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

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

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття освітнього ступеня

магістр
(назва освітнього ступеня)

на тему: Дослідження напружено-деформівного стану ферми із полегшених сталевих елементів

Виконав: студент 6 курсу, групи МБмн-61
спеціальності 192 «Будівництво та цивільна інженерія»
(шифр і назва спеціальності)

(підпис) Владика Ю.С. (прізвище та ініціали)

Керівник (підпис) Пиндус Ю.І. (прізвище та ініціали)

Нормоконтроль (підпис) Данильченко С.М. (прізвище та ініціали)

Рецензент (підпис) Заєць М.Т (прізвище та ініціали)

Тернопіль 2021

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

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

Кафедра будівельної механіки
(повна назва кафедри)

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри будівельної механіки
_____ Ясній В.П.
(підпис) (прізвище та ініціали)
« » 2021 р.

ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

на здобуття освітнього ступеня **магістр**
(назва освітнього ступеня)

за спеціальністю 192 «Будівництво і цивільна інженерія»
(шифр і назва спеціальності)

студенту Владиці Юрію Святославовичу
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Дослідження напружено-деформівного стану ферми із полегшених сталевих елементів

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

Затверджені наказом ректора від «___» _____ 20___ року № _____

2. Термін подання студентом завершеної роботи _____

3. Вихідні дані до роботи _____

4. Зміст роботи (перелік питань, які потрібно розробити)
1) Літературний огляд
2) Розрахунок у стрижневій постановці
3) Чисельне моделювання в ПК Ансіс. Статична задача
4) Чисельне моделювання стійкості в ПК Ансіс
5) Порівняння результатів розрахунку об'ємної та стрижневої моделей
6) Розрахунок модифікованої ферми
7) Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях
8) Висновки

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень, слайдів)
Пояснювальна записка 60-80 аркушів формату А4, мультимедійна презентація 15-25 слайдів.

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Основна частина	Пиндус Ю.І.,к.т.н., ст. викл.		
Охорона праці	Каспрук В.Б., к.т.н., доц.		
Безпека в надзвичайних ситуаціях	Клепчик В.М. ст. викл.		
Нормоконтроль	Данильченко С.М., ст. викл.		

7. Дата видачі завдання _____

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1	Літературний огляд		
2	Розрахунок у стрижневій постановці		
3	Чисельне моделювання в ПК Ансіс. Статична задача		
4	Чисельне моделювання стійкості в ПК Ансіс		
5	Порівняння результатів розрахунку об'ємної та стрижневої моделей		
6	Розрахунок модифікованої ферми		
7	Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях		
8	Висновки		

Студент _____ Владика Ю.С.
(підпис) (прізвище та ініціали)

Керівник роботи _____ Пиндус Ю.І.
(підпис) (прізвище та ініціали)

ЗМІСТ

ВСТУП 5

РОЗДІЛ 1. ЛІТЕРАТУРНИЙ ОГЛЯД 7

1.1 Опис технології ЛСТК 7

1.2 Обґрунтування розрахункової схеми 14

1.3 Огляд стану питання у вітчизняних нормах 16

1.4 Критичне навантаження 17

РОЗДІЛ 2. РОЗРАХУНОК У СТРИЖНЕВІЙ ПОСТАНОВЦІ 19

2.1 Збір навантажень 19

2.1.1 Початкові дані 19

2.1.2 Постійні навантаження від власної ваги каркаса і огороджувальних конструкцій 19

2.1.3 Тимчасове навантаження від ваги снігового покриву 21

2.1.4 Тимчасове навантаження від вітрового тиску 21

2.1.5 Вітрове навантаження на подовжню сторону будівлі 21

РОЗДІЛ 3. ЧИСЕЛЬНЕ МОДЕЛЮВАННЯ В ПК ANSYS. СТАТИЧНА ЗАДАЧА 24

3.1 Удосконалення методики розрахунку несучих елементів рами з ЛСТК 24

3.2 Алгоритм розрахунку в ANSYS Workbench / Multiphysics 26

3.3 Статичний розрахунок ферми за допомогою об'ємних кінцевих елементів 27

3.4 Результати статичного розрахунку 30

3.5 Висновки по розділу 3 33

РОЗДІЛ 4.ЧИСЕЛЬНЕ МОДЕЛЮВАННЯ СТІЙКОСТІ В ПК ANSYS 34

4.1 Розрахунок на стійкість 34

4.2 Висновки по розділу 4 35

РОЗДІЛ 5. ПОРІВНЯННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ РОЗРАХУНКУ ОБ'ЄМНОЇ ТА

СТРИЖНЕВОЇ МОДЕЛЕЙ 36
5.1 Опис результатів 36
5.1 Висновки і пропозиції по розділу 5 37
РОЗДІЛ 6. РОЗРАХУНОК МОДИФІКОВАНОЇ ФЕРМИ 38
6.1 Внесені зміни 38
6.2 Розрахунок модифікованої ферми 38
6.3 Деформації 38
6.4 Напружено-деформований стан 39
6.5 Стійкість 41
РОЗДІЛ 7 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ 42
7.1 Охорона праці 42
7.1.1 Організація охорони праці працівників на підприємстві 42
7.1.2 Правила поведінки під час виконання робіт з монтажу будівельних конструкцій 47
7.1.3 Висновки до підрозділу 7.1 50
7.2 Безпека в надзвичайних ситуаціях 52
7.2.1 Оцінка стійкості об’єкту (цеху) до впливу ударної хвилі ядерного (техногенного) вибуху і заходи щодо підвищення стійкості 52
7.2.2 Розробка заходів щодо підвищення стійкості промислового об’єкту . 52
7.2.3 Висновки до підрозділу 7.2 56
ВИСНОВОК 57
БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК 58

ВСТУП

В умовах активного розвитку сегмента інноваційних будівельних технологій постійно збільшується число проектно-будівельних компаній, що пропонують клієнтам сучасні та економічно обґрунтовані комплексні будівельні системи і послуги.

До числа подібних пропозицій сьогодні відноситься і швидке будівництво будівель і споруд з металевим каркасом з ЛСТК (легких сталевих тонкостінних конструкцій).

Дана технологія будівництва будівель і споруд досить широко і ефективно використовується в багатьох країнах.

Проблема ЛСТК актуальна не тільки в Україні але і в світі. Хоча такими вченими, як Тимошенко С.П., Власов В.З., Білий Г. І., Перельмутер А. В., Слівкер В. І., Бичков Д.В. був зроблений величезний внесок в розвиток цього питання але практичне застосування та впровадження в нормативну базу дослідження отримали за кордоном.

Мета роботи: зниження вартості ферми із легких сталевих конструкцій.

Об’єкт дослідження –ферма із легких сталевих конструкцій.

Предмет дослідження – несуча здатність ферми із легких сталевих конструкцій.

Завдання дослідження:

- виявити основні особливості роботи легких сталевих конструкцій;
- з’ясувати основні аспекти конструювання несучих елементів із легких сталевих конструкцій;
- розробити скінченно-елементну стрижневу та об’ємну моделі досліджуваної ферми;
- провести порівняння результатів розрахунку скінченно-елементної стрижневої та об’ємної моделей досліджуваної ферми;

- розробити рекомендації для підвищення запасу по міцності і стійкості конструкції, а також оптимізувати її по міцності, жорсткості, стійкості і вартості;
- розробити заходи охорони праці та безпеки в надзвичайних ситуаціях.

Методи дослідження – аналіз літературних джерел, експериментальні на основі методу скінченних елементів.

Наукова новизна отриманих результатів-отримала подальший розвиток методика моделювання ферм із легких сталевих конструкцій.

Практичне значення отриманих результатів. Отримані результати можуть бути використані для проектування нових та реконструкції існуючих будівель та споруд різноманітного функціонального призначення, а також в лекційних і практичних курсах.

Апробація. Основні положення та окремі результати даного дослідження доповідались на IX Міжнародній науково-технічній конференції молодих учених та студентів «Актуальні задачі сучасних технологій» м. Тернопіль, ТНТУ 25-26.11.2020.

РОЗДІЛ 1. ЛІТЕРАТУРНИЙ ОГЛЯД

1.1 Опис технології ЛСТК

Легкі сталеві тонкостінні конструкції є однією з областей широкого класу легких металевих конструкцій (ЛМК). Під поняттями ЛМК і ЛСТК в літературі розуміється набір якостей, що відбивають досягнення галузі. Характерними рисами ЛМК і ЛСТК є: мала металоємність, висока технологічність і пристосованість для виготовлення на потокових автоматизованих лініях, легкість транспортування, а також для конвеєрно-блокових і інших швидкісних методів монтажу; високий ступінь заводської готовності, можливість комплектної поставки цілих будинків-модулів та їх несучих конструкцій. Основним елементом ЛСТК є тонкостінний холодногнутий оцинкований профіль.

Основні відмінності ЛСТК від традиційних металоконструкцій полягають у наступному:

- застосування холодноформованних профілів з тонкого листового прокату товщиною до 4 мм;
- велика розмаїтість перерізів стрижнів (в тому числі круглі, квадратні, замкнуті і відкриті);
- принципи виконання з'єднань;
- особливості розрахунку та конструювання, пов'язані з малою товщиною профілю.

ЛСТК застосовуються в каркасних будівлях і спорудах різного призначення:

- житлові будинки (одне і багатоповерхові до 3-х, в т.ч. багатоквартирні, мансарди, котеджі, дачні будиночки і т.п.);
- громадські будинки й споруди (будівлі адміністративного та торговельно побутового призначення, гуртожитки, готелі, кафе, ресторани, мансарди, офіси, торгово-виставкові павільйони, автомайстерні, автозаправні станції, казарми,

гаражі, вагончики, навіси, ліхтарі і т.п.) ;

- виробничі та сільськогосподарські будівлі (склади, ангари, виробничі цехи, ферми, овочесховища, оранжереї, теплиці і т.п.).

Застосування ЛСТК особливо ефективно при реконструкції будівель і споруд, наприклад, при надбудові мансардного поверху над існуючою будівлею, створенні вентильованих фасадів, заміні плоских рулонних покрівель на малоуклонні металеві з герметичними стиками, заміні навісних залізобетонних панелей на навісні панелі з каркасом з ЛСТК і ін. Очевидні переваги застосування ЛСТК при реконструкції: зниження навантажень на існуючі конструкції, можливість проведення реконструкції без виселення мешканців і в умовах обмеженого простору, можливість поставки елементів високої заводської готовності, проведення робіт в будь-який час року.

Використання ЛСТК (тонкостінних холодногнутих профілів) в якості стінових і покрівельних прогонів за кордоном є загальновизнаним стандартом. Максимальна ефективність при прольотах до 10 м досягається за рахунок використання нерозрізності і напуск прогонів. Напуск прогонів (і, відповідно, подвійна товщина листа) здійснюється в місцях максимальних згинальних моментів, тобто на опорах нерозрізних балок, що призводить до максимальної економії сталі. Для можливості створення напуску використовуються ЛСТК з Z-подібним перерізом.

За конструктивною ознакою ЛСТК використовуються в якості:

- каркасів огороджувальних конструкцій;
- несучих конструкцій (в тому числі які суміщають в собі функції огороджувальних).

Відзначимо основні переваги ЛСТК в порівнянні з традиційними цегляними, залізобетонними, дерев'яними, а також сталевими (з так званого гарячекатаного «чорного» металу) конструкціями:

- легкість конструкцій в поєднанні з міцністю і стійкістю, зниження

навантажень від власної ваги. Витрата сталі на каркас будівлі становить в середньому 25-50 кг/м^2;

- мала мінімальна площа перерізу дозволяє ефективно використовувати ЛСТК в при малих навантаженнях на стрижні;

- підвищена стійкість до сейсмічних впливів і інших динамічних навантажень;

- зниження транспортних витрат за рахунок зниження маси і перевезення в пакувальній тарі;

- зменшення трудовитрат і енергоспоживання при монтажі;

- скорочення термінів будівництва за рахунок зниження витрат часу на проектування, виготовлення, доставку і монтаж ЛСТК;

- мінімальне використання будівельних машин, а саме, кранів і вантажопідйомних механізмів, можливість вести монтажні роботи в умовах обмеженого простору;

- майже повна відсутність «мокрих» технологічних процесів при будівництві, що дозволяє вести будівництво в будь-який час року і при будь-яких кліматичних умовах;

- можливість використання будь-яких сучасних оздоблювальних матеріалів;

- використання ефективних теплоізоляційних матеріалів в зовнішніх огороджувальних конструкціях;

- вільне планування внутрішніх приміщень;

- комплектність поставки «під ключ», включаючи віконні та дверні рами, сантехнічне обладнання і т.п.;

- відсутність необхідності влаштування фундаментів глибиною закладення 1.5-2.0 м. Для каркасів з ЛСТК придатний фундамент мілкого закладення (монолітна плита) або фундамент на буронабивних палях;

- уніфікація конструкцій і вузлів сполучень;

- можливість розміщення комунікацій усередині каркасних стін і

перекриттів;

- естетичний зовнішній вигляд;
- ефективний захист від корозії.

Зменшення трудовитрат на монтажі та скорочення термінів будівництва досягається завдяки легкості кожного елемента, їх точним розмірам (відхилення по довжині заготовки становить ± 1 мм), маркування та складальними кресленнями стадії КМД, простоті вузлових сполучень.

Простота вузлових сполучень досягається використанням самосвердлувальних самонарізаючих гвинтів (ССГ) або болтів. Зварювання для з'єднання елементів з ЛСТК не використовується.

Виготовлення ТХП (тонкостінних холодногнутих профілів) за допомогою холодного формування засноване на здатності металу до пластичної деформації. Пластична деформація залишається в профілі і після зняття з нього навантаження. При холодному згинанні пластична деформація супроводжується змінами в структурі матеріалу, що виникають в період зміцнення - так званий наклеп матеріалу. У момент закінчення профілювання волокно вихідного матеріалу набуває деформацію, відповідну напрузі вище початкового межі текучості. Внаслідок цього відбувається підвищення межі текучості, а також зниження його пластичності і відносного подовження. Зміни механічних властивостей сталі залежать від ступеня отриманого наклепу. Зміни міцності властивостей сталі залежать від положення волокна в готовому профілі, величини і форми профілю, радіуса гнуття кута, кількості фаз гнучкі під час профілювання і від числа роликів в згинальній машині. Чим коротші прямі ділянки профілю, тим більший ступінь зміни механічних властивостей.

ТХП виготовляють шляхом холодного деформування наступними методами:

- холодне деформування оцинкованого листа на кромкозагинальних пресах;

- холодне деформування оцинкованого листа на прокатних багатовалкових станах.

Другий метод виготовлення потребує менше часу. Замінюючи деформацію розтягування при згинанні стисненням, можна прокатувати профілі різної конфігурації, з гарантованими параметрами (площа перерізу, моменти опору, осьові моменти інерції, радіуси інерції). У меншій мірі утворюються такі дефекти як тріщина, хвилястість, залишкова деформація після відрізу.

Сортамент виготовляються ТХП може бути досить різноманітним (рис. 1.1). Форма поперечного перерізу профілю залежить від його призначення.

Найбільш поширеними типами перерізів ЛСТК для несучих конструкцій є С-, Z- і СІГМА-подібні перерізи. В середньому товщина зазначених профілів варіюється в межах 0.7-3.0 мм, висота 150-300 мм (для сталі С345). Однак, товщина профілів може досягати 4.0 мм, а висота 400 мм (для сталі С255).

У разі недостатньої несучої здатності одиночного профілю використовуються складені перерізи, що складаються з двох і 4-х одиночних (рис. 1.2). Між собою поодинокі профілі з'єднуються на ССГ, заклепках, або болтах як безпосередньо, так і через листові прокладки.

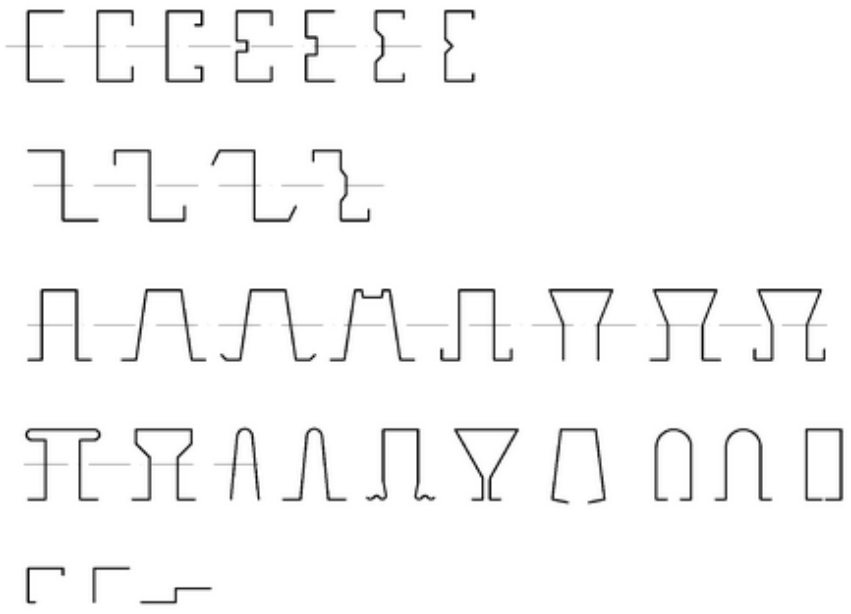

Рис. 1.1 Сортамент ЛСТК (С, СІГМА, Z, П-подібні)

Для стиснутих стержнів доцільно застосовувати коробчасті перерізи з більш жорсткими полками або прямокутні замкнуті профілі. Жорсткість в формі відгину дає кращу розгортку перерізу, збільшує жорсткість профілю і, крім того, зменшує небезпеку втрати місцевої стійкості. Для розтягнутих стрижнів краще застосовувати профілі з менш розвиненим перерізом, тобто з більш товстими стінками, ніж стінки стислих стрижнів.

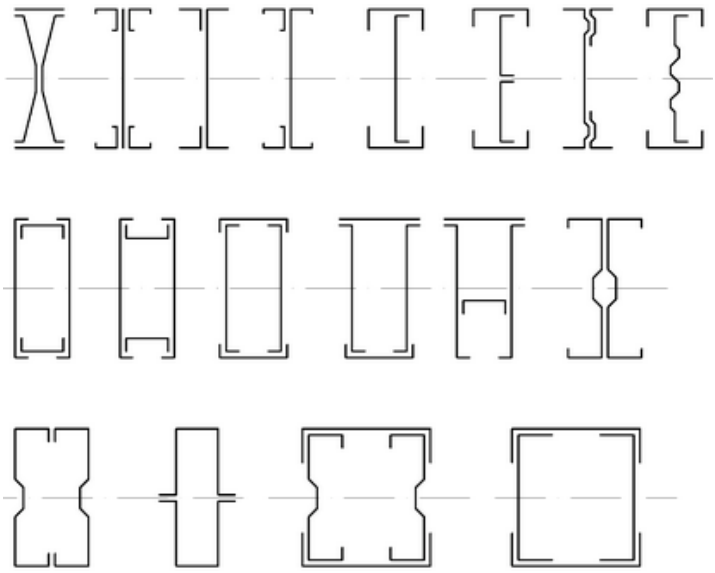

Рис. 1.2 Складені перерізи з ЛСТК

При роботі елемента на кручення перевагу слід віддавати замкнутим перерізам.

ЛСТК призначені для експлуатації в неагресивних і слабоагресивних середовищах в кліматичних районах з температурою зовнішнього повітря не вище + 40°С і не нижче -65°С при вологості повітря не більше 65%. Небажано застосування ЛСТК при динамічних і вібраційних навантаженнях, а також при сейсмічності майданчика будівництва більше 8 балів. Небажано також застосування гнутих профілів для елементів конструкцій, що піддаються ударам і місцевому тиску, які можуть викликати місцеву деформацію профілю.

У більшості випадків ЛСТК виготовляються з сталей за своїми механічними характеристиками відповідним сталей класів С255 і С345. Згідно норм нормативний межа пружності сталі С255 становить 255 Н/мм^2, сталі С345

становить 345 Н/мм^2, міцність на розтяг (нормативний тимчасовий опір) сталі С255 - 380 Н/мм^2, сталі С345 - 490 Н/мм^2. Відносне подовження зазвичай становить не менше 16%. Це значення продиктовано прагненням зберегти необхідну пластичність сталі.

Швидкість корозії незахищених сталевих профілів 0,04-0,16 мм/рік, що досить істотно для малої товщини. Більш істотне значення для будівельних конструкцій має електрохімічна корозія. Для антикорозійного захисту металу використовується цинк, так як він володіє великим негативним електричним зарядом і кородує повільніше.

Корозійна стійкість ЛСТК забезпечується двостороннім цинковим покриттям наноситься гарячим способом. Оцинкування листового прокату здійснюється методом безперервного гарячого занурення в цинковий розплав чистотою 99%. Сумарна маса цинку на двох поверхнях рулонної сталі повинна становити не менше 275 г/м^2, що забезпечує корозійну стійкість профілів протягом не менше 25 років при експлуатації каркаса в умовах неагресивної або слабоагресивної дії середовища.

Для підвищення корозійної стійкості елементів каркасу профілі можуть виконуватися з оцинкованої сталі з додатковим полімерним (на основі поліестеру) або лакофарбовим покриттям.

Зварювання та газове різання ЛСТК не допускаються.

Для підвищення довговічності конструкцій з ЛСТК в конструкціях повинні бути передбачені заходи, що не допускають утворення конденсату на поверхні профілів. При цьому особливу увагу звертають на виконання пароізоляції, гідроізоляції та теплоізоляції, що виключає утворення «містків холоду». Металовироби кріплення (самонарізні гвинти, болти, заклепки) зазвичай мають корозійностійке покриття з кадмію, цинку або інших аналогічних матеріалів товщиною не менше 10 мкм.

З недоліків ЛСТК відзначимо наступні.

-відсутність вітчизняної нормативної бази з розрахунку конструкцій з ЛСТК;

-некоректний результат при застосуванні існуючих методик розрахунку болтових з'єднань для сталевих конструкцій;

-довговічність вузлових з'єднань ЛСТК в слабоагресивних середовищах не перевищує 25 років;

-хиткість перекриття, пов'язана з його деформативність і малою масою;

-висока теплопровідність ЛСТК при відсутності заходів щодо її зниження (наприклад, перфорації);

-мала вогнестійкість конструкцій з ЛСТК при відсутності заходів щодо її зниження (наприклад, підвісної стелі з гіпсокартонних листів);

-більш висока вартість ЛСТК в порівнянні з прокатними профілями;

-більш висока ймовірність пошкодження конструкцій з ТХП при транспортуванні, навантаження-розвантаження, монтажі;

-консерватизм поглядів потенційних замовників і проектувальників на конструкції з ЛСТК;

- відносно невеликі максимальні прольоти (до 24 метрів).

Незважаючи на перераховані недоліки ЛСТК мають свою область застосування, в якій ефективність їх використання вище, ніж використання традиційних конструкцій.

Ферми з ЛСТК з профілями складеного перерізу дозволяють перекривати великі прольоти, але в сучасних публікаціях рідко зустрічаються дослідження, присвячені роботі профілів і практично немає досліджень поведінки конструкції в цілому. Тому було прийнято рішення вивчити роботу ферми за допомогою сучасних методів скінченно-елементного моделювання.

1.2 Обґрунтування розрахункової схеми

ТХП є тонкостінний стержень, тобто стрижень у якого довжина, габарит

перерізу і товщина стінки є величинами різного порядку. Застосування ЛСТК в несучих і огороджувальних конструкціях має ряд особливостей, пов'язаних з тонкостінністю і формою перерізу, роботою з'єднань. Всі будівельні конструкції з ЛСТК є системи з тонкостінних профілів.

Для статичного розрахунку таких систем використовуються загальновідомий, добре розроблений метод - метод скінченних елементів. Конструктивні розрахунки стрижнів, одним із завдань яких є визначення напружено-деформованого стану тонкостінного стержня, виконуються відповідно до норм. Розрахункові поєднання зусиль отримують за підсумками статичного розрахунку стрижневої системи. При цьому в якості розрахункових поперечних перерізів приймаються скорочені перерізи. При визначенні розрахункових геометричних характеристик профілів необхідно враховувати можливе зниження площі робочого перерізу профілю, його моментів інерції і опору за рахунок місцевої втрати стійкості поздовжньо стиснутих полиць і / або стінки профілю в межах його пружної роботи при стисненні і вигині. Скорочена (зменшена) площа перерізу граней.

У описаного вище алгоритму є дуже суттєвий недолік.

Справа в тому, що деформований стан тонкостінної стрижня під навантаженням не описується гіпотезою плоских перерізів, яка прийнята у всіх ПК (програмних комплексах) при створенні стрижневих скінченних елементів. Виявляється, що поперечний переріз тонкостінного стержня крім трьох лінійно незалежних переміщень і трьох лінійно незалежних поворотів має ще одну ступінь свободи - депланація. Внаслідок обмеженої депланації в поперечному перерізі виникають додаткові напруження, що не враховуються при використанні скінченних елементів типу «Просторовий стрижень». Ці напрежуння по величині можуть досягати основних напружень, а спільна дія може істотно посилювати умови роботи конструкції.

Метою дослідження в даному проекті поставлено дослідження

конструктивних рішень і усунення ряду існуючих недоліків ферми з ЛСТК.

Рішення завдань, що випливають з поставлених цілей, буде ґрунтуватися на більш загальному і точному підході (чим стрижневий підхід) до складання розрахункової схеми, а саме об'ємному моделюванні.

1.3 Огляд стану питання у вітчизняних нормах

Застосування несучих конструкцій з тонкостінних гнутих сталевих профілів, активно розвивається в нашій країні в останні роки, стримується обмеженими можливостями застосування вітчизняної нормативної бази для оцінки їх міцності і стійкості.

Головна проблема полягає в тому, що в нормах закладені обмеження на відношення лінійних розмірів і товщини профілю. Ці обмеження гарантують, що при будь-якому типі навантаження несуча здатність елемента по міцності і / або стійкості буде вичерпана перш, ніж відбудеться локальна втрата стійкості в полках і / або стінках профілю.

З іншого боку, локальна втрата стійкості стінки і / або полиці, як правило, не призводить до вичерпання несучої здатності конструктивних елементів. На рис. 3 показана отримана розрахунком з використанням оболонкових елементів перша форма втрати стійкості. За цією формою профіль продовжує нести зростаюче навантаження, хоча і з меншою жорсткістю. Використання оболонкових елементів, та ще з можливістю нелінійного аналізу в закритичній області (рідко в якому програмному комплексі реалізована), - занадто дорогий і трудомісткий шлях для розрахунків реальних конструкцій. З іншого боку, в Європі, де вже давно застосовуються такі конструкції, розроблені методики їх розрахунку, засновані на концепції редукування перерізу.

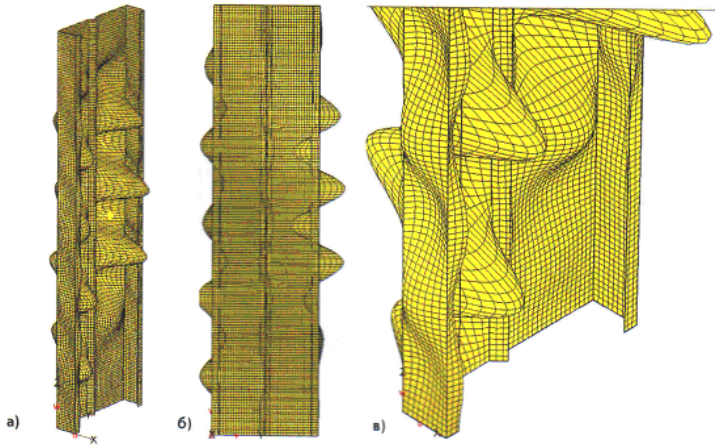

Рис. 1.3 Перша форма втрати стійкості профілю

Як вітчизняні, так і європейські методики перевірки міцності і стійкості елементів конструкцій ґрунтуються на рішенні одних і тих же завдань механіки. Різниця полягає лише в коефіцієнтах і / або алгоритмах зниження критичних зусиль, отриманих в результаті рішення таких задач. Це дозволяє побудувати методики розрахунку несучих елементів з тонкостінних гнутих сталевих профілів, засновані на загальних для всіх норм рішеннях задач механіки, із застосуванням правил зниження критичних зусиль, прийнятих в вітчизняних нормах проектування.

1.4 Критичне навантаження

Критичне навантаження згідно норм лежить трохи вище теоретичної кривої, завдяки врахуванню часткового защемлення стінки. Оскільки різні версії єврокодів 3 сильно розрізняю значення критичного навантаження, при розробці методики перевірки стійкості стінки під дією поперечних сил було прийнято проміжне правило її розрахунку, відповідне британській версії при малій гнучкості і вітчизняним нормам - при великій.

При наявності дотичних напружень критичне навантаження локальної втрати стійкості від стискають напружень знижується. Для величини що використовується для редукування перерізу необхідно врахувати вплив дотичних

напружень на величину коефіцієнта редукування. Для цього на кожній ділянці профілю між ребрами обчислюється середня напруга зсуву від поперечних сил. Потім, в залежності від характеру розподілу нормальних напружень на ділянці, обчислена умовна гнучкість ділянки до множиться на

$\sqrt[4]{1-\left(\frac{\tau}{\tau_{cr}}\right)^2}$ коефіцієнт кт при переважно стискаючих напружених, (1.13)

при переважно згинальних напружених (1.13), після чого виконується редукування перерізу по (2.5).

При вигині в одній площині для обліку взаємодії поздовжньої сили, моменту і поперечної сили за правилами єврокодів 3 необхідно виконати перевірку:

$$\frac{N}{A_{eff}R_y\gamma_c}+\frac{M}{W_{eff}R_y\gamma_c}+\left(1-\frac{M_f}{M_{pl}}\right)\left(\frac{2Q}{Q_w\gamma_c}-1\right)^2\le 1. \qquad (1.14)$$

тут: M_f - пластичний момент опоруперетину, що складається тільки з скорочених полиць,

M_{pl} - пластичний момент опору перерізу, що складається з редуцированих полиць і нередуцированної стінки,

Qw - граничне зсувне зусилля в стінці, яке визначається за допомогою.

при $Q\le 0{,}5Q_w$ перевірку (1.14) проводити не потрібно.

РОЗДІЛ 2. РОЗРАХУНОК У СТРИЖНЕВІЙ ПОСТАНОВЦІ

2.1 Збір навантажень

2.1.1 Початкові дані

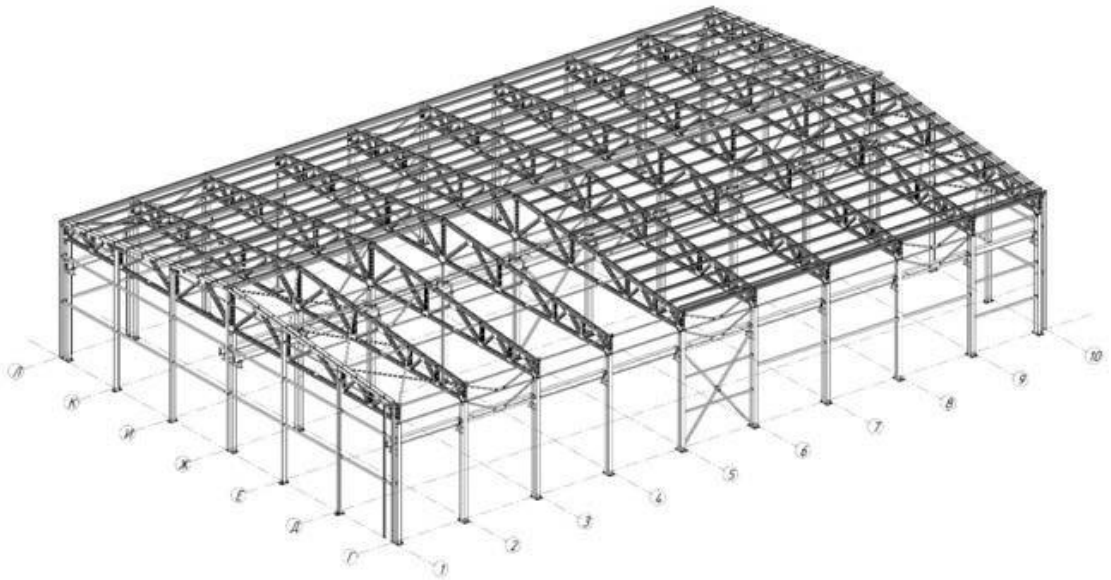

Рис. 2.1 Реальний об'єкт. Загальний вигляд

Сейсмічність до 6 балів включно. Ступінь надійності II - нормальний (γ_n = 1). Сніговий район III. Вітровий район II. Тип місцевості А.

Підрахунок діючих навантажень проведений відповідно до вимог ДБН «Навантаження і впливи»

2.1.2 Постійні навантаження від власної ваги каркаса і огороджувальних конструкцій

Власна вага каркаса задається в програмному комплексі в автоматичному режимі окремим завантаженням.

Власна вага огороджувальних конструкцій збираємо в табличній формі (табл.2.1-2.2).

Таблиця 2.1 Власна вага покриття

Навантаження	Нормативне навантаження $q_н$, кг / $м^2$	Коефіцієнт навантаження γ_f	Розрахункове навантаження $q_р$, кг / $м^2$
профлист С44-0.7	7.4	1.05	7.77
плівка вітрозахисна			1
прогони	4.34	1.05	4.56
утеплювач (Δ = 150мм, γ = 19кг/$м^3$)	2.85	1.2	3.42
плівка пароізоляційна			1
профлист С18-0.7	7.4	1.05	7.77
всього:			25.52

Таблиця 2.2 Власний вага стінових панелей

Навантаження	Нормативне навантаження $q_н$, кг/$м^2$	Коефіцієнт навантаження γ_f	Розрахункове навантаження $q_р$, кг/$м^2$
профлист С18-0.7	7.4	1.05	7.77
плівка вітрозахисна			1
стіновий профіль	7.1	1.05	7.455
утеплювач (Δ = 100мм, γ = 19кг / м3)	1.9	1.2	2.28
плівка пароізоляційна			1
профлист С18-0.7	7.4	1.05	7.77
всього:			27.28

2.1.3 Тимчасове навантаження від ваги снігового покриву

Розрахункове значення снігового навантаження на горизонтальну проекцію покриття визначаємо за формулою:

$$S = 0.7 \cdot ce \cdot ct \cdot \mu \cdot Sgg \cdot \gamma f$$

Розраховується будівля розташована в III сніговому районі Sgg = 1.8 кН , ce = 1,

ct = 1, μ = 1, γf = 1.4.

$S = 0.7 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1.8 \cdot 1.4 = 1.764$ кН/м^2

2.1.4 Тимчасове навантаження від вітрового тиску

Розрахункове значення вітрового навантаження визначаємо як суму середньої та пульсаційної складової.

$$W = Wm + Wp$$

Розрахункове значення середньої складової вітрового навантаження визначаємо за формулою:

$$Wm = w0 \cdot k(ze) \cdot c$$

$w0$ = 0.3 кПа; для II вітрового району

$$k\ (ze) = 0.9;\ ze = h = 8 \text{ м}$$

Розрахункове значення пульсаційної складової вітрового навантаження визначаємо за формулою:

$$Wp = Wm \cdot \zeta \cdot \nu$$

$$\zeta = 0.78 = h = 8 \text{ м}$$

2.1.5 Вітрове навантаження на подовжню сторону будівлі

Визначаємо розрахункове значення вітрового навантаження залежно від аеродинамічного коефіцієнта c. Розіб'ємо зовнішні поверхні будівлі на зони відповідно до норм. Результати розрахунків приведемо в табличній

формі (табл. 2.3,2.5).

Таблиця 2.3 Розрахункове значення вітрового навантаження при вітровому впливі на довгу сторону

Аеродинамічний коефіцієнт і позначення зони			Середня складова кн/м^2	Пульсаційна складова кн/м^2	Разом кН/м^2
С =	0,2	і	0,076	0,042	0,117
С =	0,2	й	0,077	0,043	0,120
С =	0,3	з	0,116	0,064	0,180
С =	0,4	л	0,151	0,084	0,235
С =	0,5	б	0,194	0,109	0,303
С =	0,5	д	0,194	0,133	0,327
С =	0,8	а	0,310	0,174	0,484
С =	0,8	г	0,310	0,213	0,523
С =	0,8	ж	0,302	0,167	0,470
С =	0,9	е	0,340	0,188	0,529
С =	1	в	0,388	0,266	0,654
С =	1	до	0,411	0,228	0,639

При визначенні пульсаційної складової вітрового навантаження використовувалися коефіцієнти просторової кореляції пульсацій тисків вітру, наведені в табл. 2.4, 2.6.

Таблиця 2.4. Визначення коефіцієнта просторової кореляції

	ρρ	χ	ν
X	45	6	0.72
Y	7	6	0.88
Z	45	18	0.70

Для переходу від 1-го варіанту вітрового впливу на довгу сторону до 2-го потрібно значення навантажень зон «е», «ж» і «з» замінити на значення навантажень зон «і» та «й».

Розміри зон розподілу вітрового тиску визначаємо згідно з додатком Д.1.2 СП 20.13330.2011.

Вітрове навантаження на коротку сторону будівлі.

Таблиця 2.5 Розрахункове значення вітрового навантаження при вітровому впливі на коротку сторону

Аеродинамічний коефіцієнт і позначення зони			Середня складова кН/м^2	Пульсаційна складова кН/м^2	Разом кН / м^2
С =	0,5	п	0,194	0,121	0,315
С =	0,5	у	0,192	0,109	0,301
С =	0,5	ф	0,194	0,121	0,315
С =	0,6	т	0,230	0,131	0,361
С =	0,8	м	0,310	0,194	0,504
С =	0,8	п ро	0,310	0,194	0,504
С =	1	н	0,388	0,242	0,630
С =	1,3	р	0,499	0,284	0,783
С =	1,3	з	0,499	0,284	0,783

Розміри зон розподілу вітрового тиску визначаємо згідно з додатком Д.1.2 [3].

Для бічних стін: $e = 2h = 12$ м; $e/5 = 2{,}4$ м;

Для покрівлі: $e = 2h = 16$ м; $e/2 = 8$ м; $e/10 = 1{,}6$ м.

Таблиця 2.6 Визначення коефіцієнта просторової кореляції

	ρρ	χ	ν
X	17	7	0.80
Y	18	7	0.80
Z	18	42	0.74

РОЗДІЛ 3. ЧИСЕЛЬНЕ МОДЕЛЮВАННЯ В ПК ANSYS. СТАТИЧНА ЗАДАЧА

3.1 Удосконалення методики розрахунку несучих елементів рами з ЛСТК

Основні проблеми, пов'язані з розрахунком обраних конструкцій:

1. Тонкостінних профілів несучих конструкцій врахована методикою редукування. Для перерізів з одиночних профілів немає підстав сумніватися в правомірності цього методу, враховуючи досвід кількох останніх десятиліть зведення будівель з ЛСТК за кордоном. Що ж стосується складених перерізів - то відразу виникає питання про те, які умови потрібно створити для спільної роботи двох різних профілів (мається на увазі, крок прикріплень, а також конструктивні заходи щодо забезпечення місцевої стійкості стрижнів).

Справа в тому, що в даній кваліфікаційній роботі ми маємо справу саме з складеними перетинами профілів ферми і колони, відстань у світлі між елементами яких становить 100 мм, а їх спільна робота передбачається за рахунок установки діафрагм і фасонок з кроком до 800 мм. Величина кроку прийнята з конструктивних міркувань і кратна кроку прогонів. Достатність такого кроку діафрагм не обґрунтована розрахунком.

2. Другою проблемою, з якою стикаються при проектуванні конструкцій з ЛСТК, є конструювання і розрахунок вузлів сполучення різних елементів. У різних довідниках і підручниках по металоконструкціях наведено безліч вузлів сполучення металевих конструкцій і методик їх розрахунку. Застосування їх до досліджуваних в кваліфікаційній роботі конструкцій не завжди просто, а найчастіше, і неможливо (фланцеві стики, вузли, вирішені із застосуванням зварювання і т.д.). До того ж методики розрахунку, що працюють зі стрижнями, не дозволяють визначити величини концентрації напружень в околовузлових

зонах.

У зв'язку з цим виникла необхідність проаналізувати роботу вузлів сполучення несучих конструкцій, а саме їх НДС, оцінити коефіцієнти концентрації напружень і стійкість окремих стрижнів в складі всього каркасу.

3. Проблема, пов'язана з обмеженої депланацією поперечних перерізів, не встає так гостро через бісиметрічності профілів, що забезпечує збіг центру ваги і центру вигину і, отже, виключає роботу профілів на кручення при поперечному навантаженні.

Для того, щоб вирішити перераховані вище проблеми було прийнято рішення створити об'ємну модель ферми, докласти навантаження, відповідні самому невигідному симетричного навантаженню з точки зору роботи несучих рам каркасу і провести розрахунок в ПК ANSYS. В силу симетричності і громіздкісті завдання була змодельована робота половини ферми прольотом 18 метрів.

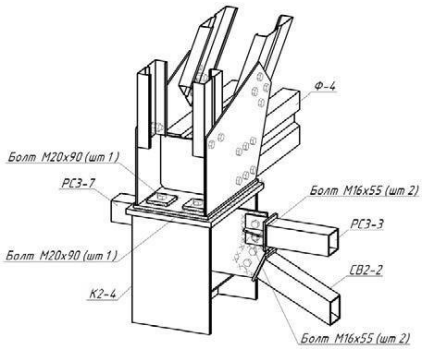

Рис. 3.1 Вузол спирання ферми на крайню колону

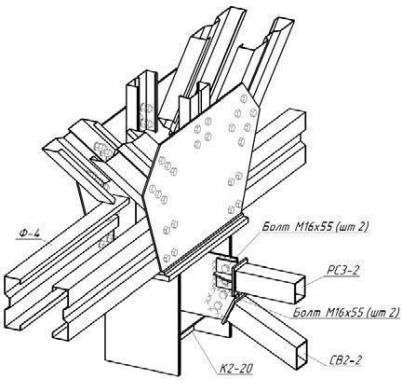

Рис. 3.2 Вузол спирання ферми на середню колону

3.2 Алгоритм розрахунку в ANSYS Workbench / Multiphysics

Розрахунок здійснювався в модулі ANSYS Workbench / Multiphysics. Оскільки розрахунок майже будь-який металевої конструкції, це рішення контактної задачі, а в цьому ANSYS Workbench ступив набагато далі ніж «класичний» ANSYS.

Нижче представлений алгоритм на прикладі розрахунку фланцевого з'єднання.

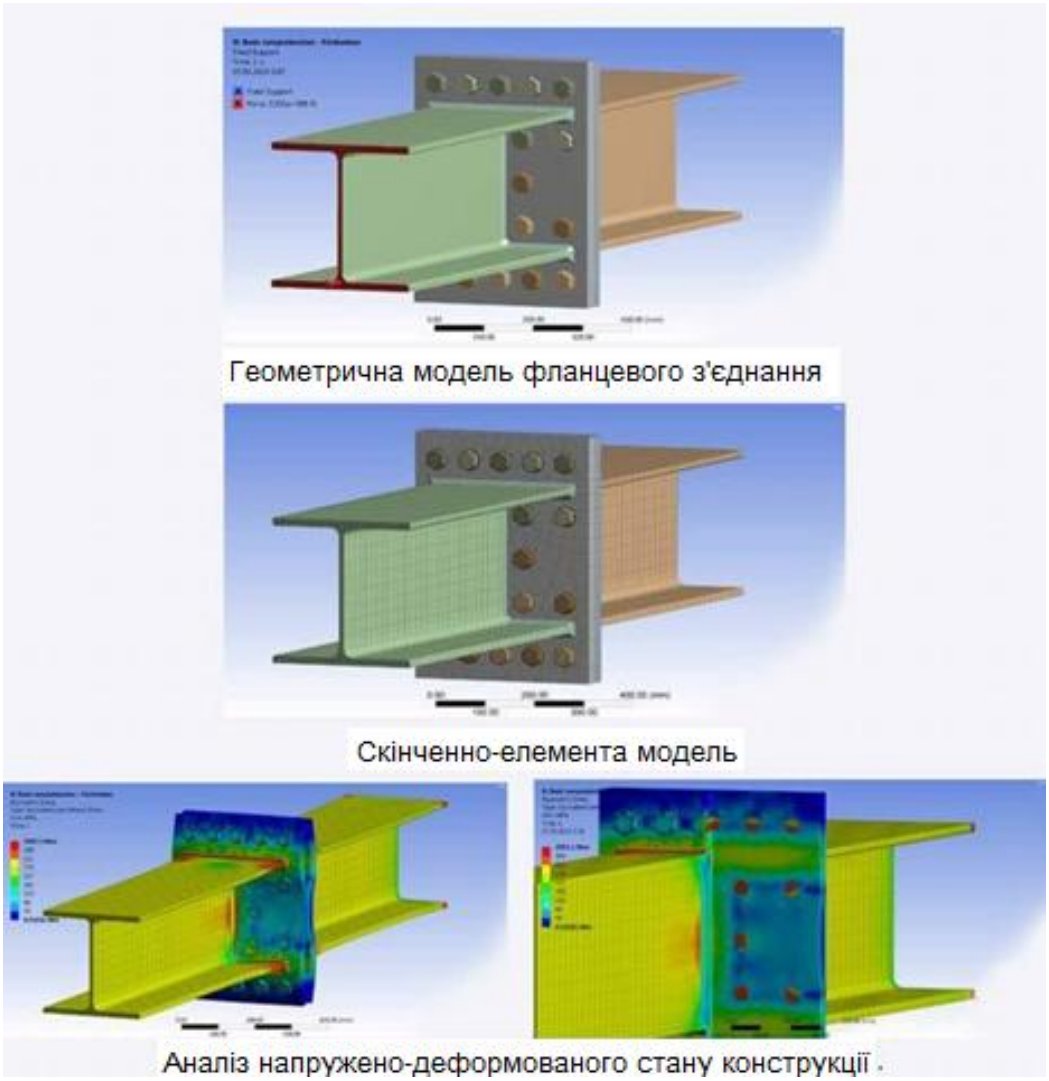

Рис .3.4 Послідовність СЕ розрахунку

3.3 Статичний розрахунок ферми за допомогою об'ємних кінцевих елементів

Для створення тривимірної моделі конструкції використовувався програмний комплекс Autodesk Inventor Professional, який дозволяє працювати із збіркою з твердих тіл, що знаходяться в параметричних залежностях між собою, що дає можливість варіювати геометричними параметрами конструкції при проведенні модельних експериментів. Далі був проведений експорт в ПК ANSYS.

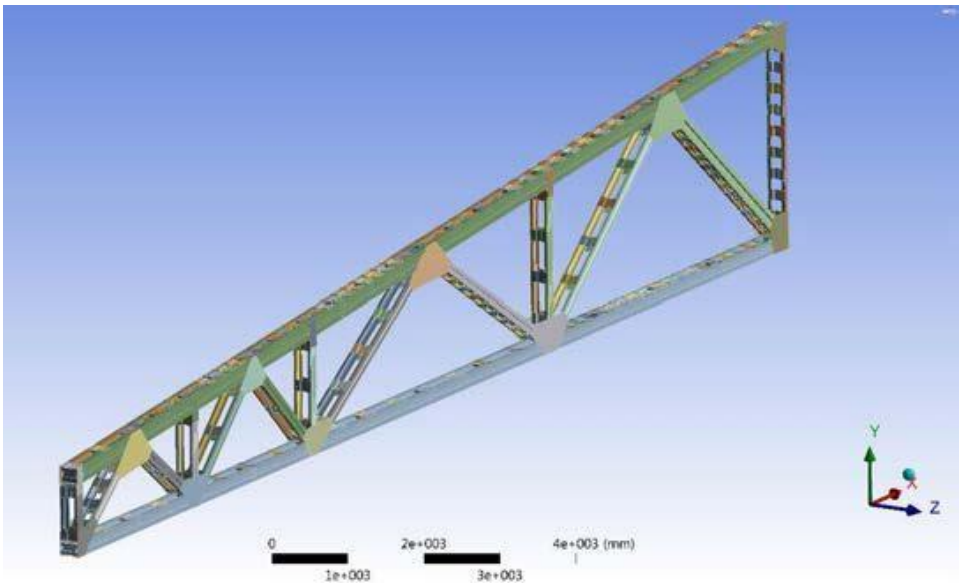

Рис. 3.5 Об'ємна модель половини ферми

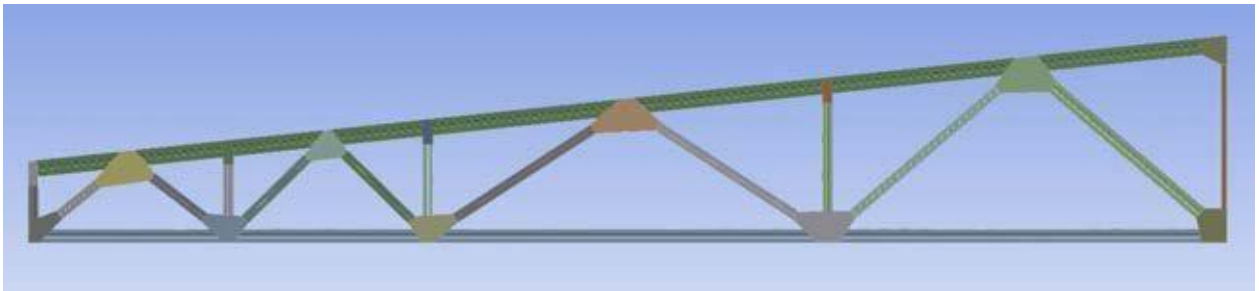

Рис. 3.6 Об'ємна модель половини ферми. Вид збоку

Створення скінченно-елементної моделі.

На цьому пункті ми переходимо від тіл до скінченних елементів і тут нам слід вибрати характерний розмір елемента, форму елементів, способи розбиття.

Для отримання сітки з гексаедрів був застосований метод розбиття фасонок і накладок MultiZone. Сумарно отримана сітка налічує близько 200000 елементів і 770000 вузлів.

Відомо, що чим більше відносний розмір елемента, тим жорсткіше буде модель конструкції. Так, наприклад, в ході виконання роботи, груба сітка якісно впливала на результат на 20-25%. Цим обґрунтовується великий обсяг СЕ в моделі.

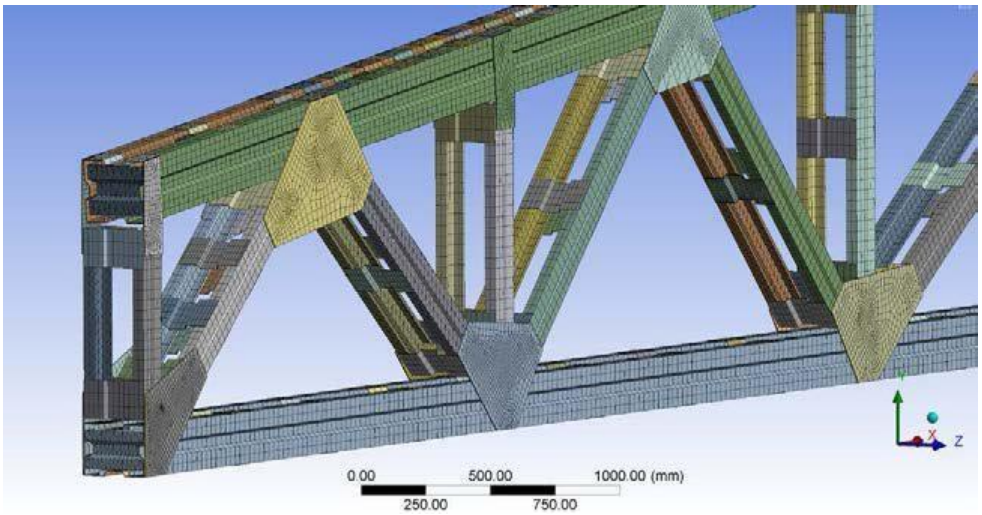

Рис. 3.7 Загальний вигляд скінченно-елементної моделі

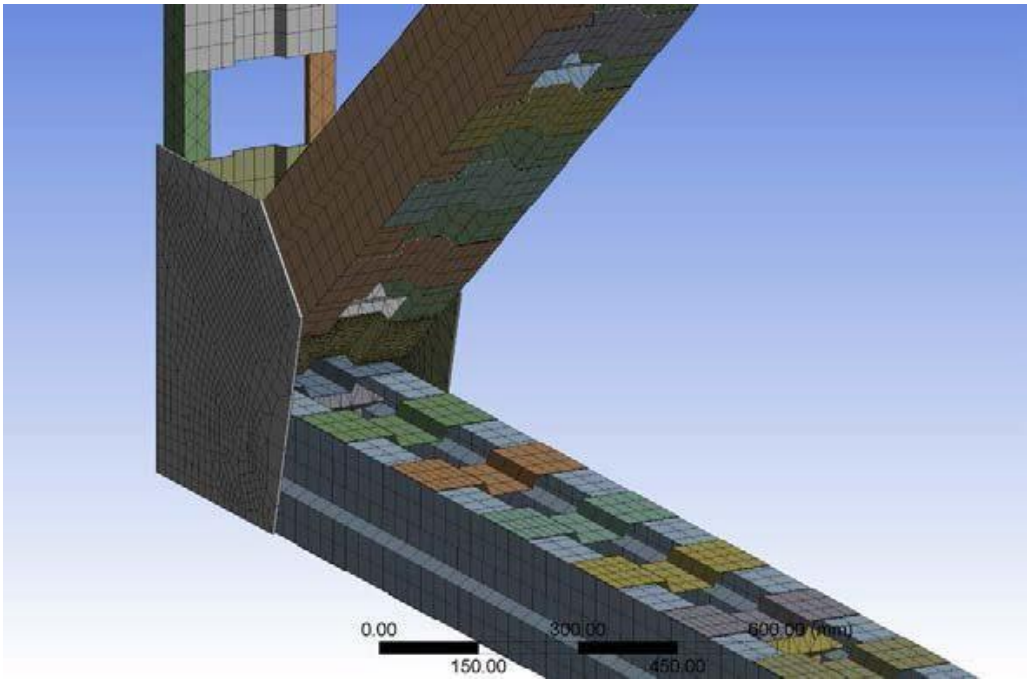

Рис. 3.8 Сітка на центральному опорному вузлі і нижньому поясі

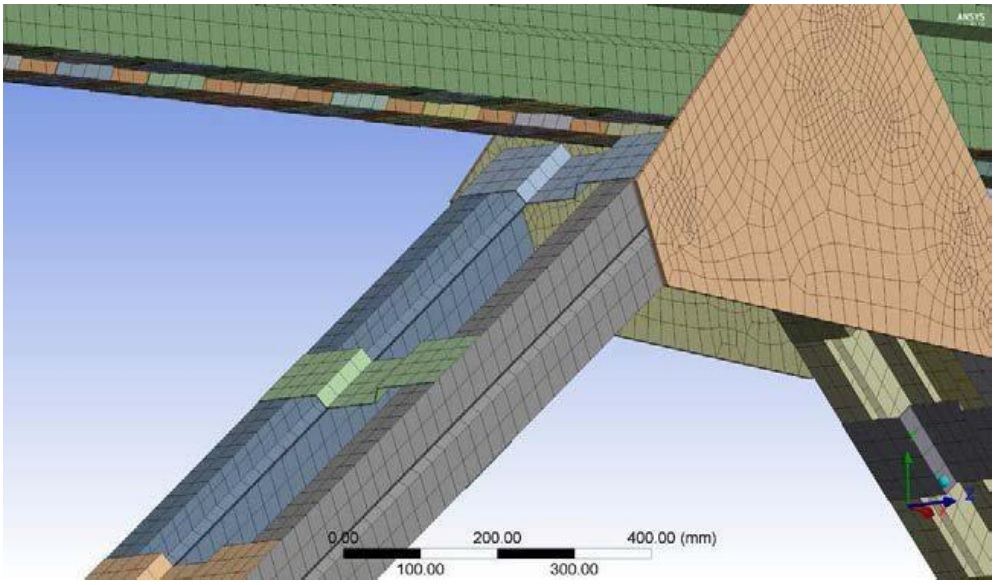

Рис. 3.9 Сітка на розкосі, накладки і фасонки

Завдання граничних і початкових умов, вибір фізичної моделі розрахунку - препроцесінг.

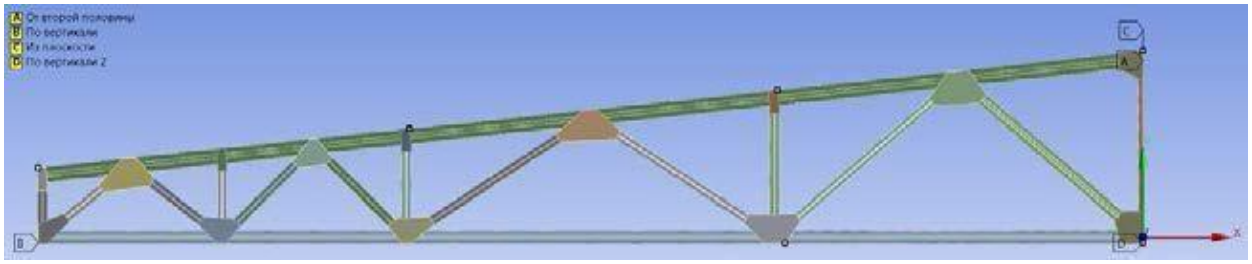

Рис. 3.10 Граничні умови

Краї ферми спираються шарнірно (B, D), на центр ферми накладено умова симетричності (A, C).

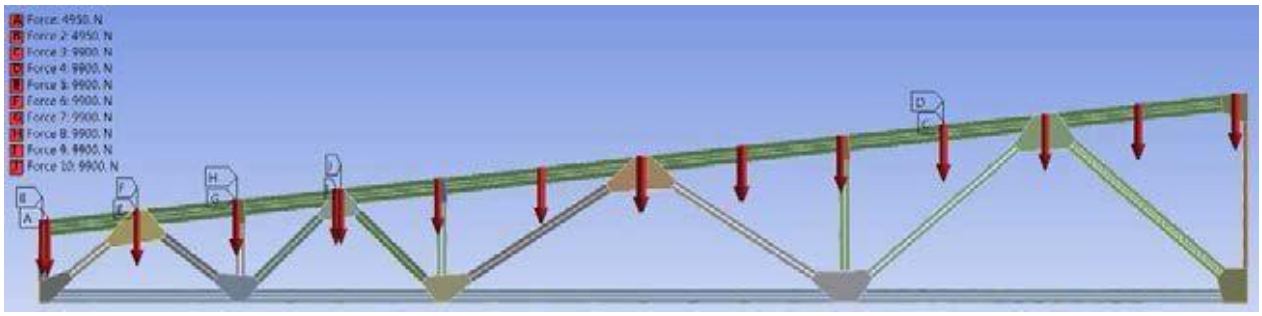

Рис. 3.11 Схема прикладання навантаження

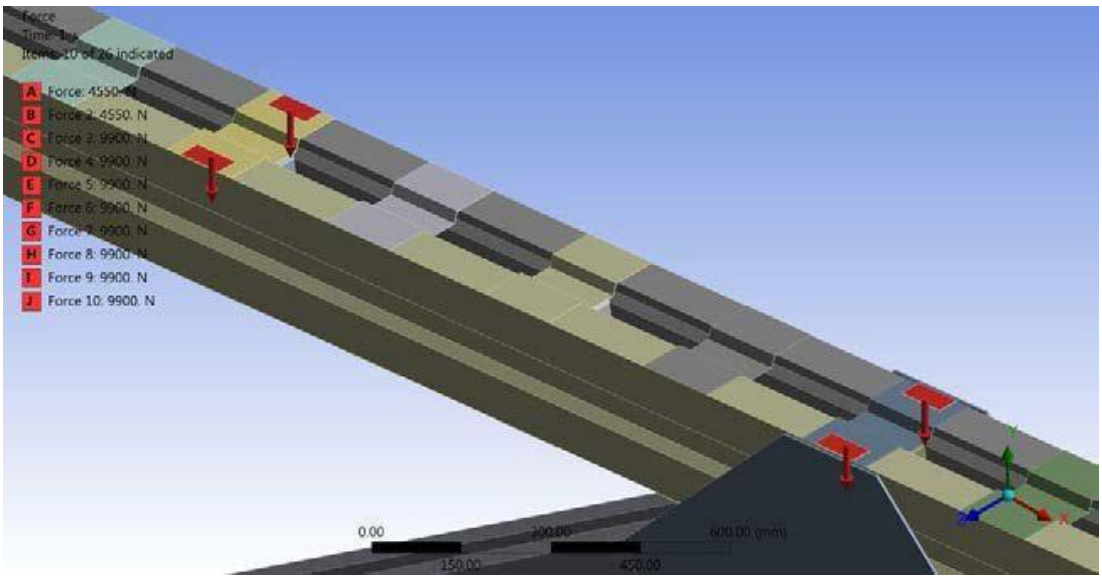

Рис. 3.12 Місце прикладання навантаження

Сили прикладаються до невеликих майданчиків, імітуючи спирання прогонів.

Після отримання скінченно-елементної моделі виконується статичний розрахунок конструкції. Найбільш ємною за машинним часом виявилася задача стійкості, в якій був проведений аналіз перших 125 форм.

3.4 Результати статичного розрахунку

Після чого проглядаються результати - постпроцесінг. На цьому етапі ми оцінюємо розподілу як нормальних, так і дотичних напружень, переглядаємо значення відносних подовжень і абсолютних величин як осьових, так і повних переміщень.

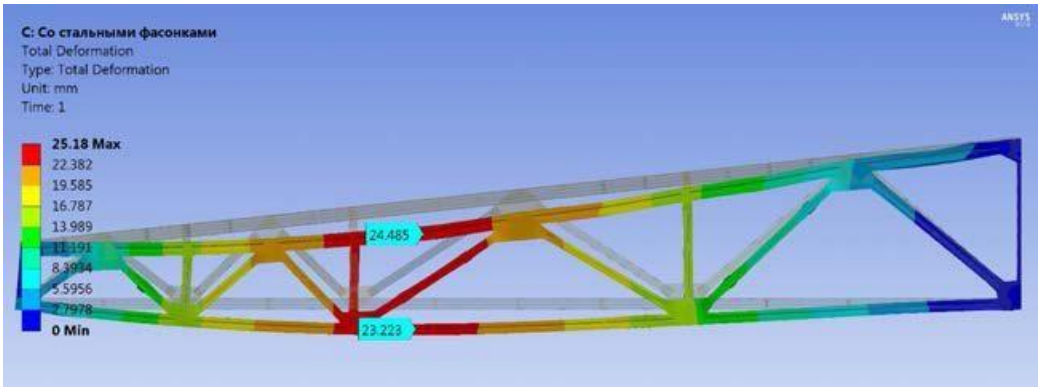

Рис. 3.13 Деформована схема (масштаб збільшено в 20 разів)

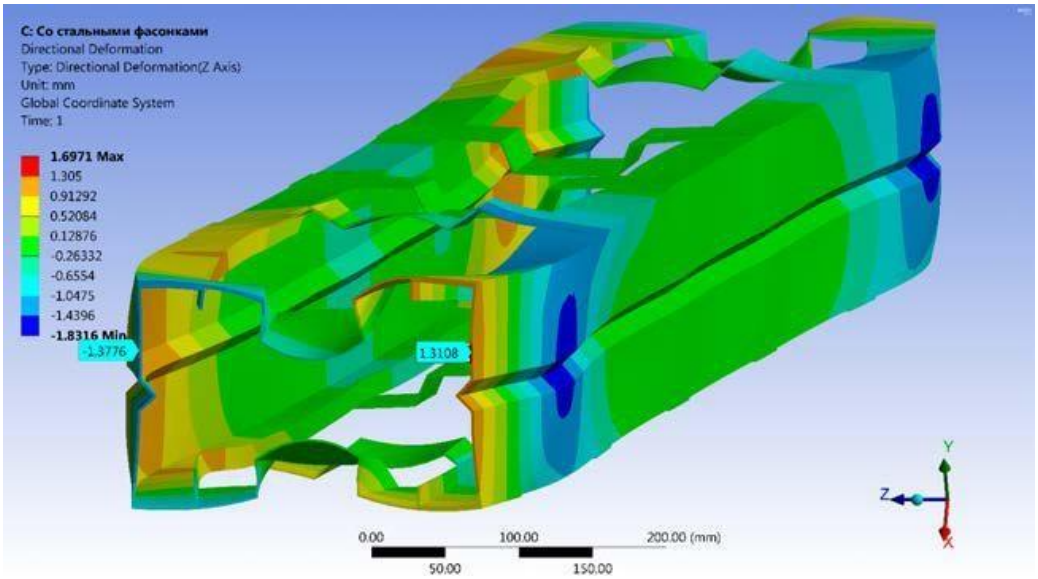

Рис. 3.14 Деформована схема розтягнутого розкосу складеного профілю (масштаб збільшений)

В ході розгляду деформованого стану розтягнутого розкосу було помічено зближення кінців профілів сумарно на 2,56 мм, що неможливо при центральному розтягу, тобто таке конструктивне рішення вузла викликає позацентрове розтягнення.

За результатами статичного розрахунку можна перевірити міцність конструкції. Нормальні напруження на майданчиках пластинчастих елементів не повинні перевищувати межі текучості сталі, з якої виготовляються несучі конструкції каркасу. Дотичні напруження не повинні перевищувати розрахункового опору сталі на зріз. Еквівалентні напруги отримані по 4-й теорії міцності (Хубера-Мізеса) не повинні перевищувати 1,15 розрахункового опору сталі відповідно до норм. При аналізі місць конструкції в кутах загину еквівалентні напруги слід порівнювати з розрахунковим опором через залишкові напруги від холодного згинання в місцях деформування. Для виключення надмірного впливу концентраторів напруги на результати статичного розрахунку використовувалася функція усереднення значень на заданому проміжку.

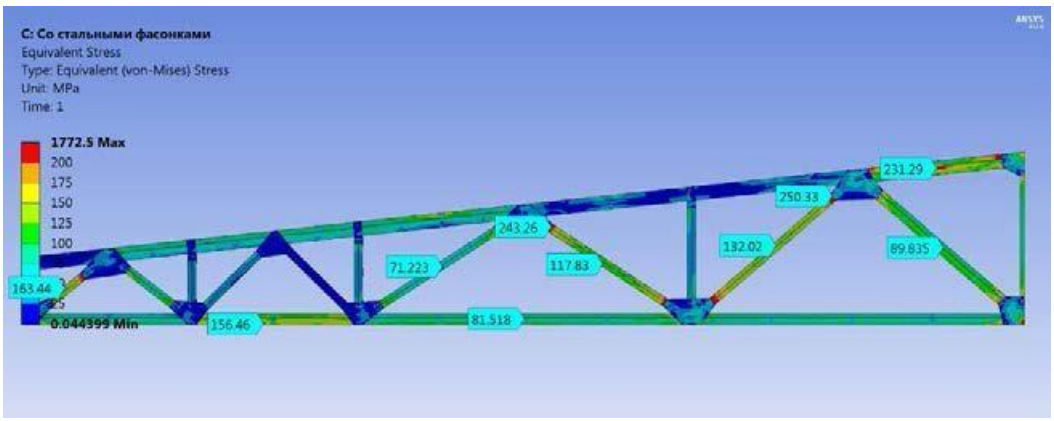

Рис. 3.15 Еквівалентні напруги. Загальний вигляд

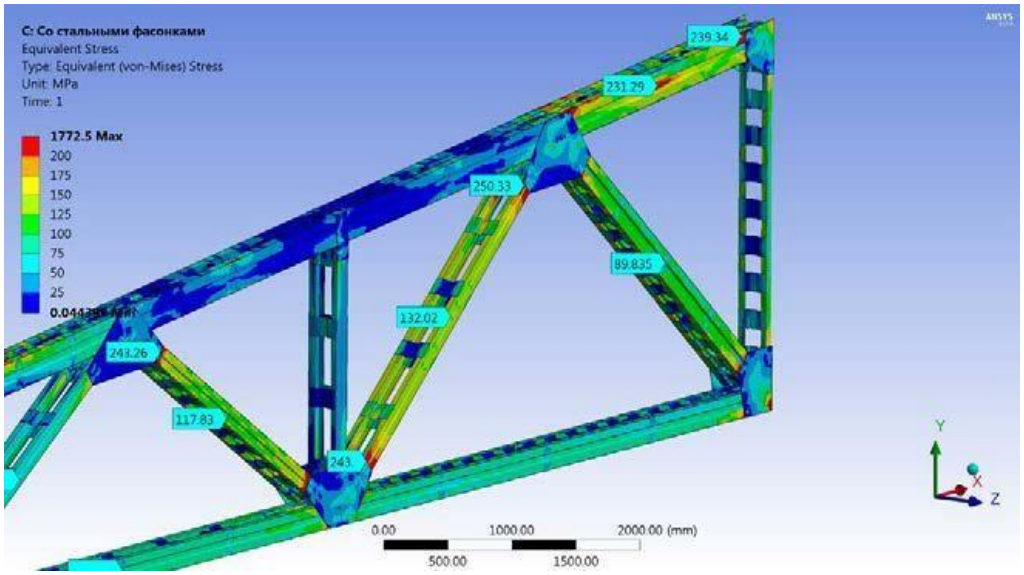

Рис. 3.16 Еквівалентні напруги в розтягнутому розкосі

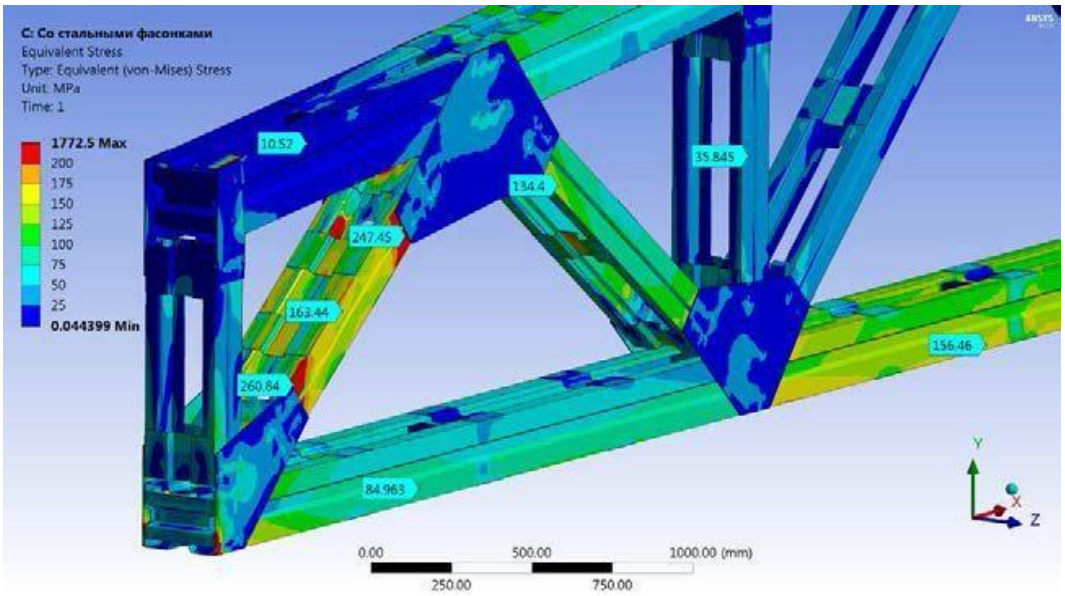

Рис. 3.18 Еквівалентні напруги в опорному розкосі

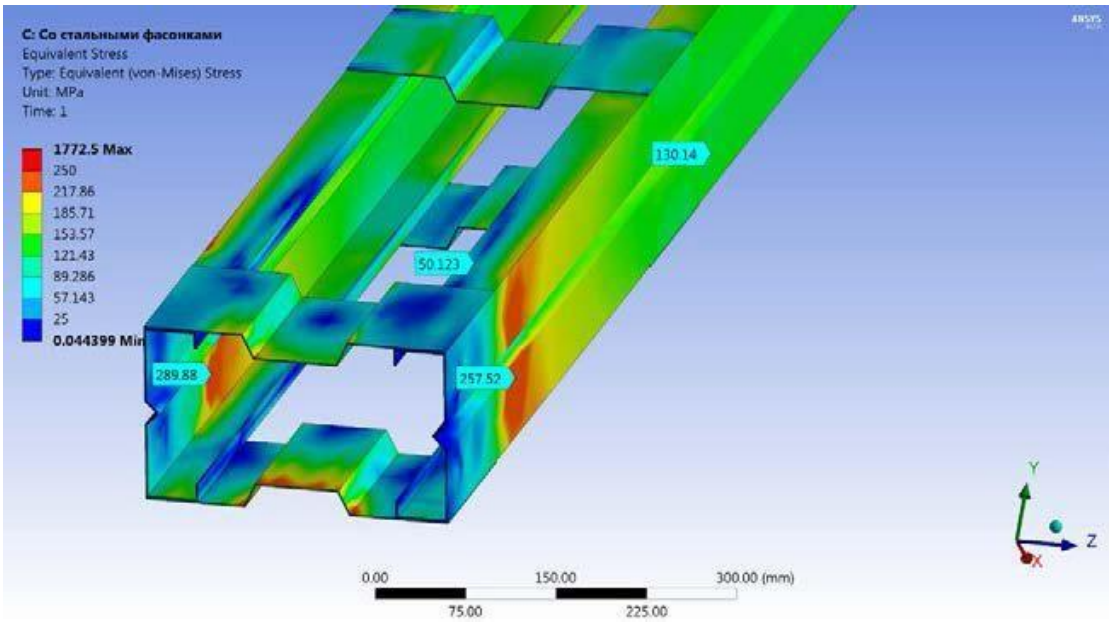

Рис. 3.19 Концентрації напружень від прикріплення е вузлах

3.5 Висновки по розділу 3

Застосування даної методики дозволило оцінити викривлення силових ліній поблизу вузлів, оцінити величини напружень в будь-якому місці конструкції, отримати величини переміщень.

На зображенні вище видно, що через нераціональну конструкції вузла, концентрація напружень в вузловий зоні досягає 2 раз, за рахунок того, що в передачі зусиль задіяна тільки стінка профілю. Це значно впливає на НДС і упущення цього фактора (як у випадку розрахунку стрижневих моделей) може дати серйозну помилку не в запас.

РОЗДІЛ 4.ЧИСЕЛЬНЕ МОДЕЛЮВАННЯ СТІЙКОСТІ В ПК ANSYS

4.1 Розрахунок на стійкість

Після статичного розрахунку моделі ферми виконувався розрахунок на стійкість.

Розрахунок на стійкість показує у скільки разів потрібно пропорційно збільшити навантаження, складову нелінійну комбінацію, щоб система втратила стійкість по одній з певних форм. Завдяки тому, що ми використовуємо об'ємну модель, в ній враховуються реальні коефіцієнти защемлення стрижнів у вузлах, розраховується вплив навколишнього конструкції на елемент, який втрачає стійкість.

Перед запуском на розрахунок для системи визначається кількість шуканих форм втрати стійкості (в даному випадку розглядалися 125 форм).

За результатами розрахунку на стійкість кожної з отриманих форм відповідає коефіцієнт запасу по стійкості. Так як розрахункова модель не враховує можливих дефектів конструкцій і розглядається ідеальна модель, то на основі аналізу єврокодів і вимог норм результати розрахунку на стійкість необхідно коригувати з урахуванням понижуючого коефіцієнта 1,8. Для більш визначення більш точного значення цього коефіцієнта необхідні додаткові дослідження.

В даному проекті втрата стійкості спостерігалася в стиснутому розкосі з площини і загальна форма виходу із площини верхнього пояса ферми.

Запас по стійкості за формою стисненого розкосу з площини склав 5,1/1,8 = 2,8 Для загальної форми запас становив 8,1/1,8 = 4,5.

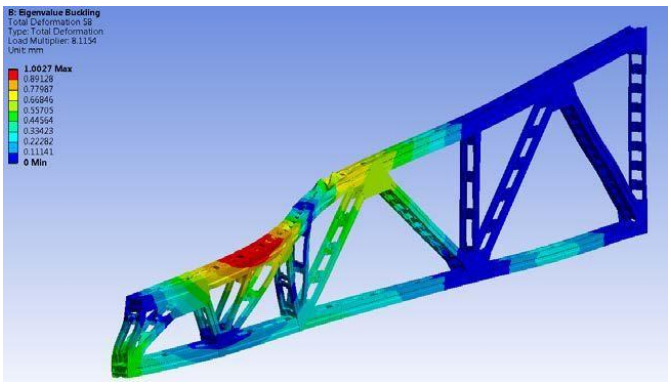

Рис. 4.1 Загальна форма втрати стійкості з коефіцієнтом запасу 4

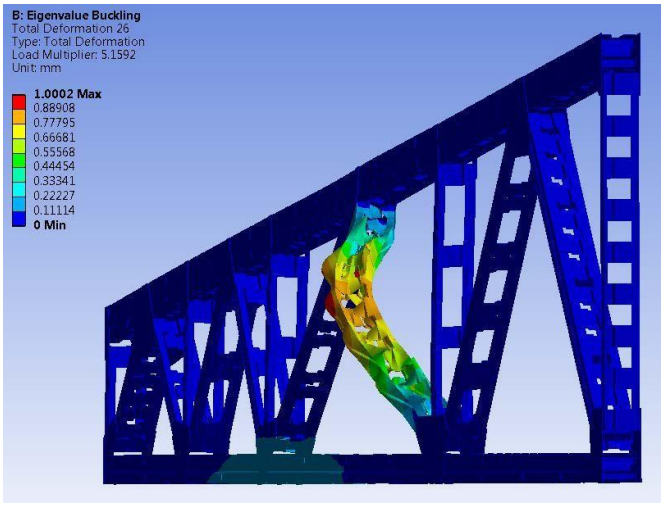

Рис. 4.2 Вихід стисненого розкосу з площини з коефіцієнтом запасу 2.8

4.2 Висновки по розділу 4

Аналіз стійкості конструкції показав, що, хоча і радіус інерції складеного перетину з площини вище, але за рахунок не цілком спільної роботи спостерігається рання втрата стійкості. Не цілком спільна робота полягає в тому, що накладки не мають достатньої жорсткості, щоб стримувати зрушення профілів відносно один одного в поздовжньому напрямку і це веде до порушення гіпотези плоских перетинів, тому потрібно вирішувати задачу стійкості з урахуванням можливого зсуву для зміни коефіцієнта розрахункової довжини. Хоча, в силу великого коефіцієнта запасу, в справжній фермі це явище не небезпечно, але його слід враховувати і в інших конструкціях, оскільки цей ефект досить значний, а «традиційні» розрахункові методики не враховують це явище.

РОЗДІЛ 5. ПОРІВНЯННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ РОЗРАХУНКУ ОБ'ЄМНОЇ ТА СТРИЖНЕВОЇ МОДЕЛЕЙ

5.1 Опис результатів

Після отримання результатів статичного розрахунку об'ємної моделі було проведено порівняння результатів зі стрижневою системою.

Критеріями порівняння виступали опорні реакції і переміщення вузлів. Відмінності в переміщеннях склали близько 6,8% на користь стрижневий моделі, в опорних реакціях близько 1,3%.

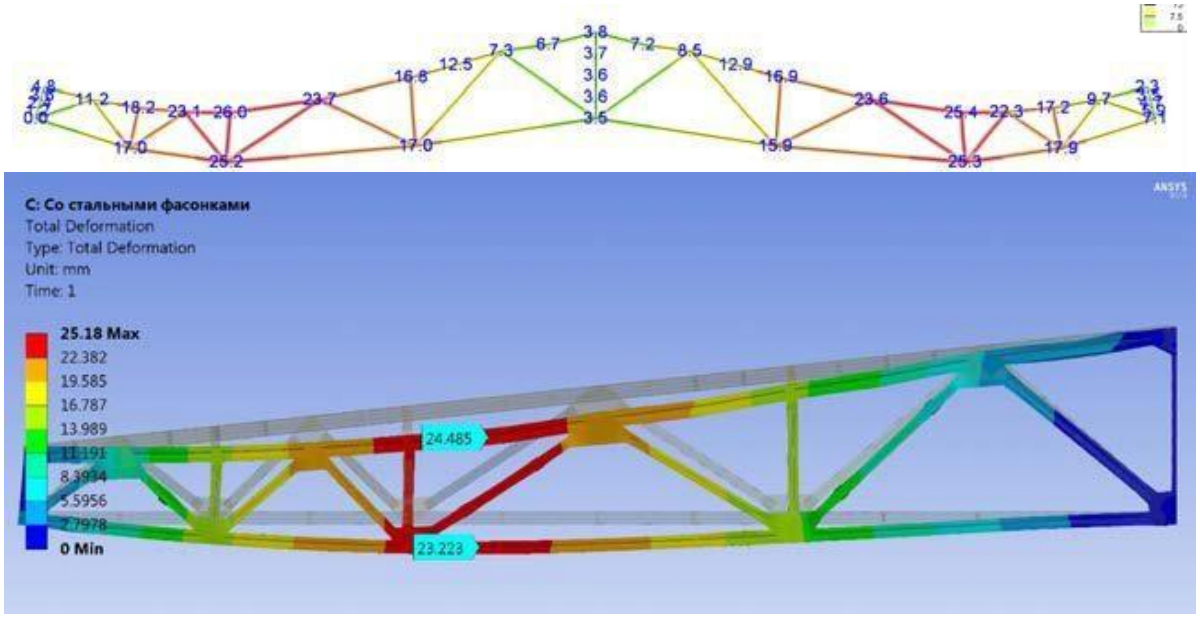

Рис. 5.1 Переміщення в об'ємній і стрижневий моделях (мм).

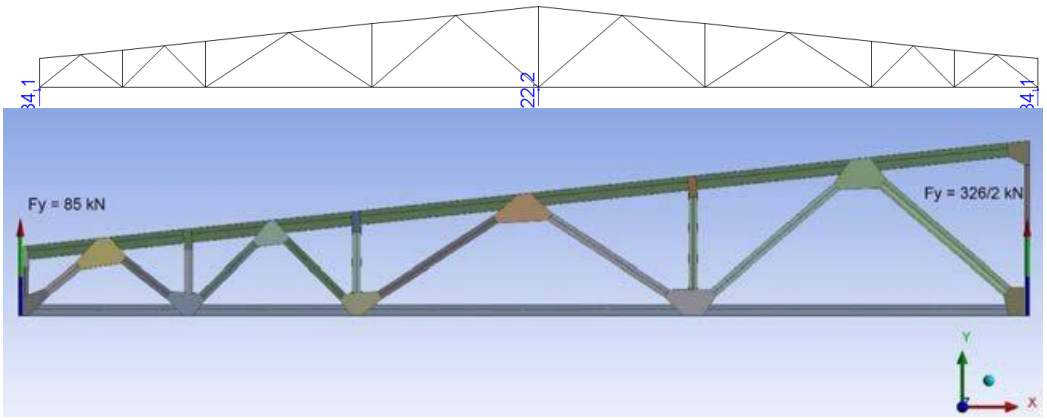

Рис. 5.2 Опорні реакції в об'ємній і стрижневий моделях (кН)

Відмінності при порівнянні обраних критеріїв можна пояснити кількома причинами:

По-перше, при розрахунку об'ємної моделі власну вагу конструкцій був врахований не так повно: так не було враховано вагу діафрагм, фасонок, діафрагм.

По-друге, в оболонковій моделі навантаження прикладалася місцево, в місцях розташування прогонів, в той час як в різнорідній моделі використовувалася рівномірно розподілене по довжині навантаження.

5.1 Висновки і пропозиції по розділу 5

В ході дослідження виявлено ряд недоліків і запропоновано ряд нововведень, а саме:

1. Замість перерізу типу 2хПС використовувати профіль ПГС-СІГМА в положенні на ребро, що дозволить більш ефективно вирішити вузли, усунувши позацентровий додаток осьового навантаження.

2. Нижній пояс замінити на двутавр з «чорного» металу. Це дозволить спростити монтаж, збільшити ефективну висоту ферми зменшивши будівельну висоту.

РОЗДІЛ 6. РОЗРАХУНОК МОДИФІКОВАНОЇ ФЕРМИ

6.1 Внесені зміни

Була проведена заміна:

- нижній пояс на зварений двутавр,
- перетин розтягнутих розкосів на одиночний профіль, покладений на бік, що змінило конструкцію вузлів.

6.2 Розрахунок модифікованої ферми

Після визначення слабких місць моделі і отримання статичної еквівалентності з розрахунком моделі в стрижневий постановці внесемо пропоновані зміни в конструкцію ферми, проведемо розрахунок в об'ємній постановці за алгоритмом, викладеному в розділі 3 і оцінимо ефект.

6.3 Деформації

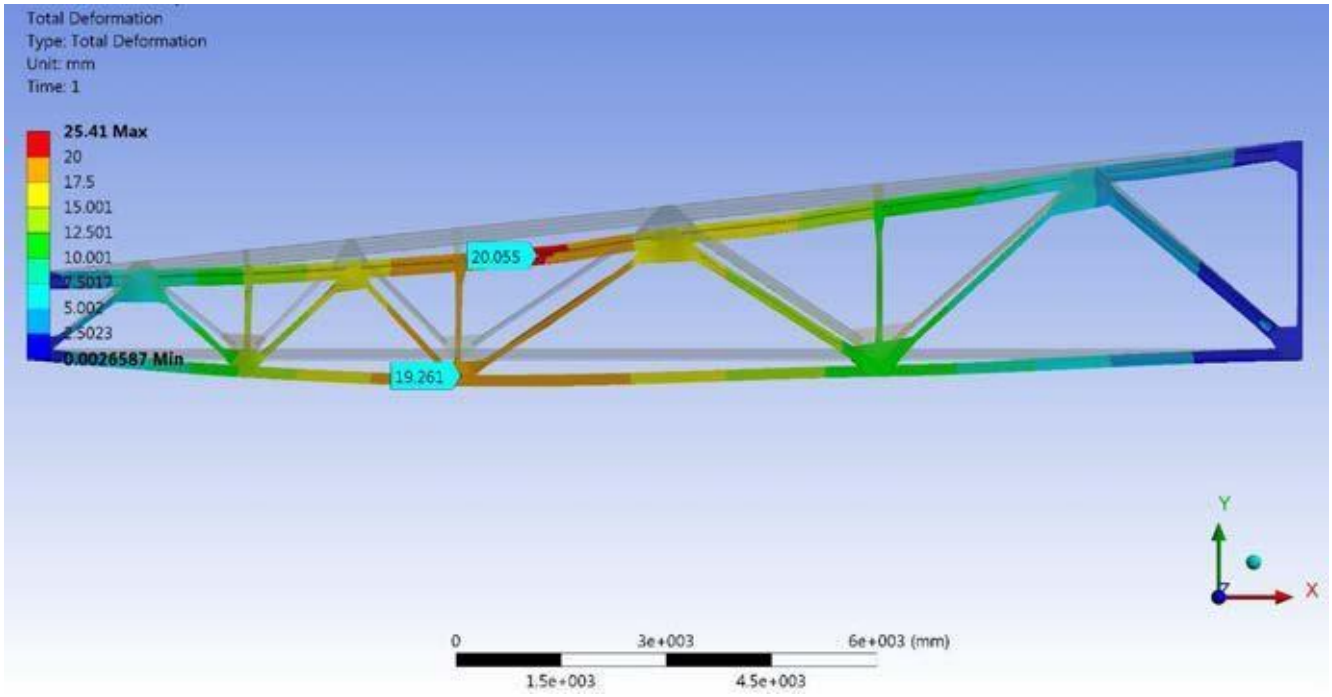

Рис. 6.1 Деформована схема модифікованої ферми

При порівнянні з результатами розрахунку базової ферми прогини

зменшилися на 19,56%.

6.4 Напружено-деформований стан

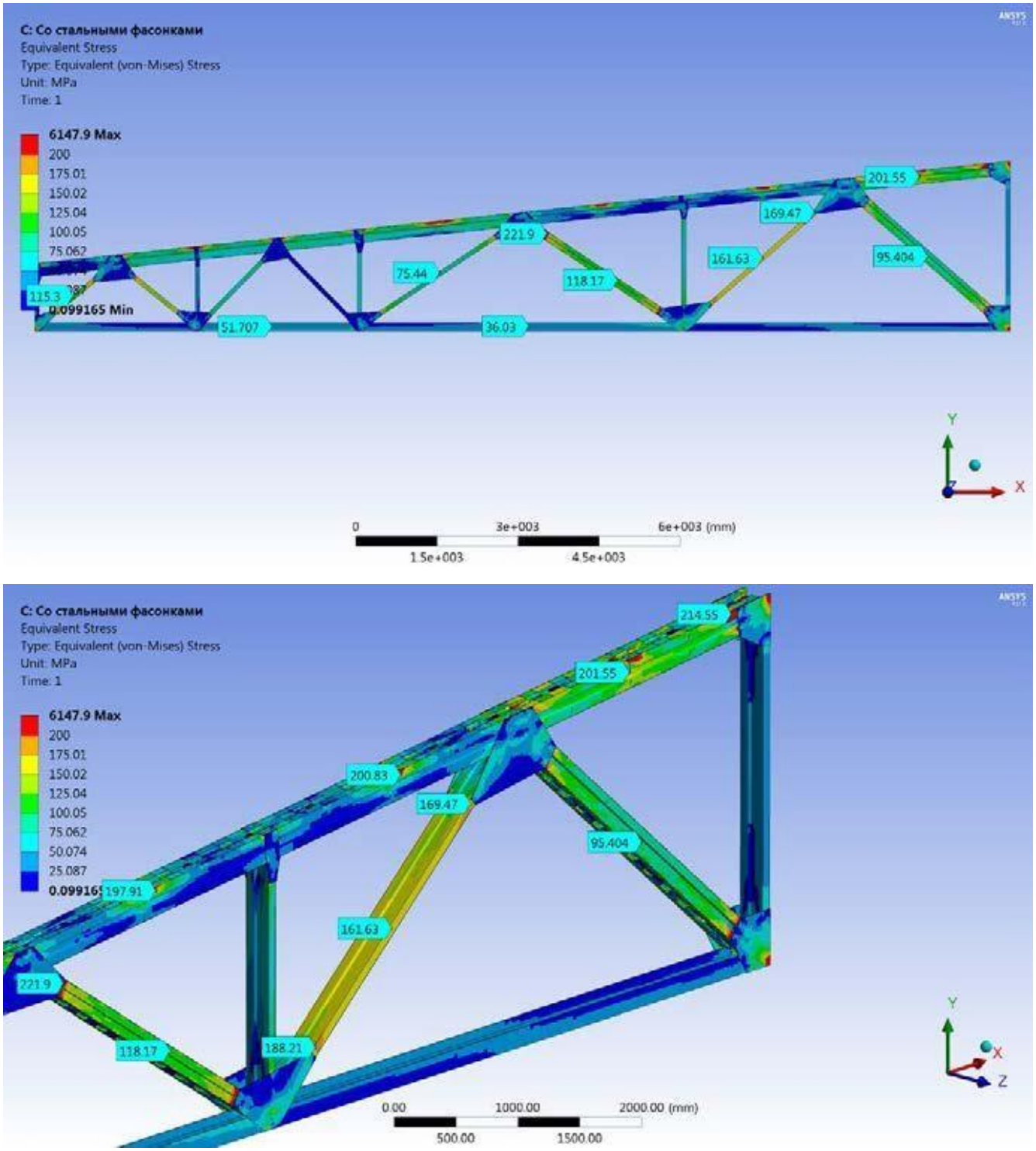

Рис. 6.2 Напружений стан в елементах конструкції

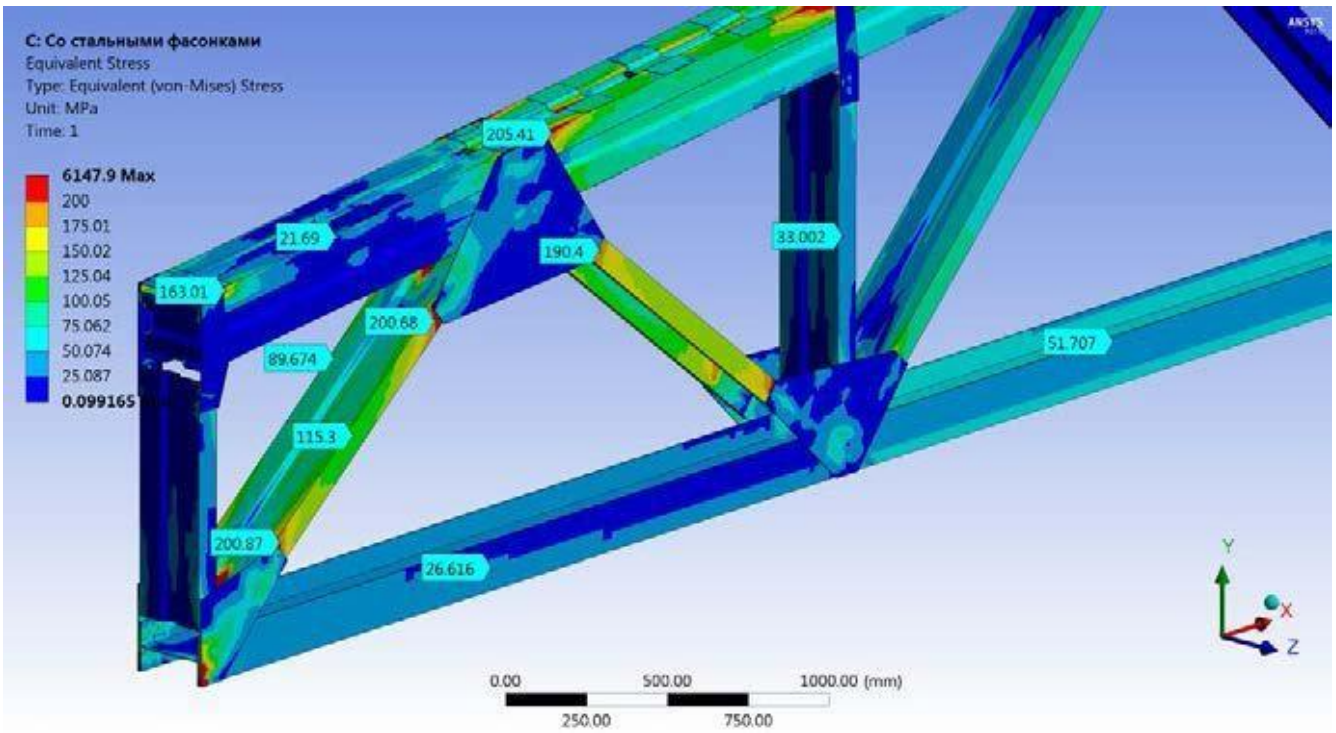

Рис. 6.3 Напружений стан в елементах конструкції

Концентрація напруги стала менше, ізополя вирівнялись, що відповідає принципу рівноміцності.

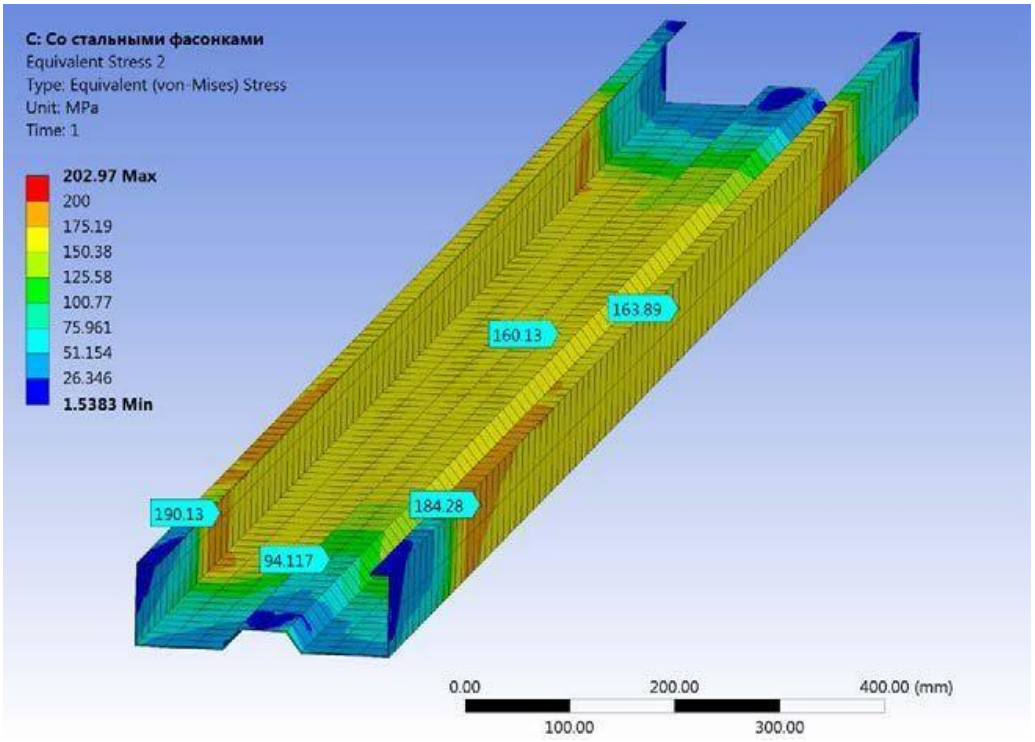

Рис. 6.4 Напружений стан в місці примикання розтягнутого розкосу до вузла

Як ми бачимо, таке рішення вузла знижує коефіцієнт концентрації з 200% до 112%, що дозволяє зменшити перетин профілю.

6.5 Стійкість

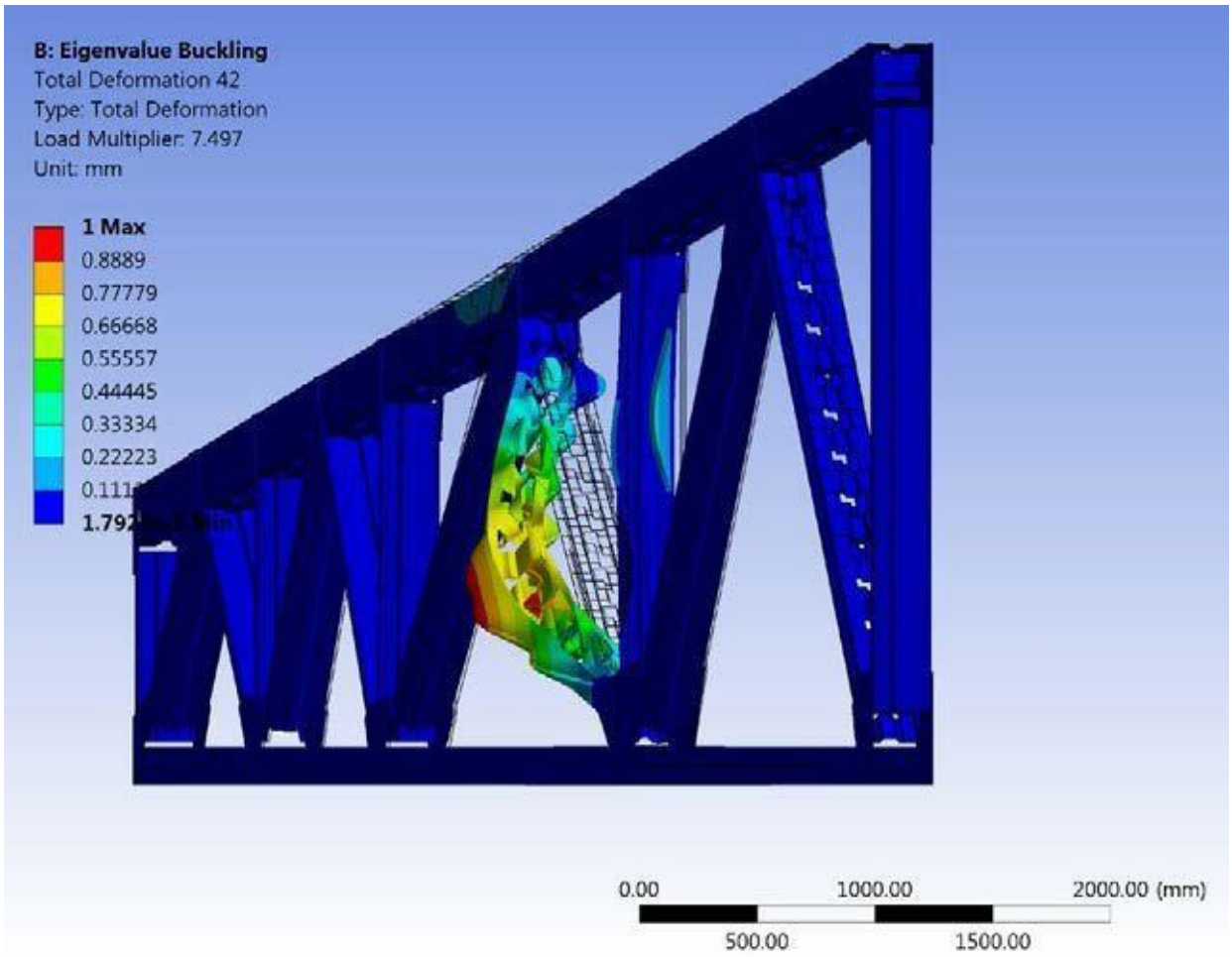

Рис. 6.5 Вихід стисненого розкосу з площини з коефіцієнтом запасу 4.2

При порівнянні з результатами розрахунку базової ферми коефіцієнт запасу по стійкості збільшився в 1,5 рази. Це пов'язано зі збільшенням опірності взаємного зсуву двох напівферм.

РОЗДІЛ 7 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

7.1 Охорона праці

7.1.1 Організація охорони праці працівників на підприємстві

З метою забезпечення сприятливих для здоров'я умов праці, високого рівня працездатності, профілактики травматизму і професійних захворювань, отруєнь та відвернення іншої можливої шкоди для здоров'я на підприємствах, в установах і організаціях різних форм власності повинні встановлюватися єдині санітарно-гігієнічні вимоги до організації виробничих процесів, пов'язаних з діяльністю людей, а також до якості машин, обладнання, будівель та інших об'єктів, які можуть мати шкідливий вплив на здоров'я. Всі державні стандарти, технічні умови і промислові зразки обов'язково погоджуються з органами охорони здоров'я в порядку, встановленому законодавством. Власники і керівники підприємств, установ та організацій зобов'язані забезпечити в їхній діяльності виконання правил техніки безпеки, виробничої санітарії та інших вимог щодо охорони здоров'я, передбачених законодавством, не допускати шкідливого впливу на здоров'я людей (ст. 28 Основ законодавства України про охорону здоров'я).

Власник зобов'язаний створити в кожному структурному підрозділі й на робочому місці умови праці відповідно до вимог нормативних актів, а також забезпечити дотримання прав працівників, гарантованих чинним законодавством.

З цією метою власник забезпечує функціонування системи управління охороною здоров'я, для чого створює на підприємстві підрозділи, які традиційно іменуються службою охорони праці**.** Типове положення про службу охорони праці затверджене наказом Державного комітету України з нагляду за охороною праці від 15 листопада 2004 р. № 255. Служба охорони праці створюється на підприємствах з кількістю працюючих 50 і більше осіб. На підприємстві з кількістю працюючих менше 50 осіб функції служби охорони праці можуть

виконувати у порядку сумісництва (суміщення) особи, які мають відповідну підготовку. На підприємстві з кількістю працюючих менше 20 осіб для виконання функцій служби охорони праці можуть залучатися сторонні спеціалісти на договірних засадах, які мають виробничий стаж роботи не менше трьох років і пройшли навчання з охорони праці. Служба охорони праці підпорядковується безпосередньо роботодавцю. Ліквідація служби охорони праці допускається тільки у разі ліквідації підприємства чи припинення використання найманої праці фізичною особою.[29]

На службу охорони праці покладено виконання таких завдань. У разі відсутності впровадженої системи якості відповідно до ISO 9001, опрацювання ефективної системи управління охороною праці на підприємстві та сприяння удосконаленню діяльності у цьому напрямку кожного структурного підрозділу і кожного працівника; забезпечення фахової підтримки рішень роботодавця з цих питань; організація проведення профілактичних заходів, спрямованих на усунення шкідливих і небезпечних виробничих факторів, запобігання нещасним випадкам на виробництві, професійним захворюванням та іншим випадкам загрози життю або здоров'ю працівників; вивчення та сприяння впровадженню у виробництво досягнень науки і техніки, прогресивних і безпечних технологій, сучасних засобів колективного та індивідуального захисту працівників; контроль за дотриманням працівниками вимог законів та інших нормативно-правових актів з охорони праці, положень (у разі наявності) галузевої угоди, розділу "Охорона праці", колективного договору та актів з охорони праці, що діють у межах підприємства; інформування та надання роз'яснень працівникам підприємства з питань охорони праці.

Організація будівельного майданчика, ділянок робіт та робочих місць повинна забезпечувати безпеку праці працюючих на всіх етапах виконання робіт.

Майданчик будівництва знаходиться в центрі міста, тому, щоб запобігти доступу сторонніх осіб, повинен бути огороджений. Огородження, які

примикаються до місць масового проходу людей, необхідно облаштувати суцільним захисним козирьком. Конструкція огородження повинна задовільняти вимоги [27]: конструкція огородження повинна бути збірно-розбірною з уніфікованими елементами, з'єднаннями і деталями кріплення, висота захисних панелей з козирьком становить 2,0 м, в розріжених панелях огородження відстань в просвіті (розрідженість) між деталями заповнення полотна панелей повинна бути в межах 80-100 мм, захисний козирьок встановлюється по верху огородження з підйомом до горизонту під кутом 20^0 в сторону тротуару, панелі козирька повинні забезпечити перекриття тротуару і виходити за його край (зі сторони руху транспорту) на 50-100 мм.

Зони потенційно діючих небезпечних виробничих факторів повинні мати сигнальні огородження, які задовільняють вимоги [27]: висота стійок сигнального огородження повинна бути 0,8 м, відстань між стійками не повинна перевищувати 6,0 м.

На будівельний майданчик влаштовані 1 в'їзд та 1 виїзд, тимчасові дороги шириною 6,0 м дозволяють рухатись автомобільному транспорту з під'їздом до всіх складів та вузлів.

При в'їздах на будівельний майданчик повинна бути встановлена схема руху транспортних засобів, а на обочинах доріг і проїздів – добре видимі дорожні знаки, що регламентують порядок руху транспортного засобу в відповідності з правилами дорожнього руху.

Швидкість руху автотранспорту поблизу місць виробництва робіт не повинна перевищувати 10 км/год на прямих ділянках і 5 км/год на поворотах.

На будівельному майданчику огородженні всі небезпечні зони (монтажна зона, зона дії крана).

Відкритий котлован, траншеї огородити захистним огородженням.

До монтажних робіт допускаються чергові люди, які пройшли медичний огляд та мають допуск до роботи на висоті.

Стропування вантажів проводять згідно технологічної карти, розстроповку

вантажів та залізобетонних елементів проводять після їх закріплення.

Засоби риштування повинні мати рівні робочі настили з зазором між дошками не більше 5 мм, а при розміщенні настилу на висоті 1,3 м і більше – огородження і бортові елементи. З'єднання щитів настилів внахлест допускається тільки по їх довжині, при чому кінці елементів, що стикуються, повинні бути розміщені на опорі і перекривати її не менше ніж на 0,2 м в кожну сторону. Риштування повинні бути прикріплені до стіни будинку, що будується. При відсутності особливих вказівок в інструкції заводу-виготовлювача кріплення риштувань до стін будівлі повинно виконуватись не менше ніж через один ярус для крайніх точок, через два прольоти для верхнього яруса і одного кріплення на кожні 50 $м^2$ проекції поверхні риштувань на фасад будівлі.

Приміщення, в яких проводяться роботи з пилевидними матеріалами, а також робочі місця біля машин дроблення, розмолу і просіювання цих матеріалів повинні бути забезпечені вентиляційними системами (провітрюванням).

На робочих місцях, де застосовуються або готуються клеї, мастики, фарби і інші матеріали, що виділяють вибухонебезпечні або шкідливі речовини, не допускаються дії з використанням відкритого вогню або іскри.

На території будівництва в місцях розташування тимчасових будівель, складів, майстерень встановлюються пожежні щити, стенди та бочки з водою. Для запобігання розповсюдження пожежі необхідно забезпечити будівництво достатньою кількістю засобів пожежогасіння, дотримуватись правил зберігання, розміщення і обмеження кількості пальних речовин і матеріалів, а також дотримуватися інших вимог [28].

Основні причини виникнення пожеж при будівельних роботах:

- недоліки в будівельних конструкціях, спорудах, плануванні приміщень, влаштуванні комунікацій;
- дефекти обладнання, порушення режиму технологічних процесів та неправильне проведення робіт;

- несправність систем живлення і випуску відпрацьованих газів у двигунах внутрішнього згоряння, відсутність іскрогасників на вихлопних трубах двигунів;

- порушення правил користування відкритим вогнем, особливо поблизу місць застосування або зберігання горочих або легкозаймистих речовин;

- відсутність або несправність заземлення цистерн з рідкими нафтопродуктами;

- несправність або відсутність на деяких об′єктах системи блискавкозахисту.

На будівельному майданчику повинні бути організовані пости з протипожежними засобами, а також визначені особливо небезпечні зони у пожежному відношенні. В межах цих зон не допускається зберігання масляних фарб, оліфи, смоли, масел, паливно-мастильних матеріалів, вказані матеріали повинні зберігатись в окремих складських приміщеннях або під навісом. Зберігання в одному приміщенні кисневих балонів та балонів з іншими горючими газами забороняється. Всі роботи пов′язані з використанням відкритого вогню, допускається вести лише з дозволу відповідального за пожежну безпеку на будівельному майданчику.

Пожежна безпека - це стан об’єкту, при якому виключається можливість пожежі, а у випадку її виникнення виключається дія на людей небезпечних факторів пожежі і забезпечується захист матеріальних цінностей.

Пожежна безпека забезпечується завдяки створенню системи заходів пожежної профілактики і активного пожежного захисту.

Пожежна профілактика - комплекс організаційних заходів і технічних засобів, що спрямовані на запобігання можливого виникнення пожежі чи зменшення її наслідків,

Система активного пожежного захисту - це комплекс організаційних заходів і технічних засобів по боротьбі з пожежами і запобіганню дії на людей небезпечних чинників пожежі, а також обмеження матеріальних збитків від неї.

Для запобігання пожеж у будівельних організаціях розробляють організаційні, технічні, режимного характеру, пожежно-евакуаційні, тактико-профілактичні, будівельно-конструктивні та інші заходи режимів експлуатації машин і обладнання, за яких повністю виключається можливість виникнення іскор і полум'я при роботі, контакт нагрітих деталей обладнання з горючими матеріалами.

До організаційних заходів належать правильний вибір технології; недопущення захаращення приміщень і будівельних майданчиків; навчання працівників правилам пожежної безпеки; спеціальне розміщення матеріалів на складах та техніки в гаражах і ремонтних майстернях.

До технічних належать заходи, що стосуються правильного добору і монтажу електрообладнання, систем блискавкозахисту об'єктів і влаштування заземлення, іскрогасників тощо.

Заходи режимного характеру - це заборона куріння, запалювання вогню, правильне зберігання промаслених ганчірок, постійний контроль за зберіганням матеріалів, що можуть самозагорятись і т. ін.

Тактико-профілактичні заходи передбачають швидку дію пожежних команд, забезпечення об'єктів первинними засобами вогнегасіння, а також підтримування постійно в справному стані водопровідної системи тощо.

Заходів будівельно-конструктивного характеру вживають в процесі проектування і будівництва споруд, створення протипожежних конструкцій будівель, а також при конструюванні машин і обладнання.

7.1.2 Правила поведінки під час виконання робіт з монтажу будівельних конструкцій

Під час монтажу будівельних конструкцій, крім погодженого і затвердженого у встановленому порядку ПВР, необхідно виконувати вимоги

дійсного документа, ДБН "Техніка безпеки в будівництві", ДНАОП 0.00-1.03-93 "Правила будови і безпечної експлуатації вантажопідіймальних кранів, а також інших державних і відомчих нормативних актів і документів з урахуванням змін, які публікуються у журналі "Охорона праці"

Під час монтажу будівельних конструкцій основними шкідливими виробничими факторами слід вважати:

- машини і механізми, що рухаються і працюють, включаючи вантажопідіймальні;
- переміщення при підйомі і установці в проектне положення конструктивних елементів будівельних конструкцій, а також укрупнених блоків будинків і споруд;
- втрату стійкості монтуємих чи змонтованих будівельних майданчиків;
- розташування робочого місця на висоті від поверхні землі, підлоги, міжповерхових перекриттів і робочих чи монтажних площадок;
- недостатню освітленість робочої зони;
- дію вітру на вантажопідіймальні крани, а також на окремо змонтовані будівельні конструкції чи частини будинків і споруд;
- фізичні перевантаження при перенесенні вантажів вручну;
- підвищену чи знижену температуру повітря робочої зони;
- небезпечну і шкідливу дію на людей електричного струму, електричної дуги, електромагнітного випромінювання і статичної електрики;
- вплив підвищеного рівня ультрафіолетового і інфрачервоного випромінювань при виконанні електрозварювальних робіт, а також іонізуючих випромінювань при контролі якості зварених швів;
- токсичний і дратівний вплив на дихальні шляхи газів і аерозолів, що утворюються при зварювальних роботах;
- токсичний і дратівний вплив лакофарбових матеріалів, а також пари від них на дихальні шляхи людини при виконанні антикорозійних робіт;
- використання порохового монтажного інструмента.

Попередження чи зниження впливу на працюючих небезпечних і шкідливих виробничих факторів, повинно забезпечуватися при:

- пересуванні і роботі машин, механізмів і літальних апаратів - шляхом позначення знаками безпеки небезпечних зон, інженерної підготовки шляхів їх переміщення, а також дотримання правил безпечної їх експлуатації;
- переміщенні конструктивних елементів будівельних конструкцій, а також при втраті стійкості монтуємих чи змонтованих будівельних конструкцій - шляхом дотримання технології виконання робіт, а також прийняття в необхідних випадках інженерно-технічних рішень, що забезпечують несучу здатність цих конструктивних елементів;
- розташуванні робочого місця на висоті від поверхні землі, підлоги, міжповерхових перекриттів і робочих чи монтажних площадок - шляхом прийняття відповідних інженерно-технічних рішень, використання прогресивних засобів підмащування: автомобільних гідравлічних підйомників (АГП), телескопічних підйомників, колисок, навішених на гак вантажопідіймальних кранів, і т.д., а також застосуванням страхувальних пристроїв і пристосувань;
- недостатній освітленості робочої зони - забезпеченням освітленості площадок складування, будмайданчиків, монтажних площадок і робочих місць за спеціально розробленим проектом відповідно до ГОСТ 12.1.046-85 "Норми освітлення будівельних майданчиків";
- дії вітру на вантажопідіймальні механізми, а також на окремо змонтовані будівельні конструкції (ферми, колони і ін.), частини будинків і споруд - шляхом прийняття відповідних інженерно-технічних рішень на підставі перевірочних розрахунків на вітрові навантаження: для вантажів, що піднімаються кранами, відповідно до вимог ГОСТ "Крани вантажопідіймальні. Навантаження “вітрове" і для окремо змонтованих конструкцій, частин будинків і споруд відповідно до розділу 6 ДБН "Навантаження і впливи", з урахуванням вітрової пульсаційної складової;

- фізичних перевантаженнях - шляхом максимальної механізації ручної праці і дотримання допустимих норм навантажень при підйомі і переміщенні одиночних вантажів вручну, які не повинні перевищувати для жінок 10 кг при сумісництві з іншою роботою і 7 кг постійно на протязі робочої зміни; для чоловіків - максимум 50 кг;
- підвищеній чи зниженій температурі повітря робочої зони - використанням спецодягу, а також дотриманням тривалості робочого дня і перерв у роботі відповідно до діючих нормативних документів;
- дії електричного струму (у всіх його проявах) на організм людини - дотриманням вимог ГОСТ 12.1.013-78"Електробезпека. Загальні вимоги", ПУЕ, ПТЕ і ПТБ;
- впливі підвищеного рівня ультрафіолетового і інфрачервоного випромінювань, а також газів і аерозолів, що утворюються при виконанні зварювальних роботах і роботах, що їх супроводжують, - дотриманням вимог ГОСТ 12.3.003-86 "Роботи електрозварювальні. Вимоги безпеки", а також нормативних актів і документів, що діють в країні;
- токсичному і дратівному впливі лакофарбових матеріалів і пари від них - з урахуванням ГОСТ 12.3.016-87 "Роботи антикорозійні. Вимоги безпеки" і ГОСТ 12.1.005-76 "Повітря робочої зони. Загальні санітарно-гігієнічні вимоги";. [22…23]

7.1.3 Висновки до підрозділу 7.1

Дотримання вимог, перелічених у даному розділі, забезпечить безпечні умови праці, позбавить травматизму, профзахворювань та виникнення небезпечних факторів, аварій. Покращаться умови праці та виробниче середовище.

У разі порушення норм і правил охорони праці, невиконання колективного договору, наказів роботодавця або розпоряджень органів нагляду за станом

охорони праці, внаслідок чого трапилися нещасні випадки, виникли професійні захворювання або інші важкі наслідки настає кримінальна відповідальність.

При виконанні будівельних робіт порушення нормативних і правових актів, а також правил експлуатації будівельних механізмів, якщо це завдало шкоди здоров'ю людей або могло спричинити людські жертви та інші тяжкі наслідки карається позбавленням волі на строк до одного року або виправними роботами на той самий термін, або грошовим стягненням до 20 мінімальних неоподаткованих розмірів заробітної плати.

7.2 Безпека в надзвичайних ситуаціях

7.2.1 Оцінка стійкості об’єкту (цеху) до впливу ударної хвилі ядерного (техногенного) вибуху і заходи щодо підвищення стійкості

Шляхи та методи підвищення стійкості функціонування об’єкту (цеху) в умовах надзвичайної ситуації в мирний та воєнний час, доволі різноманітні і визначаються конкрентними специфічними особливостями кожного окремого підприємства.

Вибір найбільш ефективних (в тому числі і з економічної точки зору) шляхів і способів підвищення стійкості функціонування об’єкту, можливий тільки на основі всебічної ретельної оцінки кожного підприємства, як об’єкту громадянської оборони.

За критерій стійкості об’єктів до впливу ударної хвилі ,беруть максимальне значення надлишкового тиску, при якому будинки, споруди й устаткування зберігаються, або одержують слабкі руйнування (ушкодження). При оцінці стійкості визначають наступне:

- максимальний можливий надлишковий тиск ударної хвилі ΔРФmax очікуване на об’єкті;
- виділяють основні елементи на об’єкті, від яких залежить його працездатність;
- визначають надлишковий тиск, при яких будинки, споруди, устаткування одержують слабкі, середні, сильні і повні руйнування;
- визначають межі стійкості кожного виділеного елементу до ударної хвилі щодо надлишковому тиску ΔРФlim, при якому елементи одержують слабкі руйнування;
- визначають межі стійкості об’єкту в цілому до ударної хвилі по мінімальній межі стійкості його складових елементів.

Все це буде залежати від виду і потужності вибуху, відстані до об'єкта, конструкції й розмірів елементів об'єкта, орієнтації відносно вибуху, розміщення

будівель і споруд, рельєфу місцевості, характеру аварії, сили землетрусу чи бурі.

Врахувати їх разом для кожного об'єкта неможливо. Тому опір конструкцій дії вибухової хвилі прийнято характеризувати надмірним тиском у фронті ударної хвилі який призводить до слабких, середніх і сильних руйнувань.

Послідовність проведення оцінювання:

- визначення максимального надмірного тиску ударної хвилі, сейсмічної хвилі чи сили бурі, яка очікується на об'єкті;
- виділення основних елементів на об'єкті (тваринницькі ферми, склади, майстерні, комбікормовий цех, цехи переробки та ін.), від яких залежатиме функціонування об'єкта і виробництво продукції;
- оцінка стійкості кожного елемента об'єкта;
- порівняння розрахованої межі стійкості об'єкта з очікуваним максимальним надмірним тиском ударної хвилі сейсмічної хвилі чи сили бурі.
- визначення ступеня можливих руйнувань за таблицею результатів оцінки для елементів об'єкта при можливому і максимальному значенні надмірного тиску, тиску сейсмічної хвилі чи сили бурі і можливі при цьому втрати (відсотки).

На основі результатів оцінки стійкості об'єкта роблять висновки і пропозиції по кожному елементу і об'єкту в цілому: межа стійкості об'єкта, найбільш вразливі його елементи, характер і ступінь руйнувань при максимальному надмірному тиску, сильному землетрусі і урагані, можливі збитки; межа доцільного підвищення стійкості найбільш вразливих елементів об'єкта і пропозиції (заходи) для підвищення межі стійкості об'єкта.

Такими заходами можуть бути:

- укріплення несучих конструкцій та перекрить будівель установкою додаткових колон, ферм, контрфорсів або підкосів;

- розміщення обладнання на нижніх поверхах будівель або в підвалах, надійне закріплення на фундаменті.

7.2.2 Розробка заходів щодо підвищення стійкості промислового об’єкту

Оцінювання стійкості роботи об’єкту – це всебічне вивчення підприємства з погляду здатності його протистояти впливу вражаючих факторів ядерного вибуху, відновлення виробництва при одержанні середніх і слабких руйнувань.

Мета дослідження складається в тому, щоб виявити уразливі місця в роботі об’єкту у воєнний час і виробити найбільш ефективні пропозиції і рекомендації, спрямовані на підвищення його стійкості. Надалі ці рекомендації включаються в план заходів щодо підвищення стійкості роботи об’єкту, що і реалізується.

Дослідження стійкості підприємств проводиться силами інженерно-технічного персоналу із залученням фахівців науково-дослідних і проектних організацій, пов’язаних із даним підприємством. Організатором і керівником дослідження є керівник підприємства – начальник ЦО об’єкту.

Весь процес планування і проведення дослідження можна розділити на три етапи: перший – підготовчий, другий – оцінка стійкості роботи об’єкту в умовах воєнного часу, третій –розробка заходів, що підвищують стійкість роботи об’єкту.

На першому етапі розробляються керівні документи, визначається склад учасників дослідження й організується їхня підготовка.

Основними документами для організації дослідження стійкості роботи об’єкту є: наказ керівника підприємства; календарний план основних заходів щодо підготовки до проведення дослідження; план проведення дослідження.

Наказ директора підприємства (керівника дослідження) розробляється на підставі вказівок старшого начальника з урахуванням особливостей і конкретних умов, пов’язаних із виробничою діяльністю об’єкту. У наказі вказуються: мета і задачі майбутнього дослідження, час проведення робіт, склад учасників і задачі дослідницьких груп, терміни готовності звітної документації.

Календарний план підготовки до проведення дослідження визначає основні заходи і терміни їхнього проведення, відповідальних виконавців, сили і засоби, які беруть участь у поставлених задачах.

План проведення дослідження стійкості роботи об’єкту є основним документом, що визначає зміст роботи керівника дослідження і дослідницьких груп головних фахівців. У плані вказуються: тема, мета і тривалість дослідження, склад слідчих груп і зміст їхньої роботи, порядок дослідження. Тривалість дослідження встановлюється в залежності від обсягу робіт і підготовленості учасників, залучених до виконання задач, і може складати два – три місяці.

Залежно від складу основних виробничо-технічних служб на об’єкті можуть створюватися такі дослідницькі групи:

– начальника відділу капітального будівництва;

– головного енергетика;

– головного технолога;

– головного механіка;

– відділу матеріально-технічного постачання та ін.

Крім того, створюється група штабу ЦО об’єкту, в яку входять начальники служб оповіщення і зв’язку, протирадіаційного і протихімічного захисту сховищ і ПРУ, медична, охорони суспільного порядку, матеріально-технічного постачання.

Для узагальнення отриманих результатів і подання загальних пропозицій створюється група керівника дослідження на чолі з головним інженером чи начальником виробничого відділу. Чисельність дослідницьких груп залежить від обсягу розв’язуваних задач, специфіки виробництва і може складати 5 – 10 чоловік. Притягнуті до досліджень представники зовнішніх організацій беруть участь у роботі відповідних груп.

Підвищення стійкості об'єкта досягається посиленням найбільш слабких (вражаючих) елементів і ділянок об’єкту. Для цього на кожному ОНГ завчасно на основі досліджень планують і проводять відповідні організаційні й інженерно-технічні заходи. Досягнення науки і техніки дозволяють реалізувати такі рішення, при яких підприємство буде стійке до впливу дуже значних надлишкових тисків, однак це пов'язано з великими витратами засобів і матеріалів і може бути виправдано лише при захисті унікальних, особливо важливих елементів об'єкту.

Заходи будуть економічно обґрунтовані, якщо вони максимально узгоджені із завданнями, які розв'язуються в мирний час для забезпечення безаварійної роботи, поліпшення умов праці, удосконалювання виробничого процесу. Особливо велике значення має розробка інженерно-технічних заходів при новому будівництві, бо у процесі проектування, як відзначалося раніше, у багатьох випадках можна домогтися логічного поєднання загальних інженерних рішень із захисними заходами ЦО, що знизить витрати на їх реалізацію.

7.2.3 Висновки до підрозділу 7.2

Будівельна галузь як структурна ланка сучасної економіки України характеризується комплексом чинників, які зумовлюють колективну і індивідуальну безпеку людей як на етапі спорудження об’єктів будівництва, так і на етапі їх експлуатації. Визначальним чинником для дотримання необхідних умов безпеки є Державні будівельні норми, які охоплюють вимоги до конструкцій, матеріалів, технології спорудження будівельної продукції. Поряд з цим в країні існує мережа контролюючих інстанцій, які призначені для вчасного попередження і виявлення відхилень, які можуть негативно вплинути на експлуатаційні параметри будівель і споруд, стати причиною аварії, зумовити матеріальні витрати і людські жертви. Дотримання встановлених вимог з безпеки життєдіяльності є одним з вузлових питань будівельної галузі.

ВИСНОВОК

В ході дослідження нами були проаналізовано ферма з ЛСТК прольотом 2х18 метрів та були отримані наступні результати:

1. Виявлено недостатність стрижневий моделі щодо об'ємної в частині:

а) оцінки концентрації напружень в околовузлових зонах;

б) величин впливу защемлення стрижнів.

2. Отримано критичні зусилля з урахуванням реального защемлення стрижнів у вузлах для оцінки стійкості в площині / з площини.

3. Щоб підвищити запас по міцності і стійкості конструкції, а також оптимізувати її по міцності, жорсткості, стійкості і вартості був запропонований ряд нововведень, а саме:

1. Замість перетину 2хПС використовувати 1 профіль ПГС-СІГМА в положенні на ребро, що дозволить збільшити опірність взаємною зрушення двох напівферм, спростити монтаж і забезпечити економію металу на накладках. В купе з цим таке рішення дозволяє більш ефективно вирішити вузли, усунувши позацентровий додаток осьового навантаження.

2. Нижній пояс замінити на двутавр з «чорного» металу, що дозволить спростити монтаж, здешевити конструкцію, збільшити ефективну висоту ферми зменшивши будівельну висоту.

5. Розроблена методика дозволила удосконалити конструктивне рішення вузлів і стрижнів, що підвищило стійкість окремих стрижнів в 1,42 рази, жорсткість конструкції на 18,9%, коефіцієнти концентрації до 4,8 разів і знизило вартість ферми приблизно на 9,77%.

БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

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 К.: Мінбуд України, 2006
3. ДБН В.2.6-198:2014 Сталеві конструкції. Норми проектування К.Мінрегіонбуд України, 2014.
4. ГОСТ 19903-74*. Прокат листовой горячекатаный. Сортамент. М. Изд-востандартов. 1974
5. ГОСТ 8645-68*. Трубы стальные прямоугольные. Сортамент. М. Изд-востандартов. 1968.
6. Державні будівельні норми. Оцінка технічного стану сталевих конструкцій виробничих будівель і споруд, що знаходяться в експлуатації [Текст] : ДБН 362_92. – Введ. 1992_07_01. – К. : Укрархбудінформ, 1995. – 46 с.
7. ДБН В.1.2-2:2006. Система забезпечення надійності та безпеки будівельних об’єктів. Навантаження і впливи. Норми проектування. – К.: Мінбуд України, 2007. – 60 с.
8. Нілов О.О., Пермяков В.О., Шимановський О.В., Білик С.І., Лавріненко Л.І., Бєлов І.Д., Володимирський В.О. Металеві конструкції: Загальний курс: Підручник для вищих навчальних закладів. – Видання 2-е, перероблене і доповнене / О.О. Нілов, О.В. Шимановський. – К.: Сталь, 2010. – 869 с.
9. Лобанов Л.М. Сварные строительные конструкции / Лобанов Л.М., Махненко В.И., Труфяков В.И. – К.: Наук. Думка, 2005. – 416 с.
10. Нілов О.О., Пермяков В.О., Шимановський О.В., Білик С.І., Лавріненко Л.І., Бєлов І.Д., Володимирський В.О. Металеві конструкції: Загальний курс: Підручник для вищих навчальних закладів. – Видання 2-е,

перероблене і доповнене / О.О. Нілов, О.В. Шимановський. – К.: Сталь, 2010. – 869 с.

11. Клименко Ф.Є., Барабаш В.М., Стороженко Л.І. Металеві конструкції / Ф.Є. Клименко: Підручник. – 2-е вид., випр. і доп. – Львів: Світ, 2002. – 312 с.: 320 іл.

12. Перельмутер А. В., Слівкер В. І. Розрахункові моделі споруд і можливість їх аналізу. М .: Изд-во: ДМК Прес, 2002 г. 618 с.

13. EN 1993-1-3 «Eurocode 3: Design of steel structures - Part 1-3: General rules - Supplementary rules for cold formed members and sheeting». 1993. - 192 с.

14. Нілов О.О., Пермяков В.О., Шимановський О.В., Білик С.І., Лавріненко Л.І., Бєлов І.Д., Володимирський В.О. Металеві конструкції: Загальний курс: Підручник для вищих навчальних закладів. – Видання 2-е, перероблене і доповнене / О.О. Нілов, О.В. Шимановський. – К.: Сталь, 2010. – 869 с.

15. Yung D. Compression stability of high strength steel sections with low strain-hardening. Degree of Doctor. Sydney, 2003.

16. Закон України «Про охорону праці» // Відомості Верховної Ради України. – 1992 – № 49.

17. Власов В.З. Тонкостенные упругие стержни. М.:1940г.- 568 с.

18. Власов В.З. Общая теория оболочек и ее приложения в технике.- М.: Гостехиздат, 1949.- 784 с.

19. Власов В.З. Новый практический метод расчета складчатых покрытий и оболочек // Строительная промышленность. -1932.- №11.- С.33-38; № 12.-С.21- 26.

20. Власов В.З. Кручение и устойчивость тонкостенных открытых профилей // Строительная промышленность. - 1938.- №6.- С.49-53; № 7.- С.55-60.

21. Уманский А.А. Кручение и изгиб тонкостенных авиаконструкций.- М.:Оборонгиз, 1939.112 с.

22. Урбан И.В. Теория расчета стержневых тонкостенных конструкций.- М., 1955.-192 с.

23. Джанелидзе Г.Ю., Пановко Я.Г. Статика упругих тонкостенных стержней.- М., 1948.208 с.

24. Джанелидзе Г.Ю. К теории тонких и тонкостенных стержней // Прикладная математика и механика.- 1949.- вып.6.- том XIII.- С.597-608.

25. Джанелидзе Г.Ю. Вариационная формулировка теории тонкостенных упругих стержней В.З.Власова // Прикладная математика и механика.-1943.- Т.VIL-вып.6.- С.455-462.

26. Александров В.Г. Расчет тонкостенных неразрезных балок на совместное действие изгиба и кручения при подвижной нагрузке // Дис... канд. техн. наук. Ростов н/Д, 1948. 130 с.

27. Анучкин А.П. Изыскание оптимальных форм балок и колонн из тонкостенных штампованных профилей // Дис. канд. техн. наук. М., 1949. 169 с.

28. Бычков Д.В., Мрощинский А.К. Кручение металлических балок.- М., 1944. 260 с.

29. Бычков Д.В. Расчет балочных и рамных стержневых систем из тонкостенных элементов // Дис... д-ра техн. наук. М., 1945. 296 с.

30. Бычков Д.В. Расчет балочных и рамных стержневых систем из тонкостенных элементов.- М., 1948. 208 с.

31. Бычков Д.В. Строительная механика стержневых тонкостенных конструкций.- М., 1962. 476 с.

32. Горбунов Б.Н., Стрельбицкая А.И. Теория рам из тонкостенных стержней.- М., 1948, 198 с.

33. Resaiee-Pajand M., Maayedian M. Explicit stiffness of tapered and monosymmetric I beam- columns II International Journal of Engineering. -2000.-v.13.- N2.-p.1-18.

34. SC Lau, GJ Hancock. Distortional Buckling Formulas for Channel

Columns. Journal of Structural Engineering (ASCE). 1987. - 113 c.

35. BW Schafer, T. Pekoz. Laterally Braced Cold-Formed Steel Members with Edge Stiffened Flanges. Journal of Structural Engineering (ASCE). 1999. - 125 c.

36. YB Kwon, GJ Hancock. Strength Tests of Cold-Formed Channel Sections Undergoing Local and Distortional Buckling. Journal of Structural Engineering (ASCE). 1992. - 117 c.

37. LC Prola, D. Camotim, D., "On the Distortional Post-Buckling Behavior of Cold-Formed Lipped Channel Steel Columns". Proceedings of SSRC 2002 Annual Stability Conference, Seattle. 2002. - 571 c.

38. Cheng Y., Schafer BW Simulation of cold-formed steel beams in local and distortional buckling with applications to the direct strength method // Journal of Constructional Steel Research. Volume 63, Issue 5. 2007. P. 581-590.

39. Yasniy, P.V., Mykhailyshyn, M.S., Pyndus, Y.I. et al. Numerical Analysis of Natural Vibrations of Cylindrical Shells Made of Aluminum Alloy. *Mater Sci* 55, 502–508 (2020). https://doi.org/10.1007/s11003-020-00331-2