

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

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

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття освітнього ступеня

Магістр

(назва освітнього ступеня)

на тему: Дослідження впливу монтажних навантажень на напружено-деформівний стан великопролітного куполу.

Виконав: студент 6 курсу, групи МБнм-61 спеціальності

192. Будівництво та цивільна інженерія

(шифр і назва спеціальності)

Студент

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

Керівник

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

Нормоконтроль

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

Завідувач кафедри

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

Рецензент

Бобик М.П.
(підпис) (прізвище та ініціали)

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

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

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри
Ясній В.П.
(підпис) (прізвище та ініціали)
« » 2025 р.

З А В Д А Н Н Я
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

на здобуття освітнього ступеня Магістр
(назва освітнього ступеня)
за спеціальністю 192 Будівництво та цивільна інженерія
(шифр і назва спеціальності)
студенту Басарі Любомиру Андрійовичу
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Дослідження впливу монтажних навантажень на напружено-деформівний стан великопролітного куполу.

Керівник роботи Гудь Михайло Іванович. к.т.н., доц.
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

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

2. Термін подання студентом завершеної роботи _____

3. Вихідні дані до роботи _____

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

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

6. Консультанти розділів роботи

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

7. Дата видачі завдання

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

[illegible]

Студент

(підпис)

Басара Л. А.

(прізвище та ініціали)

Керівник роботи

(підпис)

Гудь М. И.

(прізвище та ініціали)

ЗМІСТ

ВСТУП.....	5
РОЗДІЛ 1 ВЕЛИКОПРОЛІТНІ КУПОЛЬНІ ПОКРИТТЯ ТА НАЯВНІ МЕТОДИ ЇХНЬОГО РОЗРАХУНКУ	7
1.1 Огляд конструктивних рішень купольних великопролітних покриттів.....	7
1.1.1 Ребристі купола	9
1.1.2 Ребристо-кільцеві купола	9
1.1.3 Сітчасті купола	10
1.2 Методи розрахунку великопролітних купольних покриттів	11
1.2.1 Розрахунок ребристих куполів	11
1.2.2 Розрахунок ребристо-кільцевих куполів	14
1.2.3 Розрахунок сітчастих куполів.....	14
1.3 Технологія зведення купольних покриттів.....	19
1.4 Особливості врахування монтажних зусиль.....	20
1.4.1 Навантаження під час транспортування.....	21
1.4.2 Навантаження під час складування.....	25
1.4.3 Навантаження, що виникають під час укрупнювального складання та підйому	26
1.4.4 Вплив способу монтажу на НДС конструкції.....	27
РОЗДІЛ 2 МОДЕЛЮВАННЯ ТА ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ МОНТАЖУ СІТЧАСТОГО КУПОЛА	30
2.1 Розрахункова схема.....	30
2.2 Кліматичні умови	30
2.3 Збір навантажень	31
2.3.1 Снігове навантаження.....	31
2.3.2 Вітрове навантаження	35
2.3.3 Постійне навантаження	37
2.4 Розрахунок сітчастого купола в ПК SCAD	39
2.4.1 Розрахункова схема в ПК SCAD	39

2.4.2 Схеми прикладання навантажень.....	40
2.5 Підбір перерізів	43
2.6 Технологія зведення сітчастого купола	44
РОЗДІЛ 3 ДОСЛІДЖЕННЯ НДС ЕЛЕМЕНТІВ КАРКАСУ ПІД ЧАС ТРАНСПОРТУВАННЯ ТА СКЛАДУВАННЯ.....	45
3.1 Моделювання роботи каркасу на різних стадіях монтажу	45
3.2 Перший спосіб монтажу	45
3.3 Другий спосіб монтажу	47
3.4 Конструювання купола з урахуванням монтажних навантажень	50
3.5 Аналіз отриманих результатів.....	53
РОЗДІЛ 4 ПРОГРЕСУЮЧЕ ОБВАЛЕННЯ.....	57
4.1 Прогресуюче обвалення елементів сталевих каркасів.....	57
4.2 Аналіз отриманих результатів	61
РОЗДІЛ 5 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ	62
5.1 Охорона праці.....	62
5.1.1 Інженерні рішення з охорони праці	63
5.1.2 Огородження території	64
5.1.3 Визначення небезпечних зон на будівельному майданчику	65
5.2 Безпека в надзвичайних ситуаціях	66
5.2.1 Законодавча база України	66
5.2.2 Стійкість будівлі від ударної хвилі	66
5.2.3 Заходи при землетрусі	70
5.2.4 Системи сейсмозахисту будівель і споруд.....	71
5.2.5 Заходи щодо підвищення стійкості об'єкта.....	72
5.3 Висновки до розділу 5	73
ВИСНОВКИ.....	74
БІБЛІОГРАФІЯ.....	76

ВСТУП

Щоб унеможливити аварійну ситуацію, доцільно враховувати процес монтажу ще на стадії проєктування. Таким чином, у сучасних стандартах [2], вказується необхідність врахування монтажних навантажень. Особливо цей момент важливий, коли йдеться про зведення великопролітних будівель і споруд.

Мета роботи: дослідження напружено-деформівного стану елементів сталевих куполів на підготовчому етапі та на етапі монтажу.

Об'єкт досліджень – сталевий великопролітний купол.

Предмет дослідження – напружено-деформівний стан елементів сталевих куполів з врахуванням дії монтажних зусиль.

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

- виявити наявні конструктивні рішення купольних покриттів;
- вивчити особливості врахування монтажних навантажень під час проєктування несучих елементів куполів;
- розробити конструктивні рішення сітчастого куполу без врахування особливих видів впливів;
- визначити вплив процесу транспортування, складування та монтажу на напружено-деформований стан елементів конструкції;
- розробити конструктивні рішення сітчастого куполу з врахуванням монтажних навантажень;
- проаналізувати отримані результати.

Методи дослідження – скінченно-елементне моделювання.

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

Наукова новизна отриманих результатів: отримала подальший розвиток методика чисельних досліджень з розрахунку НДС сталевих великопролітних куполів при дії монтажних зусиль.

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

сталевих великопролітних куполів.

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

Публікація результатів магістерської роботи здійснена у збірнику тез вищезазначеної конференції.

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

Ключові слова: купол, сталь, монтажні зусилля, напружено-деформівний стан, скінченно-елементне моделювання.

РОЗДІЛ 1

ВЕЛИКОПРОЛІТНІ КУПОЛЬНІ ПОКРИТТЯ ТА НАЯВНІ МЕТОДИ ЇХНЬОГО РОЗРАХУНКУ

1.1 Огляд конструктивних рішень купольних великопролітних покриттів

Куполи почали зводити ще до нашої ери. Звичайно, багато хто не зберігся. З уцілілих хочеться відзначити Велику Ступу в Санчі (Індія), зведену в 3 столітті до н. е. (Рис.1.1). Її ядром є простий цегляний купол.

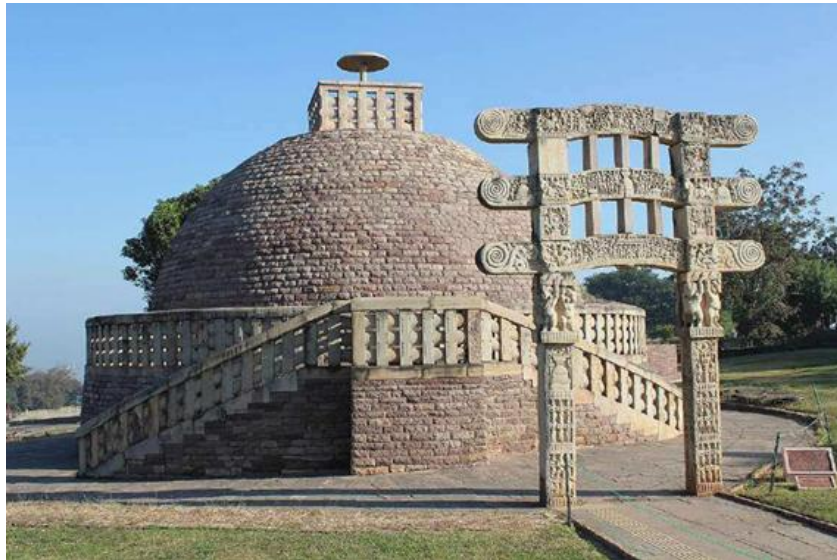


Рисунок 1.1 - Велика Ступа в Санчі

Згодом людство все більше вдосконалювало свої будівельні здібності: використовували нові матеріали, з'являлися дедалі точніші методики розрахунків, модернізували технології їхнього зведення. З кожним роком будови ставали і стають донині все більш масштабними.

На сьогоднішній день великого поширення набули куполи зі сталевим каркасом завдяки своїй легкості та швидкості монтажу.

Купольні покриття є ефективними конструкціями за необхідності перекриття великих прольотів. За прольоту менш як 40 м площинні конструкції конкурують із куполами за металоємністю, а ось за великих прольотів переваги купольних

покриттів стають дедалі очевиднішими. Більшість покриттів прольотом понад 200 м є купольними [8].

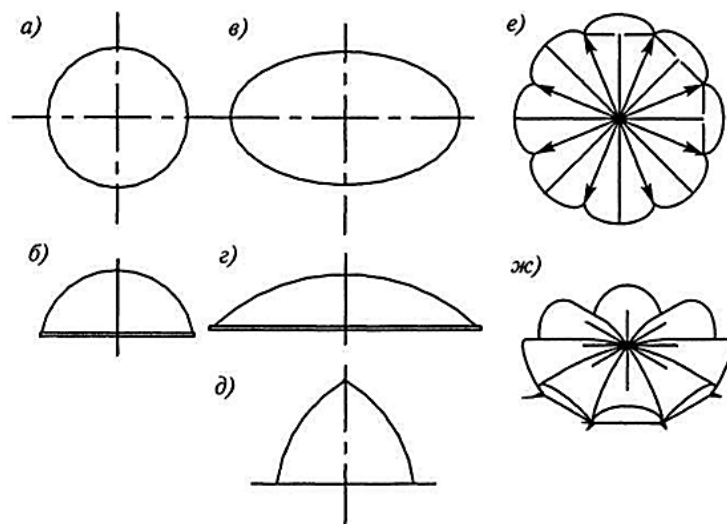
Куполи належать до розпірних систем. До основних елементів купольного покриття належать: нижнє кільце, верхнє кільце та оболонка.

За конструкцією куполи поділяють на [8]:

- ребристі;
- ребристо-кільцеві;
- ребристо-кільцеві зі зв'язками;
- сітчасті;
- пластинчасті.

За формою покриття розрізняють (рис. 1.2):

- сферичні;
- еліптичні;
- стрілочасті;
- парасолькові та ін.



а-план сферичного купола; б-поперечний розріз сферичного купола; в - план еліптичного купола; г - поперечний розріз еліптичного купола; д - стрілочастий купол; е - план парасолькового купола; ж - вид парасолькового купола

Рисунок 1.2 - Форми куполів

За стрілою підйому:

- підйомисті (високі) куполи (стріла підйому $1/2 \dots 1/5$ діаметра;

– пологі (за стріли підйому $1/5$).

1.1.1 Ребристі купола

Плоскі ребра, поставлені в радіальному напрямку, які умовно попарно утворюють арки, складають ребристий купол.

Ребра виконують у вигляді легких ферм (наскрізними) або суцільними.

Ребристий купол (Рис. 1.3,а) являє собою розпірну систему. Розпір сприймає нижнє кільце. Як правило, його функцію виконують стіни будівлі або фундамент. У разі частого розташування ребер вибирають круглу форму опорної частини в плані, а в разі рідкісного розташування - багатокутну, що дає змогу уникнути роботи на скручування і вигин.

Верхнє кільце проектується з урахуванням роботи на стиск, вигин і кручення.

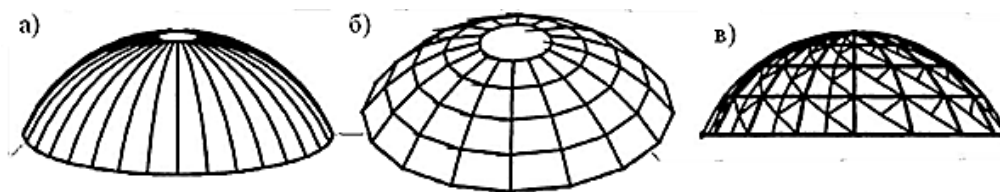
Для загальної жорсткості куполів влаштовують щонайменше чотири зв'язкових панелей, що являють собою сектори з двох суміжних ребер, пов'язаних один з одним зв'язками і розпірками.

Між ребрами укладають спеціальні настили або мембранне покриття, що забезпечує стійкість ребер, зменшуючи їхню розрахункову довжину в площині покриття. Між ребрами встановлюються прогони, на які передається навантаження від покрівлі.

1.1.2 Ребристо-кільцеві купола

На відміну від попередньої схеми, прогони ребристо-кільцевого купола (кільця) включаються в роботу поряд із ребрами. Часто кільця виконують роль затяжок і працюють не тільки на вигин, що виникає через навантаження від покрівлі, а й сприймають нормальні зусилля ребер купола (а в разі жорсткого з'єднання ще й згинальні моменти). Але через малу жорсткість кілець і ребер у площинах, дотичних до поверхні купола, впливом жорсткості вузлів можна знехтувати і вважати, що кільця примикають до ребер шарнірно.

Окремо можна виділити ребристо-кільцеві куполи зі зв'язками (рис. 1.3). У них між ребрами і кільцями для більшої жорсткості додаються зв'язки.



а-ребристий купол; б-ребристо-кільцевий купол; в - ребристо-кільцевий купол зі зв'язками
Рисунок 1.3 - Види куполів

1.1.3 Сітчасті купола

Якщо в ребристо-кільцевому куполі збільшити кількість зв'язків, щоб осередок між ребрами і кільцями розбивався на 4 частини, то можна отримати сітчастий купол. Таке покриття називається купол Шведлера (Рис. 1.4,а)

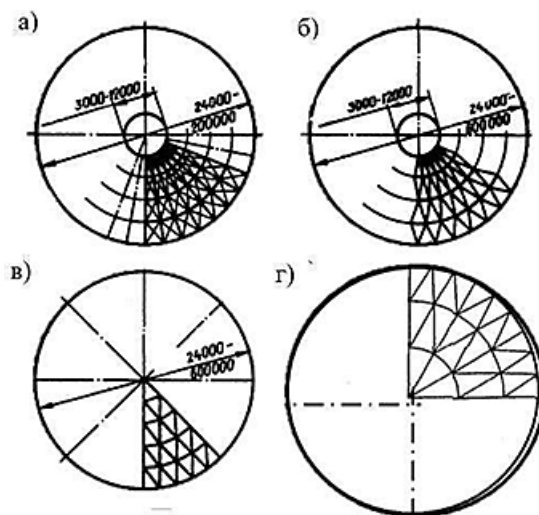
Також до сітчастих куполів належать поверхні, утворені багатогранниками, вписаними в сферу. Сітка купола може розбиватися на трикутники, ромби, трапеції, п'яти- і шестикутники.

Найпоширенішими є куполи з трикутною сіткою і геодезичні системи куполів. Стрижні останніх є ребрами багатокутників, вписаних у сферу.

У зірчастій системі розбивки, яка дістала назву "купол Феппля" (Рис. 1.4,б), довжину всіх не кільцевих стрижнів призначають однаковою, а кільцеві елементи зі зростанням висоти зменшуються.

У системі Чівітта (Рис.1.4.в) усі вузли одного ярусу розташовані на єдиному рівні. Це уможлиблює дотримання однакової відстані між кільцями або довжини кільцевих елементів, що знаходяться на одній позначці.

За ромбічної схеми довжина всіх стрижнів однакова. Таким чином, виходить ромбічна сітка. Застосування цієї сітки призводить до згущення сітки в міру наближення до вершини купола. Цей недолік усувається системою Кейвітта (Рис. 1.4.г).



а - сітчастий системи Шведлера; б - зірчастий системи Феппля; в - сітчастий купол системи Чівітта; г - сітчастий системи Кайвітта

Рисунок 1.4 - Решітки сітчастих куполів

Геодезичні куполи створюються шляхом членування вписаних у сферу правильних багатогранників.

Сітчасті куполи часто мають тільки опорне кільце.

Такий вид купола є найбільш економічним за витратою матеріалів, оскільки каркас рівномірно включений у роботу.

Пластинчасті куполи збирають з готових сталевих панелей, з виштампованими ребрами жорсткості. Ці панелі зв'язуються зазвичай між собою зварюванням.

1.2 Методи розрахунку великопролітних купольних покриттів

1.2.1 Розрахунок ребристих куполів

Розрахунок такого виду купола зводиться до визначення перерізу окремої арки ребристого купола [9]. До неї прикладаються навантаження, зібрані з вантажної площі - сферичної трапеції.

Щоб врахувати реакцію опорного кільця, вводять поняття умовної зтяжки. Ця зтяжка пов'язує ребра однієї арки. Площу такої зтяжки приймають з умови рівності її пружних деформацій і деформацій опорного кільця в горизонтальному

напрямку [10].

Площа перерізу умовної затяжки для круглого опорного кільця:

$$A = \frac{2\pi E_k A_k}{n E_3} \quad (1.1)$$

де $E_k A_k$ - жорсткість опорного кільця;

E_3 - модуль пружності матеріалу затяжки;

n - кількість ребер у куполі.

Якщо кільце виконано у формі багатокутника, площа затяжки дорівнює:

$$A = \frac{4r E_k A_k}{l_k E_3} \sin^2 \frac{\varphi}{2} \quad (1.2)$$

де $E_k A_k$ - жорсткість опорного кільця;

E_3 - модуль пружності матеріалу затяжки;

r - радіус описаного кола;

l_k - довжина ділянки кільця між сусідніми ребрами;

φ - кут у горизонтальній площині між сусідніми ребрами.

Утворену систему тришарнірної арки із затяжкою розраховують на вплив постійних, снігових і вітрових навантажень. До постійних навантажень належать вага покриття і вага самої конструкції ребер. Снігове навантаження, згідно з вимогами [11], на арочне покриття може розподілятися за трьома варіантами, залежно від коефіцієнта μ (Рис. 1.5).

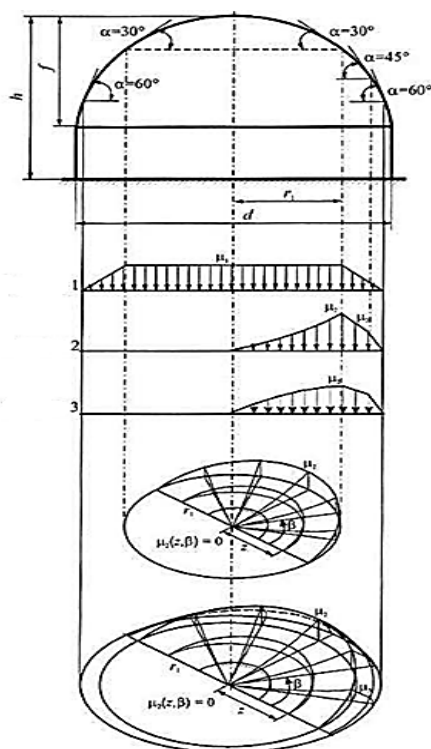


Рисунок 1.5 - Варіанти розподілу величини $\square$

Значення вітрового навантаження визначається за вимогами [11]. Значення статичного вітрового навантаження залежить від аеродинамічного коефіцієнта, розподіл якого показано на рисунку 1.6. Крім статичної складової вітрового навантаження, необхідно враховувати і пульсаційну.

Арка, що розташована на лінії АС, зазнаватиме найбільших вітрових навантажень, тому під час підбору перерізу саме їх і беруть у розрахунок.

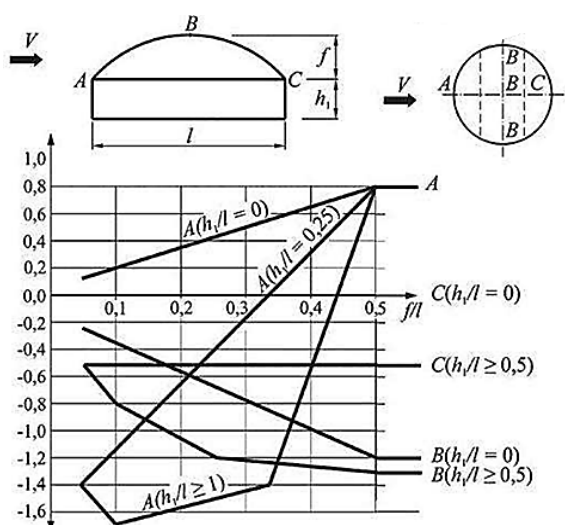


Рисунок 1.6 - Значення аеродинамічного коефіцієнта для куполів

Далі розраховуються комбінації навантажень і знаходяться найбільш не вигідні поєднання.

Порахувавши навантаження, що діють на конструкцію арки, потрібно визначити зусилля, що виникають в арці. Для цього спочатку знаходяться опорні реакції і потім з умови рівноваги знаходяться зусилля в кожному необхідному перерізі [12].

З умови міцності визначається необхідний переріз ребра і перевіряється на стійкість.

1.2.2 Розрахунок ребристо-кільцевих куполів

Розрахунок відбувається аналогічним способом. Кожне кільце купола замінюється опорним кільцем, так само, як і опорне кільце в ребристому куполі. З виразів (1) і (2) знаходяться величини площ умовних затяжок.

Отримана розрахункова схема являє собою тришарнірну арку з кількома затяжками (їх кількість дорівнює кількості кілець).

Завдяки методу сил знаходяться зусилля в затяжках. Вирішується система рівнянь із кількістю невідомих, що дорівнює кількості затяжок.

1.2.3 Розрахунок сітчастих куполів

Складність розрахунку сітчастих куполів полягає в необхідності розгляду каркасу як осесиметричної оболонки. Далі необхідно перейти назад до зусиль дискретної системи. Жорсткісні характеристики сітчастої системи замінюються еквівалентними характеристиками суцільної сітчастої оболонки, а переміщення суцільної поверхні мають збігатися з переміщенням сітчастої оболонки. Після розрахунку суцільної оболонки відбувається зворотний перехід до сітчастої системи. Зусилля в стрижневій системі визначаються з умови статичної рівноваги системи.

Власна вага розподіляється рівномірно по всій поверхні сітки.

Меридіональне зусилля на одиницю довжини кільця:

$$T_1 = -\frac{gR(1 - \cos \varphi)}{\sin^2 \varphi} = -q \frac{R}{1 + \cos \varphi}, \quad (1.3)$$

де R - радіус сферичного купола;

φ - кут між найвищою точкою та розрахунковою.

Кільцеве зусилля на одиницю довжини меридіана:

$$T_2 = -Rg \left(\cos \varphi - \frac{1}{1 + \cos \varphi} \right), \quad (1.4)$$

При куті $\varphi = 51^\circ 49'$ кільце починає відчувати замість стиснення розтягнення.

Зусилля, що виникає в опорному кільці від власної ваги, дорівнює:

$$N_K = R^2 g \frac{1 - \cos \varphi_0}{\operatorname{tg} \varphi_0} \quad (1.5)$$

Величину снігового навантаження знаходять за законом косинуса:

$$p = p_0 \cos \varphi \quad (1.6)$$

де p_0 - рівномірно-розподілене снігове навантаження на горизонтальну площину.

Меридіональне зусилля на одиницю довжини кільця в будь-якому перерізі має постійне значення:

$$T_1 = -\frac{\pi r^2 p_0 \sin \varphi}{2\pi r} = -\frac{p_0 R}{2} \quad (1.7)$$

Кільцеве зусилля на одиницю довжини меридіана визначається з

урахуванням нормальної складової навантаження в рівні кільцевого перерізу $q = p_0 \cos^2 \varphi$, з рівняння $T_1 + T_2 = -qR$:

$$T_2 = -qR + p_0 \frac{R}{2} = -\left(\frac{1}{2}\right)p_0 R \cos 2\varphi \quad (1.8)$$

Кільцеве зусилля змінює знак при $\varphi = 45^\circ$.

Зусилля розтягування в опорному кільці:

$$N_K = \frac{p_0 R^2}{4} \sin 2\varphi_0 \quad (1.9)$$

Під час дії на купол несиметричного снігового навантаження в оболонці, крім меридіональних і кільцевих зусиль, виникають зусилля, що зсувають, S .

Зусилля в сферичному куполі від одностороннього снігового навантаження інтенсивністю $p = 0,4p_0(1 + \sin \varphi \sin \psi)$:

$$T_1 = 0,4p_0 R \left[\frac{1}{2} + \frac{\cos \varphi}{3\sin^3 \varphi} (2 + 3\cos \varphi) \cdot (1 - \cos \varphi)^2 \sin \psi \right]; \quad (1.10)$$

$$T_2 = 0,4p_0 R \left\{ \frac{1}{2} + \left[\sin \varphi - \frac{\cos \varphi}{3\sin^3 \varphi} (2 + 3\cos \varphi) \cdot (1 - \cos \varphi)^2 \sin \psi \right] \right\} \quad (1.11)$$

$$S = \frac{0,4p_0 R (2 + \cos \varphi) \cdot (1 - \cos \varphi)^2}{3\sin^3 \varphi} \cos \psi \quad (1.12)$$

де ψ - кут широти в плані нижнього кола сферичного купола, що відлічується від діаметра, перпендикулярного до напрямку вітру, за якого отримують одностороннє навантаження.

Розрахунок вітрового навантаження проводять наближено заміною дійсної епюри вітрового тиску сумою двох епюр: симетричної $q_{v1} = q_v^0 \cos^2 \varphi$, де q_v^0 - розрахункове навантаження від тиску вітру на вертикальну площину на рівні основи купола, і кососиметричної $q_{v2} = q_v^0 \sin \varphi \sin \psi$.

Зусилля від симетричного навантаження:

$$T_{1,v} = -q_v^0 \frac{R(1 + \cos \varphi + \cos^2 \varphi)}{3(1 + \cos \varphi)} \quad (1.13)$$

$$T_{2,v} = -q_v^0 R \left[\cos^2 \varphi - \frac{1 + \cos \varphi + \cos^2 \varphi}{3(1 + \cos \varphi)} \right] \quad (1.14)$$

Зусилля від кососиметричного навантаження вітрового тиску:

$$T_{1,v} = q_v^0 R \frac{\cos \varphi}{\sin^3 \varphi} \left(\frac{2}{3} - \cos \varphi + \frac{1}{3} \cos^3 \varphi \right) \sin \psi \quad (1.15)$$

$$T_{2,v} = q_v^0 R \left[\sin \varphi - \frac{\cos \varphi}{\sin^3 \varphi} \left(\frac{2}{3} - \cos \varphi + \frac{1}{3} \cos^3 \varphi \right) \right] \sin \psi \quad (1.16)$$

Кососиметричне навантаження дає зсувні зусилля. Купольні покриття мають гарну обтічність, тому при $f/l \leq 4$ достатньо врахувати тільки симетричний укіс. Для купола $cf/l > 4$ слід брати до уваги і кососиметричне вітрове навантаження. Максимально можливі зусилля у верхньому кільці купола:

$$N_K = T_1 r_K \cos \varphi_K \leq \frac{3E_K I_K}{r_K^2}, \quad (1.17)$$

де E_K - модуль пружності матеріалу;

I_K - момент інерції відносно вертикальної осі;

r_K - радіус кільця.

Критичне напруження в оболонці:

$$\sigma_{cr,o\sigma} = \frac{E_{o\sigma} t_{o\sigma}}{R \sqrt{3(1 - \mu_{o\sigma}^2)}} \geq \sigma_{\max}, \quad (1.18)$$

де $t_{o\sigma}$ - товщина оболонки;

$E_{o\sigma}, \mu_{o\sigma}$ - модуль пружності та коефіцієнт Пуассона матеріалу оболонки;

$\sigma_{\max}$ - сумарні стискальні напруження від усіх видів навантаження.

Щоб перейти до системи суцільного купола використовують такі формули:
для одношарового купола

$$E_{o\sigma} = EA/3il \quad (1.19)$$

$$t_{o\bar{\sigma}} = 2i\sqrt{3} \quad (1.20)$$

$$\mu_{o\bar{\sigma}} = \frac{1}{3} \quad (1.21)$$

для двошарового купола

$$E_{o\bar{\sigma}} = 4EI/3Kl^2 \quad (1.22)$$

$$t_{o\bar{\sigma}} = K \cdot a\sqrt{3} \quad (1.23)$$

$$\mu_{o\bar{\sigma}} = \frac{1}{3} \quad (1.24)$$

де $E, I, \mu_{o\bar{\sigma}}, A, i, l$ - згинальна жорсткість, коефіцієнт Пуассона, площа перерізу, радіус інерції та довжина стрижня стиснутого купола;

a -крок стрижнів;

K — коефіцієнт, який визначається $K = \frac{t}{l}$ (тут t — товщина двошарової оболонки).

Зусилля в стрижнях купола визначають множенням зусиль T_1 і T_2 на відповідні відстані між стрижнями в розглянутому перерізі купола і проектуванням їх на напрямки стрижнів.

Зусилля в стрижні меридіонального напрямку:

$$N_1 = \frac{T_1 a}{2 \cos \alpha}. \quad (1.25)$$

$$N_2 = T_2 b. \quad (1.26)$$

Крім осьових зусиль N_1 і N_2 у стрижнях можуть виникати згинальні моменти від місцевого навантаження.

Щоб уникнути втрати стійкості у вертикальній площині, момент інерції стрижнів має задовольнити умову:

$$J \geq \frac{T_1 R_a}{0,5E} \sqrt{\frac{T_1 R}{0,5E}} \quad (1.27)$$

На сьогодні існує можливість проведення розрахунків елементів куполів у програмних комплексах. Вони дають змогу визначити НДС елементів конструкції, підібрати перерізи елементів, дізнатися величину переміщень та інші необхідні параметри будівлі.

1.3 Технологія зведення купольних покриттів

Ребристі та ребристо-кільцеві куполи мають аналогічні технології зведення.

Під час монтажу ребристих куполів спочатку зводять тимчасову опору у центрі купола [13]. Для того щоб кільце було змонтовано точно і розкручування по закінченню монтажу пройшло без проблем, у верхній частині цієї опори встановлюються домкрати або пісочниці. Для зручності та безпеки робіт на опорі є майданчик, огорожений поручнями, і сходи.

Монтажу верхнього кільця приділяють особливу увагу, тому що від його точного розташування по горизонталі і по вертикалі залежить симетричність і правильна форма майбутньої будови.

Після встановлення опори і влаштування кілець починається зведення ребер. Для цього проводять укрупнювальну збірку ребра по всій довжині і закріплюють між кільцями повністю готове ребро. Для того щоб навантаження не припадало на верхнє кільце, з одного боку, ребра зводять попарно, одне на проти одного, щоб система була в рівновазі. Якщо укрупнювальна збірка на всю довжину ребра неможлива, то влаштовують проміжні опори.

Якщо при зведенні ребер попарно їхньої жорсткості з площини недостатньо,

то ребра об'єднують у блоки. Такий блок являє собою об'єднані два суміжних ребра.

Розчалки забезпечують жорсткість ребер до влаштування постійних зв'язків. Після того, як купол повністю змонтований, проводять опускання домкратів або пісочниць, для опускання яких випускають пісок.

Для монтажу купольних покриттів можуть бути застосовані гусеничні, баштові, рейкові та спеціальні крани. Розташовуватися вони можуть як усередині купола, так і зовні. Вибір залежить від геометричних і вагових характеристик купола.

Під час проектування сітчастих куполів у конструктивних рішеннях необхідно враховувати намічену схему монтажу. Якщо купол має великий проліт і належить до пологих куполів, то його можна монтувати за допомогою центральної та проміжних опор.

В історії будівництва є приклад, коли для зведення сітчастого купола, створили штучний пагорб, на якому і розмістили покриття, а по завершенню монтажу зайвий ґрунт прибрали [14].

Під час навісного способу монтажу сітчастих куполів необхідно простежувати НДС елементів купола протягом усього монтажу, щоб елементи не втрачали своєї стійкості. На сьогодні це можливо зробити завдяки програмним комплексам.

1.4 Особливості врахування монтажних зусиль

Монтажні навантаження, поряд із сейсмічним впливом, прогресуючим обваленням, кліматичними навантаженнями, належать до особливого виду навантаження.

Згідно з відомостями [15], у сучасних реаліях проєктувальникам необхідно під час розрахунку складних споруд (великопрогонових і висотних будівель, мостів тощо) враховувати не тільки схему повністю зведеної будівлі, а й проміжні схеми, одержувані на стадії зведення. Іноді переріз елементів і конструкції вузлів визначаються саме монтажною стадією.

Під час монтажу на споруду діють такі навантаження [16]:

- постійні (вага змонтованих елементів, такелажних конструкцій, зусилля від попереднього напруження);
- короточасні навантаження (вітрові (на вже зведену частину), вага монтажних елементів, які використовуються нетривалий час, динамічний вплив під час підйому, інерційні навантаження під час транспортування, навантаження від ударів конструкцій, які монтують, температурні впливи і переміщення опор.

Для великопролітних конструкцій особливе значення відіграє момент розкручування. Розкручування має проводитися поетапно, причому величини часових проміжків мають бути рівними. Таке поступове звільнення конструкції дає змогу уникнути перенапруг окремих елементів.

Купольні покриття до встановлення зв'язків являють собою суцільні і наскрізні напіварки. Їх стійкість перевіряють за загальними правилами. Перше ребро розкріплюють від втрати стійкості розчалками, кількість, поперечний переріз і місця встановлення яких прораховуються. Усі наступні елементи, що зводяться, пов'язують із попередніми постійними зв'язками і розпівками.

1.4.1 Навантаження під час транспортування

Під час транспортування металоконструкцій від заводу на монтажний майданчик залізницею необхідно вживати заходів щодо забезпечення міцності та стійкості окремих відправних елементів. З цією метою завод-виготовлювач складає і погоджує з управлінням залізниці схеми навантаження. Під час транспортування конструкцій залізничним транспортом розміщують і кріплять вантаж на рухомому складі відповідно до технічних умов навантаження і кріплення вантажів [13], а також кресленнями і схемами. Габаритні конструкції та обладнання, що підлягають перевезенню залізницею, не повинні виходити за межі габариту обрису навантаження з урахуванням його пакування і кріплення. В іншому разі вантажі називаються негабаритними.

Завод-виготовлювач зобов'язаний підготувати конструкцію до перевезення

таким чином, щоб забезпечувалася безпека руху і збереження її в процесі транспортування. У зв'язку з цим повинні бути перевірені на міцність вузли та окремі елементи конструкцій, а також деталі, призначені для сприйняття зусиль, що виникають під час транспортування.

Під час визначення способів розміщення і кріплення конструкцій, а також їхньої міцності та стійкості мають враховуватися такі сили:

- поздовжні горизонтальні інерційні, що виникають унаслідок зіткнення вагонів під час руху поїзда, під час маневрів, спуску з гірок і в процесі гальмування;
- поперечні горизонтальні інерційні, що виникають під час руху вагона і під час вписування його в криві та перехідні ділянки колії;
- вертикальні, спричинені прискореннями при коливаннях вагона, що рухається;
- тиск вітру;
- тертя;
- вага вантажу.

Точкою прикладання рівнодійної поздовжніх, поперечних і вертикальних сил є центр ваги вантажу. Точкою прикладання рівнодіючого вітрового навантаження є центр ваги майданчика, що зазнає дії сили вітру. Зазначені сили враховуються в розрахунках у двох поєднаннях:

- поздовжня інерційна сила і сила тертя;
- поперечна інерційна сила, вертикальна динамічна, вітрове навантаження і сила тертя.

Під час розрахунку на стійкість необхідно вважати точки обпирання на рухомий склад опорами конструкції, тобто конструкцію розглядають як двоконсольну балку, а точки розкріплення розтяжками, відтяжками та іншими видами кріплень приймають як зв'язки, що скорочують розрахункову довжину елементів конструкції.

У зв'язку зі збільшенням останнім часом швидкості поїздів спостерігається збільшення динамічних навантажень на рухомий склад і транспортовані конструкції. У багатьох випадках відзначається також неузгодженість місця

спирання конструкцій з місцями допустимих навантажень на рухомий склад. Тому виникає необхідність спирання на проміжні вузли конструкцій і рухомого складу.

У таких випадках слід перевірити робочі креслення з метою узгодження місць обпирання конструкцій з точками навантажень на рухомому складі (звідси і має виникати поняття про транспортабельність і нетранспортабельність на залізниці).

Під час транспортування конструкцій від майданчика укрупнення до місця монтажу (якщо укрупнення відбувається на центральному складі та для подачі монтажного блоку необхідні спеціальні транспортні пристосування і турнікети) укрупнений блок має бути забезпечений від втрати стійкості постійними або інвентарними зв'язками (вертикальними та горизонтальними), що створюють також просторову жорсткість блоку. Іноді для транспортування блоків, маса яких сягає 100 т і більше, застосовують спеціальні транспортні візки. Оскільки до складу укрупнених блоків входять технологічне обладнання, огорожувальні конструкції тощо, вони можуть бути завантажені навантаженнями, близькими до експлуатаційних, а умови спирання їх різко відрізняються від проєктних. Тому виникає необхідність у перевірочних розрахунках їхньої міцності та стійкості для прийнятого випадку обпирання. У деяких випадках потрібне визначення точки (вузла) обпирання монтажного блоку на такі транспортні пристосування.

Здебільшого розрахункова схема конструкцій на цій стадії транспортування являє собою двоконсольну балку за повної відсутності защемлення у всіх точках спирання. У зв'язку з тим, що швидкість під час подавання укрупнених блоків незначна, впливом інерційних навантажень можна знехтувати і вважати, що укрупнені блоки навантажені силою тяжіння власної маси і встановленого на них технологічного обладнання.

На автотранспорті можна перевозити негабаритні блоки, що неможливо зробити залізницею. Під час транспортування залізницею ці блоки після складання і випробування в заводських умовах доводиться розбирати або ж розрізати на транспортабельні частини. Це не тільки економічно збитково, але іноді й технічно неможливо. У цьому випадку автомобільний транспорт виявляється економічно

доцільним.

Слід враховувати, що при навантаженні на автотранспортні пристосування можливе значне підвищення загального центру тяжіння, внаслідок чого вантаж виявиться нестійким, особливо на нерівних ділянках дороги. У цих випадках раціональним є транспортування конструкцій і обладнання на двох трайлерах методом провисання, для чого на трайлерах встановлюють шарнірні опорні пристосування. Це дає можливість знизити загальний центр ваги до 1 м і верхній габарит автопоїзда.

За такого методу транспортування конструкція, окрім зусиль від сили тяжіння, інерційних і динамічних впливів, сприйматиме як розтягувальну силу тяги

$$F_{\text{Д}} = \frac{N}{v} \eta, \quad (1.28)$$

Де N - потужність двигуна тягача, Вт;

v - швидкість руху автопоїзда, м/с;

η - коефіцієнт корисної дії двигуна та силової передачі (для автомашин $\eta = 0,85$, для тракторів $\eta = 0,8$).

Сила тяги залежно від зчеплення з поверхнею дороги

$$F_{\text{Т}} = P_{\text{Т}} \varphi, \quad (1.29)$$

де $P_{\text{Т}}$ - сила тяжіння тягача з вантажем, Н;

φ - коефіцієнт зчеплення коліс або гусениць із покриттям, який залежить від типу та стану дороги і визначається за довідковими даними.

Із двох знайдених значень сили тяги для розрахунку конструкції приймають максимальне, а для визначення максимально можливої траси блоку, що транспортується, - мінімальне.

1.4.2 Навантаження під час складування

Усі конструктивні елементи, які надходять на будівельний майданчик, мають бути забезпечені знаком монтажу. Елементи, які попередньо зібрані в структурну одиницю і транспортуватимуться та монтуватимуться як один елемент, можуть мати той самий початковий номер, що й маркування. Якщо під час монтажу елемент має орієнтацію (лівий і правий боки), що не видно за його формою, це також має бути позначено маркуванням. Мітки мають бути розміщені в місцях, видимих під час зберігання і після встановлення елемента. Маркування має бути вказане на монтажних кресленнях таким чином, щоб місце кожного елемента можна було легко розпізнати [18].

Матеріал, доставлений на майданчик і не призначений для негайного монтажу, повинен зберігатися у відповідному місці, яке має бути захищене від концентрації дощової води. Сталеві елементи слід знімати на дерев'яних шпалах або інших відповідних матеріалах.

Складування має бути організовано з урахуванням послідовності робіт, щоб компоненти, які підлягають установці насамперед, були доступні. Кріплення, що зберігаються на місці, мають зберігатися в сухих умовах, належним чином упаковані та легко розпізнавані.

Компоненти повинні зберігатися та оброблятися таким чином, щоб мінімізувати небезпеку постійних деформацій або будь-якого виду пошкоджень сталевих поперечних перерізів або захисного оброблення. Пошкодження під час транспортування, зберігання або монтажу мають бути відновлені.

Розрахункова схема елемента на цьому етапі безпосередньо залежить від схеми складування (рис. 1.7).

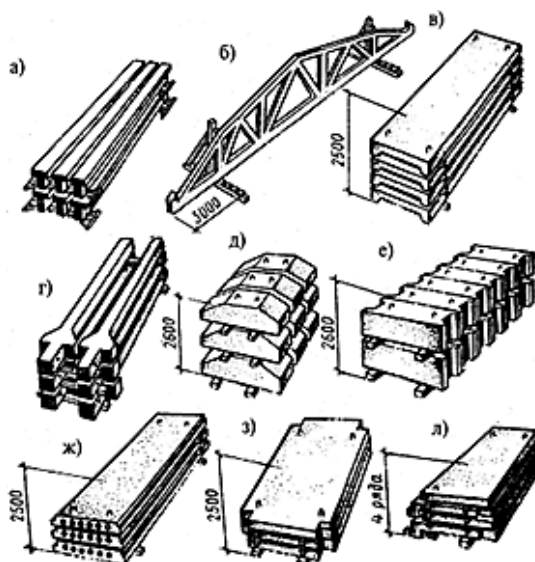


Рисунок 1.7 - Схеми складування елементів

На елемент діє навантаження від власної ваги, а також ваги вищерозміщених конструкцій. Якщо використовуються прокладки між рядами елементів, то в цих місцях навантаження від верхніх елементів можна прийняти зосередженим (власна вага завжди задається розподіленим навантаженням).

Залежно від того, дотикається елемент безпосередньо до нижчого елемента/землі або через прокладки, задаються зв'язки. Так, у разі використання прокладок можна прийняти, що елемент закріплений шарнірно-рухомими опорами, що обмежують переміщення по вертикалі, а без використання прокладок - елемент лежить на пружній основі.

1.4.3 Навантаження, що виникають під час укрупнювального складання та підйому

Потужність сучасних вантажопідйомних монтажних механізмів дає змогу доводити розміри монтажних блоків до таких меж, коли вони можуть зруйнуватися або втратити стійкість під дією власної сили тяжіння та інших монтажних впливів. Тому виникає необхідність у перевірці укрупнених блоків на міцність і стійкість, а в деяких випадках - у постановці спеціальних зв'язків і елементів посилення.

Під час укрупнення конструкцій у просторові блоки виникає завдання

забезпечення просторової жорсткості, для чого мають бути запроектовані постійні або інвентарні вертикальні та горизонтальні зв'язки. У разі застосування конвеєрного складання виявляється доцільним у системі монтажних блоків передбачати постійні вертикальні зв'язки на кожний блок [14], хоча це і тягне за собою перевитрату металу. За традиційних методів складання просторових блоків такі зв'язки проектують інвентарними.

Особливу увагу під час укрупнювального складання слід приділяти забезпеченню проєктної геометричної форми монтажних блоків.

Під час підйому стрижневих суцільностінчастих конструкцій (балки, труби) розрахунок їх можна проводити як звичайних консольно-балкових систем. Точки стропування при цьому є опорами. Розрахунковий згинальний момент визначається з урахуванням коефіцієнтів надійності за навантаженням і динамічністю.

Гнучкість конструкції, що піднімається, на довжині між точками стропування не повинна перевищувати 220.

Під час підйому ґратчастих конструкцій з досить потужною решіткою розрахунок становить складне інженерне завдання. Природно, що при цьому кожен стрижень забезпечується від втрати стійкості за всіх можливих умов роботи конструкції в її площині та з площини.

У цьому відношенні умови роботи елементів решітки в період підйому істотно не відрізнятимуться від умов роботи в період експлуатації (хоча й можливі випадки зміни знака зусилля; тоді елементи решітки, в яких замість розтягування в період експлуатації з'являється стиснення в період монтажу, повинні мати відповідну гнучкість [20].

1.4.4 Вплив способу монтажу на НДС конструкції

Неодноразова зміна статичних схем у період монтажу характерна не тільки для окремих конструкцій, а й для несучого каркасу споруди загалом. Однак під час розрахунків зусилля в елементах несучих конструкцій і споруд визначають від

постійних, тимчасових і особливих навантажень (у їхніх різних поєднаннях), прикладених до несучих конструкцій у такому вигляді, якими вони будуть у період експлуатації. Таким чином, споруди традиційно розраховують з умови одночасного включення всіх конструкцій за однією і тією ж статичною схемою на різні види навантажень.

На практиці в міру зведення каркасу будівлі окремі прольоти і поверхи послідовно навантажуються огорожувальними конструкціями і деякими (найбільш масивними) частинами технологічного обладнання. Ці навантаження іноді можуть становити більшу частину розрахункових, але включатися в роботу на їх сприйняття буде не весь каркас, а тільки його змонтована частина. Під впливом зусиль від цих навантажень відбувається деформування змонтованої частини каркасу, до того ж на розподіл зусиль і деформацій впливатиме ступінь завершеності вузлових з'єднань (шарнірне або жорстке сполучення змонтованих конструкцій у момент їхнього навантаження) та відповідність їх у цей момент проєктним.

У конструкціях, що монтуються пізніше, від цих навантажень не виникатимуть зусилля, хоча за традиційною розрахунковою схемою вони мають працювати на сприйняття всіх навантажень [16].

Таким чином, статичні розрахунки несучих каркасів будівель і споруд слід проводити з урахуванням можливих методів монтажу та послідовності прикладання корисних навантажень, оскільки кожному етапу монтажу відповідає своя розрахункова схема. До моменту закінчення монтажу дійсний напружений стан каркасу виявляється значно відмінним від розрахункового. Врахування цього фактора особливо важливе при суміщених методах монтажу висотних будівель, що широко практикуються в даний час. Під час завдання монолітного каркасу висотної будівлі в ПК SCAD без урахування монтажу можна спостерігати розтягувальні зусилля, що виникають у верхніх елементах, що суперечить реальній картині роботи каркасу.

Робочі креслення металевих конструкцій і монтажні схеми містять вказівки про прийнятий у розрахунку метод монтажу, послідовність прикладання

навантажень, порядок і час виконання та завершення вузлів на окремих етапах монтажу.

Зміна передбачених розрахунками методів монтажу або послідовності встановлення конструкцій узгоджується з проектною організацією.

Розрахунки несучих конструкцій споруди проводять відповідно до заздалегідь заданої схеми і послідовності зведення (частіше для каркасів промислових будівель, коли деформації не можуть мати значного впливу на остаточну виконавчу схему несучих конструкцій каркасу споруди). У цьому разі не потрібно штучного управління напруженим і деформованим станом конструкцій на окремих стадіях зведення будівлі. Для висотних споруд, а також для великопрогонових будівель і споруд розрахунки рекомендується виконувати з огляду на необхідне кінцеве положення змонтованої цілком споруди: у цьому разі потрібне застосування різних способів управління напруженим і деформованим станом споруди з урахуванням навантажень, що відповідають розглянутій стадії монтажу. У зв'язку з великою трудомісткістю такі розрахунки виконують на електронно-обчислювальних машинах.

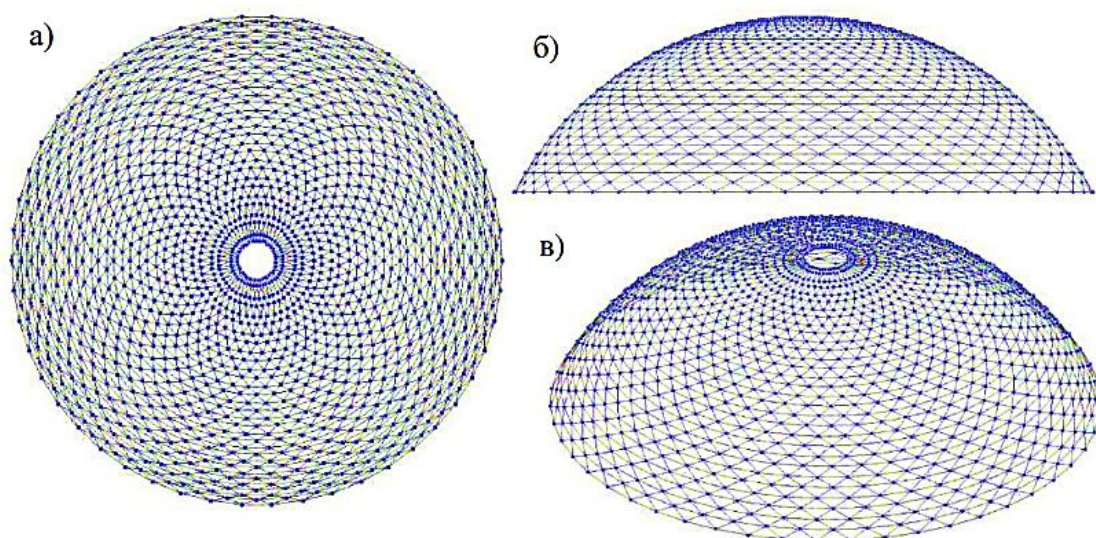
РОЗДІЛ 2

МОДЕЛЮВАННЯ ТА ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ МОНТАЖУ СІТЧАСТОГО КУПОЛА

2.1 Розрахункова схема

Геометричні характеристики сітчастого купола:

- діаметр купола - 100 метрів;
- висота купола - 30 метрів;
- кількість сегментів за висотою - 30;
- кількість сегментів по довжині кола - 50;
- система каркасу - зірчастий купол Феппля (Рис. 2.1).



а - вид зверху на купол; б - вид спереду; в - загальний вигляд.

Рисунок 2.1 - Сітчастий купол

2.2 Кліматичні умови

Розрахунок несучих конструкцій виконано для району з природно-кліматичними умовами:

- розрахункове снігове навантаження - 2,1 кПа (III сніговий район);
- нормативне вітрове навантаження - 0,38 кПа, тип місцевості - В (I

вітровий район);

- інтенсивність сейсмічного впливу приймається рівною 6 балам.

2.3 Збір навантажень

Купол покриватиметься світлопрозорими конструкціями, а для визначення їхніх параметрів необхідно знати максимальні навантаження, що діють на скло. Тому спочатку визначимо снігові та вітрові навантаження, а потім уже постійні.

2.3.1 Снігове навантаження

Снігові навантаження слід визначати за формулою

$$S_0 = c_e \cdot c_t \cdot \mu \cdot S_g \quad (2.1)$$

де c_e - коефіцієнт, що враховує знесення снігу з покриттів будівель під дією вітру або інших чинників;

c_t - термічний коефіцієнт;

μ - коефіцієнт форми, що враховує перехід від ваги снігового покриву землі до снігового навантаження на покриття;

S_g - нормативне значення ваги снігового покриву на 1 м^2 горизонтальній поверхні землі.

Для наших умов приймаємо такі значення:

$S_g = 1,5 \text{ кН/м}^2$ - для 3-го снігового району;

$c_c = 1$ - для купольних покриттів будівель на круглому плані, при $d = 100 \text{ м}$;

$c_t = 1$ - незважаючи на те, що утеплювач не застосовується, але задана товщина склопакета має запобігти надмірній втраті тепла. І щоб не зменшувати значення нормативного снігового навантаження, прийнято коефіцієнт, що дорівнює 1.

Визначення коефіцієнта μ . У нашому випадку розглядається 2 варіанти, тому

що поверхня не шорстка, не має надбудов, ліхтарів і огорожувальних споруд. Коефіцієнт μ приймається згідно з табл. Б. 2 джерела [11]. У проміжних точках значення знаходяться за допомогою лінійної інтерполяції. Необхідні геометричні параметри купола вказано на рисунку 2.2.

Значення μ для 1 варіанту.

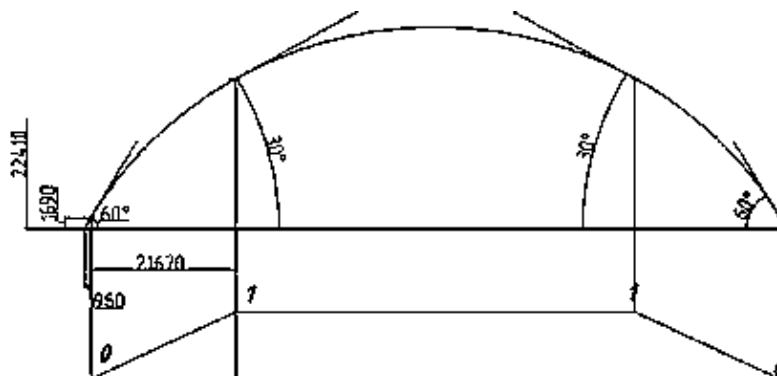


Рисунок 2.2 - Значення коефіцієнта μ для 1-го варіанту

Значення коефіцієнта μ_1 для парних сегментів 1-го купола ($30^\circ \leq \alpha \leq 45^\circ$ і $45^\circ \leq \alpha \leq 60^\circ$) наведено в таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 - Значення коефіцієнта μ_1 ($30^\circ \leq \alpha \leq 60^\circ$)

Відстань від центру купола	Значення коефіцієнта μ_1
28,33	1($\alpha=30^\circ$)
30	0,92
35	0,68
40	0,44
45	0,2
49,04($\alpha=60^\circ$)	0
50	0

Нормативне значення снігового навантаження при $\alpha < 30^\circ$ $S_0 = 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1,5 = 1,5 \text{ кПа}$.

Для врахування розрахункового навантаження в ПК SCAD вводиться коефіцієнт 1,4. Значення нормативного снігового навантаження при $30^\circ \leq \alpha \leq 60^\circ$ наведено в таблиці 2.2.

Таблиця 2.2 – Обчислення нормативного снігового навантаження ($30^\circ \leq \alpha \leq 60^\circ$)

Відстань від центру купола	Значення нормативного снігового навантаження за 1-м варіантом
28,33($\alpha=30^\circ$)	1,5
30	1,38
35	1,02
40	0,66
45	0,3
49,04 ($\alpha=60^\circ$)	0
50	0

2 варіант

У цьому варіанті розглядається снігове навантаження тільки на половину купола. При цьому значення навантаження на кожну площину покриття залежить від свого коефіцієнта (рис. 2.3).

Для 2 варіанта при $z \leq r_1$ слід приймати

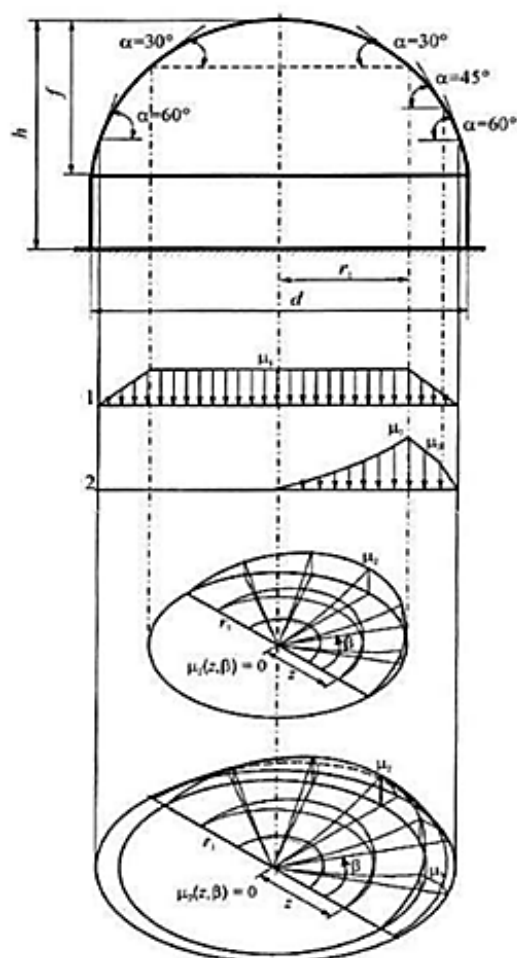
$$\mu_2 = C_{r1}(z/r_1)^2 \cdot \sin \beta \quad (2.2)$$

$$\text{Де } C_{r1} = 2,55 - \exp\left(0,8 - \frac{14f}{d}\right) = 2,55 - \exp\left(0,8 - 14 \cdot \frac{30}{100}\right) = 2,52$$

z - відстань від центру купола до горизонтальної проекції середини сегмента, на який розраховується навантаження;

$r_1 = 28,33$ м - відстань від центру купола до горизонтальної проекції точки, в якій дотична до купола становить 30° з горизонтом.

Для 2 варіанта при $z > r_1$ слід приймати $\mu = 1,5 \cdot \sin \beta$, при $\alpha = 45^\circ$ ($z = 40$ м), а при $\alpha = 60^\circ$ $\mu = 0$ ($z = 49,04$ м). Проміжні точки знаходяться за допомогою інтерполяції.

Рисунок 2.3 - Значення коефіцієнта μ

Результати значення μ_2 і нормативного снігового навантаження зводиться в таблицю 2.3.

Таблиця 2.3 - Значення коефіцієнта μ_2 і нормативного снігового навантаження при варіанті 2

Відстань від центру купола (z)	Кут повороту (β)°																		
	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150	160	170	180
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5	0	0,01	0,03	0,04	0,05	0,06	0,07	0,07	0,08	0,08	0,08	0,07	0,07	0,06	0,05	0,04	0,03	0,01	0
	0	0,02	0,04	0,06	0,08	0,09	0,10	0,11	0,12	0,12	0,12	0,11	0,10	0,09	0,08	0,06	0,04	0,02	0
10	0	0,06	0,11	0,16	0,20	0,24	0,27	0,30	0,31	0,31	0,31	0,3	0,27	0,24	0,20	0,16	0,11	0,06	0
	0	0,08	0,16	0,24	0,30	0,36	0,41	0,44	0,46	0,47	0,46	0,44	0,41	0,36	0,30	0,24	0,16	0,08	0

Продовження таблиці 2.3

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
15	0	0,12	0,24	0,35	0,45	0,54	0,61	0,66	0,7	0,71	0,7	0,66	0,61	0,54	0,45	0,35	0,24	0,12	0
	0	0,19	0,36	0,53	0,68	0,81	0,92	1,0	1,04	1,06	1,04	1,0	0,92	0,81	0,68	0,53	0,36	0,2	0
20	0	0,21 8	0,43 8	0,62 7	0,80 7	0,96	1,08 8	1,18	1,23 7	1,25 6	1,23 7	1,18	1,08 8	0,96	0,80 7	0,62 8	0,43	0,22	0
	0	0,33	0,65	0,94	1,21	1,44	1,63	1,77	1,86	1,88	1,86	1,77	1,63	1,44	1,21	0,94	0,65	0,33	0
25	0	0,34	0,67	0,98	1,26	1,50	1,7	1,84	1,93	1,96	1,93	1,84	1,7	1,53	1,26	0,98	0,61	0,34	0
	0	0,51	1,00	1,47	1,89	2,3	2,55	2,77	2,9	2,94	2,9	2,77	2,55	2,3	1,89	1,47	1,1	0,51	0
28,33	0	0,44	0,86	1,26	1,62	1,93	2,18	2,4	2,48	2,52	2,48	2,4	2,18	1,93	1,62	1,26	0,86	0,44	0
	0	0,66	1,29	1,89	2,43	2,95	3,03	3,6	3,72	3,78	3,72	3,55	3,27	2,90	2,43	1,89	1,29	0,66	0
30	0	0,41	0,81	1,19	1,53	1,82	2,06	2,23	2,34	2,38	2,34	2,23	2,06	1,82	1,53	1,19	0,81	0,41	0
	0	0,62	1,22	1,78	2,29	2,73	3,08	3,35	3,51	3,56	3,51	3,35	3,08	2,73	2,29	1,78	1,23	0,62	0
35	0	0,34	0,66	0,97	1,25	1,48	1,68	1,82	1,91	1,94	1,9	1,82	1,68	1,48	1,25	0,97	0,66	0,34	0
	0	0,50	1,0	1,45	1,87	2,23	2,52	2,73	2,86	2,91	2,86	2,73	2,52	2,23	1,87	1,45	1,0	0,50	0
40	0	0,26	0,51	0,75	0,96	1,15	1,23	1,41	1,48	1,5	1,48	1,41	1,3	1,15	0,96	0,75	0,51	0,26	0
	0	0,39	0,77	1,13	1,45	1,7	1,95	2,12	2,22	2,25	2,22	2,12	1,95	1,72	1,45	1,13	0,77	0,39	0
45	0	0,12	0,23	0,34	0,43	0,91	0,58	0,63	0,66	0,67	0,66	0,63	0,58	0,51	0,43	0,33	0,22	0,11	0
	0	0,17	0,34	0,50	0,64	0,77	0,87	0,94	0,99	1,00	0,99	0,94	0,87	0,77	0,64	0,50	0,34	0,17	0
49,04	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
50	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

2.3.2 Вітрове навантаження

Район будівництва належить до 3 вітрового району, звідси впливає, що $w_0=0,38\text{кПа}$.

Нормативне значення основного вітрового навантаження w слід визначати як суму середньої w_m і пульсаційної w_p складових.

Нормативне значення середньої складової основного вітрового навантаження w_m залежно від еквівалентної висоти z_e над поверхнею землі слід визначати за формулою:

$$w_m = w_0 k(z_e) c, \quad (2.3)$$

де $k(z_e)$ - коефіцієнт, що враховує зміни вітрового тиску для висоти ;

c_e - аеродинамічний коефіцієнт.

Коефіцієнт $k(z_e)$ враховує зміну вітрового тиску для висоти .

$z_e = 30$ м. Згідно з табл. 11.2 [11], використовуючи метод інтерполяції, отримуємо $k(z_e) = 0,95$

Для купольних покриттів значення коефіцієнтів c_e у точках А і С, а також у перерізі В-В наведено на рисунку 2.4. Для проміжних перерізів коефіцієнти визначаються лінійною інтерполяцією. Для проміжних перерізів коефіцієнти визначаються лінійною інтерполяцією.

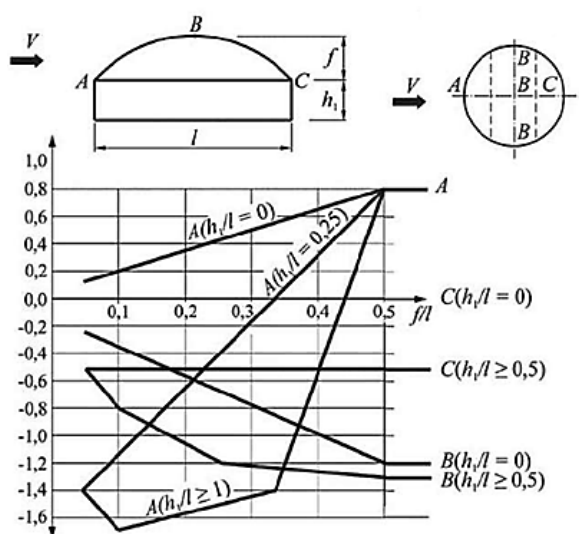


Рисунок 2.4 - Значення коефіцієнта c_e

Відповідно з графіка отримуємо, що для точки А $c = 0,5$, т.В - $c = -0,77$, для т.С $c = 0$

Рахуючи за вище наведеною формулою, отримуємо:

$$w_{m1} = 0.38 \cdot 0.95 \cdot 0.5 = 0.1805 \text{ кПа},$$

$$w_{m1} = 0.38 \cdot 0.95 \cdot (-)0.77 = -0.277 \text{ кПа},$$

$$w_{m1} = 0.38 \cdot 0.95 \cdot 0 = 0 \text{ кПа}.$$

Нормативні значення вітрового навантаження представлено на рисунку 2.5.

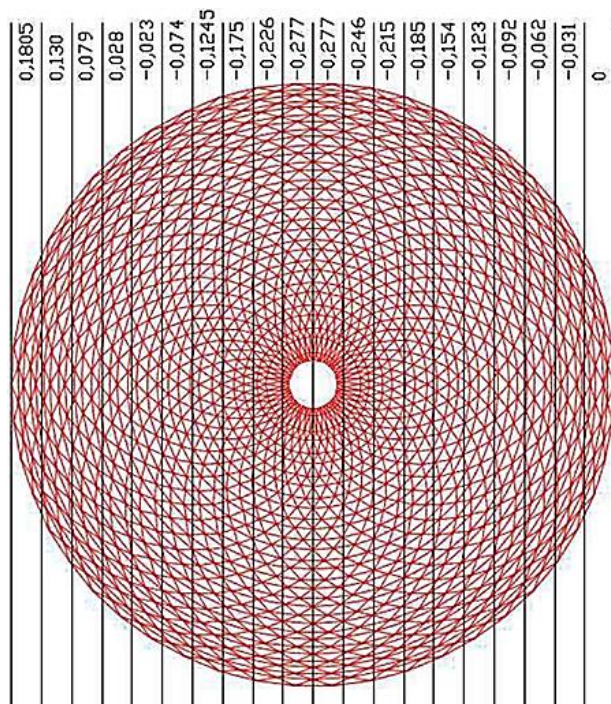


Рисунок 2.5 - Величина вітрового нормативного навантаження

До розрахункових навантажень перейдемо, вказавши в ПК SCAD коефіцієнт 1,4. Пульсуюча складова вітрового навантаження задається за допомогою ПК SCAD.

2.3.3 Постійне навантаження

Для естетичної виразності в якості огорожувальних застосуємо світлопрозорі конструкції.

Згідно з вимогами [16], міцність скла має бути забезпечена під час дії розрахункових значень навантажень від снігу, вітру, власної ваги. Найбільша площа заскленого елемента становить 6 м^2 . Із табл. 1 джерела [22] підбираємо тришаровий склопакет із товщиною кожного скла 8 мм, і прошарком у 12 мм.

Згідно з джерелом [22], за площі скла понад 5 м^2 навантаженням від різниці температур і тиску можна знехтувати.

Початкові дані для розрахунку: $a=2\text{ м}$ (менший бік склопакета), $b=3\text{ м}$ (більший бік склопакета), розрахункова температура всередині будівлі $+20^\circ\text{C}$.

Значення максимального розрахункового снігового навантаження: 3,78-

$$1,4=5,3 \text{ кПа}$$

Максимальне розрахункове вітрове навантаження (нормативне значення представлено на рис. 14):

$$0,18 \cdot 1,4 = 0,25 \text{ кПа}$$

Приймається значення з "плюсом", щоб не брати до уваги розвантажувальний ефект від вітрового навантаження.

Навантаження, що діє на склопакет, дорівнює:

$$q_p = g + (q + p)n \quad (2.4)$$

де g - навантаження від власної ваги скла (для тришарового склопакета з товщиною скла 8 мм дорівнює $52,5 \text{ кгс/м}^2 = 0,515 \text{ кПа}$)

q - снігове навантаження, кПа;

p - вітрове навантаження, кПа.

n - коефіцієнт, що приймається рівним 0,55 - для двошарових склопакетів, 0,36 - для тришарових склопакетів зі склом рівної товщини.

$$q_p = 0,515 + (5,3 + 0,25) \cdot 0,36 = 2,5 \text{ кПа} = 254,93 \frac{\text{кгс}}{\text{м}^2} = 0.025 \text{ кгс/см}^2$$

Коефіцієнт k обчислюється за формулою 34 :

$$k = \frac{q_p}{(1 + \lambda^2)^2 \cdot E} \left(\frac{b}{\delta} \right)^4 \quad (2.5)$$

Де δ - товщина скла;

E - модуль пружності скла, що дорівнює $6,5 \cdot 10^5 \text{ кгс/см}^2$;

λ - відношення більшої сторони до меншої $\lambda = \frac{b}{a} = 3/2 = 1.5$

$$k = \frac{0.025}{(1 + 1.5^2)^2 \cdot 6.5 \cdot 10^5} \left(\frac{600}{0.8} \right)^4 = 30.4$$

З рис. 3 [22] визначаємо $\frac{f}{\delta} = 2,2$

Перевіряємо міцність:

$$E \left(\frac{\delta}{b} \right)^2 \left[2,3\lambda \left(\frac{f}{\delta} \right)^2 + 5,12 \frac{f}{\delta} (\lambda^2 + 0,22) \right] \leq R_u \quad (2.6)$$

$$6,5 \cdot 10^5 \cdot (0,0027)^2 [2,3 \cdot 1,5 \cdot 2,2^2 + 5,12 \cdot 2,2 \cdot (1,5^2 + 0,22)] = 131,84 < 150$$

Умова міцності виконується тільки в разі використання загартованого скла, у разі застосування звичайного - міцність не забезпечена.

З попереднього пункту отримуємо нормативне навантаження від ваги огорожувальних конструкцій - 0,52 кПа.

Згідно з вимогами [16], для світлопропускних конструкцій застосовується коефіцієнт надійності за навантаженням, що дорівнює 1,1. Таким чином, розрахункове навантаження становить: $0,52 \cdot 1,1 = 0,57$ кПа.

Для врахування власної ваги конструкції буде використано вбудовану функцію SCAD Office. Коефіцієнт надійності за навантаженням для металевих конструкцій дорівнює 1,05, згідно з [11]. У подальших розрахунках до постійного навантаження належатиме вага розчалок, кріпильних пристроїв, які тривалий час впливають на роботу конструкції на стадії монтажу.

2.4 Розрахунок сітчастого купола в ПК SCAD

2.4.1 Розрахункова схема в ПК SCAD

Розрахункову схему сітчастого купола, задану в ПК SCAD, представлено на рисунку 2.6.

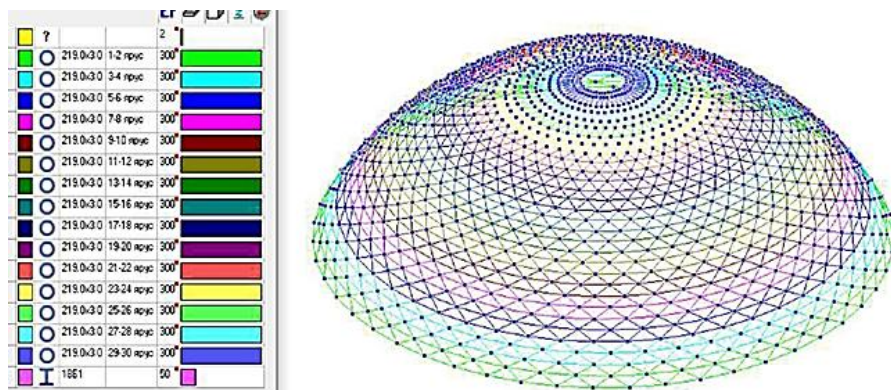


Рисунок 2.6 - Розрахункова схема сітчастого купола

Оскільки ми розглядаємо поведінку тільки сталевого каркасу, то дію нижнього опорного кільця замінюємо встановленими зв'язками в опорах (припускають, що купол встановлюють на залізобетонну основу, яка і слугує кільцем).

Для зручності подальшої роботи відразу розбиваємо купол на 2 яруси, щоб підібрати надалі необхідні перерізи. Спочатку для всіх стрижнів задається переріз за [26] 203х6мм. Осередки заповнюються умовно невагомими пластинами, щоб їхня жорсткість у цій схемі не враховувалася, а можливість прикладати навантаження до площини збереглася. Елементи між собою з'єднані жорстко, тому що зазвичай елементи сітчастих куполів скріплюються зварюванням, що забезпечує жорстке з'єднання.

Верхнє кільце задано за [27] двотавровим перерізом 18Б1. Надалі всі значення перерізів будуть скориговані. Багато сітчастих куполів виконуються без верхнього кільця, але в обраній мною схемі (за зірчастою системою Феппля) верхнє кільце має бути. Наскільки воно буде необхідним, і які будуть його розміри на цьому етапі сказати важко.

2.4.2 Схеми прикладання навантажень

Вага від покриття огорожувальних конструкцій прикладається до умовно невагомих пластин. Пластини задано без реальних параметрів, щоб під час розрахунку їхні жорсткісні параметри не враховували, а демонстрували тільки роботу несучого каркасу. Схему прикладання навантаження від огорожувальних конструкцій представлено на рисунку 2.7.

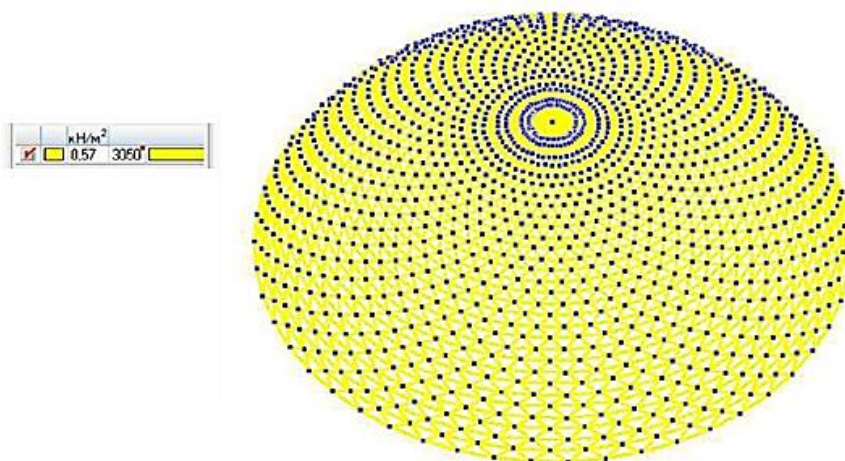


Рисунок 2.7 - Схема прикладання постійного навантаження від покриття

Власна вага несучих конструкцій купола враховується програмним комплексом SCAD Office автоматично. Схему прикладання навантаження від власної ваги несучих конструкцій наведено на рисунку 2.8.

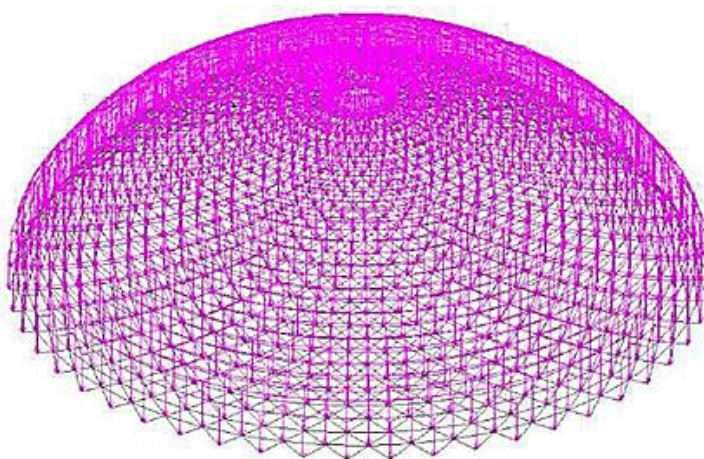


Рисунок 2.8 - Схема прикладання навантаження від власної ваги

Далі прикладаємо снігове навантаження за 1-м варіантом:

Перший варіант розглядає випадок, коли сніг покриває купол рівномірно (рис. 2.9). У другому варіанті сніг покриває половину купола, і снігове навантаження розподіляється тільки на частині купола (рис. 2.10).

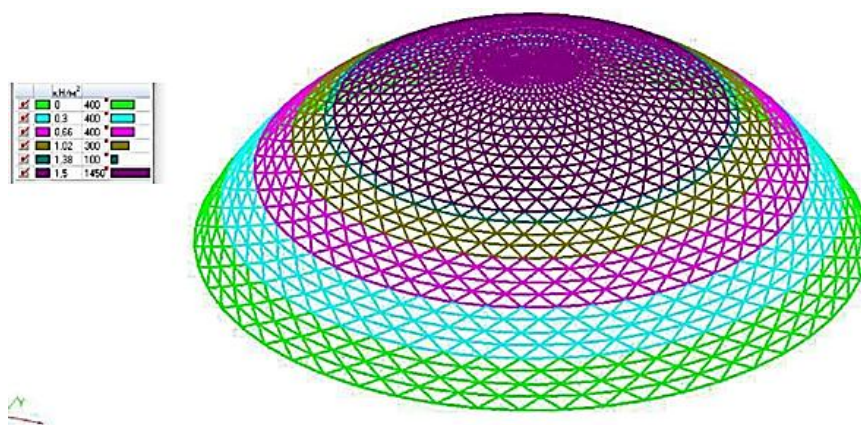


Рисунок 2.9 - Схема прикладання снігового навантаження (1 варіант)

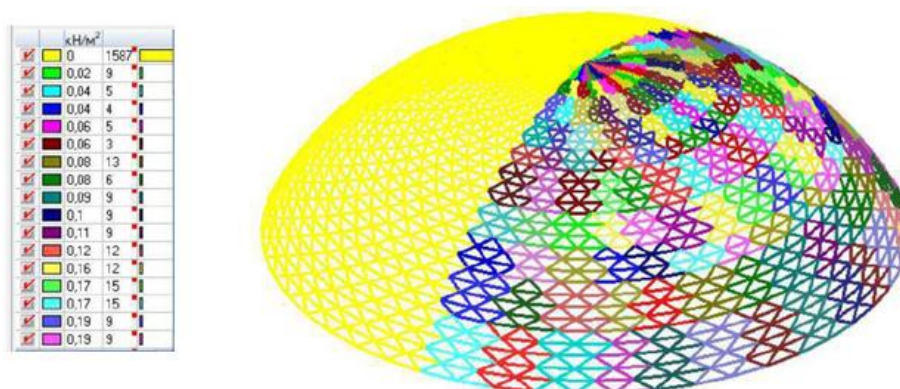


Рисунок 2.10 - Схема прикладання снігового навантаження (2 варіант)

Вітрове навантаження прикладається до елементів за місцевими осями.

Значення навантаження згідно з рисунком 2.11. Задано чотири варіанти навантаження в ортогональних напрямках, щоб розглянути найбільш несприятливі поєднання зі сніговим навантаженням.

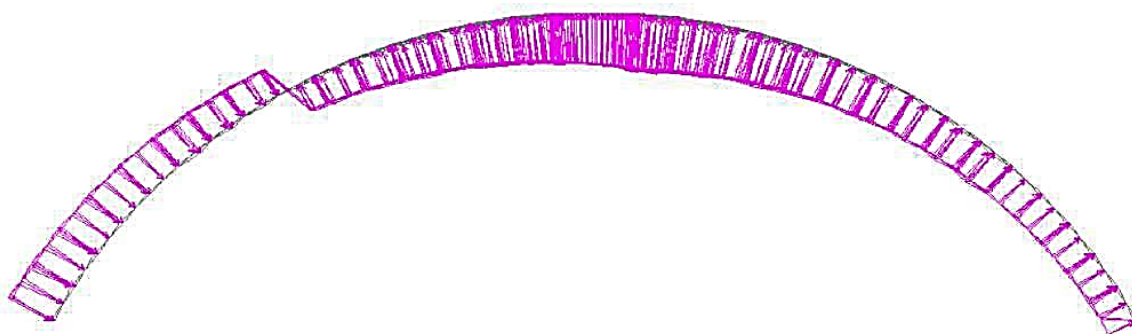


Рисунок 2.11 - Схема розподілу вітрового навантаження

У п.2.3.2 було розраховано статичну складову вітрового навантаження. На верхнє кільце прикладається розподілене навантаження із сегмента покриття кільця. Щоб коректно підібрати перетин елементів.

2.5 Підбір перерізів

Спочатку всі стрижні були задані перерізом за і [26] 203х6мм. Верхнє кільце задано за [27] двотавровим перетином 18Б1.

Щоб підібрати елементам одного ярусу єдиний перетин, були призначені групи уніфікації (на кожен ярус - своя група). Верхнє кільце враховувалося окремо.

Провівши розрахунок за попередньо заданим перерізом, вийшло, що у багатьох елементах переріз завищено,

Щоб уникнути перевитрати матеріалу і без потреби не обтяжувати конструкцію, проводимо розрахунок у SCAD Office на підбір перерізів елементів.

Цей розрахунок необхідно було провести кілька разів, тому що під час зміни перерізу вага конструкції змінювалася, і яруси, що лежать нижче від змінюваного, можна було теж зробити меншим перерізом.

У підсумку отримали значення необхідних перерізів для кожного ярусу.

Максимальні сумарні переміщення продемонстровані на рисунку 2.12.

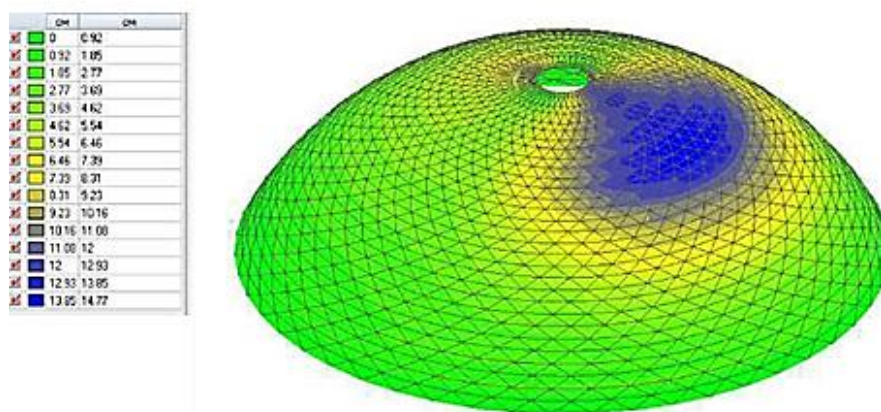


Рисунок 2.12 - Сумарні переміщення

Отримані значення порівнюються з граничним прогином конструкції $f =$

$l/300 = 100/300 \approx 0.33\text{м} = 33\text{см}$ [11]. Отримані переміщення під час аналізу роботи купола менші за критичні.

2.6 Технологія зведення сітчастого купола

Згідно з п.1.3 цього дослідження, поведінку елементів сітчастого купола під час монтажу найкраще можна розглянути під час зведення каркасу навісним способом. У цьому разі не використовуються додаткові підтримувальні пристрої.

Цей спосіб почали застосовувати завдяки сучасним програмам розрахунку конструкцій, які дають змогу передбачити поведінку елементів у різних умовах.

За вихідні дані беремо, що елементи каркасу (труби) надходять із заводу, підготовлені до монтажу (потрібного розміру, і з потрібними вирізами). На будівельному майданчику відбувається укрупнювальне складання в трикутні осередки купола, які далі монтуються баштовим і самохідним краном у каркас.

РОЗДІЛ 3

ДОСЛІДЖЕННЯ НДС ЕЛЕМЕНТІВ КАРКАСУ ПІД ЧАС ТРАНСПОРТУВАННЯ ТА СКЛАДУВАННЯ

3.1 Моделювання роботи каркасу на різних стадіях монтажу

Для сітчастих куполів, що монтуються навісним способом, найнебезпечнішим моментом у життєвому циклі будівлі є монтаж. Тому що без додаткових опор може бути змінена розрахункова схема. Каркас зазнає надмірних зусиль, або з'являється вагомий переміщення.

Під час зведення кожного ярусу має перевірятися і коригуватися позначка попереднього. У цьому пункті розглянемо поярусне зведення каркасу. Зробити це дає змогу режим Монтаж у ПК SCAD.

Режим "Монтаж" призначений для моделювання поведінки конструкції (визначення її напружено-деформованого стану) у процесі зведення. Процес зведення споруди і, відповідно розрахунок, розбивається на кілька етапів (стадій монтажу). Розрахунок кожного наступного етапу виконується з урахуванням напружено-деформованого стану конструкції, визначеного за результатами розрахунку попередніх етапів.

3.2 Перший спосіб монтажу

Проаналізуємо, чи забезпечується міцність конструкції під час монтажу, коли огорожувальні конструкції встановлюють одразу під час монтажу каркасу.

Поетапне зведення каркасу змодельовано в ПК SCAD. Критичний фактор на кожній стадії зведення показано на рисунках 3.1 – 3.7.

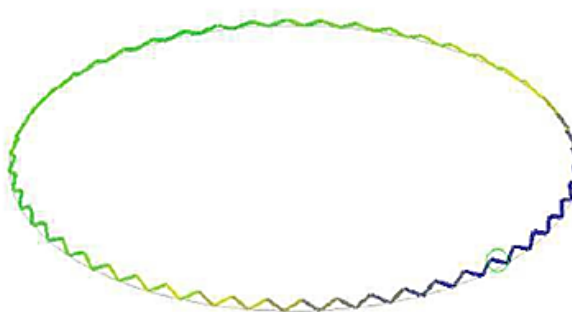
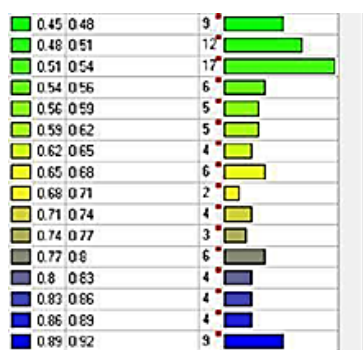


Рисунок 3.1 - Перевірка міцності та стійкості елементів на 1 стадії

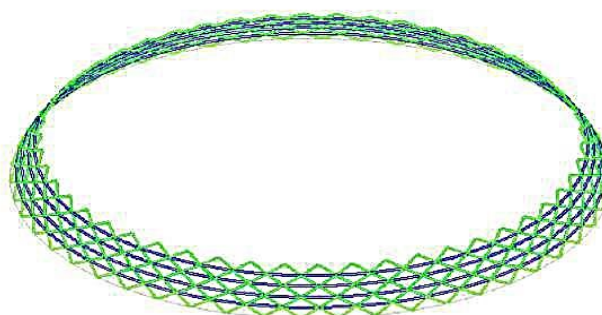
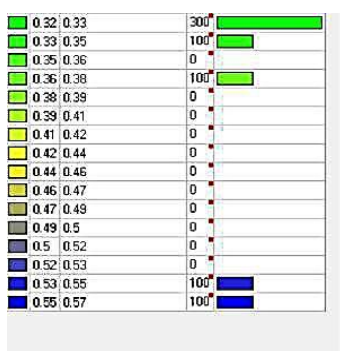


Рисунок 3.2 - Перевірка міцності та стійкості елементів на 5 стадії

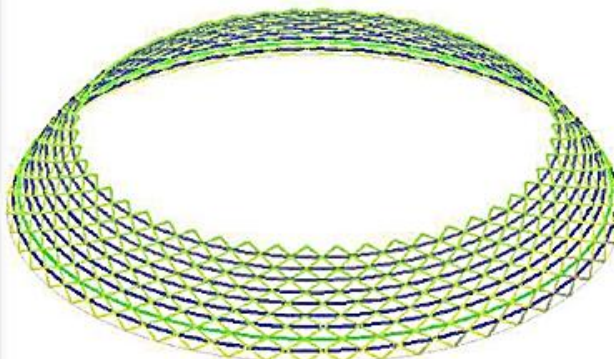
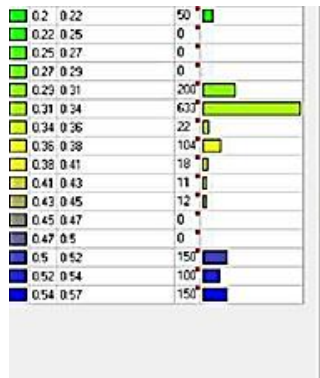


Рисунок 3.3 - Перевірка міцності та стійкості елементів на 10 стадії

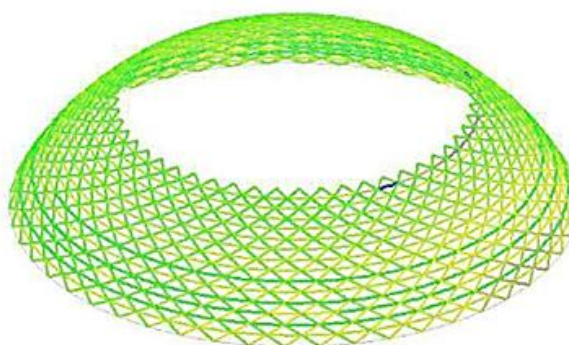
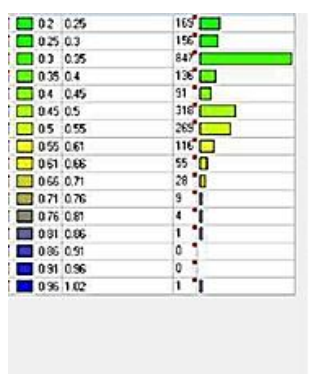


Рисунок 3.4 - Перевірка міцності та стійкості елементів на 15 стадії

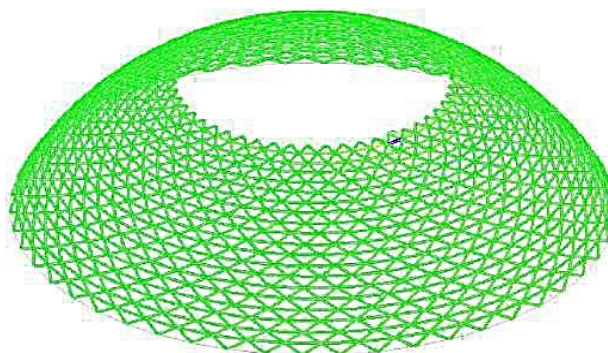
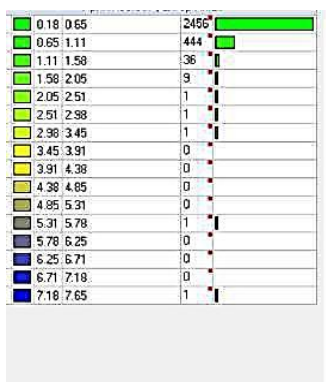


Рисунок 3.5 - Перевірка міцності та стійкості елементів на 20 стадії

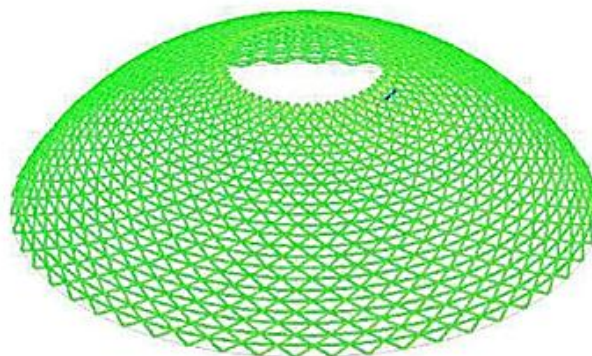
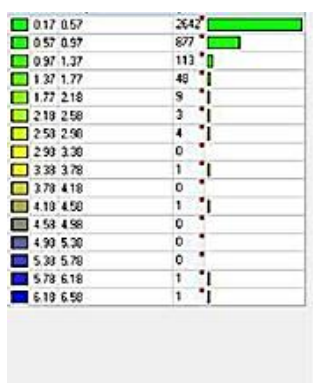


Рисунок 3.6 - Перевірка міцності та стійкості елементів на 25 стадії

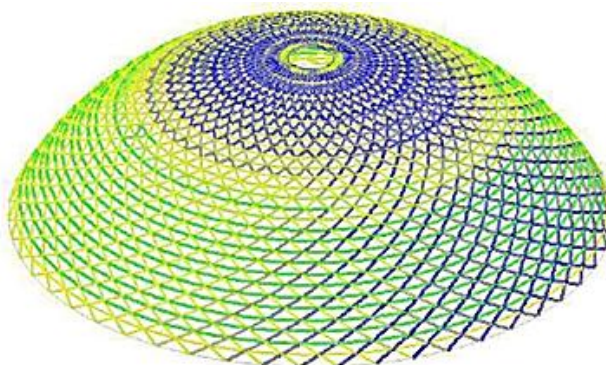
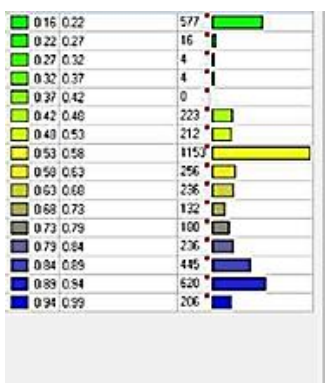


Рисунок 3.7 - 31 стадія (фінальна)

3.3 Другий спосіб монтажу

Далі розглядається випадок, коли спочатку зводиться металевий каркас, а потім вже проводиться монтаж огорожувальних конструкцій.

Під час аналізу роботи каркасу на етапах його монтажу не виявлено

небезпечних моментів.

На етапах кріплення елементів огорожі поярусно, елементи купола втрачають стійкість. Результати значень критичних факторів показано на рисунках 3.8-3.15.

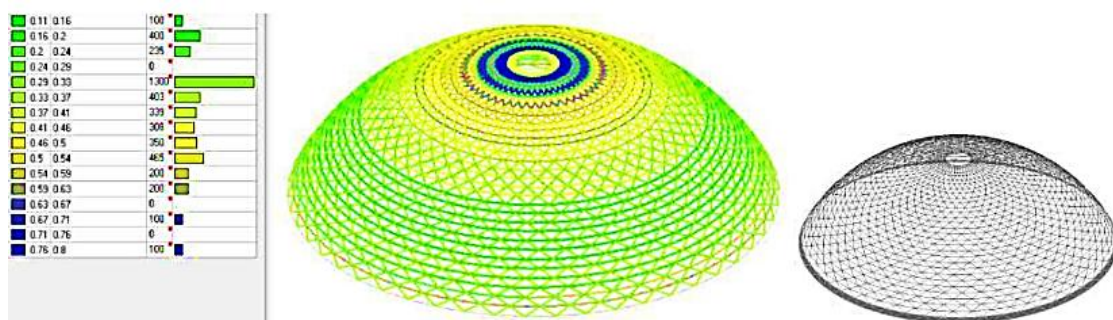


Рисунок 3.8 - Перевірка елементів на 32-ій стадії 2-го способу монтажу (покриття 1 ярусу)

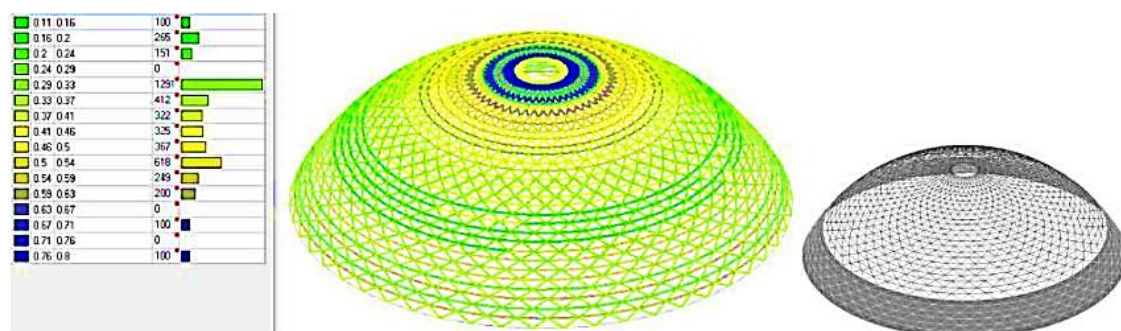


Рисунок 3.9 - Перевірка елементів на 37-ій стадії 2-го способу монтажу (покриття 6 ярусу)

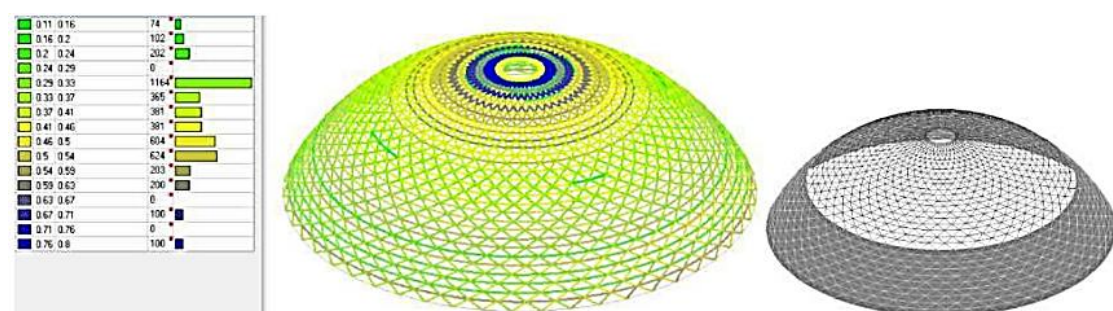


Рисунок 3.10 - Перевірка елементів на 41-ій стадії 2-го способу монтажу (покриття 10 ярусу)

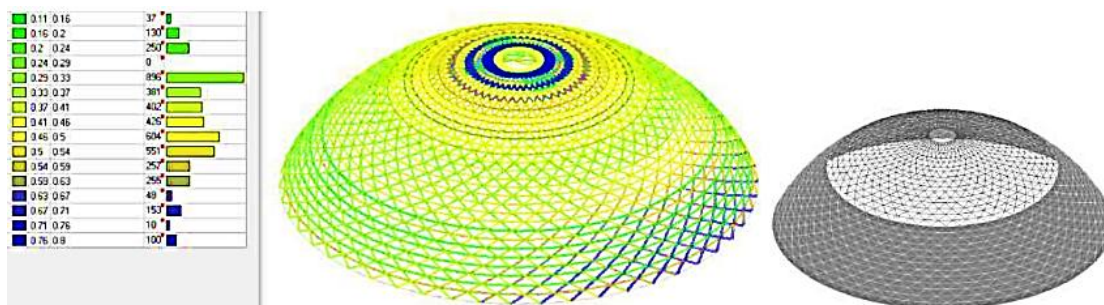


Рисунок 3.11 - Перевірка елементів на 45-ій стадії 2-го способу монтажу (покриття 14 ярусу)

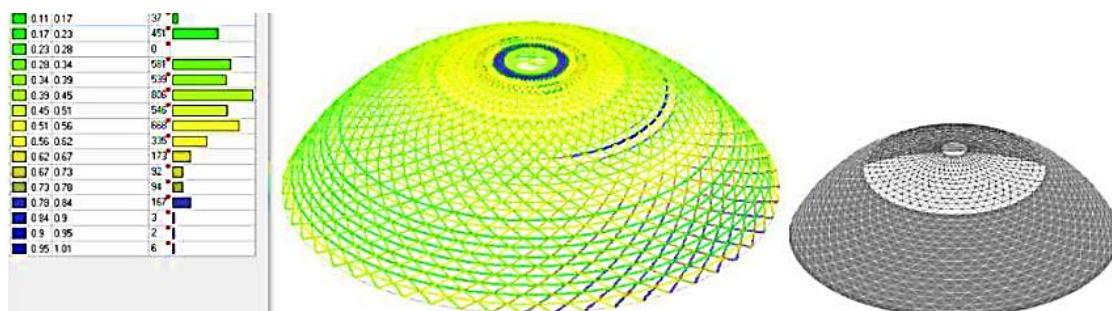


Рисунок 3.12 - Перевірка елементів на 49-ій стадії 2-го способу монтажу (покриття 18 ярусу)

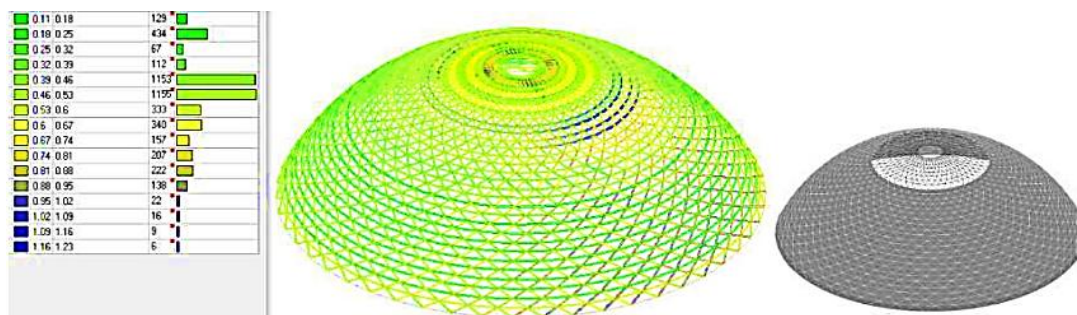


Рисунок 3.13 - Перевірка елементів на 54-ій стадії 2-го способу монтажу (покриття 23 яруси)

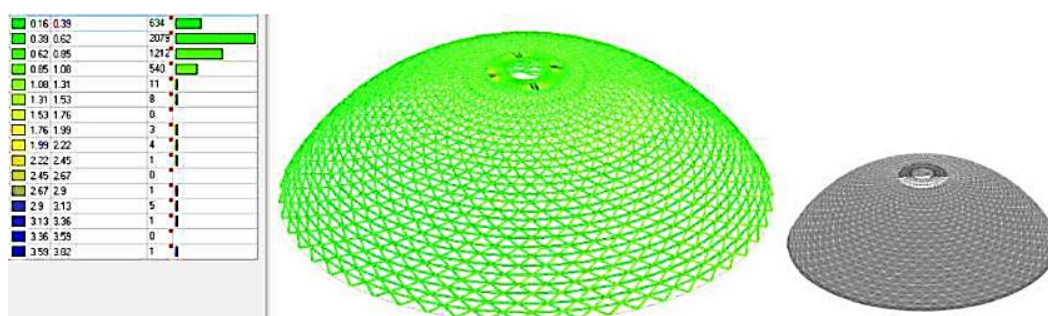


Рисунок 3.14 - Перевірка елементів на 59-ій стадії 2-го способу монтажу (покриття 28 ярусу)

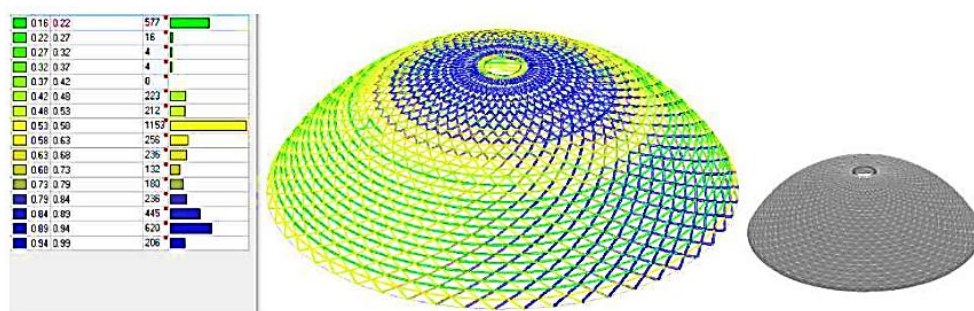


Рисунок 3.15 - Перевірка елементів на 61-ій стадії 2-го способу монтажу (покриття 30 ярусу)

3.4 Конструювання купола з урахуванням монтажних навантажень

Підбір перерізів проводимо для кожної стадії, в якій критичний фактор перевищив 1 (15 стадія, 17-30 стадія - для першого методу монтажу; 48-61 стадія - для другого методу монтажу). За підсумком перетин кожного ярусу має бути максимальним із підібраних.

Для першого варіанту монтажу для стадій 1-14 і 16 підбір не проводиться, тому що в зазначених варіантах елементи не зазнають навантаження більше, ніж у фінальній схемі.

Для другого методу монтажу розрахунок для 1-48 стадії також не проводять, тому що на цих етапах забезпечують міцність конструкцій навіть із первинними перетинами.

При другому варіанті монтажу розраховують перерізи при зведенні огорожувальних конструкцій на 18-29 ярусах.

Після того, як підібрали перерізи для досліджуваних стадій монтажу, проводять перевірку роботи каркасу будівлі ще раз, оскільки змінилася вага конструкцій. За необхідності перерізи підбирають повторно, поки критичний фактор для всіх елементів у досліджуваній стадії не стане меншим за 1.

Призначаються перерізи сітчастого купола (рисунок 3.16), що монтується за першою схемою (коли огорожувальні конструкції монтуються одночасно з каркасом), і перевіряється критичний фактор елементів (рисунок 3.17).

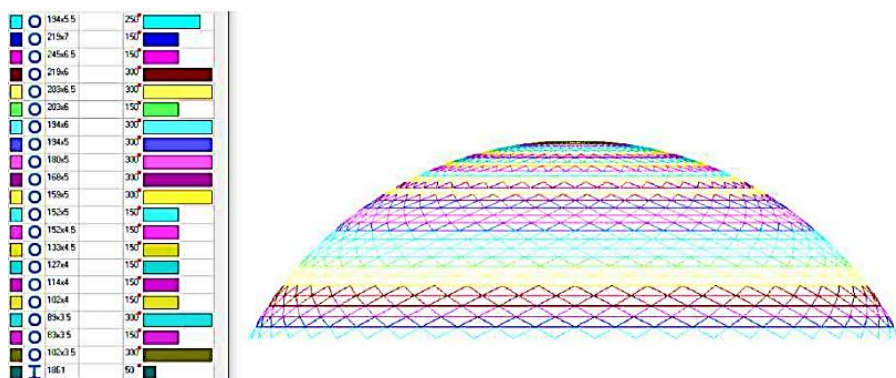


Рисунок 3.16 - Перетини сітчастого купола з урахуванням першої схеми монтажу

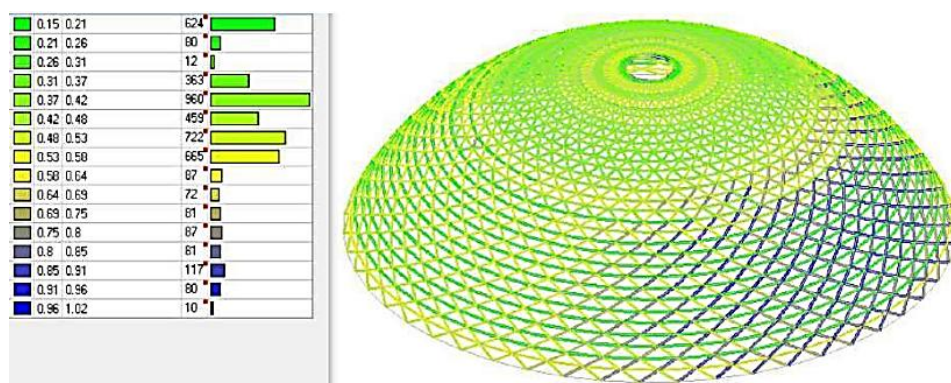


Рисунок 3.17 - Критичний фактор елементів (1 схема монтажу)

Необхідно заново підібрати перерізи, при цьому зменшувати величину перерізів не можна, можна тільки збільшувати.

Критичний фактор підсумкових елементів купола показано на рисунку 3.18.

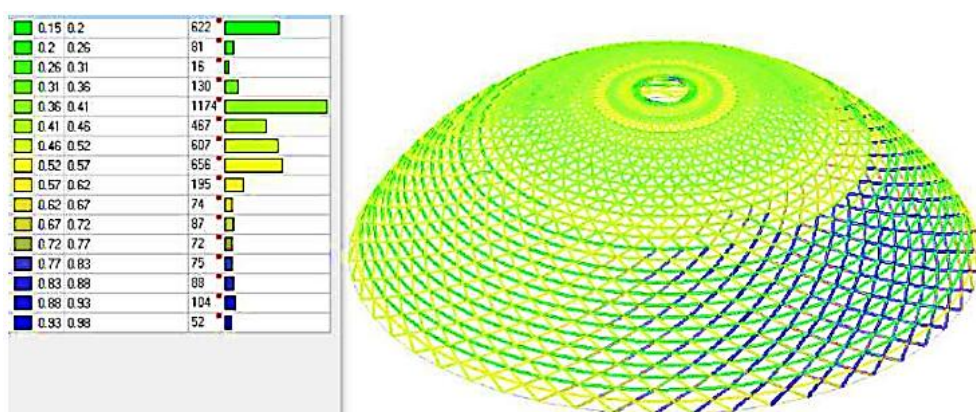


Рисунок 3.18 - Критичний фактор елементів (1 схема монтажу)

Сумарні переміщення елементів купола показано на рисунку 3.19.

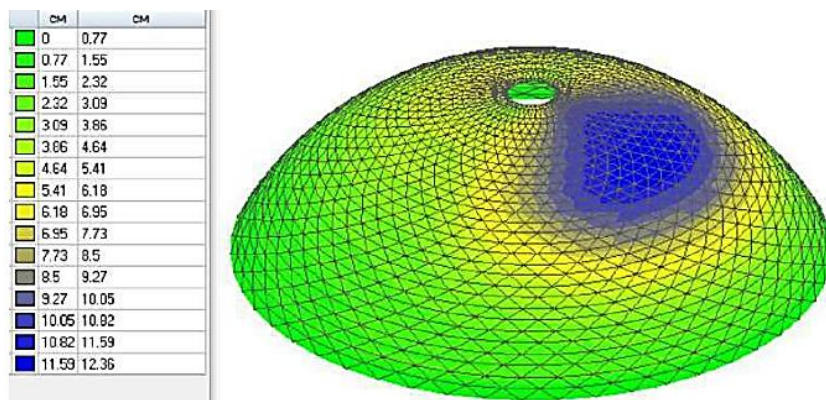


Рисунок 3.19 - Сумарні переміщення (1 схема монтажу)

Призначаються перерізи сітчастого купола (рисунок 3.20), що монтується за другою схемою (коли огорожувальні конструкції монтуються після зведення сталевого каркасу), і перевіряється критичний фактор елементів (рисунок 3.21).

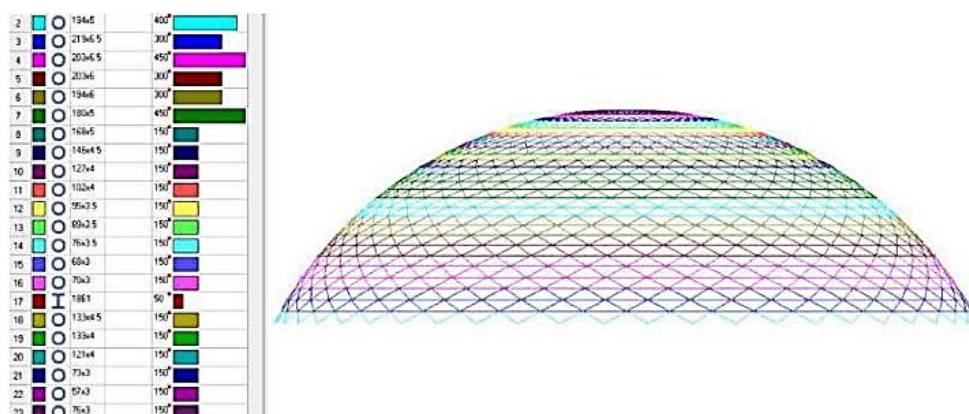


Рисунок 3.20 - Перетини сітчастого купола з урахуванням першої схеми монтажу

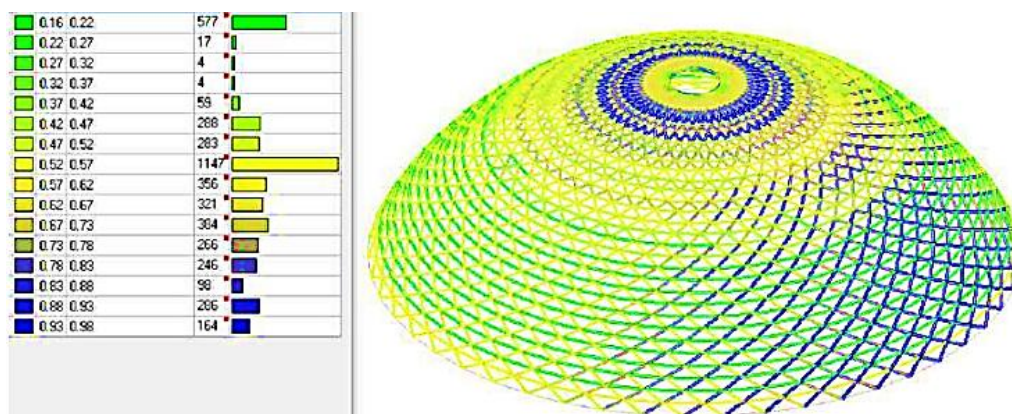


Рисунок 3.21 - Критичний фактор елементів (2 схема монтажу)

Сумарні максимальні переміщення елементів купола, що монтується за другою схемою, представлено на рисунку 3.22.

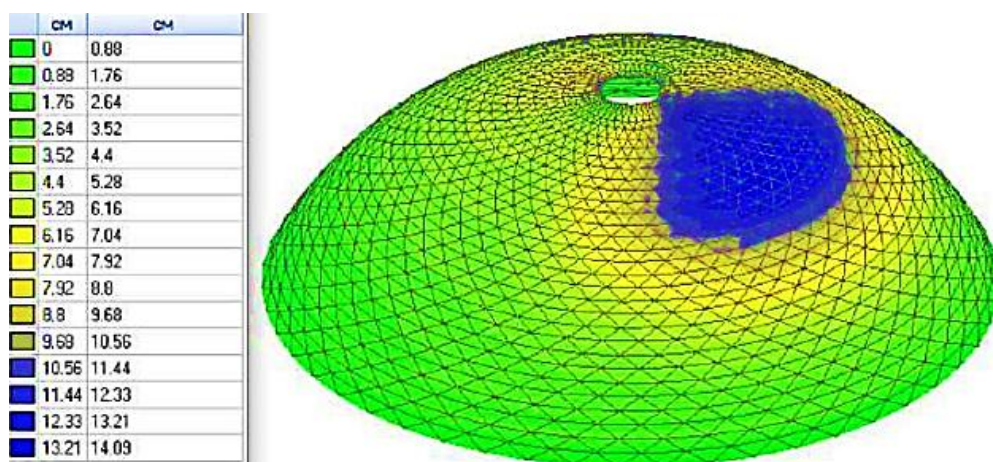


Рисунок 3.22 - Сумарні переміщення (2 схема монтажу)

3.5 Аналіз отриманих результатів

Під час проведеного дослідження встановлено таке:

Розглянуті елементи каркасу під час транспортування/складування/укрупнювального складання мають зовсім іншу розрахункову схему відносно того, коли вони встановлені в проєктне положення. Якщо в проєктному положенні елементи переважно зазнають стиснення з вигином, то в підготовчому періоді на етапі транспортування, строкування окремих елементів і складування вони працюють переважно на вигин. Незважаючи на те, що зусилля в досліджуваному куполі вийшли значно меншими за розрахункові, не можна повністю нехтувати врахуванням цих стадій. Особливий вплив може мати укрупнювальне складання, коли на підготовчому етапі зводять цілі конструктивні елементи, які в момент підйому і монтажу працюватимуть зовсім інакше, ніж у проєктному положенні. Зусилля, що виникають в елементах на підготовчому етапі і в проєктному положенні, наведено в таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 - Порівняння зусиль, що виникають на підготовчому етапі та в проєктному положенні

	N	M	Q
Елементи 2-го ярусу			
Зусилля в проєктному положенні	-458,29	33,71	17
Зусилля під час складування	-	-0,34	0,61
Зусилля під час транспортування	-	-0,39	0,69
Зусилля під час укрупнювального складання	1,28	0,94	1,13
Елементи 18-го ярусу			
Зусилля в проєктному положенні	-249,31	4,94	4,26
Зусилля під час складування	-	1,76	-3,67
Зусилля під час транспортування	-	2,01	-4,2
Зусилля під час укрупнювального складання	0,33	0,12	0,23

Під час монтажу купола за першою схемою (коли разом із каркасом купола зводяться огорожувальні конструкції) виникають зовсім інші зусилля, ніж у проєктному положенні. Проаналізувавши отримані зусилля, було зроблено такі висновки:

- в елементах ярусів під час монтажу збільшуються розрахункові значення зусиль. Середнє перевищення величини поздовжньої сили - 34,6%, поперечної сили - 45,8%, згинального моменту - 45,98%;
- до 13 ярусу включно максимальні зусилля в елементах спостерігаються на 27-28 стадії монтажу. А починаючи з 14-го ярусу максимальні зусилля виникають під час зведення безпосередньо цього ярусу, а також ярусу, який зводиться наступним. На цих стадіях елементи перебувають уже в положенні близькому до горизонтального, що сприяє збільшенню впливу снігового навантаження і навантаження від власної ваги;
- з 18-ої стадії спостерігаються елементи, які не проходять перевірку на міцність у разі спільної дії поздовжньої сили і згинального моменту;

- після перерахунку конструкції з урахуванням стадії монтажу загальна вага каркасу збільшилася на 32,31 т;

- максимальні переміщення каркасу скоротилися з 14,77 см до 12,36 см.

Під час монтажу купола за другою схемою (коли спочатку зводиться каркас купола, а потім огорожувальні конструкції) значення зусиль менші, ніж під час монтажу за першою схемою, але більші, ніж у початковому проєктному положенні каркасу. Проаналізувавши отримані зусилля, було зроблено такі висновки:

- під час монтажу сталевих елементів каркасу значення зусиль в елементах не перевищують розрахункових (без урахування монтажу), а під час зведення огорожувальних конструкцій зусилля збільшуються і перевищують початкові розрахункові значення;

- в елементах ярусів під час монтажу збільшуються розрахункові значення зусиль (їхню величину і процентне відхилення від початкових значень наведено в таблиці 9). Середнє перевищення величини поздовжньої сили - 29,8%, поперечної сили - 48,3%, згинального моменту - 42,06%;

- до 17 ярусу включно максимальні зусилля в елементах спостерігаються на 27-28 стадіях монтажу. А починаючи з 18-го ярусу максимальні зусилля виникають під час зведення безпосередньо самого цього ярусу, а також ярусу, який зводиться наступним. На цих стадіях елементи перебувають уже в положенні близькому до горизонтального, що сприяє збільшенню впливу снігового навантаження і навантаження від власної ваги;

- з 18-ої стадії монтажу елементи починають втрачати загальну стійкість. У положення, в якому немає елементів, що втратили стійкість, купол приходить на 29 стадії;

- після перерахунку конструкції з урахуванням стадії монтажу загальна вага каркасу збільшилася на 3,3 т;

- значення максимальних переміщень каркасу зменшилися з 14,77 см до 14,09 см.

Результати дослідження, представлені в цій роботі, показують, як важливо враховувати етапи монтажу конструкції. Під час будівництва об'єктів, особливо

унікальних, важливий кожен етап життя конструкції, від заготівлі відправочних елементів до експлуатації. Все потрібно продумувати і враховувати на етапі проєктування. Так, розглянуті схеми монтажу спричиняють істотно різні значення зусилля в елементах каркасу, що відбивається на кінцевій вартості будівництва. Порівняльний аналіз зусиль наведено в таблиці 10, а середнє відсоткове відхилення величини поздовжньої сили - 34,7%, поперечної сили - 21,8%, згинального моменту - 27,2%.

Зусилля поперечної сили і згинального моменту приймали за модулем, щоб оцінити максимальні значення зусиль.

Під час оцінки величини поздовжньої сили важливо враховувати, стискається елемент чи розтягується, тому в цьому випадку необхідно розглядати значення, не нехтуючи знаком. Таким чином, можна помітити, що під час монтажу з урахуванням 2-ї схеми монтажу елементи 3-го і 5-го ярусу зазнають зусиль розтягування більших, ніж стиснення.

Однак максимальні значення поперечної сили і згинального моменту для обох розглянутих випадків монтажу мають близькі значення.

Другий метод монтажу є менш витратним. Підібрані перетини забезпечують міцність і стійкість споруди. Але варто пам'ятати, що за найменшої зміни схеми монтажу необхідний перерахунок каркасу. Так, наприклад, якщо каркас буде ще не до кінця зведений, а монтаж огорожувальних конструкцій уже почнеться, то це буде інша розрахункова схема, яку буде необхідно розібрати якомога детальніше.

РОЗДІЛ 4

ПРОГРЕСУЮЧЕ ОБВАЛЕННЯ

4.1 Прогресуюче обвалення елементів сталевого каркасу

Розглянемо ситуацію, коли не виконано розрахунок каркасу на етапах монтажу, або знехтувано тим фактом, що елементи втрачатимуть стійкість. Унаслідок втрати загальної стійкості елемент може "вимкнутися" з роботи каркасу, що спричинить прогресуюче обвалення.

Будівельні норми і правила, прийняті на сьогодні в усьому світі, розроблені для зниження ризику прогресуючого обвалення.

Джерела [36-39] встановлюють також загальні принципи розрахунку та заходи щодо забезпечення надійності будівельних конструкцій і основ, щодо запобігання прогресуючого обвалення будівель і споруд під час аварійних ситуацій природного, техногенного та антропогенного характеру. Прогресуюче (лавиноподібне) обвалення - послідовне (ланцюгове) руйнування несучих будівельних конструкцій, що призводить до обвалення всієї споруди або її частин унаслідок початкового локального пошкодження.

Локальне руйнування - втрата несучої здатності окремого конструктивного елемента або групи конструктивних елементів на заданій площі локального руйнування. Ключовим елементом є елемент несучої конструкції, руйнування якого призводить до прогресуючого обвалення всієї споруди.

Найбільше елементів, що втратили стійкість, розташовано на 27-му ярусі, отже, більше ймовірності, що "вимкнеться" елемент саме цього ярусу.

Для завдання прогресуючого обвалення використовується ПК SCAD. Розрахунок проводять під час дії на каркас постійних навантажень [34].

Вибирається елемент 27-го ярусу (рис. 4.1) і заноситься в окремо створену групу елементів.

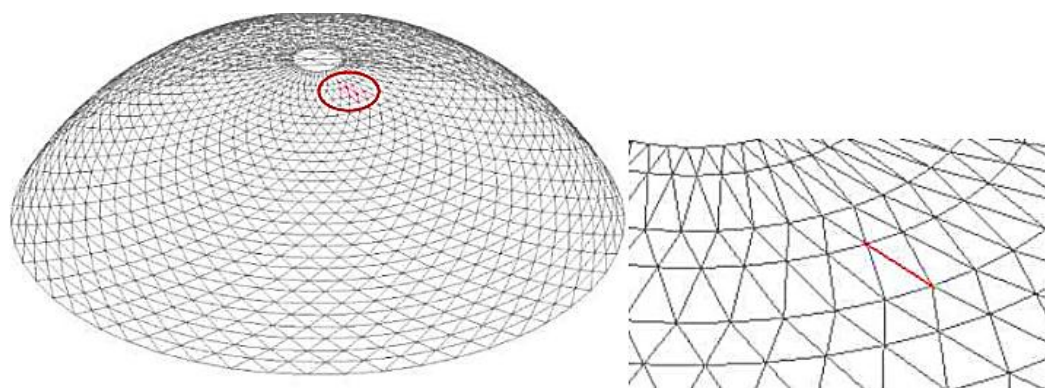


Рисунок 4.1 - Місцезнаходження елемента в розрахунковій схемі

Під час обвалення потрібно врахувати навантаження від ваги конструкцій, які повністю або частково спираються на елемент, що вимикається з роботи каркасу, а також вагу самого елемента. Це навантаження формується, як група навантажень від зруйнованого елемента (рис. 4.2).

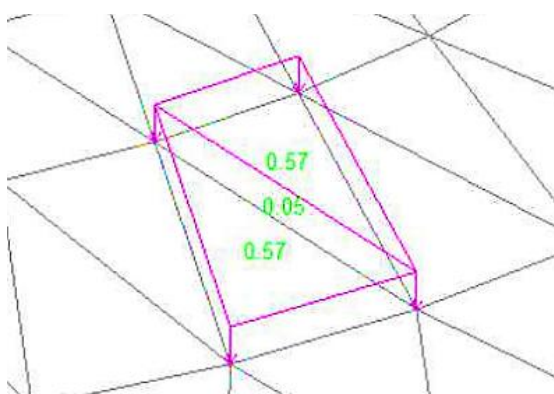


Рисунок 4.2 - Навантаження від елемента, що зруйнувався

Прогресуюче обвалення розраховується в ПК SCAD за допомогою вбудованого постпроцесора.

Критичний фактор дає змогу зрозуміти, що обвалення не станеться, якщо з ладу вийде один елемент каркасу (Рисунок 4.3). Далі, так само були схильні до обвалення елементи 2, 7, 11, 15 і 18 ярусів, критичний фактор яких (за умови врахування прогресуючого обвалення) залишився незмінним. Із цього можна зробити висновок, що якщо один елемент каркасу вийде з ладу, то це не призведе до обвалення.

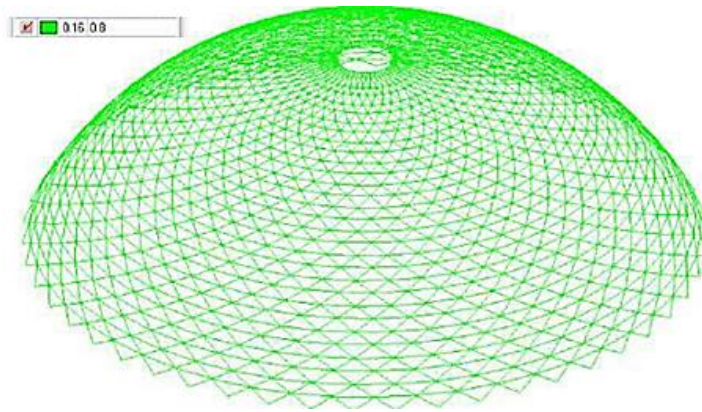


Рисунок 4.3 - Критичний фактор у разі "вимкнення" одного елементу

Для подальшого дослідження розглянемо руйнування двох елементів:

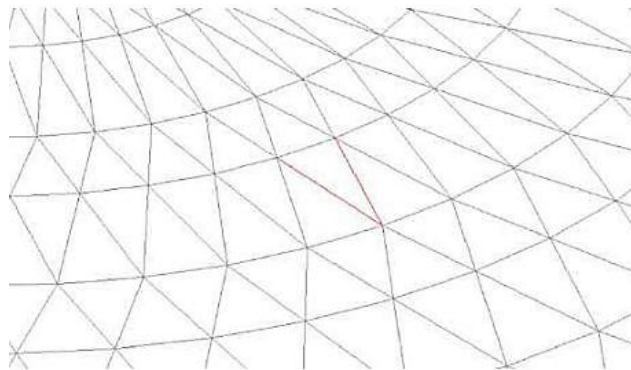


Рисунок 4.4 - Елементи, що обвалюються

Провівши розрахунок, отримали критичний фактор, зазначений на рисунку 4.5.

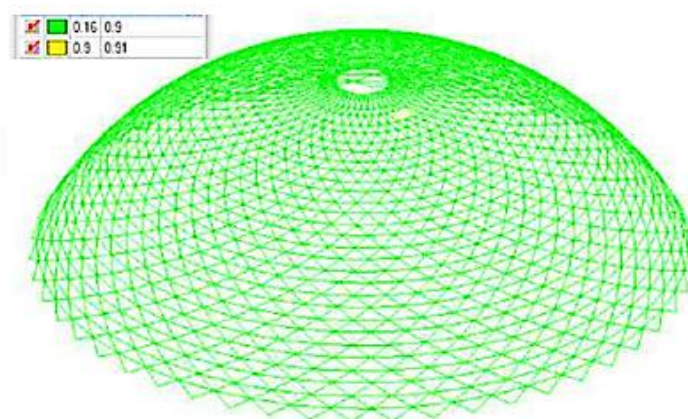


Рисунок 4.5 - Критичний фактор у разі "вимкнення" двох

У разі виходу з роботи трьох елементів, критичний фактор сусідніх елементів стає вищим за одиницю (Рисунок 4.6).

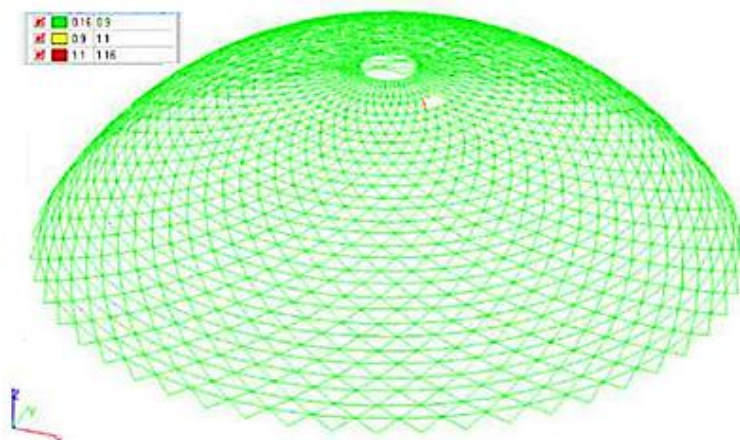


Рисунок 4.6 - Критичний фактор у разі "вимкнення" трьох елементів

Розглядаючи випадок, коли з роботи виходить чотири елементи, отримуємо критичний фактор, показаний на рисунку 4.7.

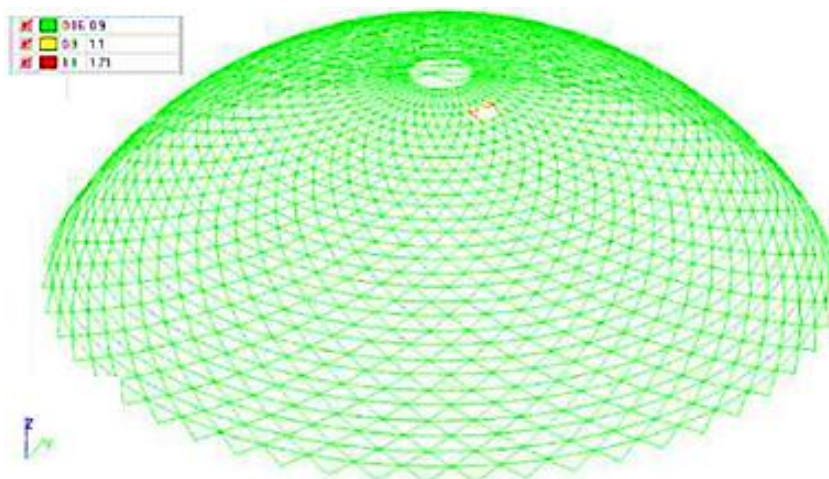


Рисунок 4.7 - Критичний фактор у разі "вимкнення" чотирьох елементів

При подальшому виведенні елементів з роботи критичний фактор і кількість елементів із критичним фактором понад 1 зростає в геометричній прогресії.

4.2 Аналіз отриманих результатів

У досліджуваному каркасі, завдяки густоті решітки, у разі "вимкнення" з роботи одного елемента прогресуюче обвалення каркасу не відбувається. Але якщо з роботи виходять кілька елементів, то каркас починає обвалюватися за ланцюговою реакцією.

Облік монтажних навантажень допускає перевитрату матеріалу в підсумковому положенні купола, оскільки на багатьох стадіях виникають зусилля, що значно перевищують проєктні. Але ця перевитрата забезпечує додаткову жорсткість каркасу і можливість зберегти цілісність каркасу в разі виходу поодиноких елементів із роботи в разі будь-яких непередбачених обставин.

РОЗДІЛ 5

ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

5.1 Охорона праці

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

Конституція України гарантує громадянам право на безпечні умови праці, регламентуючи це у статтях 43, 45, 46, 49, 57. Ці положення є основою правового забезпечення охорони праці та визначають напрямки державної політики у цій сфері.

Кодекс законів про працю України встановлює основні норми, що регулюють трудові відносини, включаючи вимоги до забезпечення безпеки праці. Він визначає права та обов'язки роботодавців і працівників, а також механізми відповідальності за порушення трудового законодавства.

До основних нормативно-правових актів, що регулюють охорону праці, належать:

- Закон України "Про охорону праці" – містить ключові принципи державної політики у сфері охорони праці та регламентує заходи щодо забезпечення безпеки трудового процесу.
- Закон України "Про загальнообов'язкове державне соціальне страхування від нещасного випадку на виробництві та професійного захворювання" – передбачає механізми компенсацій та соціального захисту працівників у разі травм чи захворювань.
- Закон України "Про охорону здоров'я" – регулює питання медичного забезпечення працівників та профілактичних заходів щодо їх здоров'я.
- Закон України "Про пожежну безпеку" – встановлює правила пожежної безпеки на підприємствах та заходи запобігання надзвичайним

ситуаціям.

- Закон України "Про використання ядерної енергії і радіаційний захист" – визначає вимоги щодо безпеки праці у сфері атомної енергетики та захисту персоналу.

- Закон України "Про забезпечення санітарного й епідемічного благополуччя населення" – містить норми щодо санітарних умов праці та профілактики професійних захворювань.

- Закон України "Про цивільну оборону" – регулює заходи безпеки працівників у разі виникнення надзвичайних ситуацій.

Державні будівельні норми (ДБН) містять вимоги щодо безпеки праці у будівельній сфері. Одним із ключових документів є: ДБН А.3.2-2-2009 "Охорона праці і промислова безпека у будівництві. Основні положення", що регламентує умови безпечного виконання будівельних робіт.

5.1.1 Інженерні рішення з охорони праці

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

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

виробничий травматизм, професійні захворювання та забезпечують нормальні санітарно-побутові умови – одне з найважливіших завдань, від успішного вирішення якого залежить подальше підвищення продуктивності праці на забудовах.

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

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

5.1.2 Огородження території

Територія будівельного майданчика має бути виділена на території огорожами: захисно-охоронними, призначеними для запобігання доступу сторонніх осіб на ділянки з небезпечними та шкідливими виробничими факторами та забезпечення збереження матеріальних цінностей; захисними, призначеними лише запобігання доступу сторонніх осіб у ділянки з небезпечними виробничими чинниками; сигнальними, призначеними для попередження про межі територій та

ділянок з небезпечними та шкідливими виробничими факторами.

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

5.1.3 Визначення небезпечних зон на будівельному майданчику

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

До ділянок небезпечних виробничих факторів відносяться зони: у смузі шириною до 2-х метрів по периметру від не захищених перепадів за висотою на 1,3 м і більше, у місцях переміщення машин та обладнання або їх робочих органів та відкритих частин, що рухаються або обертаються, у місцях, над якими відбувається переміщення вантажів вантажопідіймальними кранами, поблизу від відкритих неізованих струмопровідних частин електроустановок та ЛЕП, у місцях, де рівні шуму, вібрації чи забруднення повітря робочої зони перевищують гігієнічні норми.

До зон потенційно діючих небезпечних виробничих факторів відносяться: монтажні зони - ділянки території поблизу будівлі або споруди, що будується, поверхи (яруси) будівель та споруд в одній захватці, над якими відбувається монтаж (демонтаж) конструкцій або обладнання.

5.2 Безпека в надзвичайних ситуаціях

5.2.1 Законодавча база України

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

5.2.2 Стійкість будівлі від ударної хвилі

Нові об'єкти народного господарства повинні будуватися з урахування вимог, виконання яких сприяє підвищенню сталості об'єкта. Основні з них такі:

Будівлі і споруди на об'єкті необхідно розташовувати розосереджено. Відстані між будівлями повинні забезпечувати протипожежні розриви. При наявності таких розривів виключається можливість перенесення вогню з однієї будівлі на іншу, навіть якщо пожежу не гасять.

Ширина протипожежного розриву L_p м визначається за формулою:

$$L_p = H_1 + H_2 + (15 \dots 20), \text{ де } H_1 \text{ і } H_2 \text{ — висоти сусідніх будівель, м.}$$

Будівлі адміністративно господарського та обслуговуючого призначення повинні розташовуватися окремо від основних цехів.

2. Найважливіші виробничі будівлі слід будувати заглибленими або пониженої висотності, прямокутної форми у плані. Це зменшує парусність будівель і збільшує опірність їх ударній хвилі ядерного вибуху. Належну стійкість до впливу

ударної хвилі мають залізобетонні будівлі з металевими каркасами в бетонній опалубці.

Для підвищення стійкості до світлового випромінення у будівлях та спорудах, що будуються, повинні застосовуватися вогнетривкі конструкції, а також вогнетривка обробка елементів будівлі, які горять. У кам'яних будівлях перекриття повинні бути виготовлені з армованого бетону або виконані з бетонних плит. Великі будівлі повинні розділятися на секції вогнетривкими стінами (брандмауерами).

У ряді випадків при проектуванні та будівництві промислових будівель і споруд має бути передбачена можливість герметизації приміщень від проникнення радіоактивного пилу. Це особливо важливо для підприємств харчової промисловості і продовольчих складів.

3. У складських приміщеннях повинна бути мінімальна кількість вікон і дверей. Складські приміщення для зберігання легкозаймистих речовин (бензин, гас, нафта, мазут) повинні розташовуватися в окремих блоках заглибленого або напівзаглибленого типу біля меж території об'єкта чи поза нею.

4. Деякі унікальні види технологічного обладнання доцільно розміщувати у найміцніших спорудах (підвалах, підземних приміщеннях) або у будівлях з легких вогнетривких конструкцій павільйонного типу, під накриттям чи без нього. Це обумовлюється тим, що у багатьох випадках обладнання може витримати набагато більший тиск ударної хвилі, ніж будівлі, в яких воно знаходиться, а при зруйнуванні будівель в результаті падіння конструкцій встановлене в них обладнання виходитиме з ладу.

5. На підприємствах, що виробляють або використовують сильнодіючі отруйні та вибухонебезпечні речовини, при будівництві і реконструкції необхідно передбачати захист ємностей та комунікацій від зруйнування ударною хвилею чи конструкціями, що падають, а також заходи, що виключають розливання отруйних речовин і вибухонебезпечних рідин.

6. Душові приміщення необхідно проектувати з урахуванням використання їх для санітарної обробки людей, а місця для миття машин — з урахуванням використання їх для знезараження автотранспорту.

7. Шляхи на території об'єкта повинні бути з твердим покриттям і забезпечувати зручне і найкоротше сполучення між виробничими будівлями, спорудами і складами; в'їздів на територію об'єкта має бути не менше двох з різних напрямків. Внутрізаводські залізничні шляхи повинні забезпечувати найпростішу схему руху, займати мінімальну площу території об'єкта та мати обгінні ділянки. Вводи залізничних ліній в цехи повинні бути, як правило, тупикові.

8. Системи побутової та виробничої каналізації повинні мати не менше двох випусків у міській каналізаційній мережі та пристрої для аварійних скидів у котловани, яри, траншеї тощо.

Дія ударної хвилі на об'єкт характеризується складним комплексом навантажень: надлишковим тиском, тиском відбиття, тиском швидкісного напору, тиском затікання, навантаження від сейсмовибухових хвиль і т.д. Значення їх залежить в основному від виду і потужності вибуху, відстані до об'єкта, конструкції і розмірів елементів об'єкта, орієнтації щодо епіцентру вибуху, місця розташування будинків і споруджень у загальній забудові об'єкта й окремих елементів виробництва в приміщеннях будинків, рельєфу місцевості і деяких інших факторів. Врахувати їх у сукупності для кожного елемента об'єкта, як правило, неможливо. Тому можливість елементів опиратися дії ударної хвилі характеризують тільки надлишковим тиском у її фронті, вважаючи, що масштаби руйнувань не залежать від потужності і висоти найбільш ймовірних ядерних вибухів.

Для визначення ступеня руйнувань чи ушкоджень:

- вивчають вихідні дані і розраховують параметри ударної хвилі на відповідних відстанях;
- для розрахованих значень надлишкових тисків оцінюють ступінь руйнування розглянутих елементів;

- оцінюють можливість виникнення вторинних вражаючих факторів;
- з огляду на ступінь руйнувань найслабших елементів об'єкта, визначають ступінь руйнування об'єкта в цілому.

Вихідними даними для оцінки фізичної стійкості є: конструктивні особливості елемента, його форма, вага, габарити, характеристики міцності.

Оцінка ступеня руйнувань будинків і споруд, сховищ і ПРУ, енергетичного устаткування і мереж, верстатного і технологічного устаткування, вимірювальної апаратури, засобів зв'язку й оповіщення, транспортних та інших засобів може здійснюватися або методом порівняння наявних довідкових даних для розглянутого виду чи аналогічного йому елемента, або методом розрахунку впливу ударних навантажень і сил зсуву на елемент.

Для порівняльної оцінки необхідно мати відповідні таблиці можливих руйнувань елементів об'єкта в залежності від надлишкового тиску у фронті ударної хвилі: будинків, споруд, транспорту, устаткування, енергетичних споруд і мереж. Ці таблиці складаються на основі статистичних даних, отриманих при аналізі руйнувань у Хіросімі й Нагасакі та при проведенні випробувальних ядерних вибухів на полігонах, і можуть поповнюватися результатами розрахунків при конструюванні нових елементів.

Метод розрахунку передбачає визначення динамічних навантажень, створюваних надлишковим тиском у фронті ударної хвилі, і реакції елемента на ці навантаження. Вихідними даними при використанні цього методу є: надлишковий тиск у фронті ударної хвилі і характер його зміни в часі (протягом фази стискання), тривалість фази стискання і швидкість руху фронту ударної хвилі. У більшості випадків дію ударної хвилі оцінюють питомим імпульсом — добутком надлишкового тиску на час його дії. Оскільки ΔP_ϕ залежить не тільки від часу, а й від відстані до епіцентру, і від потужності джерела ПУХ, розрахунок імпульсу з використанням інтегрального числення ускладнений. Тому звичайно використовують кусково-лінійну апроксимацію кривої ΔP_ϕ як функції часу.

Таким чином, дія ударної хвилі на об'єкт характеризується складним комплексом навантажень: надлишковим тиском, тиском відбиття, тиском

швидкісного напору, тиском затікання, навантаження від сейсмовибухових хвиль і т.д. Значення їх залежить в основному від виду і потужності вибуху, відстані до об'єкта, конструкції і розмірів елементів об'єкта, орієнтації щодо епіцентру вибуху, місця розташування будинків і споруджень у загальній забудові об'єкта й окремих елементів виробництва в приміщеннях будинків, рельєфу місцевості і деяких інших факторів. Врахувати їх у сукупності для кожного елемента об'єкта, як правило, неможливо. Однак ряд таких заходів як розосередження нових будівель та споруд, забезпечення протипожежних розривів, наявність в будівлі залізобетонного каркасу та шляхів із твердим покриттям, запроектовані брандмауери істотно підвищують шанси людей вижити під час катастрофи, а також зменшують ризик отримання травм чи пошкоджень, сприяють швидшому доступу рятувальних служб до місця трагедії.

5.2.3 Заходи при землетрусі

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

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

Будівельні майданчики під населені пункти і споруди обираються з урахуванням геологічних даних, якнайдалі від можливих або явних розривних порушень, далеко від крутих схилів, що загрожують обвалами і зсувами.

Несприятливими для будівництва вважають пухкі ґрунти і тріщинуваті породи. При виборі ділянки для забудови враховують такі поняття як сейсмостійкість будівельних об'єктів та сейсмічність будівельного майданчика. Сейсмостійкістю називають здатність ґрунтів, будівель і споруд протистояти сейсмічним впливам. Заходи з підвищення сейсмостійкості будівель застосовуються у районах із сейсмічністю у 7 балів і вище. Нормативне обґрунтування цих заходів здійснюється за «ДБН В.1.112:2006. Будівництво у сейсмічних районах України». За сейсмічності більше 9 балів зведення капітальних будівель заборонено.

5.2.4 Системи сейсмосахисту будівель і споруд

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

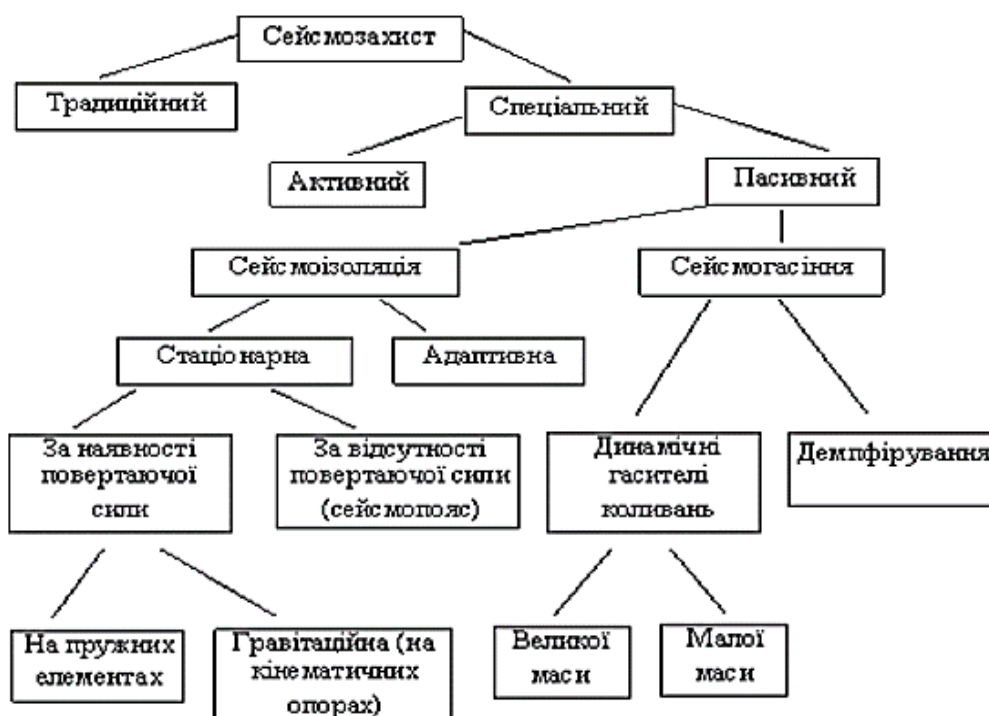


Рисунок 5.1 - Загальна класифікація систем сейсмосахисту споруд

5.2.5 Заходи щодо підвищення стійкості об'єкта

Одне з основних завдань в області цивільного захисту ЦЗ - проведення заходів, спрямованих на підвищення стійкості роботи об'єктів в умовах надзвичайних ситуацій мирного і воєнного часу. Під стійкістю функціонування будівельного об'єкта розуміють здатність його в надзвичайних ситуацій виконувати покладену на нього функцію, а при отриманні слабких і середніх руйнувань або порушенні зв'язків з постачання, відновлювати виконання покладеної функції в мінімальні терміни.

Розглянутий об'єкт будівництва є нестійким до дії ударних хвиль, тому що розглянуті мною безкаркасні арочні ангари мають невелику товщину стінки і власну вагу, що не забезпечує належної стійкості будівлі, отже, необхідно розробляти низку заходів щодо підвищення його стійкості.

Для цього необхідно зробити наступне:

1. Підвищити стійкість промислової споруди шляхом встановлення більш міцного металевого каркасу, встановлення більш міцних рам для дверей і вікон, зменшення прольоту несучих конструкцій, а також зміцнення стін будівлі більш міцними матеріалами.

2. Для підвищення стійкості кранів та кранового обладнання до впливу ударної хвилі доцільно забезпечити їх жорстку фіксацію на міцному фундаменті, розташовувати устаткування за міцними елементами будівлі і споруд на ймовірному напрямку дії ударної хвилі, забезпечити додаткові точки фіксації і кріплення. Також необхідно встановлювати контрфорси, що підвищують стійкість обладнання до дії швидкісного напору ударної хвилі.

3. Для підвищення стійкості кабельних наземних ліній слід помістити їх під землю, також можливе їх зміцнення за рахунок укладання їх всередину, а також за рахунок застосування броньованих кабелів.

5.3 Висновки до розділу 5

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

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

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

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

ВИСНОВКИ

Під час виконання кваліфікаційної роботи було досліджено напружено-деформований стан елементів сталевих куполів діаметром 100 м на підготовчому етапі та на етапі монтажу.

Було проаналізовано наявні конструктивні рішення купольних покриттів і технології монтажу куполів, вивчено особливості врахування монтажних навантажень під час проектування несучих елементів купола.

Для дослідження було спроектовано сталевий купол зірчастої схеми діаметром 100 м. Спочатку перерізи були підібрані без урахування особливих видів впливів.

Дослідження показало, що на етапах транспортування, складування та підйому укрупнених елементів в елементах майбутнього каркасу не виникає критичних елементів, хоча розрахункова схема істотно відрізняється від проєктного положення. У підсумковій схемі купола елементи переважно сприймають стиснення зі згином, а на підготовчому етапі поздовжні зусилля здебільшого відсутні, елемент працює на вигин.

У дослідженні було розглянуто два методи монтажу:

- за першою схемою: огорожувальні конструкції зводили спільно з несучим каркасом будівлі;
- за другою схемою: спочатку було зведено сталевий каркас, потім зводили огорожувальні конструкції.

Під час зведення каркасу за першою схемою елементи купола не пройшли перевірку не тільки на стійкість, а й на міцність. Значення зусиль, що виникають в елементах, перевищували значення зусиль у проєктному положенні більш ніж на третину. З урахуванням монтажу за першою схемою загальна вага каркасу збільшилася на 32,3 т. Максимальні сумарні переміщення каркасу скоротилися з 14,8 см до 13,36 см.

При зведенні каркасу за другою схемою елементи купола не пройшли перевірку тільки на стійкість. Максимальні значення зусиль, що виникають в

елементах каркасу, істотно більші від значень зусиль у проектному положенні купола, але менші, ніж під час монтажу за першою схемою. З урахуванням монтажу за другою схемою вага каркасу збільшується на 3,3 т. Максимальні сумарні переміщення каркасу скоротилися з 14,8 см до 14,09 см.

З огляду на перераховане вище, другий метод монтажу є більш виграшним, оскільки дає змогу не допустити надмірної перевитрати матеріалу і збільшення кошторисної вартості будівництва.

Дослідження на прогресуюче обвалення дало змогу зрозуміти, що завдяки густоті решітки, у разі "вимкнення" з роботи одного елемента прогресуюче обвалення каркасу не відбувається. Але якщо з роботи виходять кілька елементів, то каркас починає обрушуватися за ланцюговою реакцією.

БІБЛІОГРАФІЯ

1. Ковальчук Я. О. Методичний посібник для виконання кваліфікаційної роботи магістра за спеціальністю 192 “Будівництво та цивільна інженерія” / Я. О. Ковальчук, Г. М. Крамар, О. М. Мещерякова. - Тернопіль: ТНТУ, 2020. – 56 с.
2. ДБН В.1.2-2:2006. Навантаження і впливи / Мінбуд України. К: Сталь, 2006. – 70 с.
3. Пічугін, С. Ф. (2018). Металеві конструкції: курс лекцій. Ч. 2: Сталеві каркаси одноповерхових виробничих будівель (ОВБ).
4. Пічугін, С. Ф. (2018). Металеві конструкції: курс лекцій. Ч. 4: Металеві конструкції великопролітних будівель.
5. Коломійчук, Г. П. (2019). Стійкість металевих одноповерхових сітчастих куполів з початковими недосконалостями.
6. Ткачук, В. С., & Девін, В. В. (2015). Розрахунок монтажних напружень в шарнірно-стержньових системах з використанням методу скінчених елементів.
7. Нілов, О. О., Пермяков, В. А., Шимановський, О. В., Білик, С. І., Белов, І. Д., Лавріненко, Л. І., & Володимирський, В. О. (2010). Металеві конструкції: підручник. II видання. Київ: «Сталь», КНУБА.
8. Клименко, Ф. Е., Барабаш, В. М., & Стороженко, Л. І. (2002). Металеві конструкції: підручник.
9. Хоменко, О. Г. (2018). Сталеві конструкції у будівництві. *Підручник для студентів вищих навчальних закладів–Глухів.*
10. ДБН В.1.2-2:2006. Навантаження і впливи / Мінбуд України. К: Сталь, 2006. – 70 с.
11. Баженов, В. А., Гранат, С. Я., & Шишов, О. В. (2009). Будівельна механіка. Комп’ютерні технології: підручник/ВА Баженов, АВ Перельмутер, ОВ Шишов; за заг. ред. д. т. н., проф. ВА Баженова.–К.: Каравелла, 2009.–696 с.
12. Хохрякова, Д., & Чертков, О. Ю. (2023). Технологія монтажу металевих конструкцій: методичні вказівки.
13. Дякун, Я. М. (2020). Технологія монтажу металевих

конструкцій. Концептуальні проблеми розвитку сучасної гуманітарної та прикладної науки: матеріали IV Всеукраїнського науково-практичного симпозіуму (м. Івано-Франківськ, 15 травня 2020 року).—Івано-Франківськ: Редакційно-видавничий відділ Університету Короля Данила, 2020.—736 с., 510.

14. Гоголь, М. В. (2008). Комбіновані металеві конструкції будівель і споруд (дослідження, розрахунок, виготовлення і монтаж). *Теорія і практика будівництва: вісник нац. ун-ту “Львівська політехніка”*.—Львів, (627), 58-63.

15. Квітченко, М. І., & Чебанов, Т. Л. (2014). Технологія кранового монтажу покрівель із легких металевих конструкцій. *Ways to Improve Construction Efficiency*, (31), 85-93.

16. Підгурський, М. І., & Підгурський, І. М. (2021). Проектування металевих конструкцій. Сталевий каркас одноповерхової виробничої будівлі. Теоретичні основи проектування з прикладами розрахунку.

17. Vayas I. Design of Steel Structures to Eurocodes / School of Civil Engineering National Technical University of Athens Athens, Greece, 2019 – 381- 389с;

18. Жван, В. Д., Помазан, М. Д., & Жван, О. В. (2011). Зведення і монтаж будівель і споруд: навч. Посібник

19. ДБН В.2.6-198:2014 Сталеві конструкції. Норми проектування.

20. ДБН В.2.5-28:2018 Природне і штучне освітлення

21. ДСТУ-Н Б В.2.6-146:2010 Конструкції будинків і споруд. Настанова щодо проектування й улаштування вікон та дверей

22. ДБН В.2.6-31:2021 Теплова ізоляція та енергоефективність будівель

23. ДСТУ-Н Б В.1.1-27:2010 Захист від небезпечних геологічних процесів, шкідливих експлуатаційних впливів, від пожежі. Будівельна кліматологія.

24. ДСТУ Б EN 15251:2011 Розрахункові параметри мікроклімату приміщень для проектування та оцінки енергетичних характеристик будівель по відношенню до якості повітря, теплового комфорту, освітлення та акустики (EN 15251:2007, IDT).

25. ДСТУ 8938:2019 Труби сталеві безшовні гарячедеформовані. Технічні умови

26. ДСТУ 8539:2015 Прокат для будівельних сталевих конструкцій. Загальні технічні умови.

27. Hud, Mykhailo, Ihor Koval, and Mykola Frankiv. "ПЕРЕВАГИ ТА НЕДОЛІКИ ЛЕГКИХ СТАЛЕВИХ ТОНКОСТІННИХ КОНСТРУКЦІЙ." *SWorldJournal* 25-02 (2024): 15-22.

28. Hud, M., Chornomaz, N., Ihnatieva, V., & Koval, I. (2022). Analysis of the effect of horizontal ties on the deformability of the bottom of the floating pool. *Вісник Тернопільського національного технічного університету*, 106(2), 133-137

29. Гудь, М. І. (2022). Підбір раціональної схеми розміщення в'язей у днищі плаваючого басейну. Праці конференції Міжнародної науково-технічної конференції присвяченої 70-річчю від дня народження член-кореспондента НАН України, проф. Яснія Петра Володимировича „Міцність і довговічність сучасних матеріалів та конструкцій“, 93-94.

30. Абракітов, В. Е. Охорона праці під час виготовлення та монтажу будівель і споруд з металевих конструкцій/(За ред. ВВ Сафонова). Із грифом МОН.

31. Kovalchuk, Y., Shynhera, N., & Shved, Y. (2023). Formation of input information arrays for computer simulation of welded trusses behavior under thermal force effects. *Вісник Тернопільського національного технічного університету*, 110(2), 118-124.

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

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

34. Tymoshchuk, D., Yasniy, O., Maruschak, P., Iasnii, V., & Didych, I. (2024). Loading Frequency Classification in Shape Memory Alloys: A Machine Learning Approach. *Computers*, 13(12), 339.

35. Першаков, В. М., Барабаш, М. С., Белятинский, А. О., & Башинский, Я. В. (2015). Проблеми протидії конструкцій прогресуючому обваленню будівель та

споруд.

36. Vabishchevich, M., & Fesun, I. (2023). Підходи щодо забезпечення стійкості до прогресуючого обвалення будівель та споруд. Сучасний стан та перспективи. *Strength of Materials and Theory of Structures*, (110), 256-263.

37. EN 1991-1-7 (English): Eurocode 1: Actions on structures - Part 1-7: General actions - Accidental actions [Authority: The European Union Per Regulation 305/2011, Directive 98/34/EC, Directive 2004/18/EC], 2006;

38. ДСТУ 9294:2024 Розрахунок будівель на стійкість до прогресуючого (непропорційного) обвалення

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

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