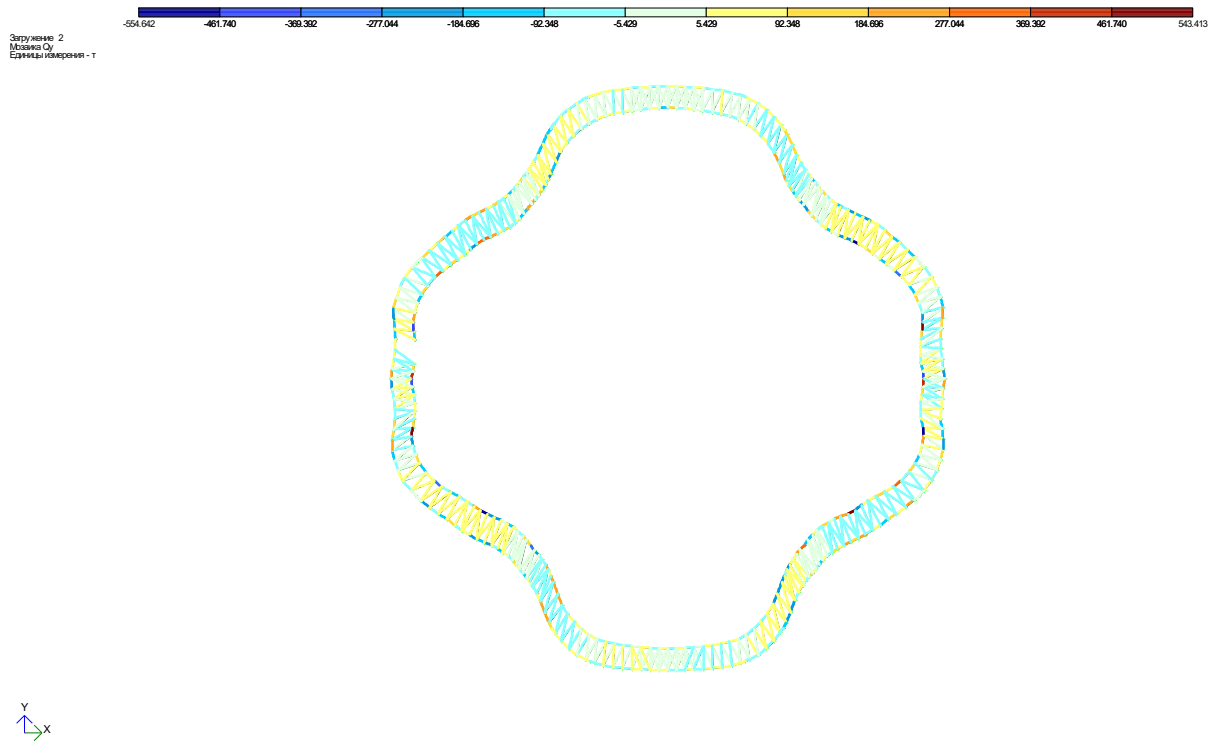
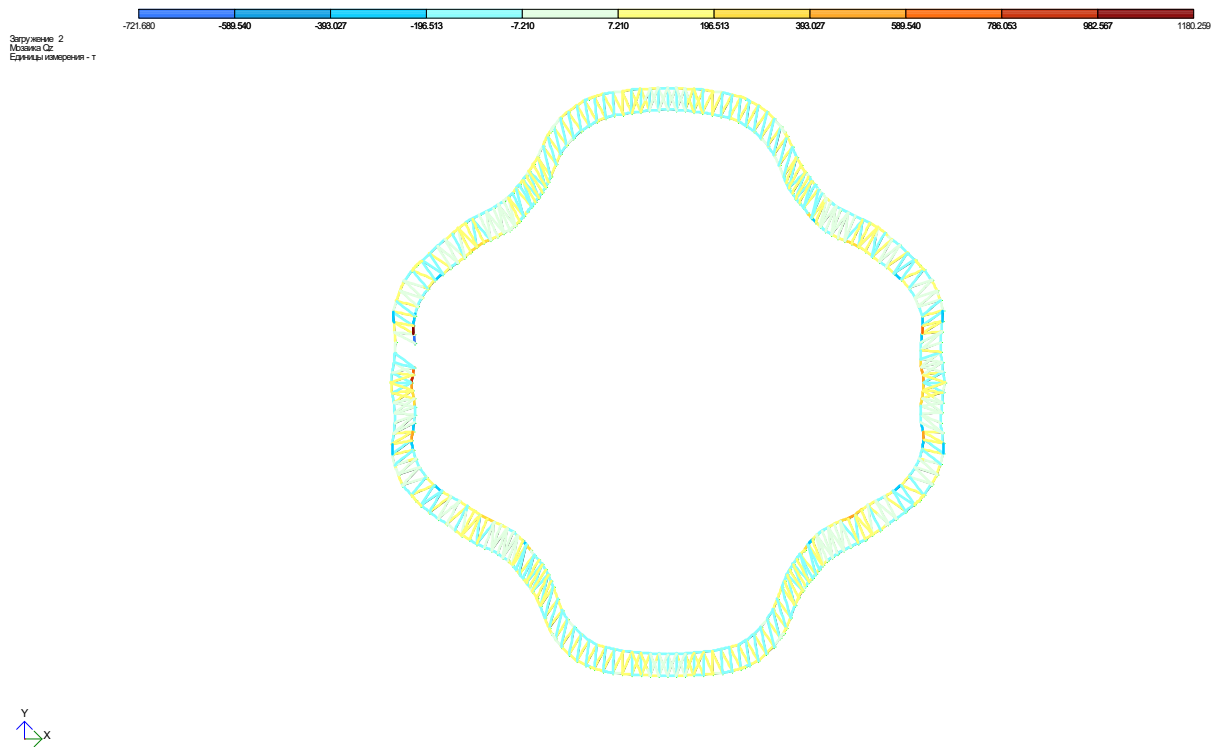


Рисунок 3.9 – Мозаїка нормальних сил N

Для зовнішнього поясу ферми найбільші значення нормальних сил досягаються на ділянках, розміщених під кутом 45° до осей конструкції, де одночасно діють навантаження в двох взаємно перпендикулярних напрямках. Вони виникають внаслідок того, що саме тут спостерігаються найбільші переміщення вузлів в напрямку до центру покрівлі.

Стосовно стержнів розкосів просторової ферми, то частина з них працює на стиск, а інша частина на розтяг залежно від напрямку переважаючих зусиль, що передаються від вантової покрівлі на пояс просторової ферми. Найбільше значення нормальної сили у розкосах є значно меншим, ніж у поясах, та становить 5693 кН. Варто відзначити роботу проміжних стійок переважно на розтяг, де вони допомагають забезпечити надійний зв'язок між поясами просторової ферми.

Мозаїки перерізуючих сил Q_y та Q_z (рис. 3.10, 3.11) також загалом є симетричними. Найбільші значення становлять 5546 кН та спостерігаються в елементах внутрішнього поясу просторової ферми, що розміщені біля найнижчих точок сідлоподібної покрівлі, де знаходиться головний стабілізуючий трос.

Рисунок 3.10 – Мозаїка перерізуючих сил Q_y Рисунок 3.11 – Мозаїка перерізуючих сил Q_z

Перерізуючи зусилля в елементах розкосів є порівняно невеликими та становлять 54 кН.

За рахунок нерівномірних переміщень вузлів внутрішнього та зовнішнього поясу просторової ферми до центру покриття, можемо бачити виникнення згинаючих моментів M_y та M_z в елементах поясів ферми (рис. 3.12, 3.13). Їх значення є симетричними, найбільше становить 9800 кНм та спостерігається на ділянках з найбільшими переміщеннями вузлів. Згинаючі моменти в розкосах ферми незначні.

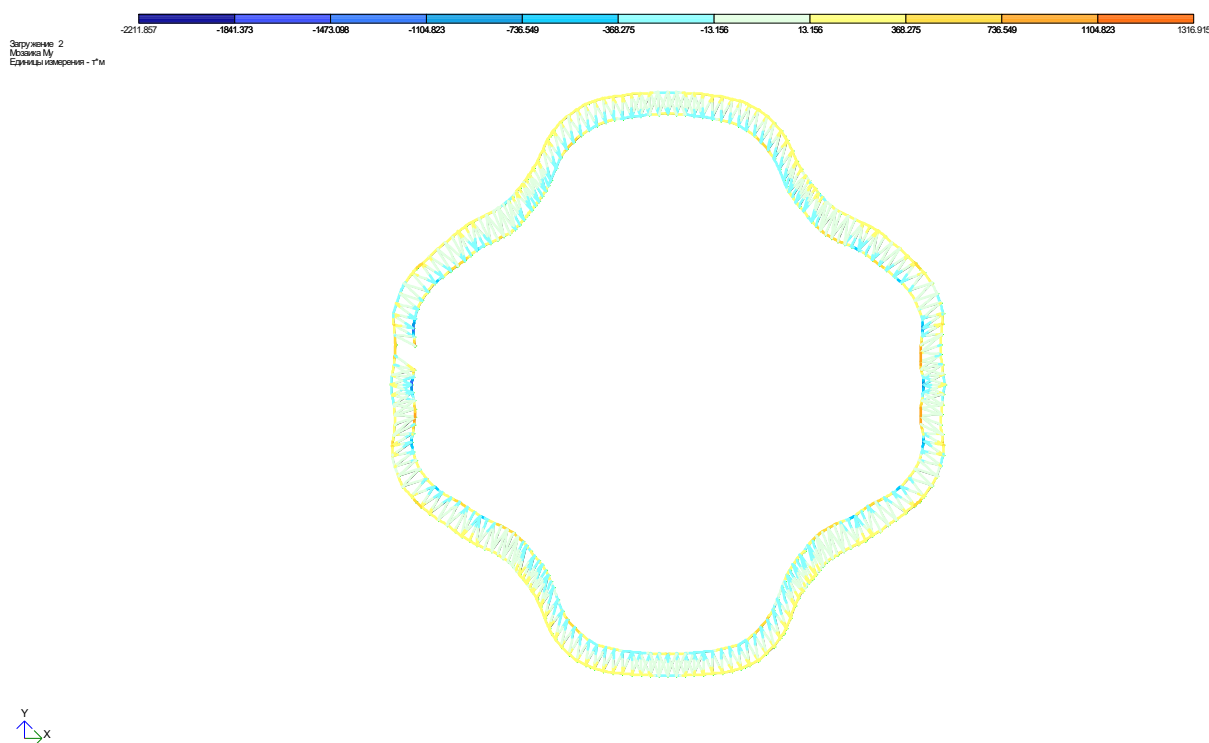
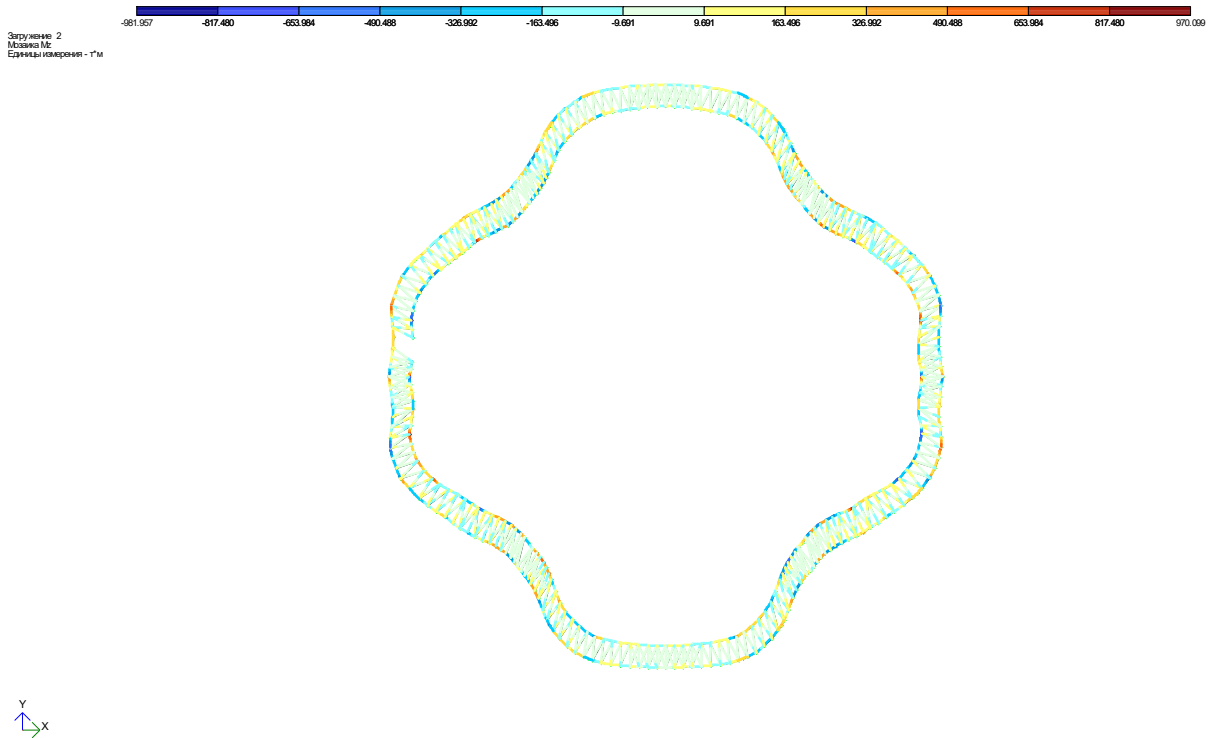
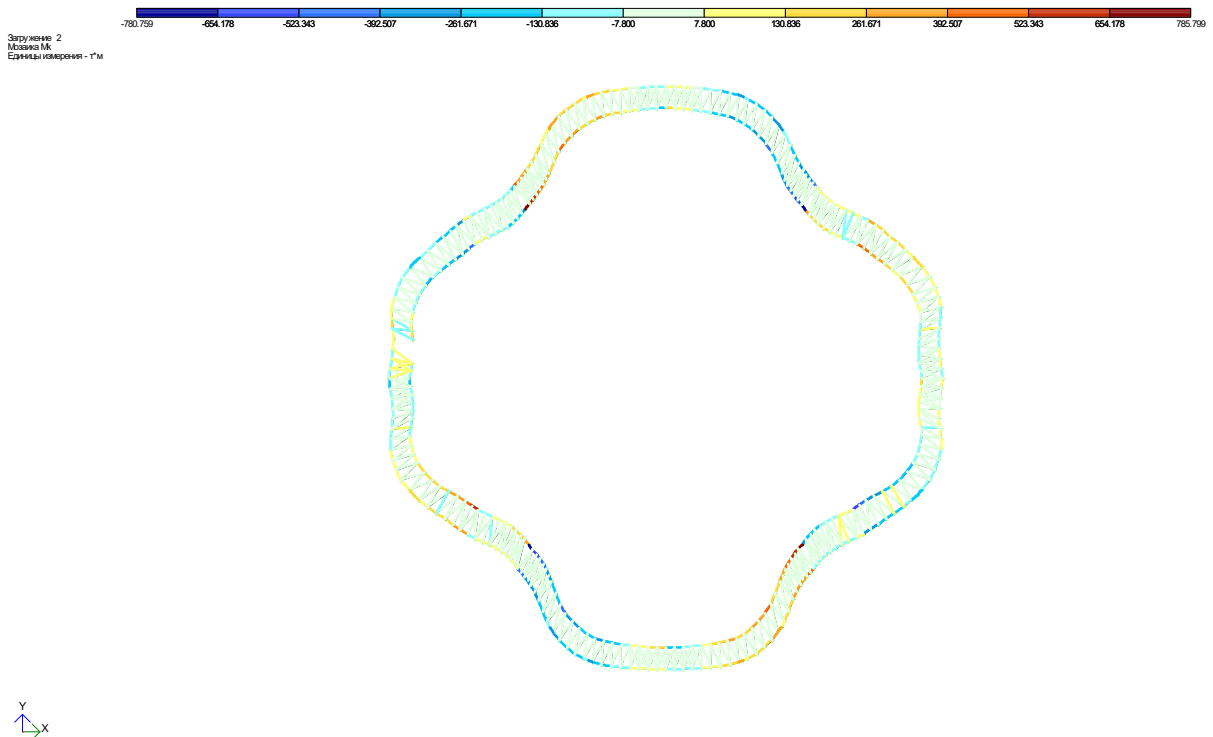


Рисунок 3.12 – Мозаїка згинних моментів M_y

За рахунок складної просторової геометрії поясів ферми опорного кільця в їхніх елементах також виникають крутні моменти M_x (рис. 3.14), найбільші значення яких досягають 7800 кНм. Вибраний переріз з гарячекатаних безшовних труб покликаний ефективно сприймати дані навантаження. В елементах розкосів крутні моменти рівні нулю.

Рисунок 3.13 – Мозаїка згинних моментів M_z Рисунок 3.14 – Мозаїка крутних моментів M_x

3.4 Висновки до розділу

За результатами проведеного дослідження та аналізу можемо зробити наступні висновки:

1. На ділянках зміни кривизни, де одночасно діють навантаження у взаємно перпендикулярних напрямках, спостерігаються найбільші деформації та напруження в елементах ферми. Доцільно розглянути підсилення поперечних розкосів на цих ділянках шляхом збільшення їх поперечного перерізу чи встановленням додаткових стійок.
2. Розкоси перехресного типу можна виконати з елементів меншого поперечного перетину.

РОЗДІЛ 4

ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА У НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

4.1 Загальна характеристика проєктованого об'єкта

В даній роботі проєктується великопролітна споруда, в якій розміщується велотрек довжиною 250 м та допоміжні і супутні приміщення. Проліт основної несучої конструкції 115 м, у плані будівля має круглу форму, максимальний діаметр 124 м. Висота варіюється від 12 м до 26 м. Споруда розрахована на 5200 глядацьких місць. Враховуючи багатофункціональні режими експлуатації, такі як концертний зал, може містити до 9500 глядачів.

Покриття покрівлі вантове переднапружене, із системою перехресних вант, сідлоподібне. Ванти спираються на опорний контур – просторову металеву ферму висотою 4,6 м. По вантах укладається профнастил і теплоізоляційні покрівельні матеріали.

Ферма передає зусилля на бетонні колони, які спираються на бетонний ростверк. Ростверк розташовується на пальовому полі із залізобетонних паль довжиною 13 м.

Колони і перекриття виконуються монолітними залізобетонними. Трибуни запроектовані залізобетонними з монолітного бетону.

Велотрек являє собою бетонну конструкцію з монолітного бетону, покриття дерев'яне з хвойних порід, покрите захисними фарбами. У центральному залі розташовується поле для ігор з м'ячем, проведення виставок. Покриття наливне.

4.2 Аналіз шкідливих виробничих факторів на будівельному майданчику

До основних шкідливих та небезпечних факторів на будівельному майданчику відносять мікроклімат, освітленість, шум і вібрацію, пил, електричний струм, механічні травми та пожежну небезпеку [28].

Мікроклімат може вплинути на здоров'я людей. Робота на великій висоті може викликати застудні захворювання. Низькими температурами можуть бути спричинені обмороження, збої в роботі техніки, травмування під час переміщення заледенілими помостами, обладнанням. Опади можуть вплинути на сприйняття відстаней до предметів (туман) і тим самим порушити режим роботи, наприклад, під час роботи автокрана. Мокрі конструкції, так само як і обмерзлі, можуть спричинити додаткові травми і є джерелом застудних захворювань.

Роботи на будівельному майданчику передбачається проводити у дві зміни по 8 годин. У зимовий період ці години випадають на час відсутності природного освітлення. На майданчику передбачено штучне освітлення прожекторами. Під час роботи в темний час доби зростає ймовірність виникнення захворювань, пов'язаних із зором, освітленість також може вплинути на травмування під час виконання будівельно-монтажних робіт, використання техніки. У денний час доби за поганій видимості можливі наслідки, аналогічні темному часу доби.

Головним джерелом шуму на будівельному майданчику процес влаштування залізобетонних паль. Ділянок житлової забудови в межах 2 км немає, отже шкідливий вплив сприйматимуть лише особи, які перебувають на майданчику. Звуковий тиск від даних видів робіт може негативно вплинути на слух і моральний стан, також можуть почастишати запаморочення і мігрені.

Крім влаштування пального поля, вібрація виникає під час проведення бетонних робіт. Бетонні роботи проводяться практично протягом усього періоду будівництва. Небезпека вібрації на будівельному майданчику – можливість появи віброхвороби.

Під час проведення робіт із сипучими матеріалами висока ймовірність потрапляння мікрочастинок у верхні дихальні шляхи, що може спричинити набряк легень, різноманітні респіраторні захворювання, призвести до астми або хронічних алергій.

Електричний струм, проходячи через тіло людини, чинить тепловий, хімічний і біологічний вплив. Теплова дія проявляється у вигляді опіків ділянок шкіри тіла, розривів кровоносних судин і нервових волокон. Хімічна дія веде до

електролізу крові, зміни її фізико-хімічного складу і порушення нормального функціонування організму. Біологічна дія електричного струму проявляється небезпечним збудженням живих клітин і тканин організму, що може призвести до їхньої загибелі. Можливість ураження електричним струмом присутня при роботі з електрообладнанням під час проведення зварювання, бетонування тощо. Напруга в мережі має бути не більше 380/220В.

Робота з вантажами великої маси та об'єму може спричинити травми при падінні цього вантажу. Такі випадки можуть призвести до черепно-мозкових травм, переломів тощо аж до смертельних наслідків. Також механічне травмування можливе при падінні з великої висоти під час монтажу конструкцій. Наслідки такого травмування аналогічні падінню вантажу.

Джерелами пожежної небезпеки є вогнетривкі просочення для бетону в рідкому вигляді, антикорозійні та вогнетривкі склади для металу, лакофарбові матеріали для внутрішнього оздоблення, гіпсокартон та інші оздоблювальні матеріали, деревина для полотна велотреку і просочення деревини.

4.3 Стійкість об'єкта до вибухів та пожеж

Стійкість споруди – здатність протистояти дії сил, які прагнуть вивести її із стану рівноваги. Однією із таких сил є вибух та пожежа, що можуть виникнути у разі надзвичайних ситуацій техногенного та природного характеру [29].

Вибух – процес надзвичайно швидкого звільнення великої кількості енергії в обмеженому просторі, здатний привести до жертв, руйнувань, виникнення катастроф, техногенних аварій, а також надзвичайних ситуацій.

Основними вражаючими факторами вибуху є:

- повітряна ударна хвиля, що виникає при ядерних вибухах, вибухах ініціюючих і детонуючих речовин, при вибуху хмар паливно-повітряних сумішей, вибухах резервуарів з перегрітою рідиною і резервуарів під тиском;
- осколкові поля, створені уламками різного роду об'єктів технологічного обладнання, будівельних деталей і т.д.

Ударна хвиля, викликана вибухом, призводить до різних видів руйнування споруд:

- повне руйнування – будівля або споруда руйнується повністю і її відновлення неможливе;

- сильне руйнування – руйнуються несучі конструкції та перекриття верхніх поверхів будівлі, в стінах утворюються тріщини, перекриття нижніх поверхів деформуються; відновлення будівлі чи споруди в більшості випадків недоцільно; збережені підвали можна використовувати після ліквідації завалів і розчищення;

- середнє руйнування – руйнуються в основному дахи, перегородки, вікна та двері, в стінах утворюються тріщини; перекриття і підвали зберігаються; відновлення будівлі чи споруди доцільно;

- слабе руйнування – руйнуються перегородки, вікна та двері, в стінах можливе виникнення незначних тріщин, підвали залишаються неушкодженими; після ремонту будівлю можна використовувати.

Пожежа – неконтрольоване горіння, що завдає матеріальних збитків, шкоду життю і здоров'ю громадян, інтересам суспільства і держави.

Інтенсивність пожежі залежить від ступеня вогнестійкості об'єктів і конструкцій, горючості будматеріалів.

Основними вражаючими факторами пожеж є:

- теплове випромінювання;
- токсична дія продуктів горіння на живі організми.

У результаті теплового випромінювання відбувається загоряння предметів і об'єктів, їх руйнування і вихід з ладу.

Джерелами займання можуть бути відкритий вогонь технологічних установок, розпечені або нагріті стінки апаратів і обладнання, іскри електрообладнання, статична електрика, іскри удару і тертя деталей машин, а також порушення норм і правил зберігання пожежонебезпечних матеріалів, необережне поводження з вогнем, використання відкритого полум'я факелів, паяльних ламп, куріння у заборонених місцях, невиконання протипожежних

заходів щодо обладнання пожежного водопостачання, пожежної сигналізації, забезпечення первинними засобами пожежогасіння та ін.

Для запобігання надзвичайних ситуацій, викликаних вибухами та пожежами, передбачені організаційні, технічні, режимні та експлуатаційні заходи профілактики [29].

Організаційні заходи передбачають правильну експлуатацію обладнання і машин, правильне утримання будівель, території, протипожежний інструктаж.

Технічні заходи – дотримання протипожежних правил і норм при проектуванні будинків, при влаштуванні електропроводів і устаткування, опалення, вентиляції, освітлення, правильне розміщення обладнання.

Режимні заходи – заборона куріння в невстановлених місцях, заборона зварювальних та інших вогневих робіт у пожежонебезпечних приміщеннях.

Експлуатаційні заходи – своєчасна профілактика, огляди, ремонти і випробування технологічного обладнання.

Боротьба з пожежами полягає в локалізації та гасінні пожеж. Локалізація пожеж може бути активною і пасивною.

Активна локалізація полягає у використанні речовин, що гальмують реакцію горіння на палаючі об'єкти і предмети, щоб обмежити поширення вогню.

Пасивна локалізація – вплив вогнетривкими речовинами на негорючі об'єкти, щоб обмежити поширення на них вогню.

У населених пунктах густота забудови значно впливає на утворення та розповсюдження пожежі: зі збільшенням відстані між будівлями ймовірність поширення пожежі зменшується. У містах при відстані між будівлями 15 м ймовірність поширення вогню становить 50%, а при відстані між будівлями 90 м загоряння сусідніх будівель малоімовірно.

Одним з найважливіших завдань цивільного захисту на об'єкті є забезпечення швидкої евакуації людей з усіх приміщень. Для цього повинні бути позначені найкоротші маршрути і забезпечені вільні проходи, безпечні в пожежному відношенні.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

В даній кваліфікаційній роботі виконано проєктування споруди велотреку в місті Мукачево та проведено дослідження напружено-деформівного стану просторової ферми опорного поясу вантового покриття прольотом 115 м для неї.

Виконано детальний розрахунок геометрії полотна велотреку, який визначає прийняті архітектурно-планувальні рішення. Розроблено генеральний план спорткомплексу, що включає крім проєктованої будівлі критого велотреку також котеджне містечко, відкритий велотрек, легкоатлетичний стадіон, будівлі комерційного призначення, адміністративні та допоміжні будівлі, зони паркування та відпочинку.

Розроблено основні конструктивні рішення вантового покриття будівлі велотреку, виконано розрахунок та проєктування пальових фундаментів під несучі конструкції.

БІБЛІОГРАФІЯ

1. List of cycling tracks and velodromes [Web resource] – URL: https://en.wikipedia.org/wiki/List_of_cycling_tracks_and_velodromes.
2. Будівельна кліматологія : ДСТУ-Н Б В.1.1-27:2010 [Текст]. — [Чинний від 2011-11-01]. — К.: Мінрегіонбуд України, 2011. — 127 с. — (Національний стандарт України).
3. Основи і фундаменти будівель та споруд. Основні положення: ДБН В.2.1-10:2018 [Текст]. — [Чинний від 2019-01-01]. — К.: Мінрегіон України, 2018. — 35 с. — (Національний стандарт України).
4. Будівництво в сейсмічних районах України : ДБН В.1.1-12:2014 [Текст]. — [Чинний від 2014-10-01]. — К.: Мінрегіонбуд України, 2014. — 110 с. — (Національний стандарт України).
5. Система забезпечення надійності та безпеки будівельних об'єктів. Навантаження і впливи. Норми проектування : ДБН В.1.2-2:2006 [Текст]. — [Чинний від 2007-11-01]. — К. : Мінбуд України, 2006. — 75 с. — (Національний стандарт України).
6. Планування та забудова територій : ДБН Б.2.2-12: [Текст]. — [Чинний від 2019-01-01]. — К.: Мінрегіонбуд, 2019. — 177 с. — (Національний стандарт України).
7. Будинки і споруди. Спортивні та фізкультурно-оздоровчі споруди : ДБН В.2.2-13-2003 [Текст]. — [Чинний від 2004-03-01]. — К. : Державний комітет України з будівництва та архітектури, 2004. — 102 с. — (Національний стандарт України).
8. Будинки і споруди. Громадські будинки та споруди. Основні положення : ДБН В.2.2-9:2018 [Текст]. — [Чинний від 2019-06-01]. — К. : Мінрегіон України, 2022. — 43 с. — (Національний стандарт України).
9. Пожежна безпека об'єктів будівництва. Загальні вимоги : ДБН В.1.1-7:2016 [Текст]. — [Чинний від 2017-01-01]. — К. : Мінрегіонбуд України, 2016. — 35 с. — (Національний стандарт України).

10. Вулиці та дороги населених пунктів : ДБН В.2.3-5:2018 [Текст]. — [Чинний від 2018-09-01]. — К. : Мінрегіон України, 2022. — 60 с. — (Національний стандарт України).
11. UCI regulations – Part III: Track Races [Web resource] – URL: <https://www.uci.org/regulations/3MyLDDrwJCJJ0BGGOFzOat#part-iii-track-races>.
12. Інклюзивність будівель і споруд. Основні положення : ДБН В.2.2-40:2018 [Текст]. — [Чинний від 2019-04-01]. — К.: Мінрегіон України, 2018. — 64 с. — (Національний стандарт України).
13. Конспект лекцій з дисципліни «Проектування залізобетонних і мурованих конструкцій» для студентів спеціальності 192 «Будівництво та цивільна інженерія» денної і заочної форми навчання. / Укладачі: О.П. Конончук, В.П. Ясній – Тернопіль: Вид-во ТНТУ імені Івана Пулюя, 2018. — 133 с.
14. Steel wire ropes — Requirements : ISO 2408:2017. — International standard. — 50 p.
15. Конструкції будинків і споруд. Палі залізобетонні. Технічні умови : ДСТУ Б В.2.6-65:2008 [Текст]. — [Чинний від 2010-01-01]. — К. : Мінрегіонбуд України, 2009. — 70 с. — (Національний стандарт України).
16. Кедик Т. Моделювання роботи каркасу будівлі складної геометричної форми при сукупній дії експлуатаційних навантажень [Текст] / Т. Кедик, М. Гудь // Матеріали Міжнародної науково-технічної конференції „Міцність і довговічність сучасних матеріалів та конструкцій“. — Т. : ФОП Паляниця В. А., 2022. — С. 161–163.
17. Бухта В.В. Особливості проектування сейсмостійких сталевих конструкцій / В.В. Бухта, Г.М. Крамар // Збірник тез доповідей ІХ Міжнародної науково-технічної конференції молодих учених та студентів „Актуальні задачі сучасних технологій“. — Т. : ТНТУ, 2020. — С. 45.
18. Цубера І.Ю. Особливості деформування металеві кривляної ферми при сейсмічному впливі / І.Ю. Цубера, Н.Ю. Черномаз // Збірник тез доповідей VIII Міжнародної науково-технічної конференції молодих учених та студентів „Актуальні задачі сучасних технологій“. — Т. : ТНТУ, 2019. — С. 37.

19. Study of the joint work of the foundations and the spatial tower under the action of dynamic loads / M Hud, N Chornomaz, R Grytseliak, D Baran // *Procedia Structural Integrity*. – Issue 36. – 2022. – P. 87-91.
20. Вплив експлуатаційних чинників на характеристики механічних властивостей елементів конструкцій промислових будівель / С. Янковий, А. Фіялка, В. Ясній // *Матеріали XI Міжнародної науково-практичної конференції молодих учених та студентів „Актуальні задачі сучасних технологій“*. – Т. : ТНТУ, 2022. – С. 35.
21. Дослідження роботи великопролітного просторового арочного каркасу будівлі громадського призначення / С. Курач, Д. Вознюк, Е. Сидоренко, Я. Ковальчук // *Праці конференції Міжнародної науково-технічної конференції присвяченої 70-річчю від дня народження член-кореспондента НАН України, проф. Ясенія Петра Володимировича «Міцність і довговічність сучасних матеріалів та конструкцій»*. – Т. : ФОП Паляниця В.А., 2022. – С. 47-48.
22. Застосування методу стохастичного імітаційного моделювання для оптимізації конструктивних параметрів просторової ферми / Б.С. Крохмальний, В.М. Фірута, А.З. Ольшанський, А.П. Сорочак // *Збірник тез доповідей X Міжнародної науково-практичної конференції молодих учених та студентів „Актуальні задачі сучасних технологій“*. – Т. : ФОП Паляниця В.А., 2021. – С. 46-47.
23. Свідер В.С. Дослідження впливу конструктивних параметрів на несучу здатність просторових ферм / В.С. Свідер, А.П. Сорочак // *Збірник тез доповідей VIII Міжнародної науково-технічної конференції молодих учених та студентів „Актуальні задачі сучасних технологій“*. – Т. : ТНТУ, 2019. – С. 31-32.
24. Підгурський І.М. Моделювання напружено-деформівного стану в несучих конструкціях металевих рам / І.М. Підгурський, Д.М. Зубенко // *Збірник тез доповідей VIII Міжнародної науково-технічної конференції молодих учених*

- та студентів „Актуальні задачі сучасних технологій“. – Т. : ТНТУ, 2019. – С. 126.
25. Левчук Ю.В. Чисельний метод в дослідженнях напружено-деформованого стану несучих конструкцій / Ю.В. Левчук, Д.Я. Баран // Матеріали VIII науково-технічної конференції „Інформаційні моделі, системи та технології“. – Т. : ТНТУ, 2020. – С. 195.
26. Програмне забезпечення інженерних розрахунків. Конспект лекцій для студентів спеціальності 192" Будівництво та цивільна інженерія" всіх форм навчання // А.П. Сорочак. – Т. : ТНТУ, 2018. – 126 с.
27. Сталеві конструкції. Норми проектування : ДБН В.2.6-198:2014 [Текст]. — [Чинний від 2015-01-01]. — К. : Мінрегіон України, 2022. — 220 с. — (Національний стандарт України).
28. Система стандартів безпеки праці. Охорона праці і промислова безпека у будівництві. Основні положення : ДБН А.3.2-2-2009 [Текст]. — [Чинний від 2012-04-01]. – К.: Мінрегіонбуд України, 2012. – 116 с. — (Національний стандарт України).
29. Стручок В. С. Аналіз та шляхи подолання кризи щодо організації навчання населення діям у надзвичайних ситуаціях / Володимир Сергійович Стручок // Матеріали науково-практичної конференції «Стратегія реформування організації цивільного захисту». – Том 1 «Цивільний захист України: сучасний стан, здобутки, проблеми, перспективи розвитку», 16 травня 2018 р. — Київ: ІДУЦЗ, 2018. – С. 274 – 276.

ДОДАТКИ

**ДОДАТОК А Розрахунок перехідної кривої віражу в прямокутних
координатах**

Таблиця А.1 – Координати точок перехідної кривої віражу

$S, \text{ м}$	$x, \text{ м}$	$y, \text{ м}$
2,00	2,0000	0,0029
4,00	3,9999	0,0236
6,00	5,9990	0,0796
8,00	7,9960	0,1887
10,00	9,9878	0,3683
12,00	11,9696	0,6358
14,00	13,9344	1,0081
16,00	15,8723	1,5012
18,00	17,7703	2,1301
20,00	19,6122	2,9079
21,00	20,5061	3,3561
21,50	20,9450	3,5955
22,00	21,3782	3,8453
22,50	21,8051	4,1055
22,61	21,8965	4,1631

**ДОДАТОК Б Розрахунок вертикальних координат зовнішньої брівки треку
відносно внутрішньої**

Таблиця Б.1 – Вертикальні координати зовнішньої брівки треку

№ поперечника	h, м	h + 0,485 м	Бар'єр безпеки	Остаточна висота
1	1,51507	2,00007	0,8	2,80007
2	1,51507	2,00007	0,8	2,80007
3	1,51507	2,00007	0,8	2,80007
4	1,51507	2,00007	0,8	2,80007
5	1,51507	2,00007	0,8	2,80007
6	1,51507	2,00007	0,8	2,80007
7	1,517167	2,002167	0,8	2,802167
8	1,537926	2,022926	0,8	2,822926
9	1,580883	2,065883	0,8	2,865883
10	1,646002	2,131002	0,8	2,931002
Інтерполяція	1,831261	2,831261	0,8	3,631261
11	1,934447	2,934447	0,83	3,764447
12	2,157774	3,157774	0,86	4,017774
13	2,403262	3,403262	0,89	4,293262
14	2,670948	3,670948	0,92	4,590948
15	2,957297	3,957297	0,95	4,907297
16	3,245742	4,245742	0,98	5,225742
17	3,536285	4,536285	1,01	5,546285
18	3,845489	4,845489	1,04	5,885489
19	4,176892	5,176892	1,07	6,246892
20	4,530456	5,530456	1,1	6,630456
Інтерполяція	4,715715	5,715715	1,13	6,845715
21	4,818901	5,818901	1,16	6,978901
22	4,748613	5,748613	1,2	6,948613
23	4,705656	5,705656	1,2	6,905656
24	4,684897	5,684897	1,2	6,884897
25	4,6828	5,6828	1,2	6,8828
26	4,6828	5,6828	1,2	6,8828
27	4,6828	5,6828	1,2	6,8828
28	4,6828	5,6828	1,2	6,8828
29	4,6828	5,6828	1,2	6,8828
30	4,6828	5,6828	1,2	6,8828
31	4,6828	5,6828	1,2	6,8828

**ДОДАТОК В Прольоти робочих і стабілізаційних тросів та їхні стріли
прогину**

Таблиця В.1 – Геометричні параметри робочих тросів

x , м	y , м	L	F
57,5	0	0	0
57,46521	2	4	0,009679
57,3607	4	8	0,038715
57,1861	6	12	0,087108
56,94076	8	16	0,154858
56,62376	10	20	0,241966
56,23389	12	24	0,348431
55,76962	14	28	0,474253
55,22907	16	32	0,619433
54,60998	18	36	0,78397
53,90965	20	40	0,967864
53,12485	22	44	1,171115
52,25179	24	48	1,393724
51,28596	26	52	1,63569
50,22201	28	56	1,897013
49,05354	30	60	2,177694
47,7729	32	64	2,477732
46,37079	34	68	2,797127
44,83581	36	72	3,135879
43,15379	38	76	3,493989
41,30678	40	80	3,871456
39,27149	42	84	4,26828
37,01689	44	88	4,684461
34,5	46	92	5,12
31,65833	48	96	5,574896
28,39454	50	100	6,049149
24,54078	52	104	6,54276
19,75475	54	108	7,055728
0	57,5	115	8

Таблиця В.2 – Геометричні параметри стабілізуючих тросів

x , м	y , м	L	F
0	57,5	0	0
2	57,46521	4	0,004839
4	57,3607	8	0,019357
6	57,1861	12	0,043554
8	56,94076	16	0,077429
10	56,62376	20	0,120983
12	56,23389	24	0,174216
14	55,76962	28	0,237127
16	55,22907	32	0,309716
18	54,60998	36	0,391985
20	53,90965	40	0,483932
22	53,12485	44	0,585558
24	52,25179	48	0,696862
26	51,28596	52	0,817845
28	50,22201	56	0,948507
30	49,05354	60	1,088847
32	47,7729	64	1,238866
34	46,37079	68	1,398563
36	44,83581	72	1,56794
38	43,15379	76	1,746994
40	41,30678	80	1,935728
42	39,27149	84	2,13414
44	37,01689	88	2,342231
46	34,5	92	2,56
48	31,65833	96	2,787448
50	28,39454	100	3,024575
52	24,54078	104	3,27138
54	19,75475	108	3,527864
57,5	0	115	4

ДОДАТОК Г Координати поверхні покриття та опорного контуру

Таблиця Г.1 – Координати поверхні покриття та опорного контуру

$x, \text{ м}$	$y, \text{ м}$	$z_1 = -\frac{4fx^2}{l^2}$	$z_2 = \frac{4Fy^2}{L^2}$	$z = z_1 + z_2$
0	57,5	0	4	4
4	57,3607	-0,03871	3,980643	3,941928
6	57,1861	-0,08711	3,956446	3,869338
8	56,94076	-0,15486	3,922571	3,767713
10	56,62376	-0,24197	3,879017	3,637051
12	56,23389	-0,34843	3,825784	3,477353
14	55,76962	-0,47425	3,762873	3,28862
16	55,22907	-0,61943	3,690284	3,070851
18	54,60998	-0,78397	3,608015	2,824045
20	53,90965	-0,96786	3,516068	2,548204
22	53,12485	-1,17112	3,414442	2,243327
24	52,25179	-1,39372	3,303138	1,909414
26	51,28596	-1,63569	3,182155	1,546465
28	50,22201	-1,89701	3,051493	1,15448
30	49,05354	-2,17769	2,911153	0,733459
32	47,7729	-2,47773	2,761134	0,283403
34	46,37079	-2,79713	2,601437	-0,19569
36	44,83581	-3,13588	2,43206	-0,70382
38	43,15379	-3,49399	2,253006	-1,24098
40	41,30678	-3,87146	2,064272	-1,80718
42	39,27149	-4,26828	1,86586	-2,40242
44	37,01689	-4,68446	1,657769	-3,02669
46	34,5	-5,12	1,44	-3,68
48	31,65833	-5,5749	1,212552	-4,36234
50	28,39454	-6,04915	0,975425	-5,07372
52	24,54078	-6,54276	0,72862	-5,81414
54	19,75475	-7,05573	0,472136	-6,58359
56	13,04799	-7,58805	0,205974	-7,38208
57,5	0	-8	0	-8