

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 поведінки великопролітного металевого каркасу при дії
особливих навантажень

Виконав: студент 6 курсу, групи МБнм-61
спеціальності

192. Будівництво та цивільна інженерія

(шифр і назва спеціальності)

Студент

(підпис)

Павлусик І. А.

(прізвище та ініціали)

Керівник

(підпис)

Швед Я. Л.

(прізвище та ініціали)

Нормоконтроль

(підпис)

Мещерякова О. М.

(прізвище та ініціали)

Завідувач кафедри

(підпис)

Ясній В. П.

(прізвище та ініціали)

Рецензент

(підпис)

Кошалко С.А.

(прізвище та ініціали)

Тернопіль
2025

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 Павлусику Івану Анатолійовичу
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Дослідження поведінки великопролітного металевого каркасу при дії особливих навантажень.

Керівник роботи Швед Ярослав Леонідович. доктор філософії, ст. викл.
(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)

Павлусик І. А.

(прізвище та ініціали)

Керівник роботи

(підпис)

Швед Я. О.

(прізвище та ініціали)

ЗМІСТ

ВСТУП.....	5
РОЗДІЛ 1 ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ ПРО КОНСТРУКТИВНІ РІШЕННЯ ДЛЯ АВІАЦІЙНИХ АНГАРІВ І ВИЗНАЧЕННЯ ОСОБЛИВИХ НАВАНТАЖЕНЬ	7
1.1 Аналіз нормативно-технічної документації	7
1.2 Огляд наявних конструктивних рішень для авіаційних ангарів	7
1.3 Алгоритм збору та розрахунку особливих навантажень	11
1.3.1 Пожежа	11
1.3.2 Внутрішній вибуховий вплив	13
1.4 Висновки з розділу 1	14
РОЗДІЛ 2 ЧИСЕЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ КАРКАСІВ ІЗ НЕСУЧИМИ ЕЛЕМЕНТАМИ ЗОВНІ ТА ВСЕРЕДИНІ ВІДНОСНО ПОКРІВЕЛЬНИХ ОГОРОДЖУВАЛЬНИХ КОНСТРУКЦІЙ.....	15
2.1 Каркас будівлі з розташуванням несучих елементів зовні щодо покрівельних огороджувальних конструкцій.....	15
2.1.1 Опис конструктивного рішення. Компонування каркасу	15
2.1.2 Розрахункова схема в ПК SCAD	16
2.1.3 Збір навантажень	17
2.1.4 Прикладання основних навантажень.....	28
2.1.5 Розрахунок каркасу будівлі на особливі навантаження.....	33
2.2 Каркас будівлі з розташуванням несучих елементів усередині відносно покрівельних огороджувальних конструкцій.....	43
2.2.1 Опис конструктивного рішення. Компонування каркасу	43
2.2.2 Розрахункова схема в ПК SCAD.....	44
2.2.3 Застосування навантажень	45
2.1.5 Підбір перерізів	47
2.2 Розрахунок каркасу будівлі на особливі навантаження.....	50
2.3 Висновки з розділу 2	58
РОЗДІЛ 3 ВИБІР ОПТИМАЛЬНОГО ВАРІАНТУ КАРКАСУ І РОЗРОБЛЕННЯ	

КОНСТРУКТИВНИХ РІШЕНЬ.....	60
3.1 Аналіз результатів розрахунку та їх порівняння	60
РОЗДІЛ 4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ.....	62
4.1 Охорона праці.....	62
4.1.1 Інженерні рішення з охорони праці	63
4.1.2 Огородження території	64
4.1.3 Визначення небезпечних зон на будівельному майданчику	65
4.2 Безпека в надзвичайних ситуаціях	65
4.2.1 Законодавча база України	65
4.2.2 Стійкість будівлі від ударної хвилі	66
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ	70
БІБЛІОГРАФІЯ.....	72

ВСТУП

Ангар, що розглядається в рамках роботи, призначений для тимчасового зберігання і ремонту гвинтокрилів, підготовки до польотів, і належить до об'єктів підвищеної небезпеки. Експлуатація будь-якого об'єкта підвищеної небезпеки може призвести до виникнення серйозних надзвичайних ситуацій, катастроф, а також нещасних випадків із людськими жертвами.

Під час експлуатації ангарів можливі вибухи та пожежі від авіаційного пального, які призводять до негативних наслідків (руйнування та пошкодження будівель, споруд, техніки, обладнання тощо). На ліквідацію наслідків витрачаються великі сили та засоби.

У даній роботі проведено дослідження на особливі види навантажень техногенного характеру за двох варіантів розташування несучих елементів щодо огорожувальних конструкцій покрівлі для ангару.

Мета роботи: дослідження варіантів розташування несучих елементів металевого великопролітного каркасу на прикладі ангару, залежно від їхнього розміщення відносно покрівельних огорожувальних конструкцій, і визначення оптимальнішого варіанту.

Об'єкт досліджень – металевий великопролітний ангар.

Предмет дослідження – напружено-деформівний стан елементів сталевих купола з врахуванням дії особливих навантажень.

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

- виконати огляд наявних конструктивних рішень ангарів для авіаційного транспорту;
- вивчити особливості розрахунку і застосування особливих навантажень (внутрішній вибуховий вплив, пожежа) на каркас будівлі;
- виконати чисельні дослідження каркасів на вплив основних навантажень за допомогою програмного комплексу SCAD office;
- виконати чисельні дослідження каркасів на вплив особливих навантажень за допомогою програмного комплексу SCAD office;

- провести аналіз отриманих результатів і вибрати оптимальне розташування несучих конструкцій щодо огорожувальних конструкцій покрівлі;
- розробити конструктивні рішення для обраного каркасу.

Методи дослідження –скінченно-елементне моделювання.

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

Наукова новизна отриманих результатів: отримала подальший розвиток методика чисельних досліджень з розрахунку НДС сталевих великопролітного каркасу при дії особливих навантажень.

Практичне значення отриманих результатів: виконані автором дослідження можуть бути актуальними під час проектування та реконструкції сталевих великопролітних каркасів при дії особливих видів навантажень.

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: каркас, сталь, особливі навантаження, напружено-деформівний стан, скінченно-елементне моделювання.

РОЗДІЛ 1

ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ ПРО КОНСТРУКТИВНІ РІШЕННЯ ДЛЯ АВІАЦІЙНИХ АНГАРІВ І ВИЗНАЧЕННЯ ОСОБЛИВИХ НАВАНТАЖЕНЬ

1.1 Аналіз нормативно-технічної документації

Наразі для проектування і розрахунок будівлі, що розглядається в даній кваліфікаційній роботі, є такою що проектується дуже рідко. Зокрема, такі об'єкти мають нестандартні рішення, вони мають бути розраховані з особливою точністю. Основними нормативними документами для написання цієї кваліфікаційної роботи стали такі норми ДБН В.1.2-6:2021 "Основні вимоги до будівель і споруд. Механічний опір та стійкість" [2], ДБН В.1.2-2:2006 "Навантаження і впливи. Норми проектування" [3], ДБН В.2.6-198:2014 Сталеві конструкції. Норми проектування [4].

1.2 Огляд наявних конструктивних рішень для авіаційних ангарів

Будівництво ангарів почало розвиватися у Франції на початку 20 століття. Це були "ангари системи "Бессонно". Вони являли собою дерев'яну конструкцію, накриту брезентом. На рисунках нижче представлені ангари системи "Бессоно"[5].



Рисунок 1.1 - Монтаж ангару системи "Бессоно"[5]



Рисунок 1.2 - Ангар системи "Бессоно"[5]

Але з плином часу для будівництва авіаційних ангарів стали застосовувати нові матеріали, різні конструктивні рішення. Почали більш точно проводити їх розрахунок, з урахуванням особливих навантажень, так як даний вид будівлі є об'єктом підвищеної небезпеки. З кожним роком будови ангарів стають більш масштабними. Нині в будівництві ангарів стали частіше використовувати металеві конструкції.

Можна виділити такі види ангарів для авіаційної техніки, які використовують нині.

Безкаркасні нерозбірні ангари

Такі ангари зводяться прямо на об'єкті. За допомогою спеціального обладнання формуються сталеві рулони. Ці рулони скріплюються разом без кріплення, а за допомогою холодного деформування. Недоліки цього виду в тому, що такі ангари надалі не підлягають розбиранню, а також від надмірного снігового навантаження вони можуть скластися. Приклад такого ангару можна побачити на рисунку 1.3.



Рисунок 1.3 - Безкаркасний нерозбірний ангар[15]

Безкаркасні збірно-розбірні ангари

Відмінність цього виду ангара від попереднього полягає в тому, що з'єднання сталевих рулонів відбувається не за допомогою холодного деформування, а з використанням кріплення.

Окремі секції арки виготовляються на заводі з листової оцинкованої сталі. На будівельному майданчику арка збирається з окремих частин спеціальними болтами. Приклад такого ангара представлений на наступному рисунку



Рисунок 1.4- Безкаркасний збірно-розбірний ангар[16]

Каркасний тентовий ангар

Відмінною особливістю такого ангара є використання укривного матеріалу - тенту.

Будівництво цього виду ангара полягає у зведенні металевого каркасу, за яким виготовляють спеціальний тент, для того щоб він ідеально сів на каркас.

Залежно від габаритів ангара тент може виготовлятися єдиним полотном, або частинами, які герметично спаюються між собою під час монтажу. Тент натягується на каркасі й закріплюється шнурами через люверси.

Тентовий ангар показано на рисунку 1.5.



Рисунок 1.5- Каркасный тентовый ангар[17]

Каркасный прямостінний металевий ангар

Є найпоширенішим. Такі каркаси виконують з металопрокату на основі легких металоконструкцій, а також з балкових і фермових конструкцій. Для покриття використовують профільований лист.

Цей ангар показано на рисунку 1.6



Рисунок 1.6- Каркасный прямостінний металевий ангар[18]

Ангар зі сталевим каркасом із двотаврів

Для зведення такого ангара використовують двотаврові балки. Висоту можна приймати до 30 м. Основною перевагою є те, що такі ангари можна зводити в будь-якому сніговому і вітровому районі. Такий вид ангара показано на рисунку нижче.



Рисунок 1.7- Ангар зі сталевим каркасом із двотаврів [18]

1.3 Алгоритм збору та розрахунку особливих навантажень

Згідно з [6] ангари для авіаційної техніки належать до споруд класу наслідків СС-3. Тому, за [2] під час проєктування споруд такого класу слід враховувати особливі навантаження.

Особливі навантаження поділяють на нормовані та аварійні. Нормовані навантаження - це такі навантаження, інтенсивність і розподіл яких за поверхнею або об'ємом споруд відомі й задані в чинних нормативних документах або в завданні на проєктування.

До аварійних належать особливі навантаження і впливи, які не регламентуються в нормативних документах, і можуть призвести до аварійної розрахункової ситуації. Навантаження, що розглядаються в цій роботі, нормовані.

1.3.1 Пожежа

Ангари для авіаційної техніки є одними з найбільш пожежонебезпечних об'єктів, оскільки там може зберігатися велика кількість легкозаймистих рідин, вироби з гуми та інше.

Ступінь вогнестійкості будівлі - II. Згідно з [8], межа вогнестійкості

конструкцій - проміжок часу від початку вогневого впливу в умовах стандартних випробувань до настання одного з унормованих для даної конструкції (заповнення отворів протипожежних перешкод) граничних станів.

Для визначення навантаження від пожежі використовувалася така послідовність дій.

Спочатку визначили місце, найбільш віддалене від шляхів евакуації. Потім призначили послідовність виходу конструктивних елементів із роботи. І далі по черзі, обнуляючи жорсткості в елементів, дійшли до загальної картини, що показує, як поводитиметься каркас унаслідок впливу пожежі.

Згідно з [8], відстань від найвіддаленішого робочого місця в приміщенні до найближчого евакуаційного виходу з приміщення безпосередньо назовні, до коридору або до сходової клітки не повинна перевищувати значень, наведених у таблиці 1.1. Відстань призначають залежно від об'єму приміщення, його категорії, щільності людського потоку, ступеня вогнестійкості будівлі та класу її конструктивної пожежної небезпеки. Ширину евакуаційного виходу (дверей) з коридору назовні або до сходової клітки слід приймати залежно від загальної кількості людей, що евакуюються через цей вихід, та кількості людей на 1 м ширини виходу (дверей), але не менше ніж 0,8 м, у разі наявності інвалідів, які працюють, з порушеннями опорно-рухового апарату - не менше ніж 0,9 м.

Таблиця 1.1 - Норми для категорій приміщень при поєднаннях ступеня вогнестійкості та класу конструктивної пожежної небезпеки

Об'єм приміщення, тис.м ³	Ступінь вогнестійкості будівлі	Відстань, м, за щільності людського потoku в загальному проході, люд/м		
		до 1	від 1 до 3	від 3 до 5
До 15	I, II, III, IV	40	25	15
	I, II, III, IV	100	60	40
	III, IV	70	40	30
	V	50	30	20
30	I, II, III, IV	60	35	25
	I, II, III, IV	145	85	60
	III, IV	100	60	40

Продовження таблиці 1.1

40	I, II, III, IV	80	50	35
	I, II, III, IV III, IV	160 110	95 85	65 45
50	I, II, III, IV	120	70	50
	I, II, III, IV III, IV	180 160	105 95	75 65
60 і більше	I, II, III, IV	140	35	30
	I, II, III, IV III, IV	200 180	110 105	35 75
80 і більше	I, II, III, IV III, IV	240 200	140 110	100 85
Незалежно від обсягу	I, II, III, IV III, IV V	Не обм. 180 120	Не обм. 35 70	Не обм. 55 50
Те саме	I, II, III, IV III, IV	Не обм. 160	Не обм. 95	Не обм. 65

Черговість виходу елементів з ладу приймається згідно з [8]. Залежно від ступеня вогнестійкості будівлі або споруди, визначається межа вогнестійкості тієї чи іншої будівельної конструкції.

1.3.2 Внутрішній вибуховий вплив

Щоб зробити розрахунок на вибуховий вплив, необхідно визначити 3 можливих місця розташування приміщення, де зберігатимуться каністри з авіаційним паливом. Це необхідно для того, щоб зрозуміти, в якому з приміщень буде завдано меншої шкоди каркасу. Згідно з [6] балони з горючими газами, ємності (пляшки, бутлі, інша тара) з легкозаймистими і горючими рідинами, а також аерозольні упаковки мають бути захищені від сонячного та іншого теплового впливу. Отже, приміщення, де розташовуватимуться ці ємності, не можуть мати вікон, але потрібно передбачити двері та ворота.

Для визначення значення навантаження від внутрішнього вибуху слід скористатися [3].

Як розрахункове навантаження на несучі та огорожувальні конструкції під час вибухів газу в закритих приміщеннях об'ємом до 1000 м³ з вентильованими прорізами (вікнами, дверима та конструкціями, що легко скидаються) необхідно

враховувати статичний тиск вибуху, кПа, що дорівнює найбільшому зі значень

$$p_d = 3 + p_v, \quad (1.1)$$

$$p_d = 3 + 0,5 \cdot p_v + 0,04 / (A_v / V)^2, \quad (1.2)$$

де p_v - тиск активації вентиляованого елемента, кПа, за якого відбувається порушення герметичності приміщення (руйнування вікон, дверей, мембранних огорожень) або спрацьовує механізм попередньо встановлених легкоскридних будівельних елементів конструкції;

A_v - площа вентиляованих прорізів, m^2 ; V - об'єм приміщення, m^3 .

Після визначення статичного тиску вибуху потрібно визначити навантаження на конструкції, для цього необхідно тиск помножити на вантажну площу вертикальних і горизонтальних поверхонь.

Прикладаючи отримане значення навантаження і проводячи розрахунок, отримуємо результат, на підставі якого віддаємо перевагу одній із двох схем.

1.4 Висновки з розділу 1

Об'єктом дослідження є ангар прольотом 111 м. При створенні розрахункової схеми за аналог береться існуюча будівля, розміри і конструктивні рішення приймаються самостійно: проліт, довжина будівлі, розміри в осях, висота до низу несучих конструкцій покриття, типи решіток ригеля рами, ферм, двогілкових колон.

Під час розроблення розрахункової моделі (як для першого варіанту каркасу, так і для другого варіанту), у каркас будівлі було включено зв'язки з покриття, зв'язки між колонами в середній частині будівлі.

Для розрахунку каркасу ангара з різним розташуванням несучих конструкцій використовується ПК SCAD.

РОЗДІЛ 2

ЧИСЕЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ КАРКАСІВ ІЗ НЕСУЧИМИ ЕЛЕМЕНТАМИ ЗОВНІ ТА ВСЕРЕДИНІ ВІДНОСНО ПОКРІВЕЛЬНИХ ОГОРОДЖУВАЛЬНИХ КОНСТРУКЦІЙ

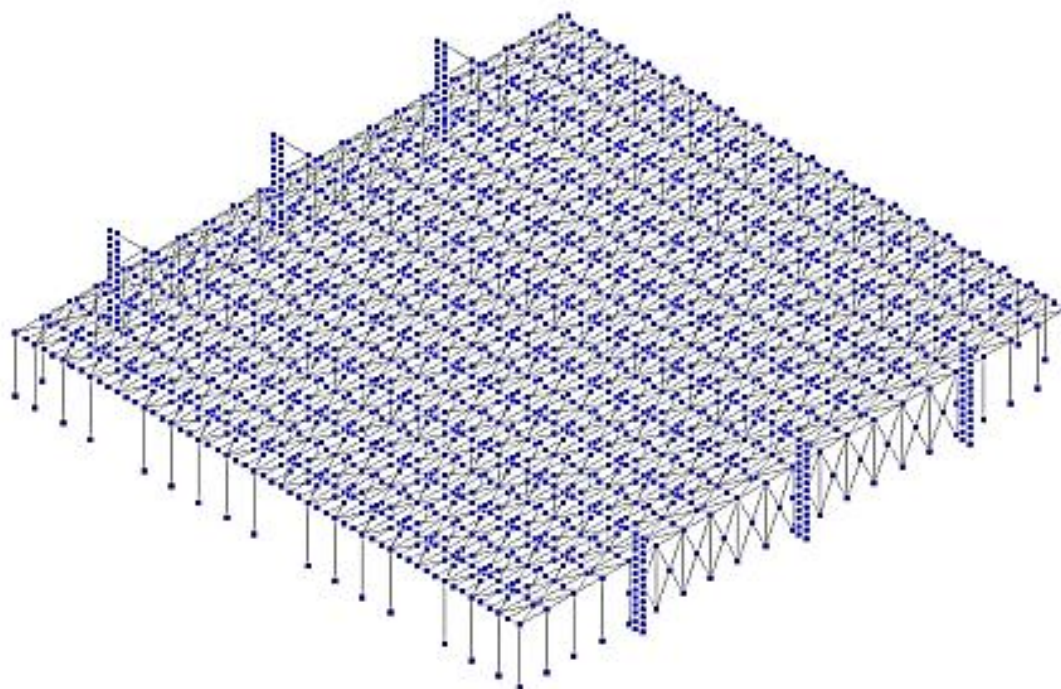
2.1 Каркас будівлі з розташуванням несучих елементів зовні щодо покрівельних огорожувальних конструкцій

2.1.1 Опис конструктивного рішення. Компонування каркасу

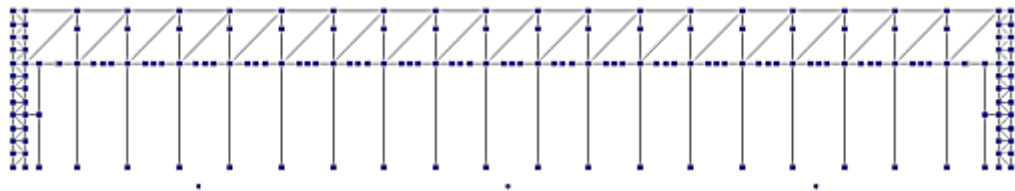
Ангар має такі геометричні характеристики: проліт - 111 м, довжина будівлі - 120 м; висота до низу несучих конструкцій - 12 м.

Каркас складається з поперечних рам: ригель - ґратчаста конструкція з паралельними поясами. Крок рам становить 36 м. Висота ригеля - 6 м. До ригелів головної рами кріпляться невеликі ферми з трикутною решіткою заввишки 4 м, які розкріплюють ригель із площини. З торців покриття ферми мають виліт 24 м.

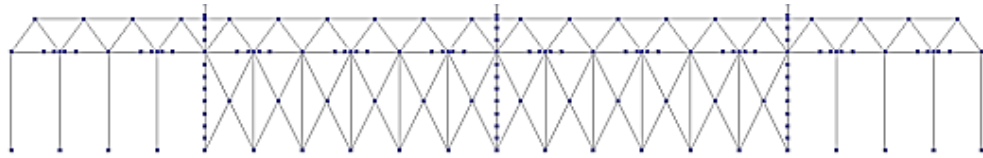
Для дослідження перший варіант ангара прийнято такий



а)



б)



в)

а- ізометрична проекція; б- вид спереду; в- вид праворуч.

Рисунок 2.1 – Ангар для гвинтокрилів

2.1.2 Розрахункова схема в ПК SCAD

Розрахункова схема, змодельована в ПК SCAD, представлена на рисунку

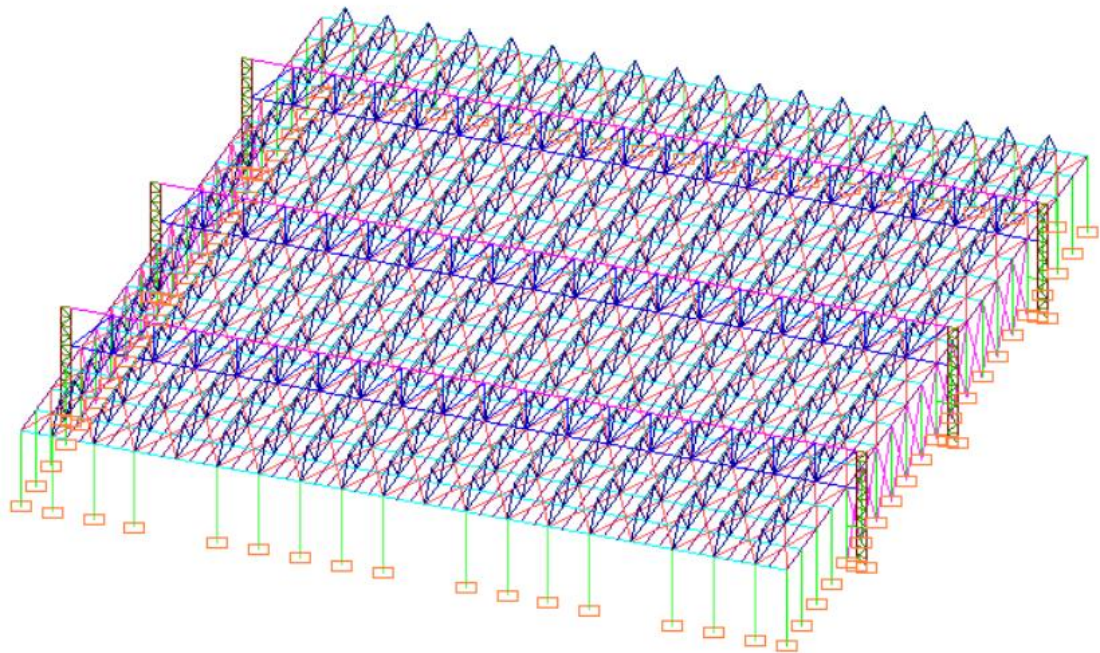


Рисунок 2.2- Розрахункова схема ангару перший варіант

Спочатку для всіх елементів задали жорсткості, представлені на рисунку. Труби електрозварні прямошовні за ДСТУ 8943:2019 Труби сталеві електрозварні [12], а також труби за ДСТУ 9218:2023 [13]. Прогони і балки задано двотавровим перетином 50Б1 і 90Б1 відповідно, за ДСТУ 4484:2005 [11].

2.1.3 Збір навантажень

Постійне навантаження

Вибір огорожувальних конструкцій

Як огорожувальні конструкції обрано сендвіч-панелі. Ангар необхідно зробити утепленим, для комфортного технічного обслуговування гвинтокрилів, а також для розташування авіатехніки, зберігання авіаційного пального, обладнання та матеріалів.

Розрахунок опору теплопередачі стінових сендвіч-панелей

Теплотехнічний розрахунок здійснюватиметься за [14].

Покрівельні сендвіч-панелі використовуємо згідно з проєктом за каталогом компанії "USPpanels". Згідно з теплоізоляційними характеристиками покрівельних сендвіч-панелей $R=3,4 \text{ м}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{Вт}$, для товщини сендвіч-панелі 180 мм.

Навантаження від стінових сендвіч-панелей:

З попереднього пункту товщина сендвіч-панелі вийшла 120 мм, утеплювач, який використовується всередині панелі, мінеральна вата. Питома вага для панелі товщиною 120 мм і товщиною металу 0,7 мм дорівнює $25,62 \text{ кг/м}^2 = 0,26 \text{ кН/м}^2$.

Прикладаємо постійне навантаження на колони і фахверки, враховуючи крок 6 м, отримуємо навантаження:

$$P=0,26 \cdot 6= 1,56 \text{ кН/м.}$$

Навантаження від покрівельних сендвіч-панелей.

Для покрівельних сендвіч-панелей товщина утеплювача вийшла дорівнює 180 мм, утеплювач, який використовується всередині панелі, мінеральна вата. Питома вага для панелі товщиною 180 мм і товщиною металу 0,7 мм дорівнює $31,13 \text{ кг/м}^2=0,31 \text{ кН/м}^2$.

Прикладаємо постійне навантаження на ригелі, враховуючи їхній крок 2 м, отримуємо навантаження:

$$P = 0,31 \cdot 2 = 0,62 \text{ кН/м.}$$

Навантаження від підйомних воріт.

Розміри воріт обирають залежно від габаритів найбільшого гвинтокрила, який заїжджатиме в ангар, це Мі-8. Він має параметри, показані на рисунку:

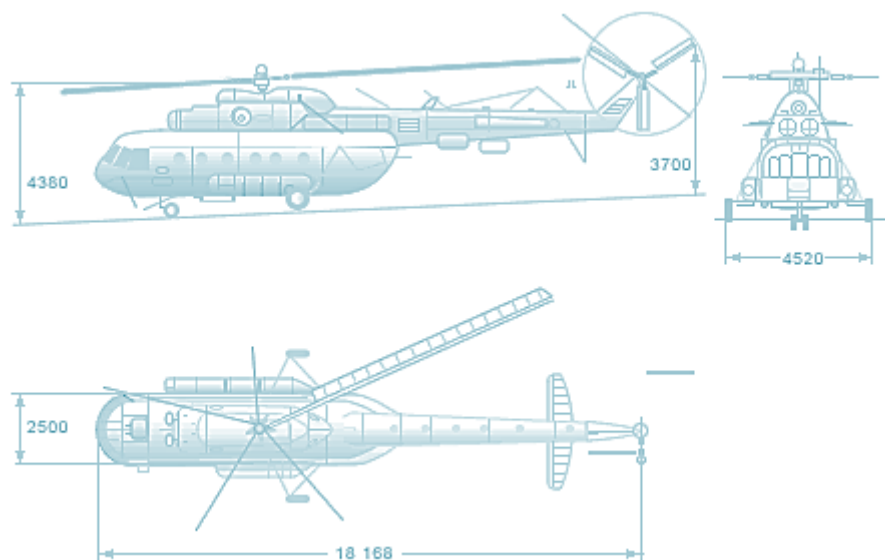


Рисунок 2.3- Параметри гвинтокрила Мі-8

Отже, ширина воріт буде 12 м, так само ширина залежить від розташування фахверка. Кількість воріт 3 шт. За проектом передбачено ворота DoorHan HD20/40 (ворота підйомні шторні). Вони розроблені для застосування в промислових умовах, і мають гарну зносостійкість, герметичність, надійність.

Навантаження від воріт розподіляється між точками кріплення, розташованими з інтервалом 1000 мм. Вага полотна воріт не перевищує 40-200 кг на метр ширини, але з урахуванням можливих додаткових зовнішніх навантажень загальне навантаження розраховується, виходячи з величини 2 кН на метр ширини. Отже, навантаження від воріт враховується як зосереджене через кожен метр закріплення воріт.

Ворота типу DoorHan HD20/40 показано на рисунку 2.4.



Рисунок 2.4 - DoorHan HD20/40

Власна вага.

Щоб урахувати власну вагу використовуємо в програмі SCAD вбудовані функції. Коефіцієнт надійності за навантаженням для металевих конструкцій дорівнює 1,05.

Тимчасові навантаження. Снігове навантаження.

Снігові навантаження розраховані згідно з [2]. Враховуються дві можливі схеми завантаження покриття. Будівля розташовується в III сніговому районі ($S_g = 1,5 \text{ кН/м}^2$).

Нормативне значення снігового навантаження визначається за формулою:

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

де $S_{(g)} = 1,5$ — нормативне значення ваги снігового покриву на 1 м горизонтальної поверхні землі [2];

μ коефіцієнт переходу від ваги снігового покриву землі до снігового навантаження на покриття; [2]. Коефіцієнт $\mu = 1$, оскільки ухил покриття $\alpha < 30^\circ$;

c_e - коефіцієнт, що враховує знесення снігу з покриттів будівель під дією вітру або інших чинників [2].

Коефіцієнт, що враховує знесення снігу, визначається за формулою:

$$c_e = (k_v - 0.4\sqrt{k})(0.8 + 0.002l_c) \quad (2.2)$$

де $k_v = 1,3$ - коефіцієнт, що залежить від середньої швидкості вітру в зимовий період і середньомісячної температури повітря в січні, [2];

$k = 1,05$ - коефіцієнт, що залежить від висоти над рівнем планувальної позначки землі, [2];

l_c - характерний розмір покриття, що приймається не більше 100 м;

(для консольних частин $l_c = 42,81$ м; для ділянок між рамами $l_c = 60,32$ м);

c_{t1} - термічний коефіцієнт [2]. Визначення коефіцієнта μ показано на рисунку 2.5.

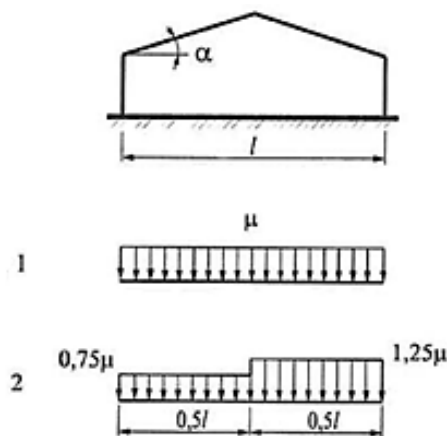


Рисунок 2.5 - Значення коефіцієнта μ

Варіант 1

Для частин вильотом 24 м

Визначаємо нормативне значення снігового навантаження за [2].

$$S_o = S_g \cdot \mu \cdot c_e c_t = 1,5 \cdot 1 \cdot 0,788 \cdot 1 = 1,18 \text{ кН/м}^2.$$

У цій схемі ригелі рам розкріплені по нижньому поясу прогонами. Надалі для схеми 1 нижні прогони, а для схеми 2 верхні прогони. Снігове навантаження прикладаємо до нижніх прогонів. Для кроку прогонів $B = 2$ м.

Навантаження на прогони визначимо за такою формулою

$$q = S_0 B = 1,182 = 2,36 \text{ кН/м.}$$

Снігове навантаження прикладаємо до нижніх прогонів. Для кроку прогонів $B=2,5 \text{ м.}$

$$q = S_0 B = 1,182 \cdot 2,5 = 2,95 \text{ кН/м.}$$

Для ділянок між рамами

Визначаємо нормативне значення снігового навантаження за [2].

$$S_0 = S_g \cdot \mu \cdot c_e c_t = 1,5 \cdot 1 \cdot 0,819 \cdot 1 = 1,23 \text{ кН/м}^2.$$

Снігове навантаження прикладаємо до нижніх прогонів. Крок прогонів $B=2 \text{ м.}$

$$q = S_0 B = 1,232 = 2,46 \text{ кН/м.}$$

Снігове навантаження прикладаємо до нижніх прогонів. Крок прогонів

$B=2,5 \text{ м.}$

$$q = S_0 \cdot B = 1,23 \cdot 2,5 = 3,075 \text{ кН/м.}$$

Варіант 2

Для частини вильотом 24 м

Визначаємо нормативне значення снігового навантаження за [2].

$$S_0 = S_g \cdot \mu \cdot c_e \cdot c_t = 1,5 \cdot 0,75 \cdot 0,788 \cdot 1 = 0,886 \text{ кН/м}^2; q = S_0 \cdot B = 0,886 \cdot 2 = 1,772 \text{ кН/м.}$$

$$q = S_0 \cdot B = 0,886 \cdot 2,5 = 2,215 \text{ кН/м.}$$

$$S_0 = S_g \cdot \mu \cdot c_e \cdot c_t = 1,5 \cdot 1,25 \cdot 0,788 \cdot 1 = 1,477 \text{ кН/м}^2; q = S_0 \cdot B = 1,477 \cdot 2 = 2,95 \text{ кН/м.}$$

$$q = S_0 \cdot B = 1,477 \cdot 2,5 = 3,69 \text{ кН/м.}$$

Для ділянок між рамами

Визначаємо нормативне значення снігового навантаження за [2]

$$S_0 = S_g \cdot \mu \cdot c_e \cdot c_t = 1,5 \cdot 0,75 \cdot 0,819 \cdot 1 = 0,92 \text{ кН/м}^2; q = S_0 \cdot B = 0,92 \cdot 2 = 1,84 \text{ кН/м.}$$

$$q = S_0 \cdot B = 0,92 \cdot 2,5 = 2,3 \text{ кН/м.}$$

$$S_0 = S_g \mu c_e c_t = 1,5 \cdot 1,25 \cdot 0,819 \cdot 1 = 1,535 \text{ кН/м}^2; q = S_0 B = 1,535 \cdot 2 = 3,07 \text{ кН/м.}$$

$$q = S_0 B = 1,5352,5 = 3,84 \text{ кН/м.}$$

Вітрове навантаження

Вітрові навантаження, що діють на покриття, були так само враховані згідно з [2]. Будівля розташовується в III вітровому районі ($w_0 = 0,38 \text{ кПа}$).

Нормативне значення вітрового тиску знаходимо за формулою

$$w_m = w_0 \cdot k \cdot c; \quad (2.3)$$

де $w_0 = 0,38 \text{ кПа}$ – нормативне значення вітрового тиску [2];

k коефіцієнт, що враховує зміну вітрового тиску для висоти z_e [2]; при $h \leq d$ еквівалентна висота

$z_e = h = 12 \text{ м}$. Де d – поперечний розмір будівлі, h – висота будівлі.

c – аеродинамічний коефіцієнт [2].

Пульсаційна складова вітрового навантаження враховується в ПК SCAD.

Вітрове навантаження на стіни:

Розподіл вітрового навантаження на стіни і значення аеродинамічного коефіцієнта можна побачити на рисунку 2.6

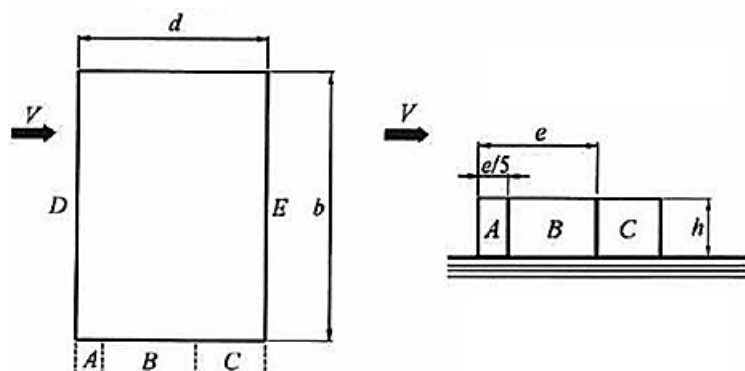


Рисунок 2.6 - Вітер на стіни

Вітер по осі X

Вітрове навантаження для ділянок знаходиться за [2].

$$A - w_m = w_0 \cdot k \cdot c = 0,38 \cdot 1,05 \cdot (-1,0) = -0,39 \text{ кПа.}$$

$$B- w_m = w_o \cdot k \cdot c = 0,38 \cdot 1,05(-0,8) = -0,32 \text{ кПа.}$$

$$C- w_m = w_o \cdot k \cdot c = 0,38 \cdot 1,05(-0,5) = -0,19 \text{ кПа.}$$

$$A=4.8 \text{ м; } B=19.2 \text{ м; } C=87 \text{ м.}$$

Вітрове навантаження прикладаємо до балки, $B=12 \text{ м}$.

Навантаження на балку знаходиться за формулою

$$q = w_m \cdot B, \quad (2.4)$$

$$\text{Знаходимо навантаження на балку для ділянок за (15) } A- q = w_m B = -0,39 \cdot 12 = -4,68 \text{ кН/м;}$$

$$B- q = w_m B = -0,32 \cdot 12 = -3,84 \text{ кН/м;}$$

$$C- q = w_m B = -0,19 \cdot 12 = -2,28 \text{ кН/м;}$$

Вітрове навантаження для ділянки при $z_e=12 \text{ м; } k(z_e)=1,05$

$$D- w_m = w_o \cdot k \cdot c = 0,38 \cdot 1,050,8 = 0,319 \text{ кПа.}$$

$$E- w_m = w_o k \cdot c = 0,38 \cdot 1,05 \cdot (-0,5) = -0,199 \text{ кПа.}$$

При $z_e=18 \text{ м; } k(z_e)=1.2$

$$D- w_m = w_o \cdot k \cdot c = 0,38 \cdot 1.2 \cdot 0,8 = 0,36 \text{ кПа.}$$

$$E- w_m = w_o k \cdot c = 0,38 \cdot 1.2 \cdot (-0,5) = -0,23 \text{ кПа.}$$

Вітрове навантаження прикладаємо до колон, крок колон $B=6 \text{ м}$.

Навантаження на стійки

$$q = w_m \cdot B, \quad (2.5)$$

При $z_e=12 \text{ м}$

$$D- q = w_m B = 0,319 \cdot 6 = 1,914 \text{ кН/м;}$$

$$E- q = w_m \cdot B = -0,199 \cdot 6 = -1,194 \text{ кН/м;}$$

При $z_e=18 \text{ м}$

$$D- q = w_m \cdot B = 0,36 \cdot 6 = 2.16 \text{ кН/м;}$$

$$E- q = w_m \cdot B = -0,23 \cdot 6 = -1,38 \text{ кН/м;}$$

Вітер по осі Y

Вітрове навантаження для ділянки При $z_e=12$ м; $k(z_e)=1,05$

A- $w_m = w_o \cdot k \cdot c = 0,38 \cdot 1,05 \cdot (-1,0) = -0,39$ кПа.

B- $w_m = w_o \cdot k \cdot c = 0,38 \cdot 1,05 \cdot (-0,8) = -0,32$ кПа.

C- $w_m = w_o \cdot k \cdot c = 0,38 \cdot 1,05 \cdot (-0,5) = -0,199$ кПа.

При $z_e=18$ м; $k(z_e)=1,2$

A- $w_m = w_o \cdot k \cdot c = 0,38 \cdot 1,2 \cdot (-1,0) = -0,46$ кПа.

B- $w_m = w_o \cdot k \cdot c = 0,38 \cdot 1,2 \cdot (-0,8) = -0,36$ кПа.

C- $w_m = w_o \cdot k \cdot c = 0,38 \cdot 1,2 \cdot (-0,5) = -0,23$ кПа.

A=4,8 м; B=19,2 м; C=96 м.

Вітрове навантаження прикладаємо до колон, B=6 м.

Навантаження на колону знаходиться за формулою

$$q = w_m \cdot B, \quad (2.6)$$

При $z_e=12$ м

A- $q = w_m \cdot B = -0,39 \cdot 6 = -2,34$ кН/м;

B- $q = w_m B = -0,32 \cdot 6 = -1,92$ кН/м;

C- $q = w_m \cdot B = -0,199 \cdot 6 = -1,194$ кН/м;

При $z_e=18$ м

A- $q = w_m \cdot B = -0,46 \cdot 6 = -2,76$ кН/м;

B- $q = w_m \cdot B = -0,36 \cdot 6 = -2,16$ кН/м;

C- $q = w_m \cdot B = -0,23 \cdot 6 = -1,38$ кН/м;

Вітрове навантаження для ділянки

D- $w_m = w_o \cdot k \cdot c = 0,38 \cdot 1,05 \cdot 0,8 = 0,32$ кПа.

E- $w_m = w_o k \cdot c = 0,38 \cdot 1,05 \cdot (-0,5) = -0,199$ кПа.

Вітрове навантаження прикладаємо до балки, B=12 м. За [2]

D- $q = w_m B = 0,32 \cdot 12 = 3,84$ кН/м;

E- $q = w_m \cdot B = -0,199 \cdot 12 = -2,39$ кН/м.

Вітрове навантаження на ряд плоских паралельно розташованих ґратчастих конструкцій.

Для ригелів основних рам

Для навітряної конструкції коефіцієнт c_{x1} визначається так само, як і для окремо розташованої ферми за формулою

$$c_{x1} = 1 / A_k \sum c_{xi} A_i; \quad (2.7)$$

де c_{xi} - аеродинамічний коефіцієнт і-го елемента конструкції, який приймають рівним 1,4 для профілів і визначають відповідно до вказівок [2] для елементів із круглим і прямокутним поперечним перерізом відповідно; за таких умов $k_\lambda=1$;

A_i - площа проекції і-го елемента конструкції;

A_k - площа, обмежена контуром конструкції (одна із секцій рами).

Аеродинамічний коефіцієнт і-го елемента конструкції визначаємо за формулою

$$c_x = k_\lambda \cdot c_{x\infty}; \quad (2.8)$$

Число Рейнольдса Re визначається за формулою

$$Re = 0,88 d \sqrt{w_o} k_{(z(e))} \gamma_f \cdot 10^5; \quad (2.9)$$

де d - діаметр труби;

w_o - нормативне значення вітрового тиску [2];

z_e - еквівалентна висота;

$k_{(z_e)}$ - визначається відповідно до [2];

$\gamma_f = 1,4$ - коефіцієнт надійності за навантаженням.

Для другої та наступних конструкцій аеродинамічний коефіцієнт визначаємо за формулою

$$c_{x2} = c_{x11} = 0,365 \cdot 0,5 = 0,182, \quad (2.10)$$

де $l = 0,5$.

Навантаження на секцію нормативне визначається за формулою

$$Q = w_0 \cdot k_{(ze)} \cdot c_x \cdot A = 0,38 \cdot 1,129 \cdot 0,182 \cdot 36 = 2,81 \text{ кН.}$$

Навантаження по осі Y

Навантаження на вузол нормативне

$$Q/2 = 2,81/2 = 1,41 \text{ кН.}$$

Вітрове навантаження на ферми

Для другої та наступних конструкцій за [2]

$$c_{x2} = c_{x11} = 0,119 \cdot 0,84 = 0,099.$$

де $l = 0,84$.

Навантаження на секцію нормативне визначається за формулою

$$Q = w_0 \cdot k_{(ze)} \cdot c_x \cdot A = 0,38 \cdot 1,106 \cdot 0,099 \cdot 12 = 0,499 \text{ кН.}$$

Навантаження по осі X

Навантаження на вузол нормативне

$$Q/2 = 0,499/2 = 0,249 \text{ кН.}$$

Вітрове навантаження на колону ґратчасту

Для другої та наступних конструкцій

$$c_{x2} = c_{x11} = 1,81 \cdot 0,15 = 0,27.$$

де $l = 0,15$.

Вітрове навантаження на покриття (на нижні прогони)

$$e = 2h = 2 \cdot 12 = 24 \text{ м}$$

$$e/4 = 24/4 = 6 \text{ м; } e/10 = 24/10 = 2,4 \text{ м. } G = 120 - 6 - 6 = 108 \text{ м.}$$

$$H = 111/2 - 2,4 = 53,1 \text{ м.}$$

Розподіл вітрового навантаження на покритті показано на рисунку 2.7

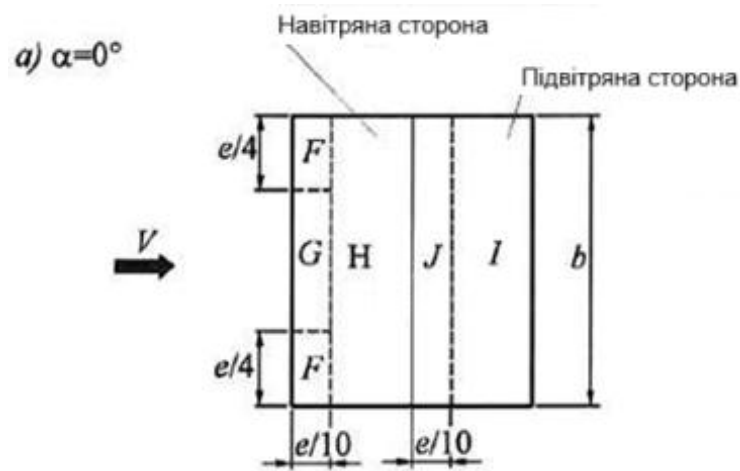


Рисунок 2.7 - Розподіл вітрового навантаження на покриття

Вітрове навантаження на покриття за віссю x представлено в таблиці 2.1

Таблиця 2.1 - Вітрове навантаження на покриття

Відстань на покрівлі, м	Нормативне значення навантаження, кН/м^2	Прикладене на прогони, кН/м^2
F (2.4x6 м)	0,709	$0,709 \cdot 2 = 1,418$
G (2.4x108 м)	0,512	$0,512 \cdot 2 = 1,024$
H (53.1)	0,276	$0,276 \cdot 2 = 0,552$
J (2.4 м)	0,197	$0,197 \cdot 2 = 0,394$
I (53.1 м)	0,197	$0,197 \cdot 2 = 0,394$

Прикладання вітрового навантаження на покриття по осі Y показано на рисунку 2.8

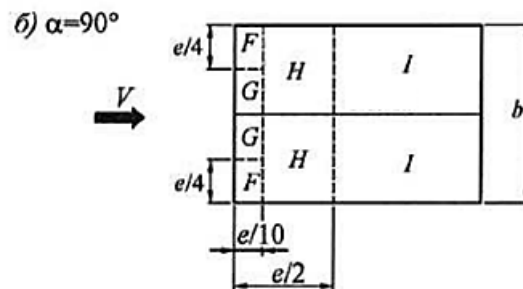


Рисунок 2.8- Розподіл вітрового навантаження на покриття Відстані на покрівлі

$$e=2h=2*12=24 \text{ м}$$

$$e/4=24/4/4=6 \text{ м}; e/10=24/10=2.4 \text{ м. } 2G=99 \text{ м}$$

$$H=9.6 \text{ м. } I=108 \text{ м.}$$

Вітрове навантаження на покриття за віссю у представлено в таблиці 2.2

Таблиця 2.2- Вітрове навантаження на покриття

Відстань на покрівлі, м	Нормативне значення навантаження, кН/м ²	Прикладене на прогони, кН/м ²
F	0,709	0,709*2=1,418
G	0,512	0,512*2=1.024
H	0,276	0,276*2=0,552
I	0,197	0,197*2=0,394

2.1.4 Прикладання основних навантажень

Власна вага задається автоматично в програмі SCAD.

Навантаження від огорожувальних стінових конструкцій (від сендвіч-панелей), прикладається до колон і фахверка. Розподіл навантаження від стінових сендвіч-панелей на рисунку 2.9

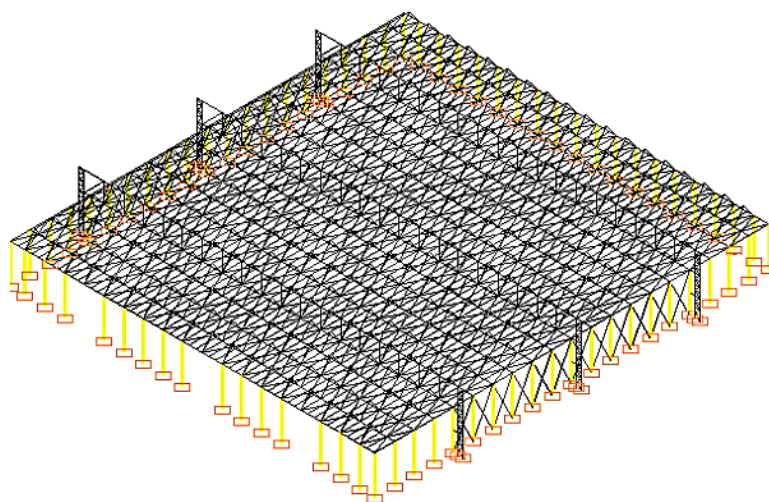


Рисунок 2.9- Розподіл навантаження від стінових сендвіч-панелей

Навантаження від сендвіч-панелей покриття, прикладається до прогонів.

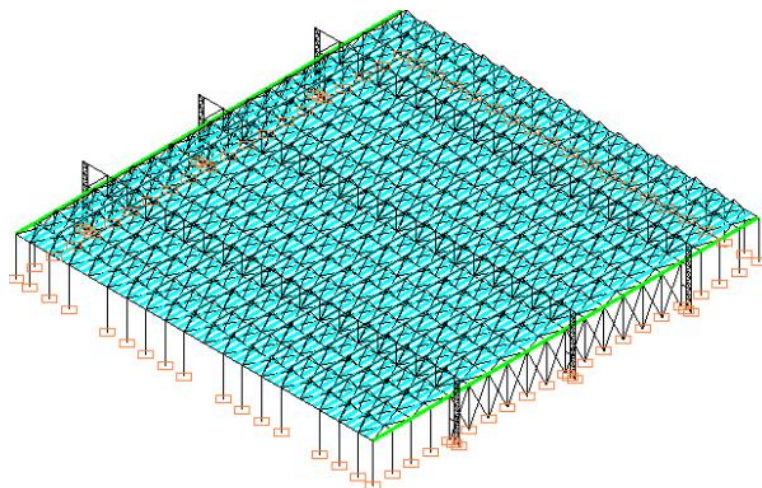


Рисунок 2.10- Розподіл навантаження від покрівельних сендвіч-панелей

Навантаження від підвісних воріт, прикладається на балку у вигляді зосереджених навантажень, у місці кріплення воріт.

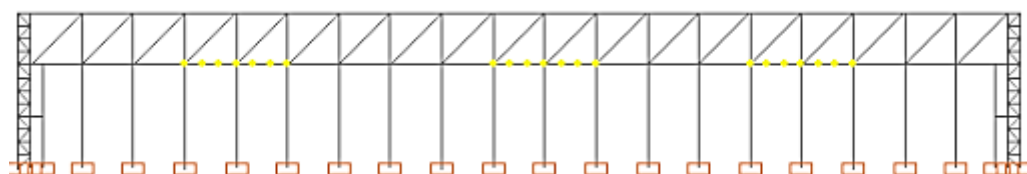


Рисунок 2.11- Розподіл навантаження від підвісних воріт

Далі прикладаємо сніг за першим варіантом

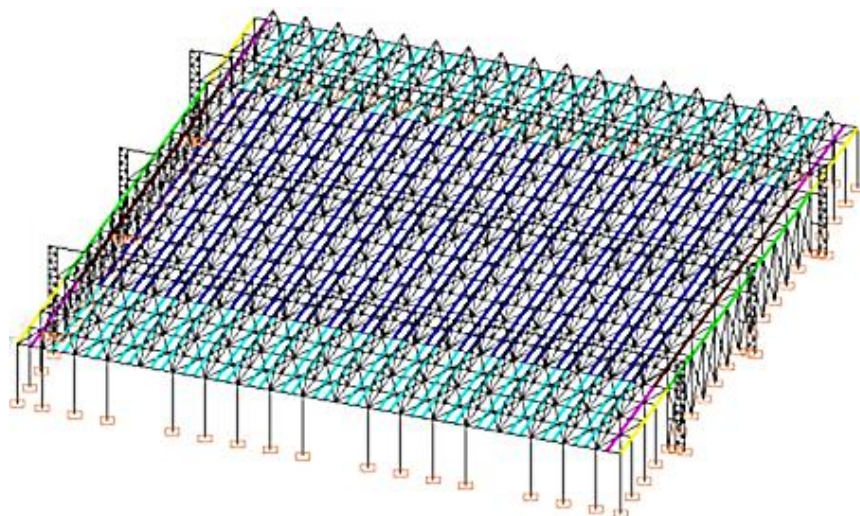


Рисунок 2.12- Розподіл навантаження від снігу для першого варіанту

Для першого варіанту снігового завантаження сніг на покриття розподіляється рівномірно. Для другого варіанту розподіл відбувається нерівномірно, з одного боку, більше, з другого менше.

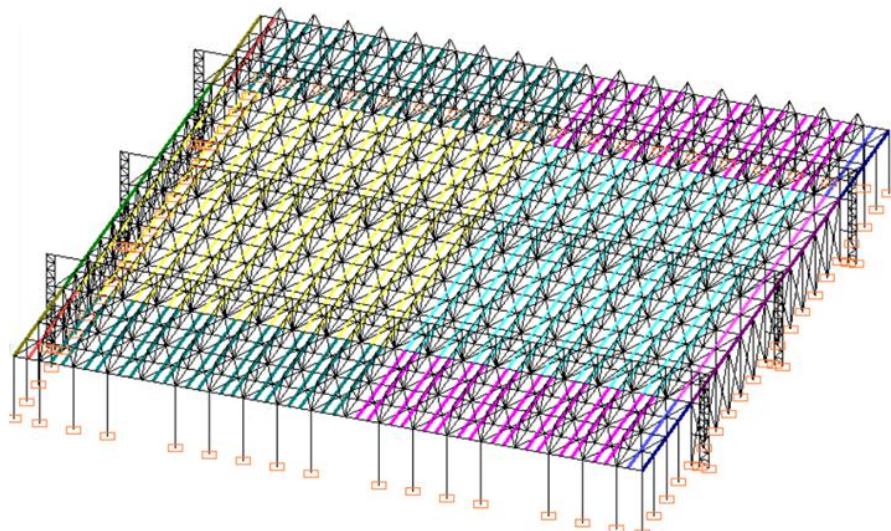


Рисунок 2.13- Розподіл навантаження від снігу для другого варіанту

Вітрове навантаження прикладено до колон і балок, а також у зв'язку з тим, що є зовнішні несучі конструкції, вітер прикладається на плоскі гратчасті паралельно розташовані конструкції, у вузли. Вітрові навантаження по осях X і Y показані на рисунку 2.14, 2.15.

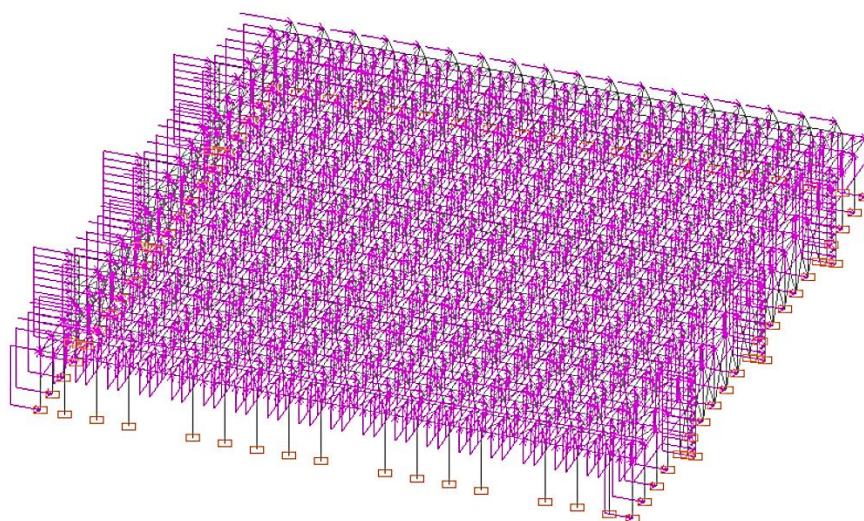


Рисунок 2.14- Розподіл вітру по осі X

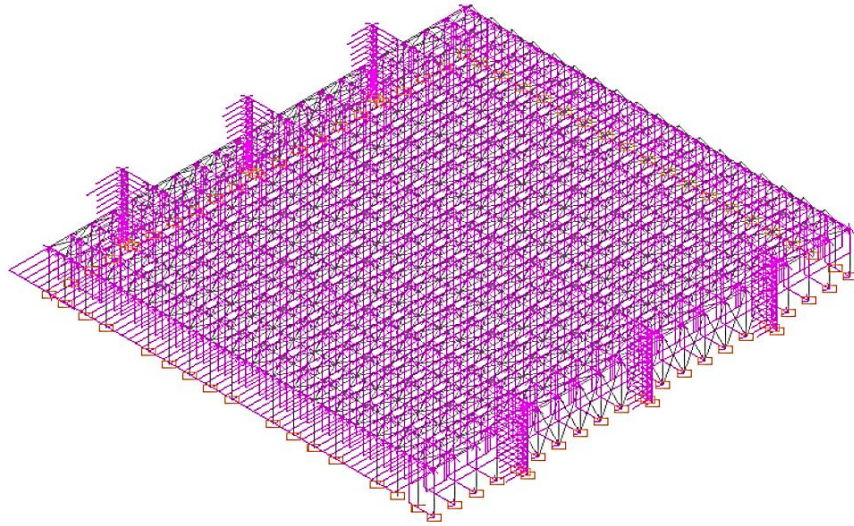


Рисунок 2.15- Розподіл вітру по осі У

Статичне вітрове навантаження і завдання пульсаційної складової показано в пункті 2.1.3.

Підбір перерізів

Попередньо для всіх елементів задано такі жорсткості: труби електрозварні прямошовні за [12], а також труби за [13]. Прогони і балки задано двотавровим перерізом 50Б1 і 90Б1 відповідно, за [11].

Елементи розрахункової схеми були уніфіковані на 99 груп для того, щоб підібрати єдиний переріз для елементів кожної групи.

Провівши розрахунок за початково заданими перерізами, отримали такі результати

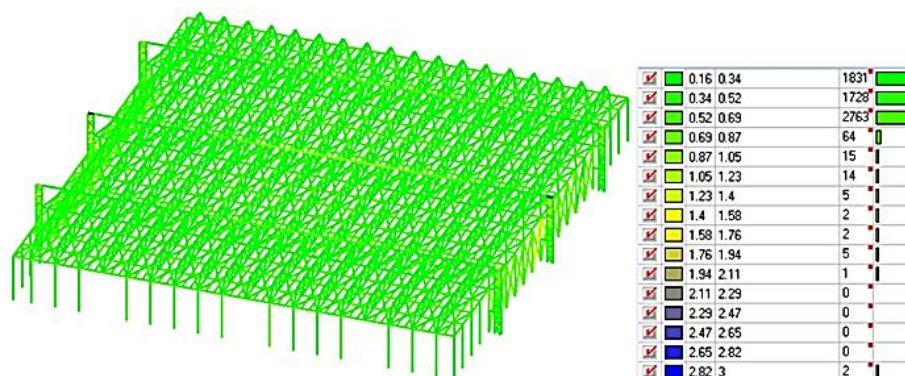


Рисунок 2.16- Критичний фактор при початкових перетинах

З рисунка 2.16 можна побачити, що в більшості елементів критичний фактор не перевищує 1. Але є й такі елементи, в яких він усе-таки сягнув значення більшого за 1 (наприклад, елементи ґратчастих колон, деякі зв'язки між колонами).

Для запобігання перевитрати матеріалу в елементів із критичним фактором набагато меншим, ніж 1, і визначення оптимального перерізу для елементів із тах критичним фактором, проводимо підбір перерізів у SCAD. Розрахунок буде проводитися кілька разів.

Результати після підбору перерізів такі

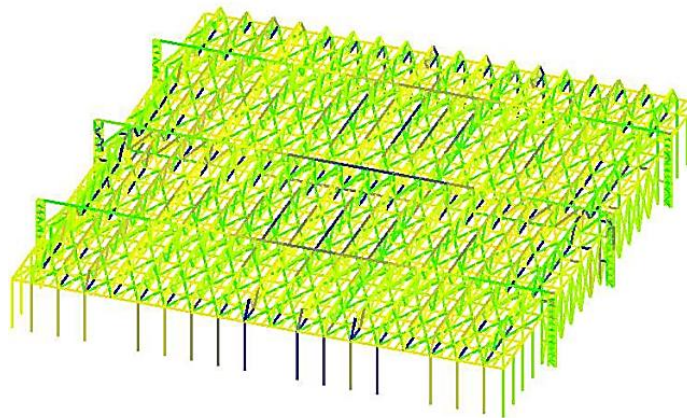


Рисунок 2.17 - Результат підбору перерізів для схеми 1

☒	0.11	0.16	35	
☒	0.16	0.21	60	
☒	0.21	0.27	1235	
☒	0.27	0.32	199	
☒	0.32	0.37	340	
☒	0.37	0.43	635	
☒	0.43	0.48	225	
☒	0.48	0.53	375	
☒	0.53	0.58	2886	
☒	0.58	0.64	210	
☒	0.64	0.69	90	
☒	0.69	0.74	36	
☒	0.74	0.8	44	
☒	0.8	0.85	41	
☒	0.85	0.9	25	
☒	0.9	0.96	44	

Рисунок 2.18- Критичний фактор для схеми 1

Після підбору перерізів для варіанту 1 було призначено жорсткості, які показано на рисунках 2.19-2.20.

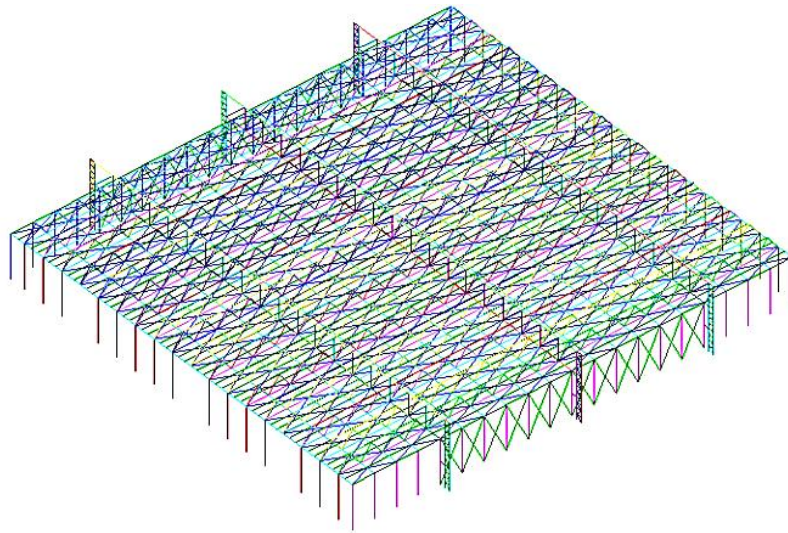


Рисунок 2.19- Жорсткості для схеми 1

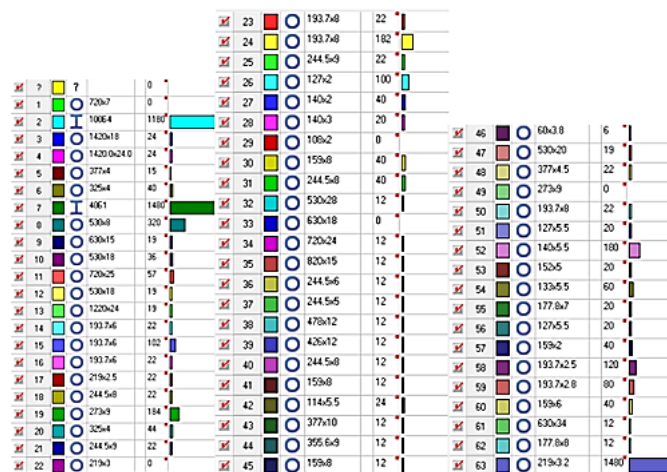


Рисунок 2.20- Жорсткості для схеми 1

2.1.5 Розрахунок каркасу будівлі на особливі навантаження

Пожежа.

Згідно з [8] залежно від об'єму приміщення (понад 80 тис.м³) і густини людського потоку в загальному проході, чол/м² відстань між евакуаційними виходами не більше 100 м. Ширину евакуаційного виходу (дверей) з коридору назовні або в сходову клітку слід приймати залежно від загальної кількості людей, що евакуюються через цей вихід, і кількості людей на 1 м ширини виходу (дверей), але не менше ніж 0,8 м, у разі наявності працюючих інвалідів з порушеннями опорно-рухового апарату - не менше ніж 0,9 м.

На рисунку 2.21 показано схему розташування евакуаційних виходів.

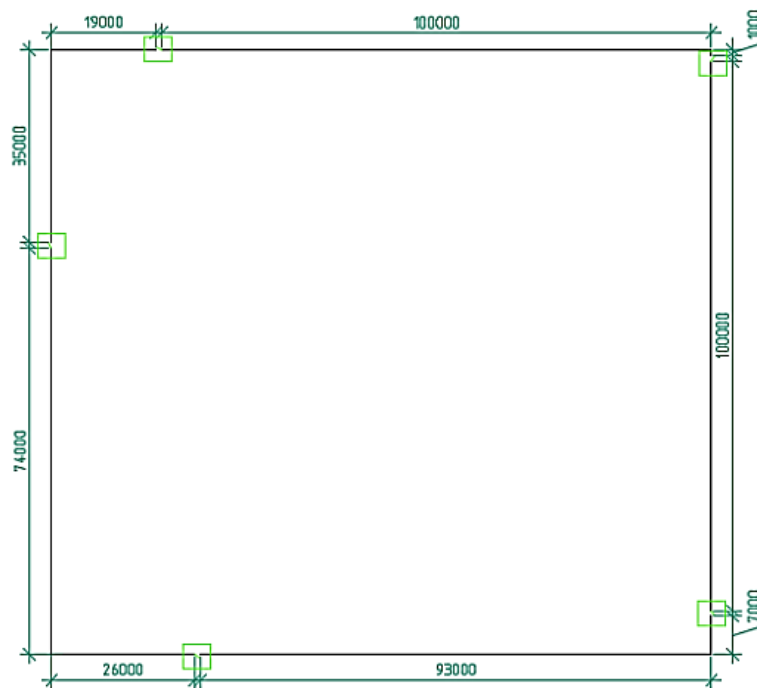


Рисунок 2.21- Схема розташування евакуаційних виходів

Відповідність ступеню вогнестійкості будівель, споруд і пожежних відсіків, і межі вогнестійкості застосовуваних у них будівельних конструкцій наведено

П порядок виходу з ладу конструкцій наступний:

- балки - R15;
- прогони і нижній пояс ригеля рами - R15;
- зв'язки за покриттям - R30;
- зв'язки між колонами - R30;
- колони - R90.

Обнуляємо жорсткості в порядку, зазначеному вище.

У результаті виходять такі результати для каркасу будівлі з розташуванням несучих елементів зовні щодо покрівельних огорожувальних конструкцій

Обнулення жорсткостей у балок:

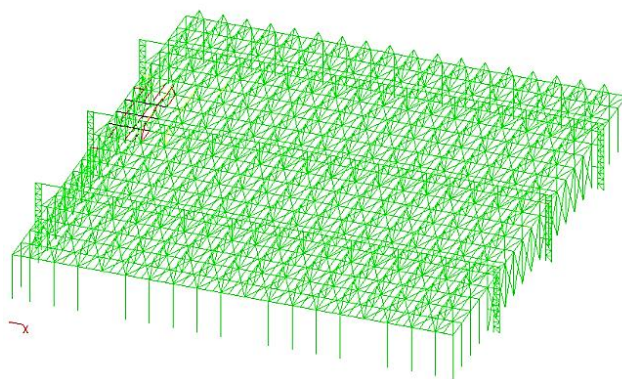


Рисунок 2.22 - Критичний фактор для каркасу будівлі 1 при виході з ладу балок

Обнулення жорсткостей у прогонів і нижнього поясу ригеля рами

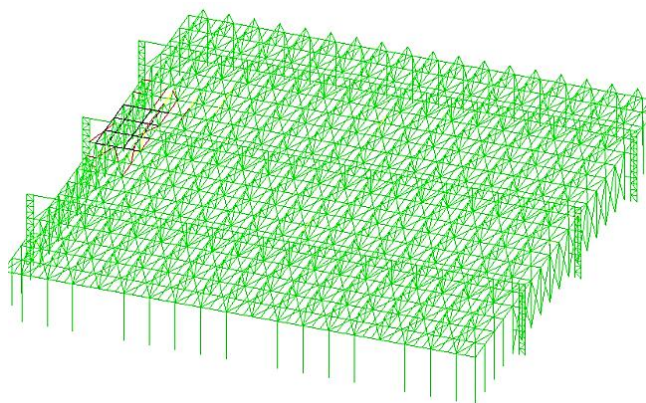


Рисунок 2.23 - Критичний фактор для каркасу будівлі 1 у разі виходу з ладу прогонів і нижнього поясу ригеля рами

Обнулення жорсткостей у зв'язків по покриттю

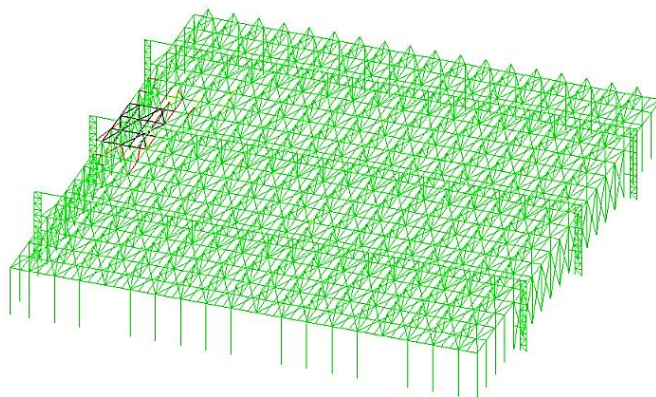


Рисунок 2.24- Критичний фактор для каркасу будівлі 1 у разі виходу з ладу зв'язків по покриттю

Обнулення жорсткостей у зв'язків між колонами

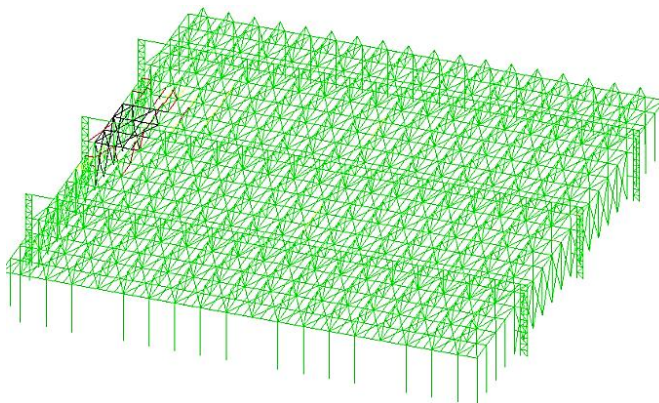


Рисунок 2.25- Критичний фактор для каркасу будівлі 1 у разі виходу з ладу зв'язків між колонами

Обнулення жорсткостей для колон

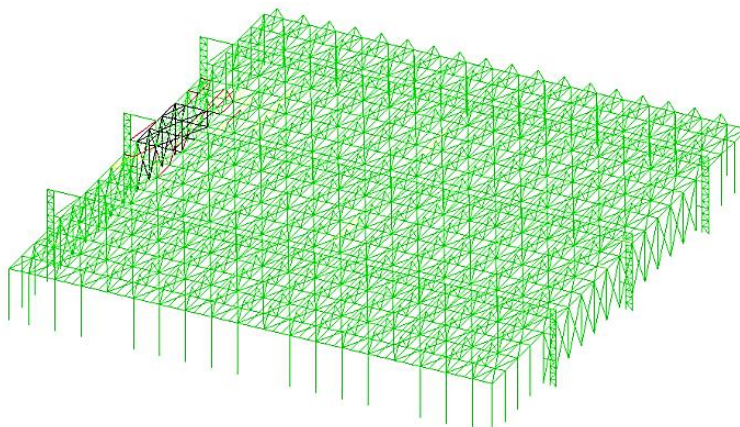


Рисунок 2.26- Критичний фактор для каркасу будівлі 1 при виході з ладу колон

На наступному рисунку представлено деформації схеми, що виникли внаслідок виходу з ладу конструкцій під час пожежі:

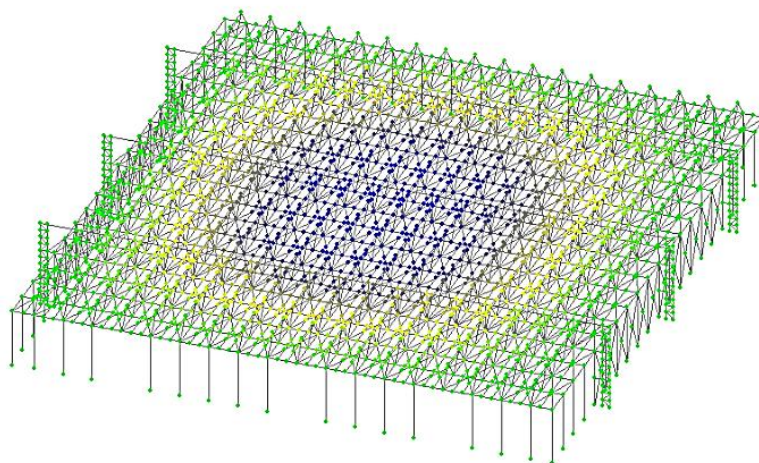


Рисунок 2.27 - Переміщення від комбінації навантажень

Таблиця 2.3 - Результати при завантаженні схеми 1 навантаженням від пожежі

Порядок виходу конструкцій з ладу	Значення критичного фактору	Кількість елементів
1	0.11-0.9	6423
	0.9-1.1	11
	1.1-2.68	27
2	0.11-0.9	6398
	0.9-1.1	13
	1.1-2.76	24
3	0.11-0.9	6379
	0.9-1.1	13
	1.1-2.76	22
4	0.11-0.9	6355
	0.9-1.1	22
	1.1-2.84	25
5	0.11-0.9	6352
	0.9-1.1	22
	1.1-2.84	25

Таблиця 2.4 - Значення переміщень

Схема до особливого навантаження з урахуванням особливого навантаження	Максимальне значення переміщення, мм
Схема до особливого навантаження	241,74
Схема з урахуванням особливого навантаження	262,56

При застосуванні навантаження від пожежі на першу схему критичний фактор перевищив 1 у 47 елементів, в основному це елементи покриття (прогони, балки, елементи ферм). Переміщення порівняно зі схемою без урахування

особливого навантаження збільшилися на 20,82 мм. Важливо зазначити, що після втрати несучої здатності конструкцій, які були на шляху у пожежі, не відбулося прогресуючого обвалення конструкцій, з яких складається каркас будівлі.

Внутрішній вибуховий вплив

Призначимо габарити і визначимо розташування трьох приміщень, у яких зберігається авіаційне паливо.

За [3] об'єм приміщення з вентиляльованими прорізами не повинен перевищувати 1000 м^3 , тоді параметри наступні $12 \times 6,5 \times 12 \text{ м}$.

Розташування приміщень показано на рисунку 2.28.

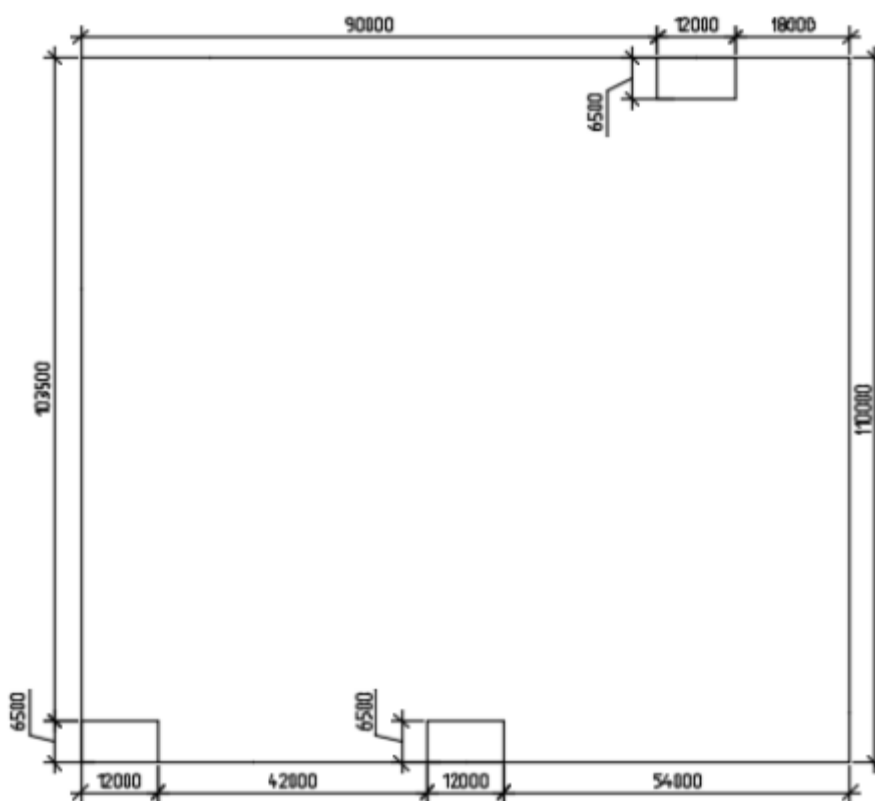


Рисунок 2.28- Схема розміщення приміщень під авіаційне паливо та їхні габарити

Оскільки передбачається зберігання легкозаймистих рідин, як вентиляльовані прорізи передбачимо двері та ворота з такими розмірами: 2 двері двопільні протипожежні $2000 \times 2400 \text{ мм}$, ворота розпашні $3000 \times 4500 \text{ мм}$.

Тиск активації для дверей і воріт візьмемо $0,7 \text{ кПа}$ (у разі досягнення в приміщенні такого тиску, має забезпечуватися їхнє відкривання).

Визначимо статичний тиск від вибуху

$$p_d = 3 + p_v = 3 + 0,7 = 0,7 \text{ } 0,7 \text{ } 3,7 \text{ кПа,}$$

$$p = 3 + 0,5 \cdot p_v + 0,04 / (A_v / V)^2 = 3 + 0,5 \cdot 0,7 + 0,04 / 23,1^2 = 70,01 \text{ кПа.}$$

Обираємо більше $p_d = 70,01 \text{ кПа} = 70,01 \text{ кН/м}^2$.

Значення тиску перемножуємо на вантажну площу: для вертикальних поверхонь на колони і фахверки з кроком 6 м, на покриття з кроком прогонів 2 і 2,5 м.

На колони: $P = 70,01 \cdot 6 = 420,06 \text{ кН/м}$. На прогони: $= 70,01 \cdot 2,5 = 175,03 \text{ кН/м}$.

На прогони: $P = 70,01 \cdot 2 = 140,02 \text{ кН/м}$.

У результаті прикладання навантаження від внутрішнього вибуху в трьох приміщеннях отримали такі деформації та значення критичного фактора.

Для приміщення 1

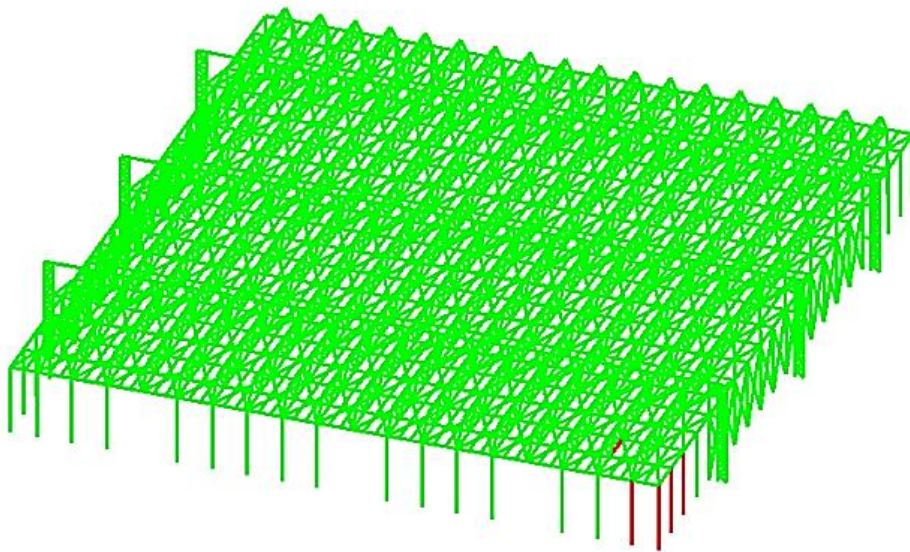


Рисунок 2.29 - Критичний фактор при першому розташуванні приміщення при навантаженні від вибуху

Переміщення під час прикладання навантаження від вибуху в приміщенні 1

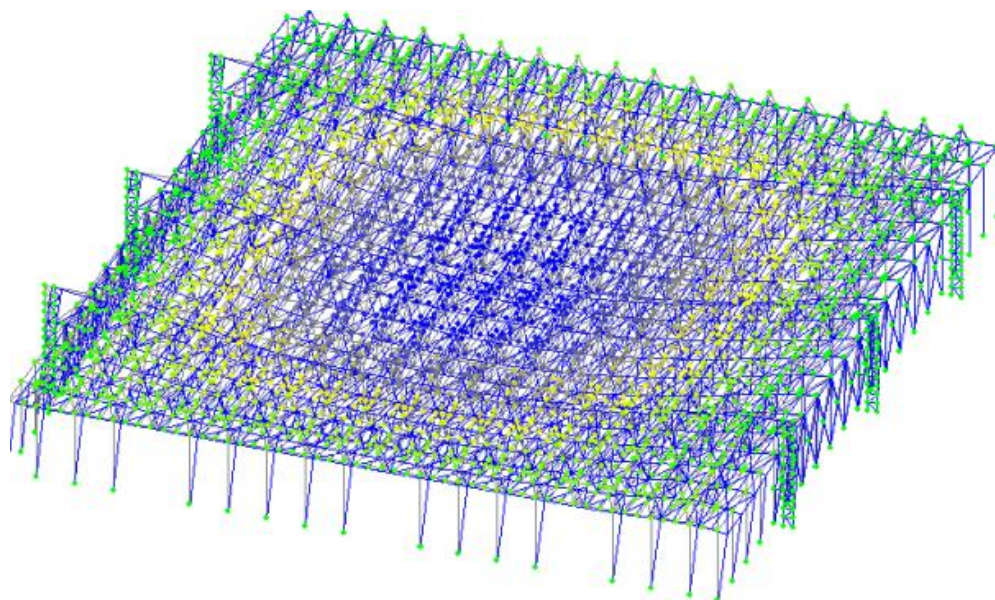


Рисунок 2.30 - Переміщення від комбінації навантажень

Для приміщення 2:

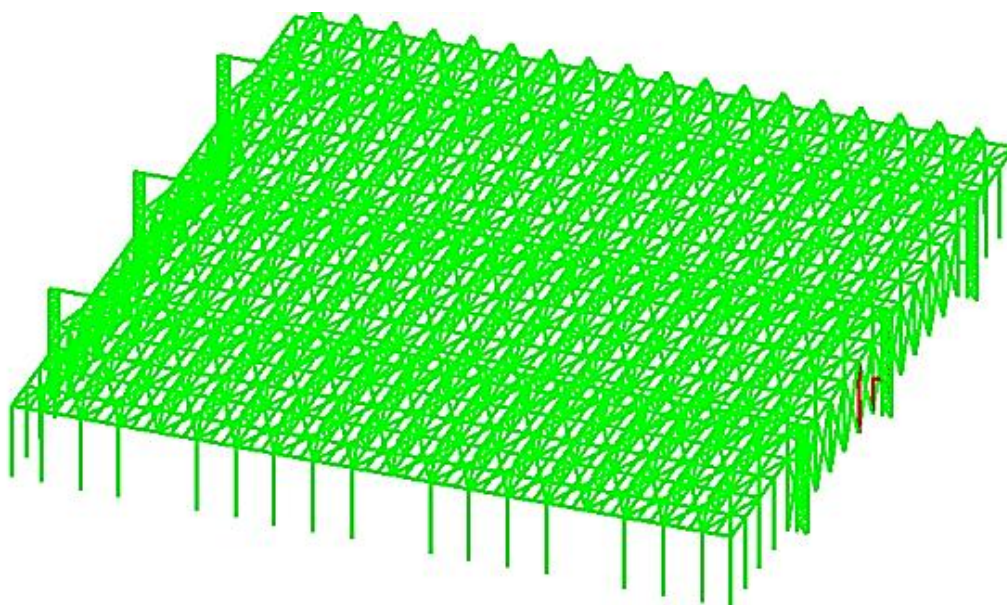


Рисунок 2.31- Критичний фактор при другому розташуванні приміщення при навантаженні від вибуху

Переміщення під час прикладання навантаження від вибуху в приміщенні 2:

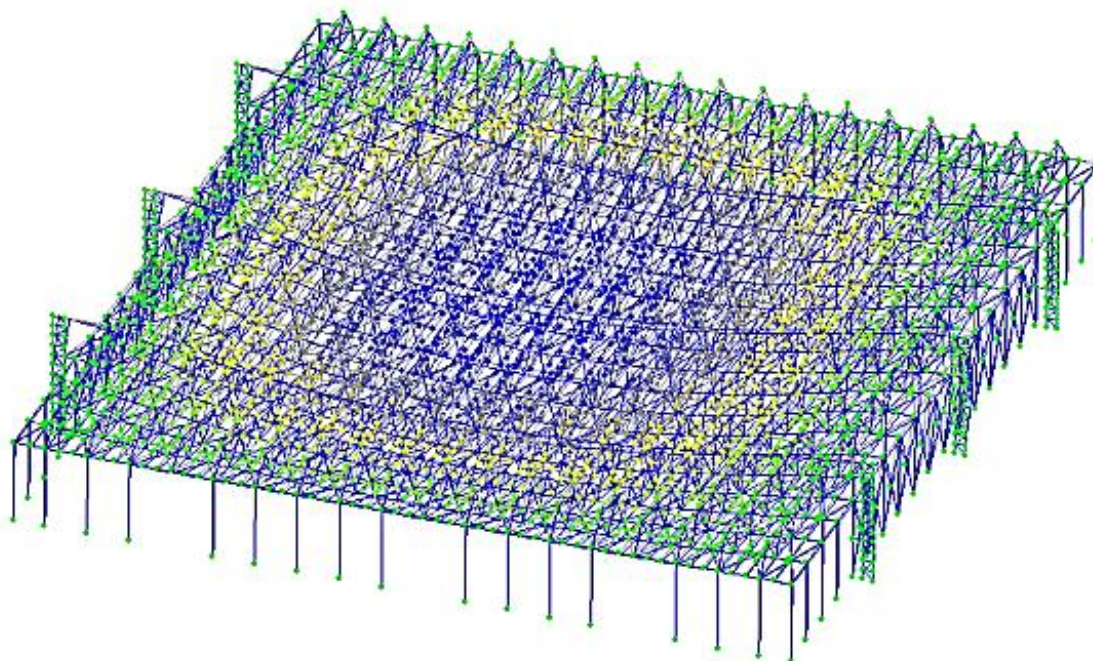


Рисунок 2.32- Переміщення від комбінації навантажень

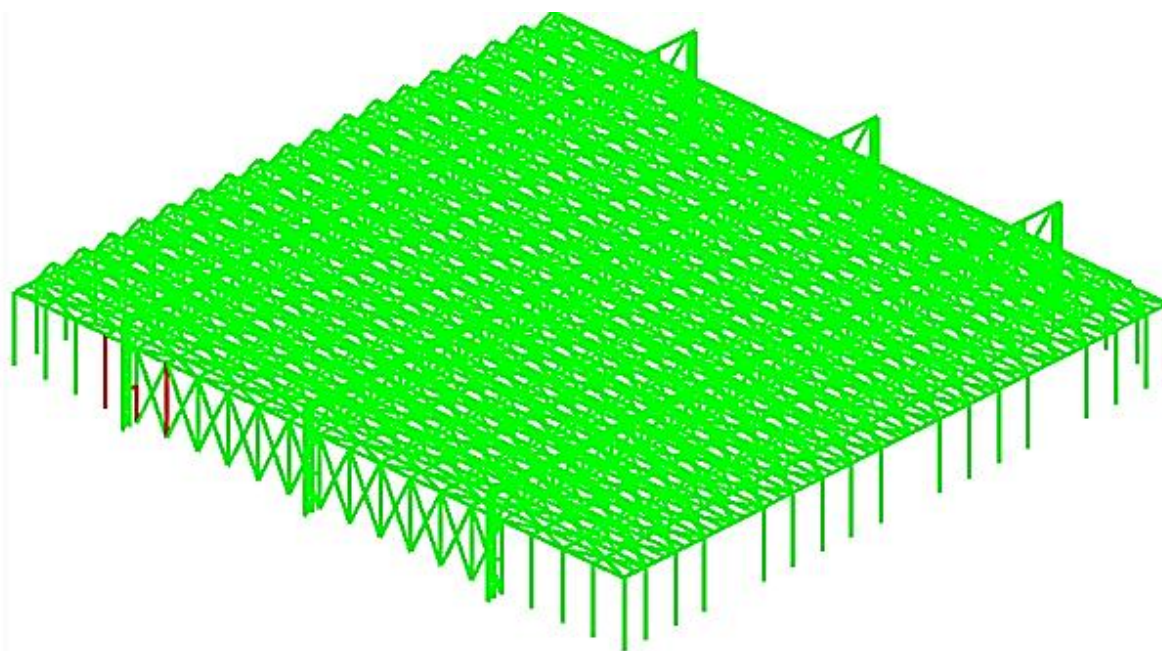


Рисунок 2.33- Критичний фактор при третьому розташуванні приміщення
при навантаженні від вибуху

Переміщення під час прикладання навантаження ВІД вибуху в приміщенні 3:

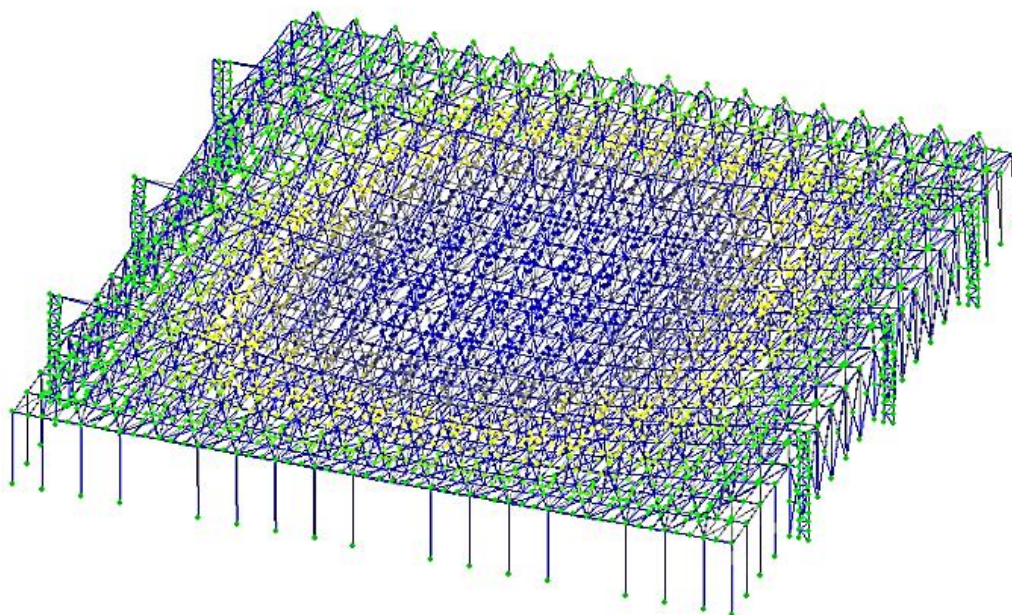


Рисунок 2.34 - Переміщення від комбінації навантажень

Результати навантаження від внутрішнього вибухового впливу на схему один зведемо в таблиці 2.5.

Таблиця 2.5 - Результати при завантаженні схеми 1 навантаженням від вибуху

Номер приміщення	Значення критичного фактору	Кількість елементів
1	0.11-0.9	6475
	0.9-1.01	0
	1.01-43,99	5
2	0.11-0.9	6476
	0.9-1.01	0
	1.01-1,6	4
3	0.11-0.9	6476
	0.9-1.01	0
	1.01-1.7	4

Таблиця 2.6- Значення переміщень

Номер приміщення	Схема до особливого навантаження	Схема з урахуванням особливої навантаження
1	241,74	241,03
2	241,74	227,11
3	241,74	235,55

При застосуванні внутрішнього вибухового впливу в першому наближенні каркасу призначили три можливі варіанти розміщення приміщень. У підсумку найбільша кількість елементів, що втратили несучу здатність (5 елементів), і максимальне значення критичного чинника 43,88 мм виникли при кутовому розташуванні приміщення (приміщення 1). Переміщення порівняно зі схемою без урахування особливого навантаження зменшилися до мінімального значення 227,11 мм у приміщенні 2, розташованому праворуч, у середній частині будівлі.

Оскільки перший варіант каркасу має несучі конструкції зовні відносно покрівельних огорожувальних конструкцій, переміщення збільшилися на 78,7 мм, що становить 32,5 %. Згідно зі значеннями критичного фактора несучої здатності втратить один елемент. За цього особливого впливу значення максимального переміщення дорівнює 320,44 мм, відповідно до [2] допустимий прогин становить 370 мм, отже, умова задовольняється.

2.2 Каркас будівлі з розташуванням несучих елементів усередині відносно покрівельних огорожувальних конструкцій

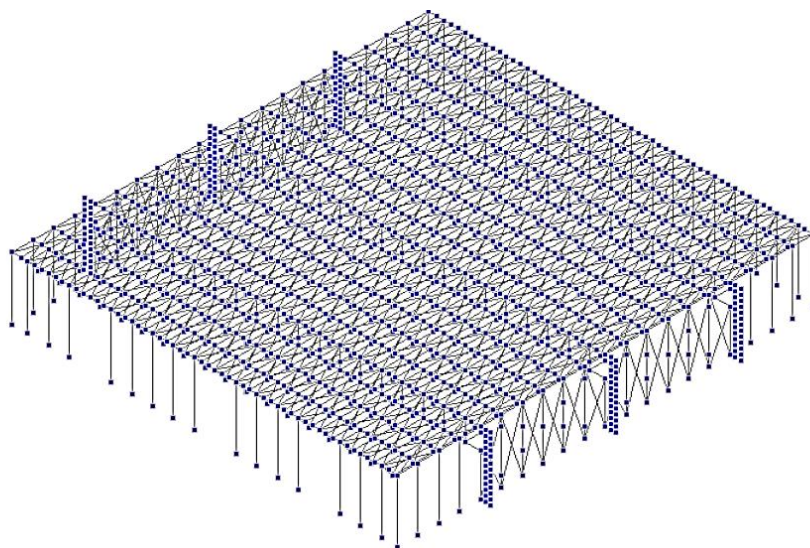
2.2.1 Опис конструктивного рішення. Компонування каркасу

Схему несучого каркасу гвинтокрильного ангара з розташуванням несучих елементів усередині відносно покрівельних огорожувальних конструкцій подано в графічній частині.

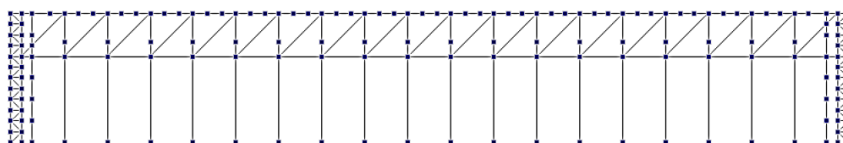
Геометричні характеристики залишаються колишніми. Корисна висота становитиме 12 м, але оскільки прогони розташовуємо на рівні верхніх поясів ферм і ригелів, висота колон і фахверка стає 18 м.

Основний каркас, що складається з поперечних рам, з невеликими фермами, розташований усередині відносно огорожувальних конструкцій покрівлі.

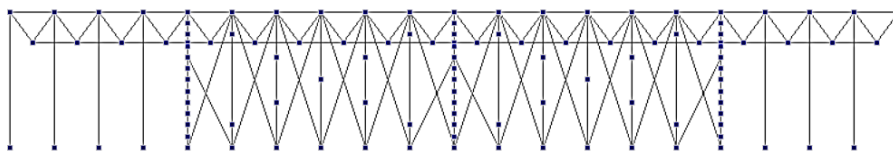
Для дослідження другий варіант ангара прийнято такий:



а)



б)



в)

а- ізометрична проекція; б- вид спереду; в- вид праворуч.

Рисунок 2.35 - Гвинтокрильний ангар

2.2.2 Розрахункова схема в ПК SCAD

Розрахункова схема, змодельована в ПК SCAD, представлена на рисунку 2.36.

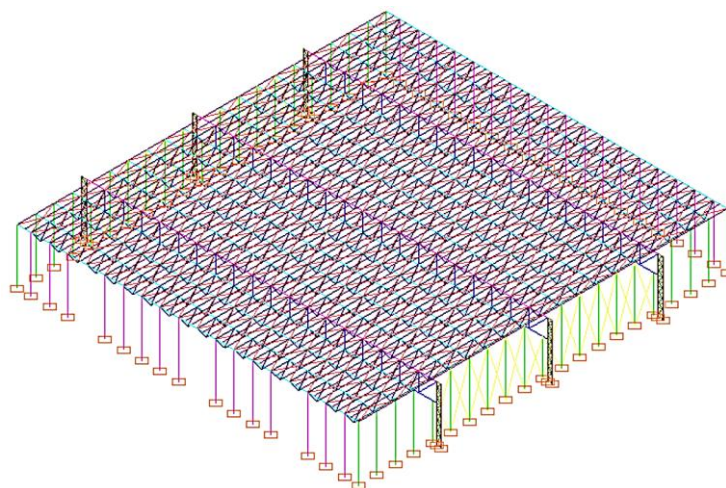


Рисунок 2.36 - Розрахункова схема ангару другий варіант

Для всіх елементів другого варіанту розрахункової схеми жорсткості аналогічні тим, які задані були для першого варіанту ангару.

2.2.3 Застосування навантажень

Власна вага задається автоматично в програмі SCAD.

Навантаження від огорожувальних стінових конструкцій (від сендвіч-панелей), прикладається до колон і фахверка.

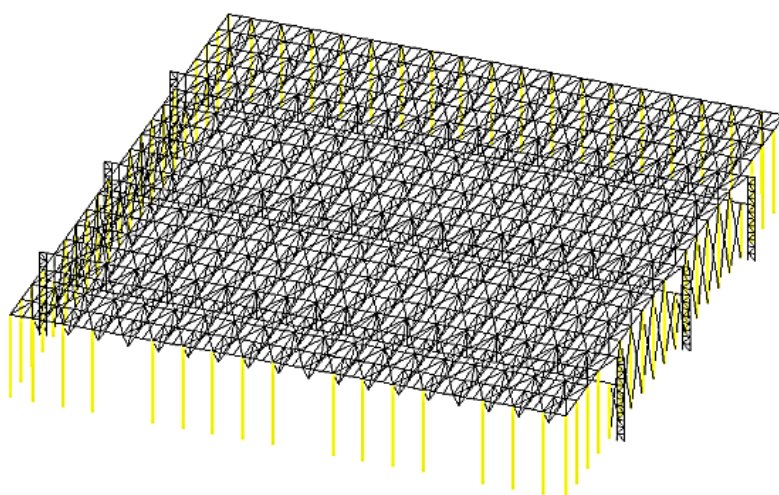


Рисунок 2.37 - Схема розподілу навантаження від стінових сендвіч-панелей

Навантаження від сендвіч-панелей покриття, прикладається до прогонів.

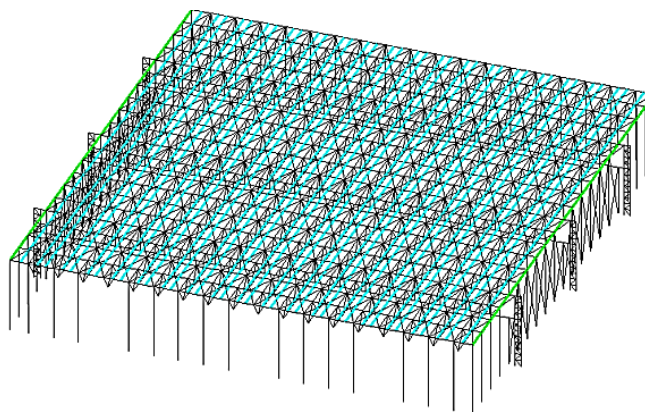


Рисунок 2.38 – Схема розподілу навантаження від покрівельних сендвіч-панелей

Навантаження від підвісних воріт, прикладається на балку у вигляді зосередженої

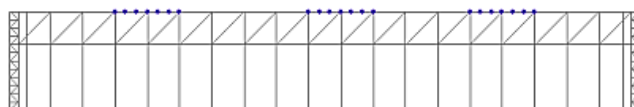


Рисунок 2.39- Схема розподілу навантаження від підвісних воріт

Для першого варіанту снігового завантаження сніг на покриття розподіляється рівномірно. Для другого варіанту розподіл відбувається нерівномірно, з одного боку, більше, з другого менше.

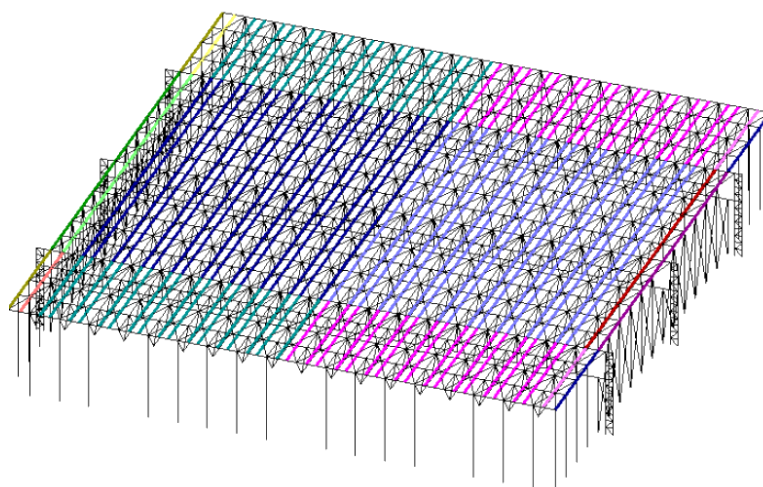


Рисунок 2.40 - Схема розподілу навантаження від снігу за другим варіантом

Вітрове навантаження прикладатиметься до колон і балок, а також у вузли ґратчастих колон. Вітрове навантаження по осях X і Y показано на рисунках 2.41-2.42.

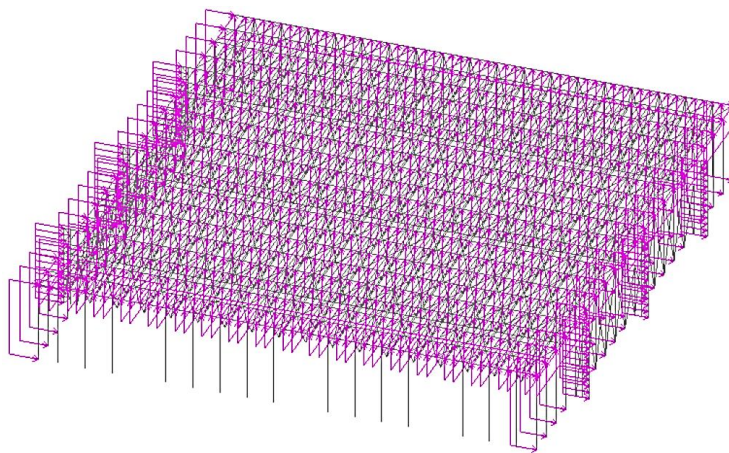


Рисунок 2.41 - Розподіл вітру по осі X

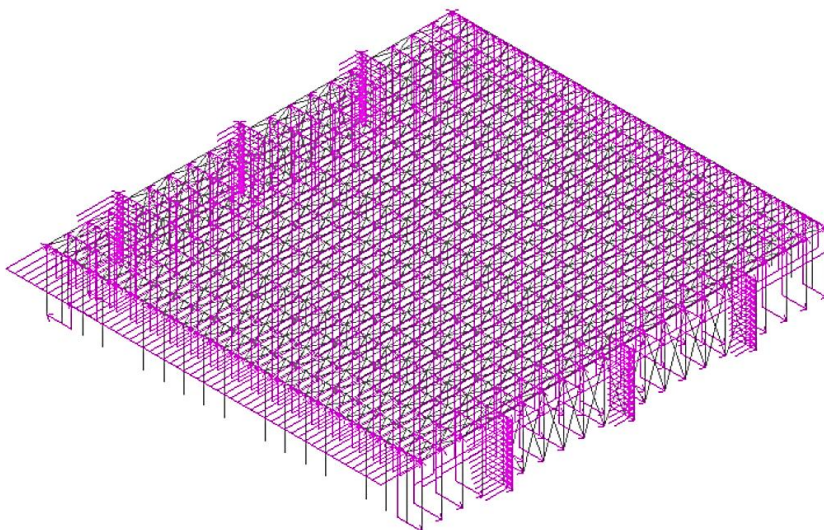


Рисунок 2.42 - Розподіл вітру по осі Y

Статичне вітрове навантаження розраховане в пункті 2.2.3.

Завдання пульсаційної складової аналогічно першому варіанту показано в пункті 2.1.3.

2.1.5 Підбір перерізів

Під час складання розрахункової схеми для всіх елементів задали такі жорсткості: труби електрозварні прямошовні за [12], а також труби за [13]. Прогони

і балки задано двотавровим перетином 50Б1 і 90Б1 відповідно, за [11].

Елементи розрахункової схеми були уніфіковані на 99 груп для того, щоб підібрати єдиний переріз для елементів кожної групи.

Провівши розрахунок за початково заданими перерізами, отримали такі результати:

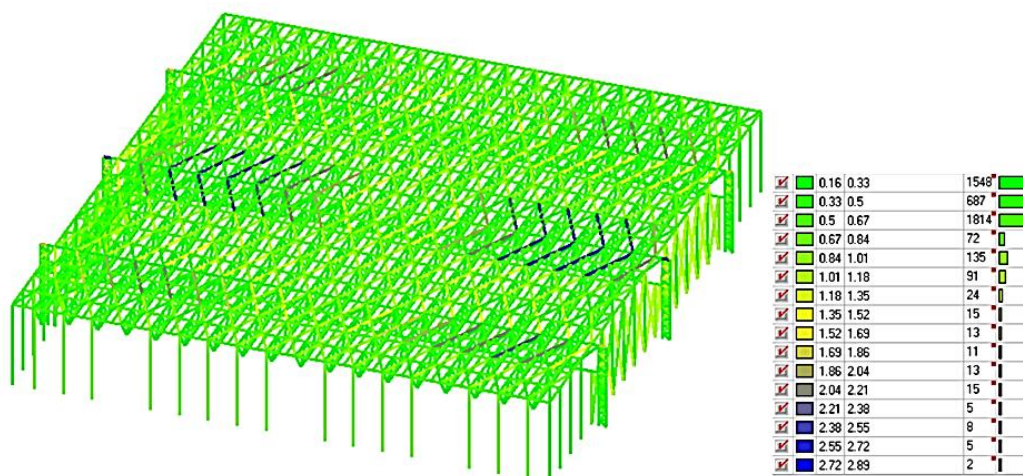


Рисунок 2.43 - Результати за заданими перерізами схема 2

У більшості елементів критичний фактор не перевищує 1. Але є й такі елементи, у яких він усе-таки досяг значення більшого за 1 (наприклад: зв'язки між колонами, зв'язки з покриттям).

Для запобігання перевитрати матеріалу в елементів із критичним фактором набагато меншим, ніж 1, і визначення оптимального перерізу для елементів із тах критичним фактором, проводимо підбір перерізів у SCAD. Розрахунок буде проводитися кілька разів.

Критичний фактор для другого варіанту ангара після підбору жорсткостей має такий вигляд

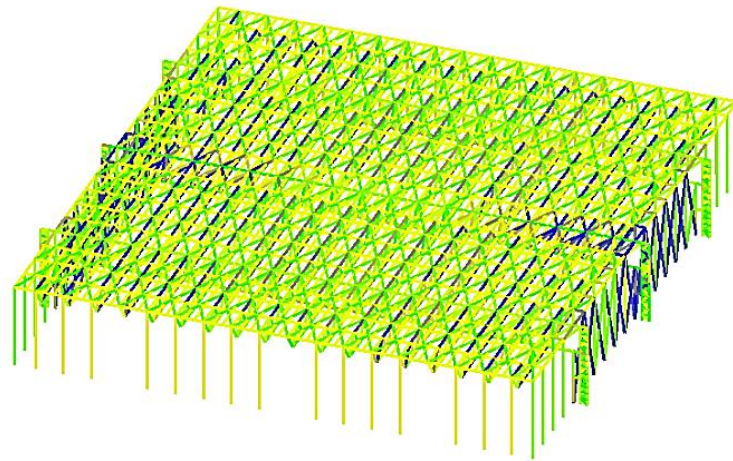
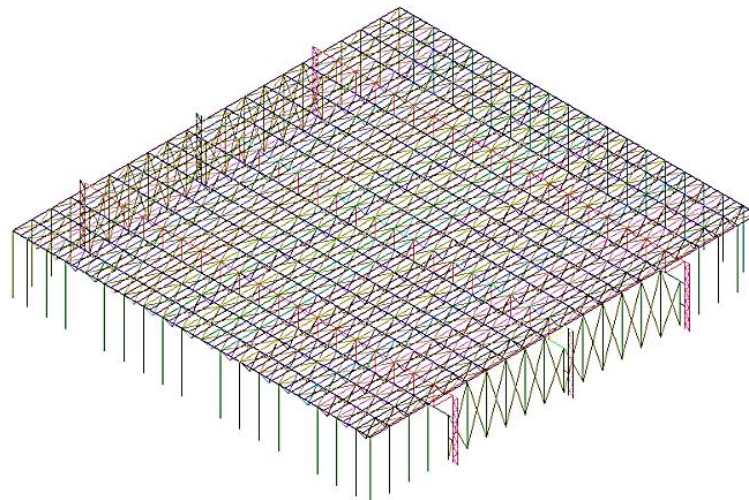


Рисунок 2.44 - Критичний фактор для схеми 2

Після підбору перерізів для 2 варіанту ангара було призначено жорсткості, які показано на рисунках 2.45, 2.46



а)

--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--

б)

а) схема каркасу; б) умовні позначення підібраних перерізів.

Рисунок 2.45- Жорсткості після підбору для схеми 2

2.2 Розрахунок каркасу будівлі на особливі навантаження

Пожежа. Навантаження від пожежі для другої схеми моделюється так само, як і для першої.

Для другого каркасу розташування евакуаційних виходів аналогічно першому. Пожежу розташовуємо в місці, найбільш віддаленому від евакуаційних виходів. Черговість втрати несучої здатності конструкціями призначається згідно з [8].

Конструкції виходять з ладу в такому порядку:

- частина ферм і ригеля рами - R15;
- балки та прогони-R15;
- зв'язки за покриттям - R30;
- зв'язки між колонами-R30;
- колони - R90.

У підсумку виходять такі результати критичного фактора для каркасу будівлі з розташуванням несучих елементів усередині щодо покрівельних огорожувальних конструкцій

Вихід з ладу частини ферм і ригеля рами

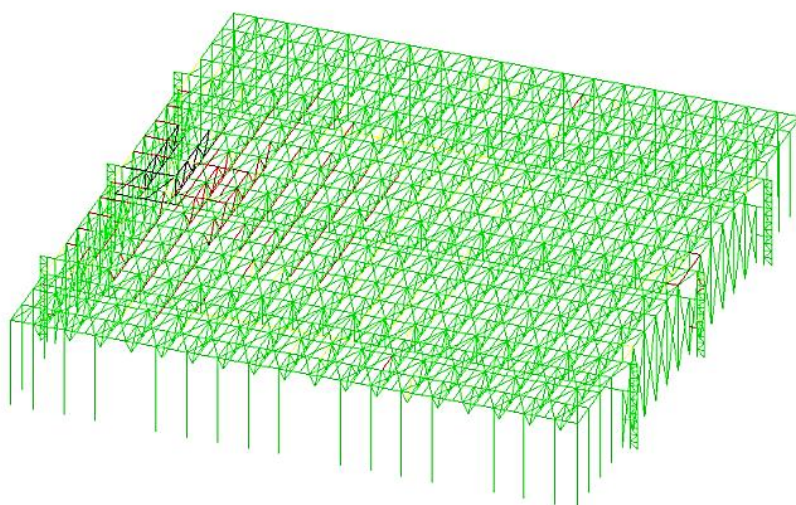


Рисунок 2.46 - Критичний фактор для каркасу будівлі 2 у разі виходу з ладу частини ферм і ригеля рами

Вихід з ладу балок і прогонів:

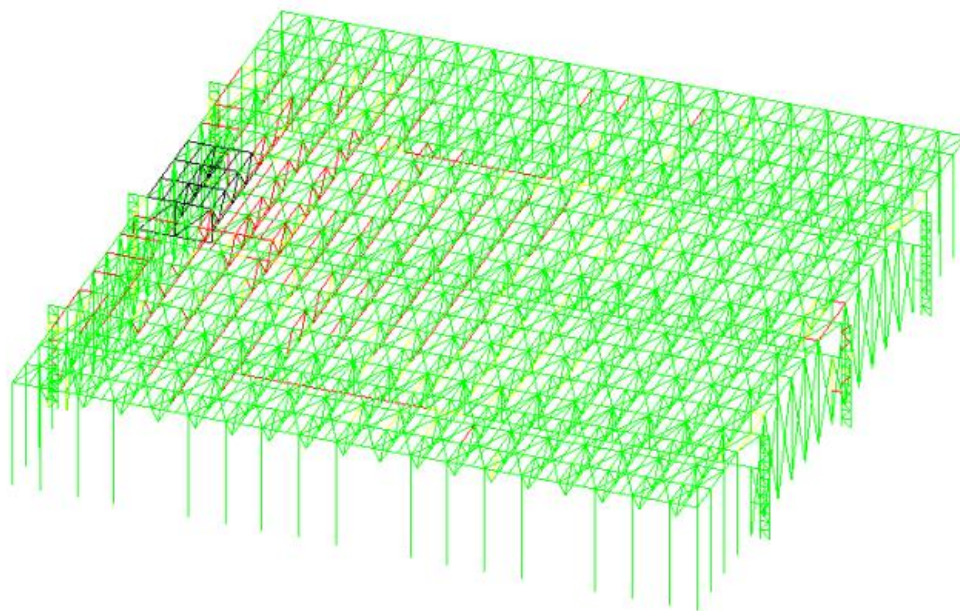


Рисунок 2.47 - Критичний фактор для каркасу будівлі 2 у разі виходу з ладу балок і прогонів

Вихід з ладу зв'язків по покриттю:

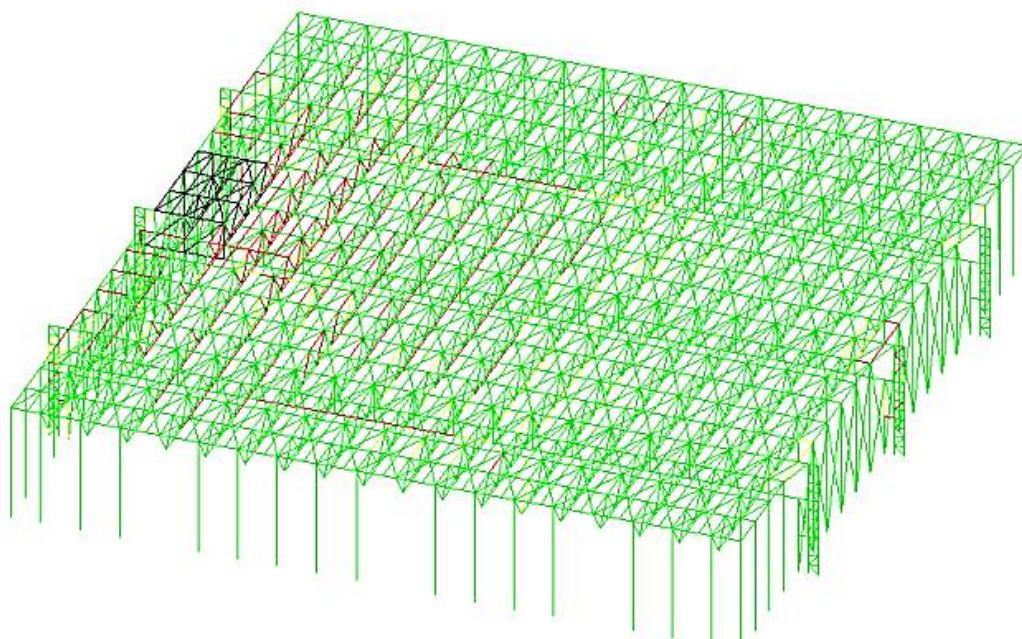


Рисунок 2.48 - Критичний фактор для каркасу будівлі 2 у разі виходу з ладу зв'язків по покриттю

Вихід з ладу зв'язків між колонами:

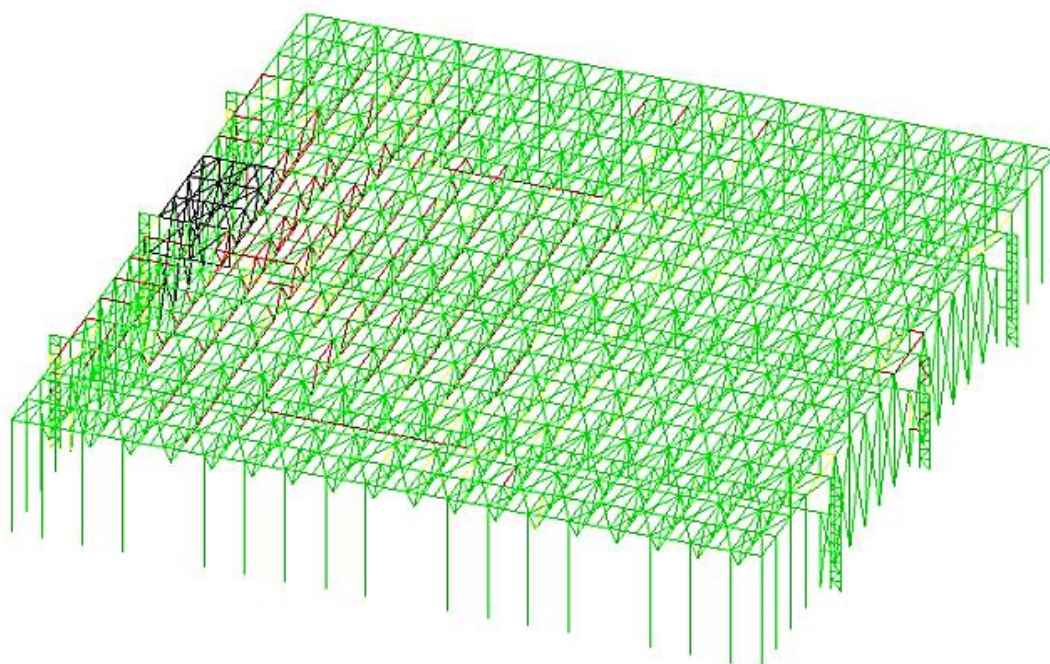


Рисунок 2.49 - Критичний фактор для каркасу будівлі 2 у разі виходу з ладу зв'язків між колонами

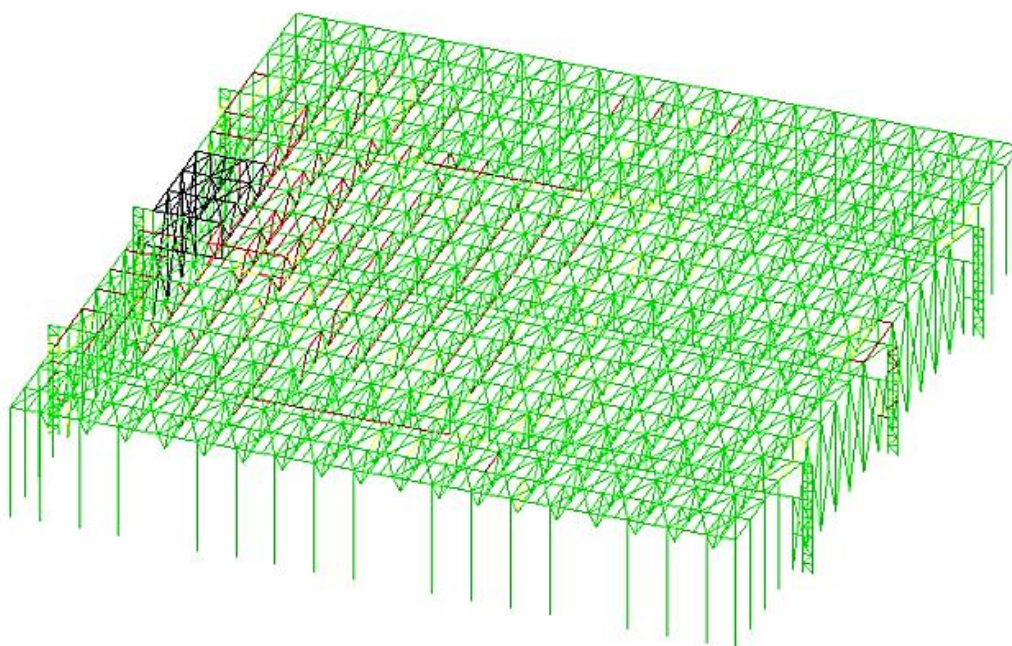


Рисунок 2.50 - Критичний фактор для каркасу будівлі 2 при виході з ладу колон

На наступному рисунку представлено деформації схеми, що виникли внаслідок виведення з ладу конструкцій під час пожежі

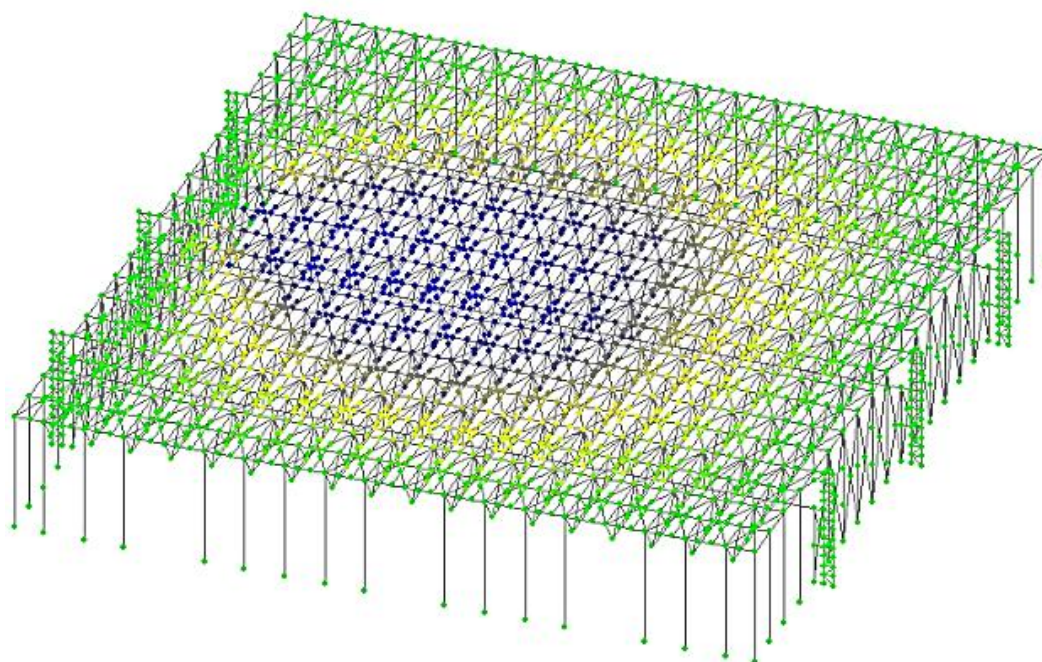


Рисунок 2.51- Переміщення від комбінації навантажень

Результати навантаження від пожежі на схему два зведемо в таблиці 2.7.

Таблиця 2.7- Результати при завантаженні схеми 2 навантаженням від пожежі

Схема до особливого навантаження/з урахуванням особливого навантаження	Максимальне значення переміщення, мм
Схема до особливого навантаження	308,64
Схема з урахуванням особливого навантаження	458,46

При застосуванні навантаження від пожежі, другий варіант каркасу критичний фактор перевищив допустиме значення у 442 елементів, в основному це елементи покриття (прогони, балки, елементи ферми). Переміщення порівняно зі схемою без урахування особливого навантаження збільшилися на 149,82 мм, що становить 48,5 %. Згідно з [2] максимально допустиме переміщення для даного авіаційного ангара не повинно перевищувати 370 мм, що говорить про те, що прогини більші за максимально допустиме значення. До того ж, після того як елементи, які схильні до пожежі, втратили несучу здатність, більшість елементів покриття втратять свою життєздатність.

Внутрішній вибуховий вплив

Габарити і розташування приміщень аналогічно першій схемі.

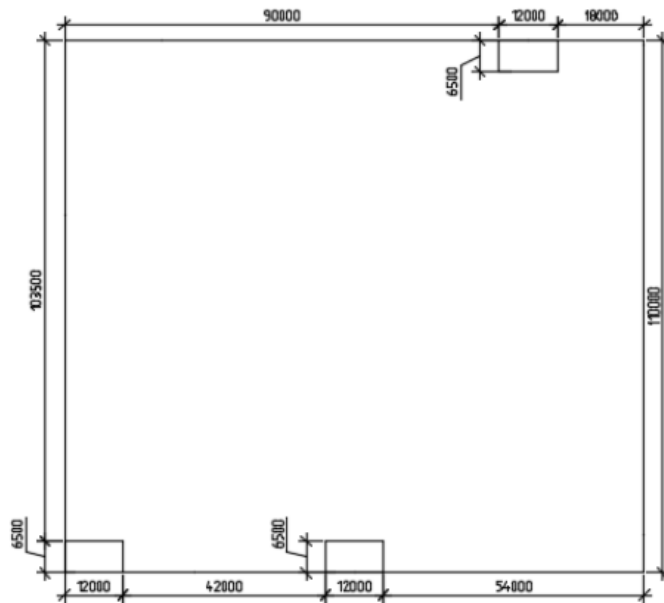


Рисунок 2.52 - Схема розміщення приміщень під авіаційне паливо та їхні габарити

Як вентилявані отвори передбачимо двері та ворота з такими розмірами: 2 двері двопільні протипожежні 2000х2400 мм, ворота розпашні 3000х4500 мм.

Визначимо статичний тиск від вибуху за формулами (1), (2)

$$p_d = 3 + p_v = 3 + 0,7 = 3,7 \text{ кПа},$$

$$p = 3 + 0,5 \cdot p + 0,04 / (A_v / V)^2 = 70,01 \text{ кПа}.$$

Обираємо більше $p_d = 70,01 \text{ кПа} = 70,01 \text{ кН/м}^2$.

Значення тиску перемножуємо на вантажну площу: для вертикальних поверхонь на колони і фахверки з кроком 6 м, на покриття з кроком прогонів 2 і 2,5 м.

На колони: $P = 70,01 \cdot 6 = 420,06 \text{ кН/м}$. На прогони: $= 70,01 \cdot 2,5 = 175,03 \text{ кН/м}$.
На прогони: $P = 70,01 \cdot 2 = 140,02 \text{ кН/м}$.

Для другої схеми отримуємо такі значення критичного фактора і переміщень при першому розташуванні приміщення

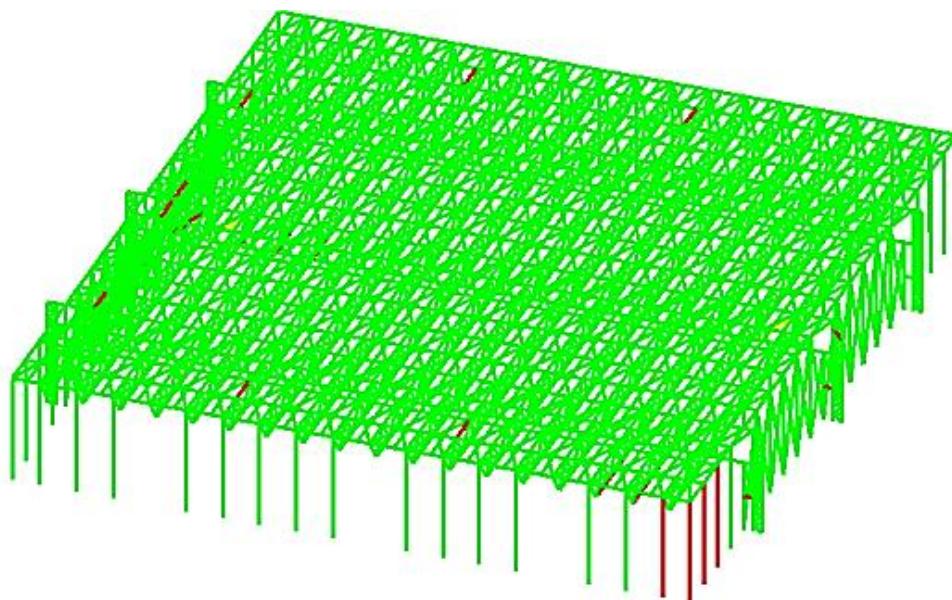


Рисунок 2.53 - Критичний фактор при першому розташуванні приміщення при навантаженні від вибуху

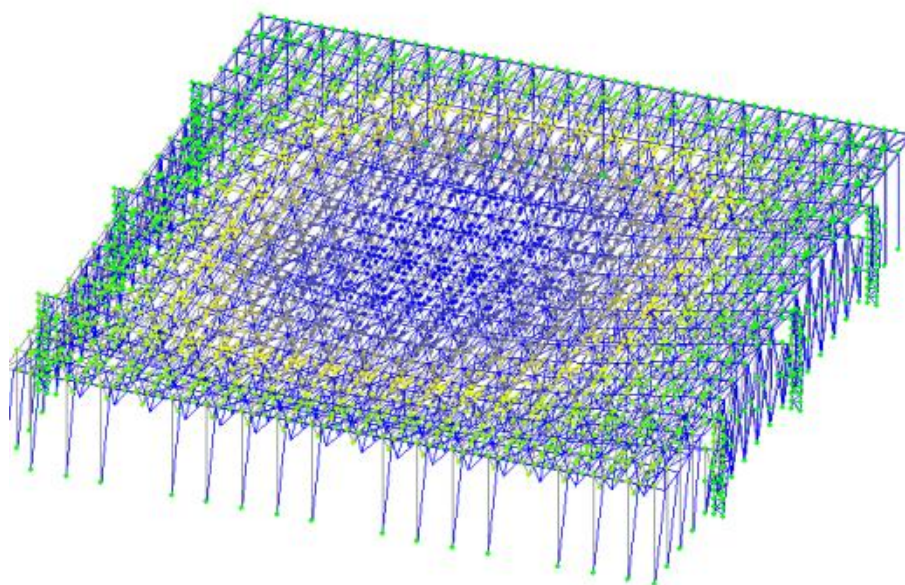


Рисунок 2.54 - Переміщення від комбінації навантажень

Для другого приміщення критичний фактор і переміщення такі:

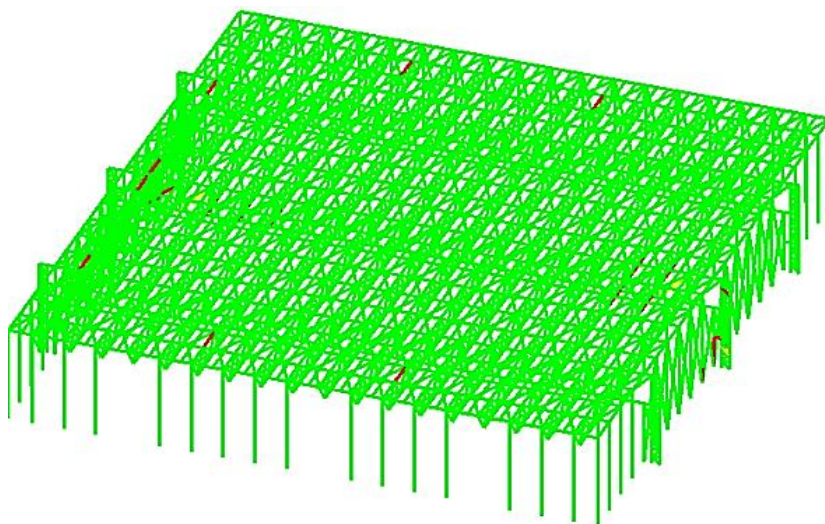


Рисунок 2.55 - Критичний фактор при другому розташуванні приміщення при навантаженні від вибуху

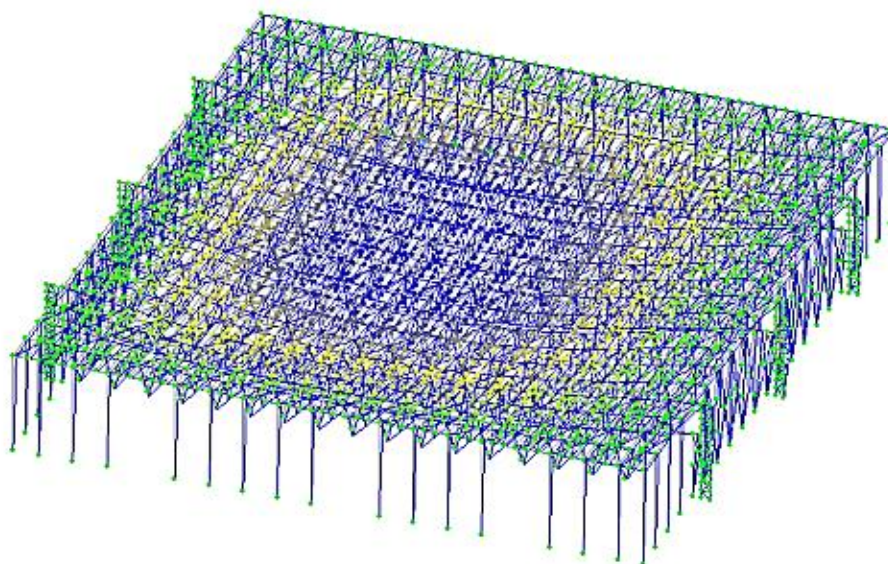


Рисунок 2.56 - Переміщення від комбінації навантажень

Для третього приміщення критичний фактор і переміщення такі:

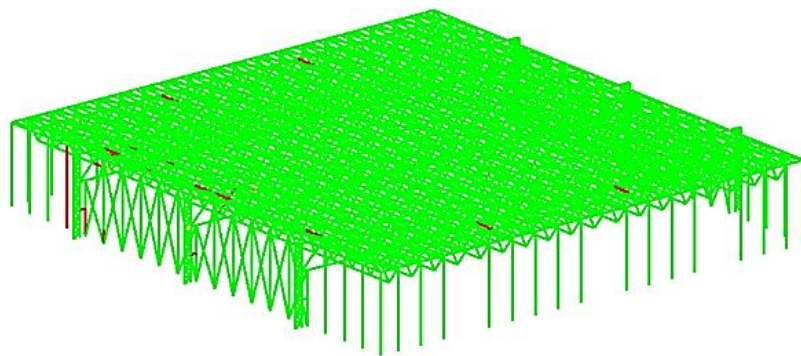


Рисунок 2.57 - Критичний фактор при третьому розташуванні приміщення при навантаженні від вибуху

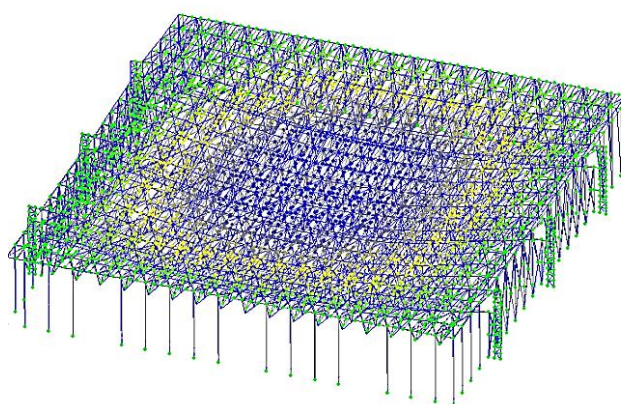


Рисунок 2.58 - Переміщення від комбінації навантажень

Результати навантаження від внутрішнього вибухового впливу на схему два зведемо в таблицю 2.8.

Таблиця 2.8- Результати при завантаженні схеми 1 навантаженням від вибуху

Номер приміщення	Значення критичного фактору	Кількість елементів
1	0.13-0.99	6499
	0.99-1.01	3
	1.01-28,19	26
2	0.13-0.99	6497
	0.99-1.01	4
	1.01-2.27	27
3	0.13-0.99	6495
	0.99-1.01	4
	1.01-1.92	29

Таблиця 2.9- Значення переміщень

Номер приміщення	Схема до особливого навантаження	Схема з урахуванням особливого навантаження
1	308,64	307,35
2	308,64	286,84
3	308,64	300,35

При застосуванні внутрішнього вибухового впливу на другий варіант каркасу призначили три можливі варіанти розташування приміщень. У підсумку найбільша кількість елементів, що втратили несучу здатність (33 елементи), виникла при розташуванні приміщення з лівого боку будівлі біля останньої рами (приміщення 3). Переміщення порівняно зі схемою без урахування особливого навантаження зменшилися до мінімального значення 286,84 мм, у приміщенні 2, розташованому праворуч у середній частині будівлі. Менший критичний фактор виник при розміщенні приміщення 1.

Отже, необхідно розміщувати приміщення зі зберіганням авіаційного палива, як розміщено приміщення 1.

2.3 Висновки з розділу 2

У розділі 2 були проведені чисельні дослідження для каркасів будівель з несучими елементами зовні і всередині щодо покрівельних огорожувальних конструкцій. Проведено компонування каркасу і збір навантажень для двох схем.

У результаті розрахунку на основні види навантажень усі елементи було розбито на групи й уніфіковано, далі зроблено підбір перерізів для уніфікованих елементів за допомогою ПК SCAD. За найнесприятливішої комбінації навантажень найбільші значення переміщень для схеми 1 дорівнюють 241,74 мм, а для схеми 2 - 308,64 мм, максимально допустимі прогини для цієї будівлі прольотом 111 м згідно з [2] не повинні перевищувати 370 мм. Можна зробити висновок, що обидві будівлі є працездатними.

Під час розрахунку на вплив від пожежі було з'ясовано, що в першій схемі в момент, коли межа вогнестійкості буде перевершена в усіх конструкцій, які

зазнають впливу вогню, у 47 елементів критичний чинник досягне значення більше одиниці, а деформації досягнуть значення 262,56 мм, що на 20,82 мм більше, ніж у цієї ж схеми за основної комбінації навантажень. У другій схемі під час пожежі з ладу вийде вже більша кількість елементів, а саме 422. Деформації досягли значення 458,46 мм, що на 149,82 мм більше, ніж на схемі з основними навантаженнями.

Під час розрахунку на внутрішній вибуховий вплив для схеми один вигіднішим за всіх було розміщення приміщення праворуч у середній частині будівлі, оскільки з ладу вийшла менша кількість елементів - 4, а деформації зменшилися порівняно з тими, що були без урахування особливого впливу, і дорівнювали 227,11 мм. Для другої ж схеми за кращого розташування приміщення (по лівій стороні будівлі, біля останньої основної рами) працездатність втратили 29 елементів, а деформації зменшилися до значення 307,35 мм.

Отже, з погляду безпеки кращий перший варіант ангару.

РОЗДІЛ 3

ВИБІР ОПТИМАЛЬНОГО ВАРІАНТУ КАРКАСУ І РОЗРОБЛЕННЯ КОНСТРУКТИВНИХ РІШЕНЬ

У цьому розділі буде проведено аналіз розрахунків, виконаних у другому розділі, на підставі якого буде обрано оптимальний каркас ангара. А також буде наведено деякі конструктивні рішення для обраного каркасу.

3.1 Аналіз результатів розрахунку та їх порівняння

Для того щоб виконати аналіз розрахунку, виконаємо зіставлення критичного чинника і значень переміщень у таблицях для першої та другої схем.

Таблиця 3.1 - Зіставлення значень критичного фактору й елементів, що вийшли з ладу для схем 1 і 2

Найменування особливого навантаження	Значення критичного фактору		Кількість елементів	
	Схема 1	Схема 2	Схема 1	Схема 2
Пожежа (межа вогнестійкості перевершена у всіх конструкцій, які піддаються впливу вогню)	0.11-0.9	0.11-0.9	6352	6352
	0.9-1.1	0.9-1.1	22	133
	1.1-2.84	1.1-31.09	25	289
Внутрішній вибуховий вплив	0.11-0.9	0.13-0.99	6476	6499
	0.9-1.01	0.99-1.01	0	3
	1.01-1,6	1.01-28,19	4	26

Таблиця 3.2 - Зіставлення значень переміщень для схем 1 і 2

Найменування особливого навантаження	Переміщення до особливого навантаження, мм		Переміщення з урахуванням особливого навантаження, мм	
	Схема 1	Схема 2	Схема 1	Схема 2
Пожежа	241,74	308,64	262,56	458,46
Внутрішнє вибухове вплив	241,74	308,64	227,11	307,35

Аналізуючи таблиці, наведені вище, можна зробити висновок про те, який каркас краще використовувати як ангар для гвинтокрилів.

Зіставивши значення критичного фактору, кількість елементів, що вийшли з

ладу, а також отримані при цьому переміщення, очевидно, що особливе навантаження, від якого найбільше страждає каркас - це пожежа (причому і для першої, і для другої схем).

Найменше зазнає шкоди перша схема від внутрішнього вибухового впливу, незважаючи на те, що з ладу виходить більша кількість елементів, ніж під час температурного впливу, переміщення тут дорівнюють 227,11 мм, що менше на 93,33 мм, ніж під час третього особливого навантаження.

Для другої схеми найбезпечнішим виявився екстремальний температурний вплив, де з ладу вийшло 26 елементів, а переміщення порівняно з переміщеннями до особливого навантаження практично не змінилися.

Покладаючись на значення, наведені в таблицях, очевидно, що каркас будівлі з несучими конструкціями всередині відносно покрівельних огорожувальних конструкцій гірше чинить опір під час дії на нього особливих навантажень, як-от пожежа, внутрішня вибухова дія, під час екстремального температурного впливу переміщення залишаються колишніми, а ось кількість елементів, що вийшли з ладу, більша, ніж у першому каркасі.

Ґрунтуючись на всіх результатах і висновках, зроблених вище, як оптимальний каркас для ангару обираємо каркас із несучими конструкціями ззовні щодо покрівельних огорожувальних конструкцій.

РОЗДІЛ 4

ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

4.1 Охорона праці

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

Конституція України містить положення, що гарантують право кожного громадянина на безпечні умови праці (ст. 43, 45, 46, 49, 57). Вона визначає основні принципи захисту працівників та їх соціального забезпечення.

Кодекс законів про працю України регулює трудові відносини, включаючи права та обов'язки роботодавців і працівників у сфері охорони праці. Він встановлює вимоги до організації безпечних умов праці та відповідальність за порушення цих норм.

До основних законодавчих актів, що безпосередньо стосуються охорони праці, належать:

Закон України "Про охорону праці" – визначає основні принципи державної політики у сфері охорони праці, права працівників і роботодавців, а також заходи безпеки на виробництві. Закон України "Про загальнообов'язкове державне соціальне страхування від нещасного випадку на виробництві та професійного захворювання" – регулює порядок компенсацій та соціального захисту працівників, які постраждали під час виконання службових обов'язків. Закон України "Про охорону здоров'я" – визначає основи медичного забезпечення працівників та профілактичні заходи у сфері трудової діяльності. Закон України "Про пожежну безпеку" – встановлює вимоги щодо запобігання пожежам на робочих місцях та порядок їх ліквідації. Закон України "Про використання ядерної енергії і радіаційний захист" – регулює заходи безпеки у сфері ядерної енергетики та захист працівників від шкідливого впливу радіації. Закон України "Про забезпечення

санітарного й епідемічного благополуччя населення" – містить норми щодо санітарних умов праці, профілактики професійних захворювань. Закон України "Про цивільну оборону" – регулює заходи безпеки у разі надзвичайних ситуацій, що можуть виникнути на виробництві.

4.1.1 Інженерні рішення з охорони праці

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

При виробництві будівельно-монтажних робіт необхідно дотримуватись вимог [28]. Чинна система охорони праці (трудове законодавство, виробнича санітарія та техніка безпеки) забезпечує належні умови праці робітникам-будівельникам, підвищення культури виробництва, безпеку робіт та їх полегшення, що сприяє підвищенню продуктивності праці. Створення безпечних умов праці у будівництві тісно пов'язане з технологією та організацією виробництва. Відповідальність за безпеку робіт покладено у законодавчому порядку на технічних керівників будівель – головних інженерів та інженерів з охорони праці, виробників робіт та будівельних майстрів. Керівники будівництва зобов'язані організувати планування заходів з охорони праці та протипожежної техніки та забезпечити проведення цих заходів у встановлені терміни. Поліпшення організації виробництва, створення на будівельному майданчику умов праці, що усувають виробничий травматизм, професійні захворювання та забезпечують нормальні санітарно-побутові умови – одне з найважливіших завдань, від успішного вирішення якого залежить подальше підвищення продуктивності праці на забудовах.

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

- дотримання правил охорони праці, здійснення заходів з техніки безпеки та виробничої санітарії;
- розробка перспективних планів та угод колективних договорів щодо покращення та оздоровлення умов праці;

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

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

4.1.2 Огородження території

Територія будівельного майданчика має бути виділена на території огорожами:

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

Панелі огорож повинні бути прямокутними зі стандартною довжиною $L=1,2; 1,6; 2,0$ м. Відстань між суміжними елементами огороження заповнення полотна

панелей має бути 80...100 мм. Відстань між стійками сигнальних огорож не більше 6 м.

4.1.3 Визначення небезпечних зон на будівельному майданчику

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

Згідно [14] до зон 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.

4.2 Безпека в надзвичайних ситуаціях

4.2.1 Законодавча база України

Основу нормативно-правової бази в сфері цивільної оборони, захисту

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

4.2.2 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:

1. 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:

$L_p = H_1 + H_2 + (15 \dots 20)$, де H_1 і H_2 — 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 випромінювання 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 [28].

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 міські каналізаційні 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 [28].

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.

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.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

У межах цієї кваліфікаційної роботи на етапі чисельних досліджень каркасів було проведено розрахунки двох варіантів ангарів на основні та особливі навантаження в програмному комплексі SCAD office.

Розглядали вплив таких особливих навантажень: пожежа, внутрішній вибуховий вплив. Дослідження проводилися для каркасу з несучими конструкціями зовні відносно покрівельних огорожувальних конструкцій і для каркасу з несучими конструкціями всередині відносно покрівельних огорожувальних конструкцій.

Наступним кроком був аналіз результатів розрахунку, їх порівняння. Надалі обрано оптимальний варіант каркасу ангара.

Для обраного каркасу розроблено конструктивні рішення.

На основі досліджень можна зробити такі висновки:

- під час розрахунку двох варіантів каркасів на основні види навантажень і під час підбору перерізів у ПК SCAD з'ясовано, що на каркас із несучими конструкціями ззовні щодо огорожувальних конструкцій покрівлі переважно підбирають більші перерізи, ніж на другий варіант каркасу;
- в ангарі з першим варіантом каркасу виникають переміщення, які менші, ніж у другому ангарі на 27,8 %;
- розрахунок на особливі види навантажень, а саме пожежу, внутрішній вибуховий вплив, екстремальний температурний вплив, показав, що найнебезпечніше для двох варіантів ангара - пожежа;
- для каркасу з несучими конструкціями всередині відносно покрівельних огорожувальних конструкцій переміщення під час пожежі більші на 74,6 %, ніж переміщення за того самого навантаження в першому варіанті каркасу, і становлять 458,46 мм. Таке значення переміщення є неприпустимим (максимально допустиме переміщення для цього ангара прольотом 111 м 370 мм);
- так само в другому каркасі під час виходу з ладу конструкцій, які піддаються впливу пожежі, відбувається послідовне обвалення великої кількості

елементів покриття;

- чисельне дослідження на внутрішній вибуховий вплив виявило, що переміщення у другого ангара більші, ніж у першого на 35,3 %;
- при температурному впливі у другого варіанту переміщення менше, ніж у варіанті 1 на 3,7 %
- ґрунтуючись на чисельних дослідженнях, проведених у ПК SCAD, очевидно, що не тільки з погляду безпеки й надійності, а й з позиції естетичної привабливості, каркас із несучими конструкціями зовні щодо огорожувальних конструкцій покрівлі є оптимальним;
- для обраного каркасу ангара розроблено конструктивні та вузлові рішення для основних несучих конструкцій.

БІБЛІОГРАФІЯ

1. Ковальчук Я. О. Методичний посібник для виконання кваліфікаційної роботи магістра за спеціальністю 192 “Будівництво та цивільна інженерія” / Я. О. Ковальчук, Г. М. Крамар, О. М. Мещерякова. - Тернопіль: ТНТУ, 2020. – 56 с.
2. ДБН В.1.2-2:2006. Навантаження і впливи / Мінбуд України. К: Сталь, 2006. – 70 с.
3. ДБН В.1.2-2:2006 "Навантаження і впливи. Норми проектування"
4. ДБН В.2.6-198:2014 Сталеві конструкції. Норми проектування
5. https://en.wikipedia.org/wiki/Bessonneau_hangar
6. ДСТУ 8855:2019 Будівлі та споруди. Визначення класу наслідків (відповідальності)
7. Пічугін, С. Ф. (2018). Металеві конструкції: курс лекцій. Ч. 2: Сталеві каркаси одноповерхових виробничих будівель (ОВБ).
8. ДБН В.1.1-7:2016 Пожежна безпека об'єктів будівництва. Загальні вимоги
9. Коломійчук, Г. П. (2019). Стійкість металевих одноповерхових сітчастих куполів з початковими недосконаlostями.
10. Ткачук, В. С., & Девін, В. В. (2015). Розрахунок монтажних напружень в шарнірно-стержньових системах з використанням методу скінчених елементів.
11. ДСТУ 4484:2005 Прокат сортовий і фасонний зі сталі вуглецевої звичайної якості. Загальні технічні умови
12. ДСТУ 8943:2019 Труби сталеві електрозварні
13. ДСТУ 9218:2023 Труби сталеві зварні прямошовні. Технічні умови
14. 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.
15. <https://prom.ua/ua/p1441084120-beskarkasnyj-arochnyj-angar.html>
16. https://agrovektor.com/ua/physical_product/993645-beskarkasnye-angary.html

17. <https://tentshop.com.ua/tentovi-anhary-pid-kliuch-vid-vyrobnyka-tent-ua-anhary-tentovi-sklady-paviljony-tentovi-dlia-vyrobnytstva-tent-ua/>
18. <https://metangar.com.ua/uk/karkasni-angari/>
19. Підгурський, М. І., & Підгурський, І. М. (2021). Проектування металевих конструкцій. Сталевий каркас одноповерхової виробничої будівлі. Теоретичні основи проектування з прикладами розрахунку.
20. Vayas I. Design of Steel Structures to Eurocodes / School of Civil Engineering National Technical University of Athens Athens, Greece, 2019 – 381- 389с;
21. Підгурський, Микола Іванович, et al. "Дослідження напружено-деформівного стану Т-подібного з'єднання елементів тонкостінних профільних труб." *Матеріали I Міжнародної науково-технічної конференції „Прикладна механіка“* (2024): 270-273.
22. ДБН В.2.6-198:2014 Сталеві конструкції. Норми проектування.
23. ДБН В.2.5-28:2018 Природне і штучне освітлення
24. ДСТУ-Н Б В.2.6-146:2010 Конструкції будинків і споруд. Настанова щодо проектування й улаштування вікон та дверей
25. ДБН В.2.6-31:2021 Теплова ізоляція та енергоефективність будівель
26. ДСТУ-Н Б В.1.1-27:2010 Захист від небезпечних геологічних процесів, шкідливих експлуатаційних впливів, від пожежі. Будівельна кліматологія.
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. 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.
36. Методичні вказівки для написання розділу дипломного проекту з дисципліни «Охорона праці в галузі» / В. Б. Каспрук. - Тернопіль: ТНТУ, 2017. — 14 с.