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

магістра
(назва освітнього ступеня)

на тему: Реконструкція зварної підкроквяної ферми для монтажу мостового крана з дослідженням її довговічності

Виконав(ла): студент(ка) 6 курсу, групи МБнм-61
спеціальності 192
Будівництво та цивільна інженерія
(шифр і назва спеціальності)
_____ Шептак А. Б.
(підпис) (прізвище та ініціали)

Керівник _____ Ковальчук Я.О.
(підпис) (прізвище та ініціали)
Нормоконтроль _____ Данильченко С. М.
(підпис) (прізвище та ініціали)
Завідувач кафедри _____ Ясній В.П.
(підпис) (прізвище та ініціали)
Рецензент _____ _____
(підпис) (прізвище та ініціали)

Тернопіль
2022

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)
« » _____ 2022 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 Шептаку Андрію Богдановичу
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи: «Реконструкція зварної підкроквяної ферми для монтажу мостового крану з дослідженням її довговічності»

Керівник роботи Ковальчук Ярослав Олексійович, к.т.н., доцент
(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 Базова конструкція підкроквяної ферми і умови її експлуатації.

4. Зміст роботи (перелік питань, які потрібно розробити)
Вступ; Роль фермових конструкцій в будівництві; Міцність зварних ферм за умов статичних навантажень; Довговічність зварних ферм при дії циклічних навантажень; Реконструкція зварних ферм для підвищення їх тривкості та довговічності; Аналіз результатів досліджень інших авторів і формування завданн для власних досліджень; Вибір конструктивної схеми і навантаження ферми; Методика досідження ферми при дії циклічних навантажень; Визначення Поведінки досліджувальної ферми при дії статичних навантажень (перед реконструкцією); Визначення показників силового впливу при екмплатації мостового крану; Пошкодження і руйнування базової ферми при дії циклічних навантажень; Конструктивні і технологічні пропозиції щодо реконструкції підкранової ферми; Статична міцність та циклічна довговічність для ферми згідно пропозиції; Оптимізація варіантів для реконструкції зварної ферми;

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

1.Базова конструкція ферми.

2.НДС в елементах ферми (без кранових навантажень).

3.Варіанти реконструкції ферми.

4.НДС в реконструйованих варіантах ферми.

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Охорона праці	Каспрук В.Б.		
Безпека в надзвичайних ситуаціях	Стручок В.С.		
Нормоконтроль	Данильченко С.В.		

7. Дата видачі завдання _____

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1	Особливості роботи зварних ферм за умов різних	11.04.2022	
	силових впливів		
2	Методичні особливості дослідження міцності і	15.04.2022	
	довговічності зварних ферм		
3	Дослідження реконструйованої зварної ферми	22.04.2022	
4	Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуація	10.05.2022	
5	Загальний виновок	15.05.2022	

Студент _____ Шептак А. Б.
(підпис) (прізвище та ініціали)

Керівник роботи _____ Ковальчук Я.О.
(підпис) (прізвище та ініціали)

ЗМІСТ

		Стор.
	Вступ	5
Розділ 1	Особливості роботи зварних ферм за умов різних силових впливів	8
1.1	Роль фермових конструкцій в будівництві	8
1.2	Міцність зварних ферм за умов статичних навантажень	10
1.3	Довговічність зварних ферм при дії циклічних навантажень	11
1.4	Реконструкція зварних ферм для підвищення їх тримкості та довговічності	12
1.5	Аналіз результатів досліджень інших авторів і формування завдання для власних досліджень	14
1.6	Висновки за розділом 1	15
Розділ 2	Методичні особливості дослідження міцності і довговічності ферми	16
2.1	Вибір конструктивної схеми і умов навантаження ферми	16
2.2	Методика дослідження ферми при дії циклічних навантажень	19
2.3	Порядок проведення комп’ютерно моделюючого експерименту	21
2.4	Методика проведення комп’ютерно моделюючого експерименту дослідження на втому	25
2.5	Висновок за розділом 2	30
Розділ 3	Виявлення поведінки досліджувальної ферми	31
3.1	Поведінка базової конструкції ферми при дії статичних навантажень	31
3.2	Визначення показників силового впливу при експлуатації мостового крана	39
3.3	Пошкодження і руйнування базової ферми при дії циклічних навантажень	41
3.4	Висновок за розділом 3	51

Розділ 4	Дослідження реконструйованої ферми	52
4.1	Конструктивні і технологічні пропозиції щодо реконструкції підкранової ферми	52
4.2	Статична міцність та циклічна довговічність для ферми згідно пропозиції зміцнення №1	53
4.3	Статична міцність та циклічна довговічність для ферми згідно пропозиції зміцнення №2	56
4.4	Статична міцність та циклічна довговічність для ферми згідно пропозиції зміцнення №3	59
4.5	Узагальнені результати визначення статичної міцності та циклічної довговічності для ферми за результатами досліджень	71
4.6	Висновок за розділом 4	74
Розділ 5	Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях	75
5.1	Законодавча база про охорону праці	75
5.2	Правила охорони праці при монтажі зварних ферм	76
5.3	Проведення комплексу інженерно-технічних, технологічних і організаційних заходів для підвищення стійкості роботи об'єктів будівництва в надзвичайних ситуаціях	77
	Загальні висновоки	79
	Бібліографія	81
	ДОДАТОК А	
	ДОДАТОК Б	
	ДОДАТОК В	

ВСТУП

Використання зварних ферм є найкращим вибором для оптимального поєднання тримкості та матеріаломісткості прогінних будівельних конструкцій.

При виготовленні сталевих будівельних конструкцій, зокрема ферм, зазвичай використовують зварні з’єднання. Такий технологічний підхід дає можливість збільшувати віддалі між опорними колонами чи несучими стінами в будівлях, спростити монтаж, знизити трудомісткість будівництва. В минулому для виготовлення зварних ферм найчастіше використовували кутниковий вальцьований профіль. Зараз для виготовлення зварних ферм все частіше використовують профілі типу RHS/MSH (профільні труби прямокутного, квадратного, круглого перерізу). Зварні ферми для великих прогонів виготовляють з двотаврових профілів [1].

Для визначення конструктивних параметрів зварних ферм при їх проєктування використовують різні інженерні підходи [2].

Дуже важливий еволюційний крок для для проектування зварних ферм було зроблено налаштування режиму розрахунку спільного проектування, встановленого Єврокодом. Згідно вимог стандартів EN1993-1-8 і EN1090/1, EN1090/2, всі види зварних з'єднань повинні бути розроблені та виготовлені з контролем якості [3].

В основі сучасного напряму визначення конструктивних параметрів зварних ферм лежить метод комп'ютерного моделюючого експерименту. В процесі моделювання є можливість виявити багатопараметричний вплив на зварні ферми конструктивних, технологічних, експлуатаційних та аварійні чинників [4], динаміку їх пошкодження і руйнування.

Актуальність теми роботи обумовлена тим, що зварні ферми зайняли вагоме місце в промисловому будівництві в зв’язку з тим, що здатні нести значні навантаження з відносно простою конструктивною формою, нескладним способом виготовлення цих ферм та відносно низькою вагою. Однак для їх безпечної експлуатації необхідно забезпечити подальший розвиток методики виконання

комп’ютерного моделюючого експерименту для умов роботи зварних підкроквяних ферм при циклічних навантаженнях.

Класичні методи визначення необхідного переріз стрижнів ферми не враховують жорсткість конструкції у вузлових елементах і тому не можуть виявити поведінку ферми в цих місцях. Комп’ютерний моделюючий експеримент з використанням сучасних прикладних програмних пакетів дає можливість визначити значення параметрів напружено-деформівного стану (НДС) в елементах конструкції в нелінійній постановці, максимально наблизивши результати розрахунків до натурних показників.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Роботу виконано за напрямком наукових досліджень кафедри будівельної механіки ТНТУ в рамках Державної Системи забезпечення надійності та безпеки будівельних об’єктів згідно «Загальних принципів забезпечення надійності та конструктивної безпеки будівель і споруд» (ДБН В.1.2-14:2018).

Мета й задачі роботи. Метою роботи є виявлення залежності між геометричними параметрами ферми, де формуються найвищіпараметри НДС, і довговічністю роботи конструкції при дії на неї циклічних навантажень. Для досягнення поставленої мети в роботі потрібно вирішити такі **задачі**:

- вибрати одну типову зварну ферму для дослідження, вказати її довжину, висоту, схему базування, схему прикладання, тип і величину навантажень;
- спроєктувати зварну ферму з використанням існуючих інженерних методик;
- визначити параметри НДС в конструктивних елементах ферми і у вузлових зварних з’єднаннях;
- визначити довговічність конструкції для прийнятих навантажень;
- змінюючи параметри зміцнення ферми, де формуються найвищі параметри НДС, дослідити їх вплив на довговічність досліджуваної конструкції;
- надати рекомендації щодо практичного застосування отриманих результатів.

Об’єктом дослідження є зварна ферма, в якій впродовж експлуатації конструкції формуються втомні пошкодження, що зумовлюють втрату несучої здатності ферми.

Предметом дослідження є довговічність зварної підкроквяної ферми, що визначає безпечний термін експлуатації конструкції при дії циклічних навантажень.

Методи дослідження. Для досягнення мети дослідження за доступними інформаційними джерелами виконано розгляд результатів досліджень інших авторів та нормативної бази за тематикою роботи, виконано їх аналіз, використано методику комп’ютерного моделюючого експерименту.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Роботу виконано за напрямком наукових досліджень кафедри будівельної механіки ТНТУ.

Наукова новизна одержаних результатів. Отримала подальший розвиток методика комп’ютерного моделюючого експерименту для виявлення довговічності зварної підкроквяної ферми при її експлуатації за умов циклічних навантажень.

Практичне значення одержаних результатів. Отримані в роботі результати доцільно використовувати при проєктуванні зварних ферм, які експлуатуватимуться при дії циклічних навантажень, для визначення проєктної довговічності їх роботи і попередження руйнування конструкцій через поширення тріщин втоми за межі допустимих розмірів. Отримані в роботі результати можна застосовувати для визначення залишкового ресурсу зварних ферм, які експлуатуються, з метою визначення залишкового ресурсу конструкції.

Апробація результатів магістерської роботи. Отримана у V Міжнародній студентській науково-технічній конференції.

Публікації. Результати роботи опубліковано в матеріалах збірника тез V-ї Міжнародної студентської науково-технічної конференції [5].

Ключові слова: зварні ферми, реконструкція, циклічні навантаження, тріщиностійкість, зварні шви.

РОЗДІЛ 1
ОСОБЛИВОСТІ РОБОТИ ЗВАРНИХ ФЕРМ ЗА УМОВ РІЗНИХ СИЛОВИХ ВПЛИВІВ

1.1 Роль фермових конструкцій в будівництві

Ферма – це конструкція, що складається з стрижнів (елементів), організованих у з'єднані трикутники, так що загальна збірка поводиться як єдиний об'єкт. Несучі конструкції з ферм найчастіше використовуються в мостах, дахах і вежах [6].

Кроквяні ферми – це ферм, які зазвичай виготовляється з прямих стрижнів металу або деревини для формування низки трикутників, що лежать в одній площині [6].

Ферма надає стійку форму, здатну витримувати значні зовнішні навантаження на великому прогоні, при цьому складові частини сприймають переважно осьовий розтяг або стиск. Окремі частини перетинаються в кроквяних з'єднаннях або точках панелей.

З’єднані частини, що утворюють верхню та нижню частину ферми, позначаються відповідно верхнім та нижнім поясом. Похилі та вертикальні частини, що з'єднують пояси, разом називаються павутиною ферми. До конструкції ферми належать похилі елементи-розкоси, вертикальні елемент- стійки [7].

Кінці цих елементів з'єднані між собою стиками, відомими як вузли. Вони здатні витримувати значні навантаження, переносячи їх на опорні конструкції, такі як несучі балки, стіни або ґрунт. В основному ферми застосовують для:

- досягнення перекриття довгих приміщень.
- мінімізації ваги конструкції .
- зменшення прогину.
- можливості витримувати великі навантаження.

Перевагою ферм є те, що вони вимагають менше матеріалу для сприймання навантажень у порівнянні з суцільними балками. Як правило, загальна ефективність ферми оптимізується за рахунок використання меншої кількості

матеріалів та більшої кількості елементів кріплення у порівнянні з суцільними балками [8].

Плоска ферма – це ферма, у якій усі елементи лежать у двовимірній площині. Цей тип ферм, зазвичай, використовують послідовно, при цьому ферми викладаються паралельно для формування дахів, мостів тощо (рис.1.1).

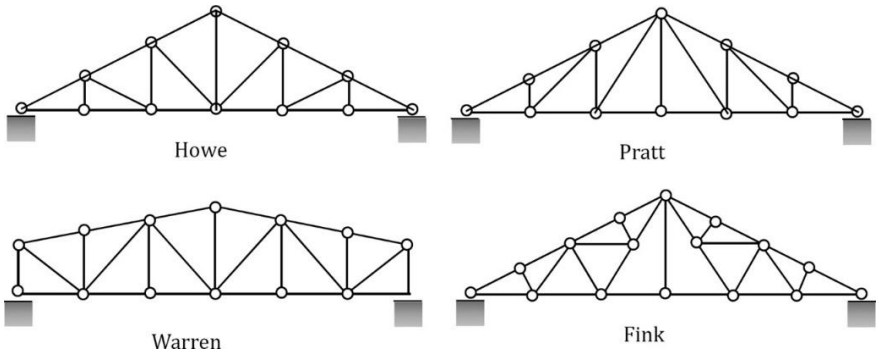

Рисунок 1.1 – Плоска ферма

Для задання більшої жорсткості для належної роботи конструкції між фермами виконуються горизонтальні й вертикальні зв’язки [9].

На відміну від площинної ферми, яка лежить у двовимірній площині, ферма з просторовою рамою є тривимірною основою з’єднаних трикутників (рис. 1.2).

Рисунок 1.2 – Просторова ферма

Перевагою просторових ферм над плоскими полягає в тому що потребують розкріплення і сприймають навантаження лише в одній площині, а просторові працюють як самобутня жорстка конструкція. Отже перевагою просторової ферми над плоскою є жорсткість і стійкість, без додаткового розкріплення між фермами.

1.2 Міцність зварних ферм за умов статичних навантажень

Статична стійкість ферми досягається застосуванням ґраток (розкосів), що утворюють систему трикутників. Ґрати ферми працюють на поперечну силу, розподіляють навантаження між верхнім і нижнім поясами, а отже виконують функції стінки суцільної балки. Від системи ґраток залежать власна маса ферми, трудомісткість її виготовлення та зовнішній вигляд [10].

Трикутні грати є найпоширенішими, оскільки їх загальна довжина і кількість вузлів менші, ніж у фермах з іншими типами ґрат. Раціональний кут нахилу ґрат до нижнього поясу становить 45...50°. Недоліком трикутних ґрат є значна довжина панелей поясів, особливо при великих довжинах ферм [11].

Розкісні ґрати зазвичай застосовують у невисоких фермах. Унікальністю таких ґрат полягає в тому, що від напрямку їх до опори є можливість регулювати знаки зусиль. Кут нахилу ґрат даного типу до нижнього поясу коливається в межах 35...45° такі кути більш економічні і сприятливі для роботи розкосів. У фермах з трапецієподібних і паралельними поясами доцільно проектувати розкоси спадними від опори, тоді вони будуть працювати на розтягн, а короткі стояки ґрат – на стиск. Для ферм трикутного й сегментного ескізу, навпаки, в розкосах ґрат спадні елементи працюють на стиск, а вихідні на розтяг [12].

Реакції ферми на опори визначаються аналогічно реакціям шарнірно-обпертої балки. Для обчислення наружень у стержнях ферми застосовуються графічні, аналітичні та комп’ютерно-моделючі методи. До аналітичних відносяться:

- метод вирізання вузлів;
- метод ліній впливу;
- метод перетинів, до якого входять спосіб моментної точки.

Із графічних методів найбільш відомий метод Максвела-Кремони.

Метод комп’ютерного моделювання реалізують за допомогою програмних комплексів. При проведенні вланих досліджень використано програмні комплекси SolidWorks 2021 та ЛИРА 2016 [13].

1.3 Довговічність зварних ферм при дії циклічних навантажень

Довговічність зварних ферм залежить від сукупності факторів таких як: конструкція ферми, типи і величини навантажень впродовж експлуатації, частоти циклів навантаження і розвантаження. Безпечна експлуатація ферми діє до настання граничного стану [14].

Граничний стан ферми, яка працює при дії циклічних навантажень, настає коли втомна тріщина досягає такої довжини, при якій вичерпується здатність ферми нести необхідне навантаження. В місцях, де в фермі виникають максимальні напруження, з’являється втомна тріщина, яка в подальшому росте до критичного розміру [14].

Втома конструкції – це процес утворення, накопичення і розвитку втомної тріщини у елементах конструкції при дії циклічних(періодичних) навантажень (рис. 1.3). В свою чергу втомна тріщина виникає, як наслідок втомного пошкодження, яке змінює фізико-механічні властивості матеріалу елемента.

Важливою характеристикою матеріалу при розрахунку на довговічність конструкції є тріщиностійкість. Цей параметр характеризує здатність матеріалу з утвореною тріщиною не руйнуватися при конкретних навантаженнях впродовж конкретного періоду часу [15].

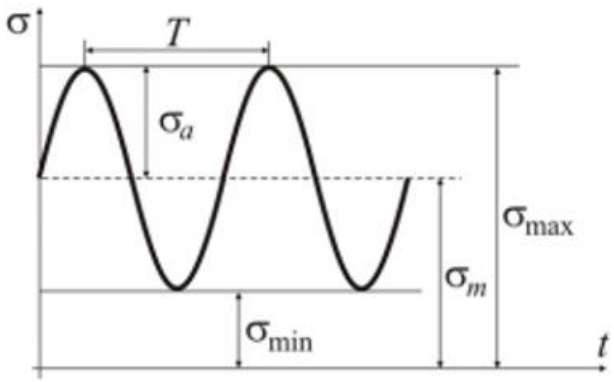

Рисунок 1.3 – Цикл навантажень

σ_{min} – мінімальні напруження; σ_{max} – максимальне напруження; σ_m – середні напруження; σ_a – амплітуда– коефіцієнт асиметрії, Т – тривалість циклу

Втомленість матеріалу залежить від максимальних σ_{max} та мінімальних σ_{min} напружень циклу, властивостей матеріалу, температури, тощо. Якщо зміна напружень відбувається несиметрично відносно осі часу t, то такий цикл називають асиметричним. За допомогою введення середніх (або постійних) напружень σ_m та амплітудних (або змінних) напружень σ_a довільний асиметричний цикл можна звести до симетричного коливання амплітудної складової σ_a відносно середнього σ_m напруження циклу. То ж, середнє напруження циклу σ_m є алгебраїчною напівсумою найбільшого σ_{max} та найменшого σ_{min} напруження циклу [15].

Актуальність розрахунку на довговічність полягає в тому, щоб визначити кількість навантажень і розвантажень ферми для того, щоб знайти допустимий час експлуатації ферми, оскільки втомні тріщини ростуть поступово, а руйнування конструкції відбувається раптово.

1.4 Реконструкція зварних ферм для підвищення їх тримкості та довговічності

Реконструкція виробничих будівель в Україні зумовлена зміною їх функціонального призначення. Переважно це каркасні споруди зі сталі. Для адаптації їх під сучасні потреби необхідно виконати зміцнення вже існуючих конструкцій, в тому числі ферми. В основному це ферми з парних кутників або

прямокутних труб. Найчастіше використовують два методи зміцнення ферм, а саме збільшенням перерізу окремих стержнів (рис. 1.4) і зміцнення вузлів додатковими пластинами [16].

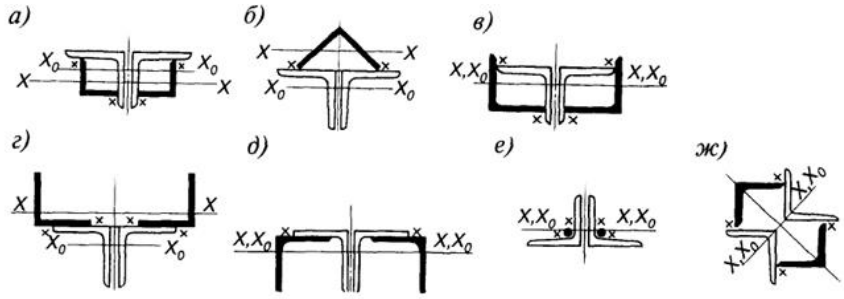

Рисунок 1.4 – Зміцнення зварних ферм способом збільшення перерізу

На (рис.1.5,а) показано зміцнення стислих стрижнів ферм постановкою шпренгелів, що зменшують розрахункову довжину стрижнів в площині ферми. Такий метод зміцнення підвищує стійкість стрижнів тільки в площині ферми і його можна використовувати при незначному збільшенні зусиль в стержнях або при викривленні стержня в площині ферми. Розтягнутий пояс ферми можна зміцнити попереднім напруженням затягуванням (рис.1.5,б).

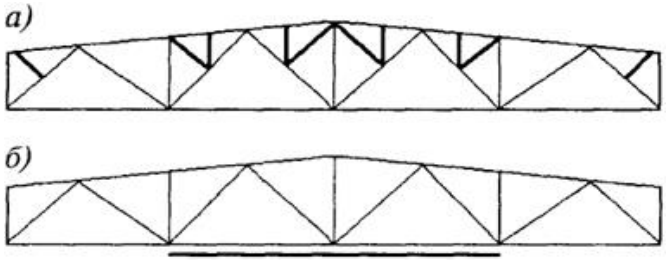

Рисунок 1.5 – Зміцнення стрижнів стропильних ферм способом зміни конструктивної схеми

Підведення нових конструкцій влаштовують в тому випадку, коли інші способи зміцнення не дають необхідного ефекту і якщо за умовами експлуатації допустима установка додаткових проміжних опор (рис. 1.6). Додаткові опори слід встановлювати в вузлових з'єднаннях ферми симетрично від максимального згинального моменту. У місцях передачі вузли ферми зміцнюються додатковими елементами [17].

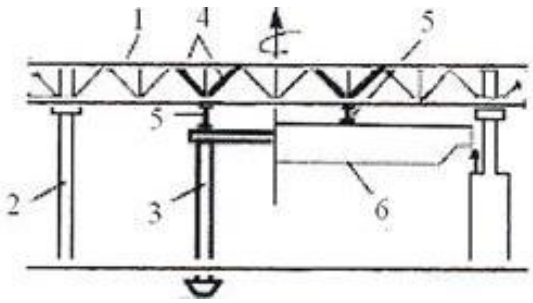

Рисунок 1.6 – Зміцнення ферми способом установки проміжних опор
1– зміцнена ферма; 2 – колона; 3 – додаткова опора; 4 – додатковий елемент зміцнення ферми; 5 – металева балка; 6 – мостовий кран

1.5 Аналіз результатів досліджень інших авторів і формування завдання для власних досліджень

Зварні вузли в фермових конструкціях є місцем локалізації критичних напружень через порушення структури основного металу, особливо ділянки термічного впливу і зварного шва. Особливо це небезпечно при дії циклічних навантажень, коли зародження і поширення тріщини до критичного розміру відбуваються впродовж експлуатаційного циклу, а руйнування наступає раптово. Тому є важливим виконати розрахунок довговічності існуючої конструкції після додавання до неї циклічних навантажень та за необхідності зміцнити її і збільшити жорсткість. Дослідження з використанням сучасного програмного пакету SolidWorks дає можливість визначити максимально наближені значення до натурних показників напружено-деформуючого стану (НДС) в елементах ферми [18]. Для виявлення залежності між елементами ферми, де формуються найбільші параметри НДС, і довговічністю роботи конструкції при дії на неї циклічних навантажень в роботі потрібно вирішити такі задачі:

- вибрати одну з типових зварних ферм для дослідження. Вказати її тип, розміри, схему прикладання, величину і тип навантажень;
- спроєктувати зварну ферму розраховану для статичних навантажень з використанням існуючих інженерних методик;
- провести дослідження міцнісних характеристик елементів ферми;

- провести дослідження впливу циклічних навантажень на елементи ферми;

- визначити параметри НДС в конструктивних елементах ферми, за потреби зміцнити їх;

- визначити довговічність досліджувальної конструкції для прийнятих навантажень.

1.6 Висновки за розділом 1

1. Описано і проаналізовано інформацію з літературних джерел щодо моделювання зварних ферм з метою визначення їх довговічності і забезпечення надійності при експлуатації.

2. Проаналізовано причини утворення і поширення втомних тріщин у вузлах зварних ферм при експлуатаційному впливові на них циклічних навантажень.

3. Проаналізовано класичні методи зміцнення ферм, які експлуатуються за умов статичних і циклічних навантажень, для підвищення їх тримкості й циклічної довговічності.

4. Врахувавши тему й мету кваліфікаційної роботи та інформацію з проаналізованих джерел, сформульовано задачі для власних досліджень.

РОЗДІЛ 2
МЕТОДИЧНІ ОСОБЛИВОСТІ ДОСЛІДЖЕННЯ МІЦНОСТІ І ДОВГОВІЧНОСТІ ФЕРМИ

2.1 Вибір конструктивної схеми і умов навантаження ферми

Метою кваліфікаційної роботи є зміцнення існуючої зварної підкроквяної ферми для монтажу мостового крану з дослідженням її довговічності. Для дослідження вибрано типову серійну 12-ти метрову підкроквяну ферму.

Вибрана підкроквяна ферма запроєктована з паралельними горизонтальними нижнім і верхнім поясами і рівномірною трикутною решіткою. Розмір панелей 3 м. Пояси підкроквяної ферми виготовлено з одної відправочної частини профільної труби довжиною 12 м. Висота ферми 1,5 м. З'єднання елементів решітки з поясами ферми без фасонок. Конструктивну схему ферми наведено на рис. 2.1.

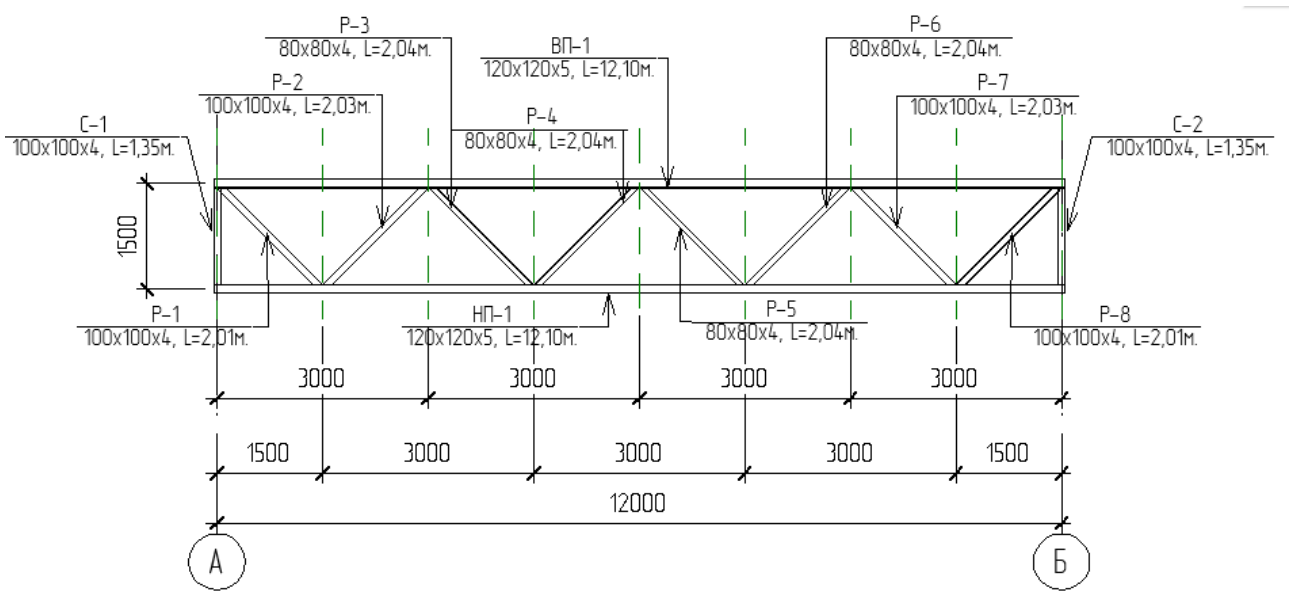

Рисунок 2.1 – Конструктивна схема досліджувальної ферми

Всі заводські з'єднання ферм зварні.

Експлуатаційні навантаження від ваги покрівлі наведено в табл. 2.1.

Таблиця 2.1 – Навантаження від власної ваги покрівлі

№ п/п	Найменування навантаження	Нормативне навантаження Кн/м^2	Коефіцієнт надійності по навантаженю	Розрахункове навантаження Кн/м^2
	Рулонний настил з двох шарів ізофлама	0,1	1,2	0,12
	Утеплювач, мінеральні жосткі плити	0,1	1,2	0,12
	Утеплювач мінеральні напів жосткі плити	0,12	1,2	0,145
	Пароізоляція	0,008	1,2	0,01
	Профнастил Н75-750-0,8	0,112	1,05	0,118
	Власна вага конструкції покритя	0,25	1,05	0,26
	Всього	0,69		0,773

Снігове навантаження на покриття визначено згідно ДБН В.1.2-2:2006 і подано в табл. 2.2.

Експлуатаційне розрахункове значення навантаження $Se = \gamma_{fe} S_0 C = 0{,}986$

γ_{fe}=0,88 – коефіцієнт надійності.

S_0=1,4 кН/м^2 – харектеристична вага снігового настилу в четвертому сніговому районі.

$C = \mu C_e C_{alt} = 0{,}8$

μ=1, коефіцієнт що врахуває вагу снігу залкжно від ухилу поверхні.

C_e=0,8, коефіцієнт особливостей експлатації покрівлі.

C_{alt}=1, коефіцієнт що залежить від висоти споруди над рівнем моря.

Таблиця 2.2 – Снігові навантаження на рулонну покрівлю

Район по вазі снігового покриву	Нормативне навантаження Кн/м^2	Коефіцієнт надійності по навантаженю	Розрахункове навантаження Кн/м^2	Примітка
4	0,986	1,2	1,18	

Отже, розрахункове статичне навантаження на вузол середньої кроквяної ферми дорівнюватиме (1,18+0,773)×3×3= 17,56 кН.

Щоб визначити зусилля на вузол досліджувальної підкроквяної ферми, необхідно визначити реакцію опор кроквяної ферми. Реакцію опор визначено в моделюючо-розрахунковій програмі SolidWorks 2021.

Реакція кроквяної ферми на опору становить 61430Н=61,430 кН.

Отже, навантаження на вузол підкроквяної ферми рівне реакції опори кроквяної ферми і становить 61430 Н=61,430 кН.

Розрахунок відносної деформації при розтягуванні чи стисканні елементів ферми в програмному комплексі SolidWorks визначають як відношення зміни довжини δ_L (абсолютна деформація) до початкової довжини L (рис. 2.2). Отже, відносна деформація – безрозмірна величина. Відносну деформацію розтягу чи стиску визначають за формулою L/ δ_L.

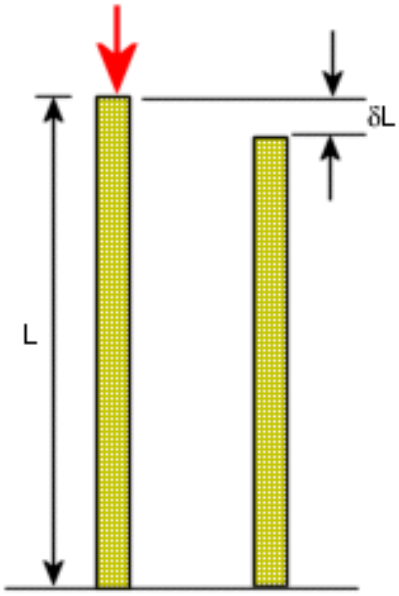

Рисунок 2.2 – Деформація відносного видовження

Програма SolidWorks пропонує отримати 12 типів результатів дослідження відносної деформації, які наведено в табл. 2.3.

Таблиця 2.3 – Опис типів результатів дослідження відносної деформації

№ тиипу	Позначення	Найменування
1	EPSX	Нормальна деформація в напрямку X вибраної опорної геометрії,
2	EPSY	Нормальна деформація в напрямку У вибраної опорної геометрії,
3	EPSZ	Нормальна деформація в напрямку Z вибраної опорної геометрії,
4	GMXY	Деформація зсуву в напрямку Y у площині YZ вибраної опорної геометрії,
5	GMXZ	Деформація зсуву в напрямку Z в площині YZ вибраної опорної геометрії
6	GMYZ	Деформація зсуву в напрямку Z в площині XZ вибраної опорної геометрії
7	ESTRN	Еквівалентна деформація
8	SEDENS	Щільність енергії деформації (a)
9	ENERGY	Загальна енергія деформації (b)
10	E1	Нормальна деформація в першому головному напрямку
11	E2	Нормальна деформація в другому головному напрямку
12	E3	Нормальна деформація в третьому головному напрямку

Еквівалентна деформація (ESTRN)=2 $[(\varepsilon_1+\varepsilon_2)/3]^{(1/2)}$

$\varepsilon_1 = 0.5\,[(EPSX - \varepsilon^*)^2 + (EPSY - \varepsilon^*)^2 + (EPSZ - \varepsilon^*)^2]$

$\varepsilon_2 = [(GMXY)^2 + (GMXZ)^2 + (GMYZ)^2] / 4$

$\varepsilon^* = (EPSX + EPSY + EPSZ) / 3$

2.2 Методика дослідження ферми при дії циклічних навантажень

У процесі дослідження використано комплекс спеціальних загальнонаукових і взаємодоповнюючих методів: метод скінчених елементів реалізований у програмних комплексах ЛІРА САПР, Solidworks; методи прогнозу втомної довговічності [19].

Поняття вібраційної міцності насамперед стосується роботи конструкцій з сталі під дією повторювальних навантажень і розвантажень конструкції. Такими конструкціями в даному випадку є підкранові балки, які передають навантаження на вузли покрівельних несучих ферм. Руйнування може відбутися при дії навантажень значно менших за границю текучості матеріалу. Це явище має назву втома матеріалу. Властивість чинити опір такому руйнуванню називається витривалістю.

Якщо діючі напруження при змінних навантаженнях не перевищують межі текучості, то руйнування від втомленості настає після великої кількості навантажень і розвантажень конструкції циклічними навантаженням, такими як рух підвісного крану по рейці, що обчислюється мільйонами разів. Якщо діючі напруження вищі за межу текучості, то через додаткові деформації руйнування настає набагато меншу кількість циклів. Це має найменування малоциклова втомленість [20].

В межах кваліфікаційної роботи досліджуватиметься конструкція ферми, на яку діє циклічне навантаження при русі крана по підкранових шляхах.

Для цього необхідно буде розглянути фактичні умови роботи крана і приведені для розрахунку комп’ютерно моделючим експерементом.

Фактичні умови роботи описують процес експлуатації, а саме його фізичний вплив на конструкцію, періодику навантажень і розвантажень, середню кількість цих навантажень за певний відрізок часу. Ще необхідно врахувати не тільки частоту навантажень і розвантажень, а й навантаження, яке діятиме продовж цього часу [20].

Графічним відображенням умов роботи є фактична циклограма навантажень (рис. 2.3).

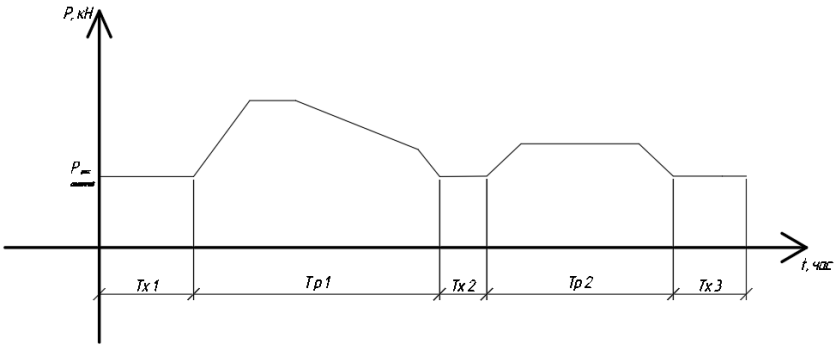

Рисунок 2.3 – Циклограма дійсних навантажень

T_x – період часу, під час якого на конструкцію не діють циклічні навантаження;

T_{p1}, T_{p2} – період часу, під час якого на конструкцію діють циклічні навантаження;

P_{max} – максимальне статичне навантаження на конструкцію;

T_p – тривалість одного циклу навантаження

Для врахування циклічних навантажень при комп’ютерному моделюючому експеременті циклограму потрібно привести до спрощеного вигляду (рис. 2.4).

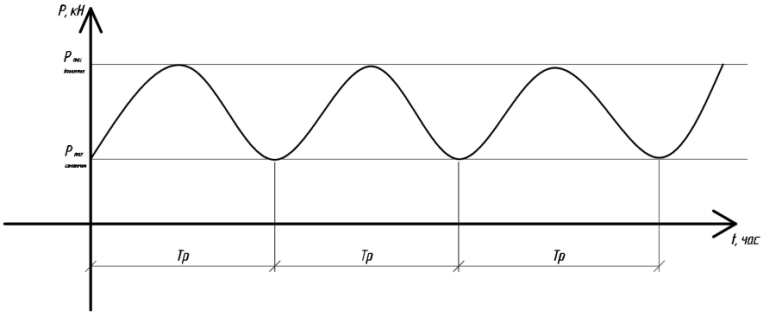

Рисунок 2.4 – Циклограма приведених навантажень

2.3 Порядок проведення комп’ютерного моделюючого експерименту

Для дослідження поведінки ферми в програмному комплексі Solidworks необхідно виконати такі етапи роботи:

1. Створення ескізу ферми (рис. 2.5);

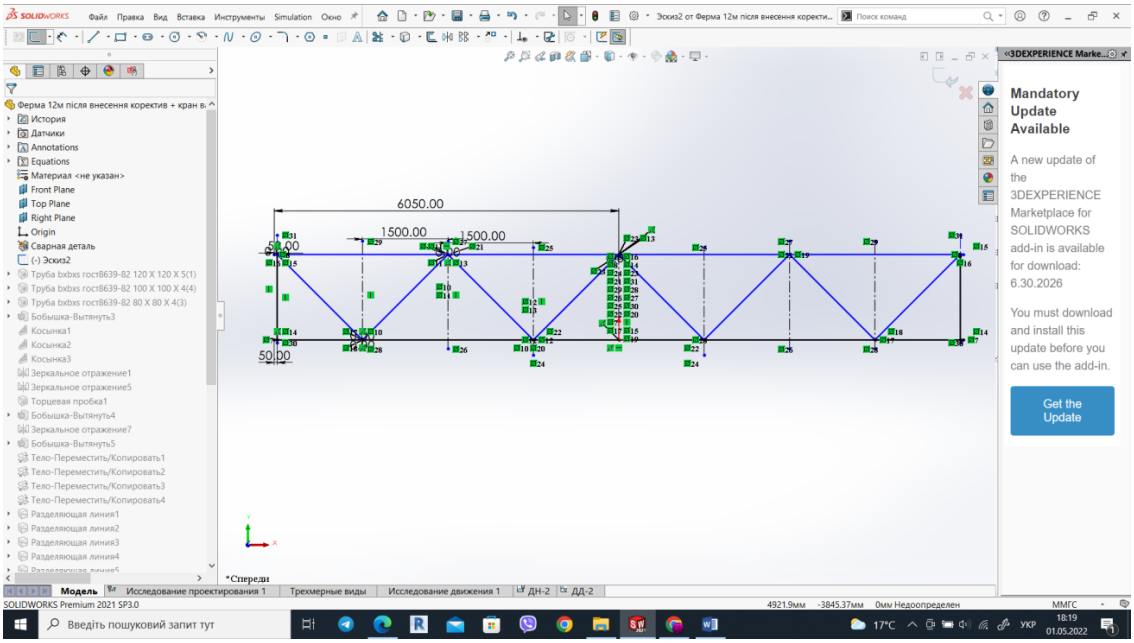

Рисунок 2.5 – Процес створення ескізу ферми

2. Моделювання просторової моделі ферми (рис. 2.6);

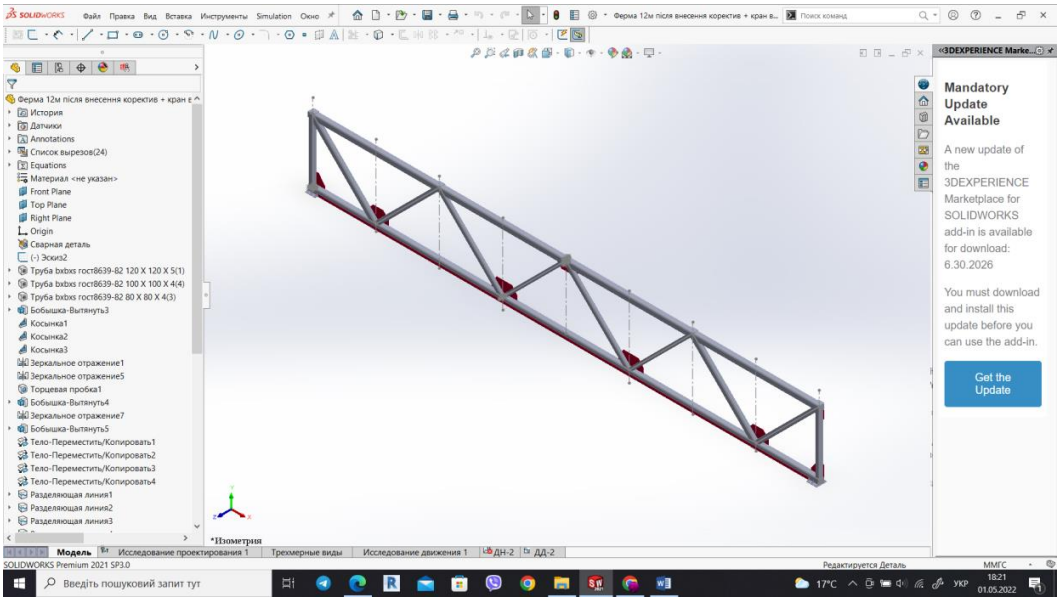

Рисунок 2.6 – Процес моделювання просторової моделі ферми

3. Створення статичного дослідження (рис. 2.7);

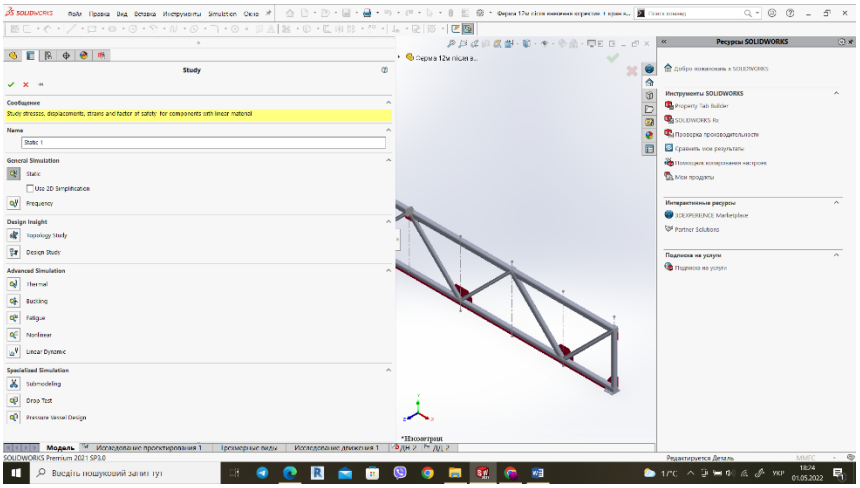

Рисунок 2.7 – Процес створення статичного дослідження

4. Завдання характеристик матеріалу (рис. 2.8);

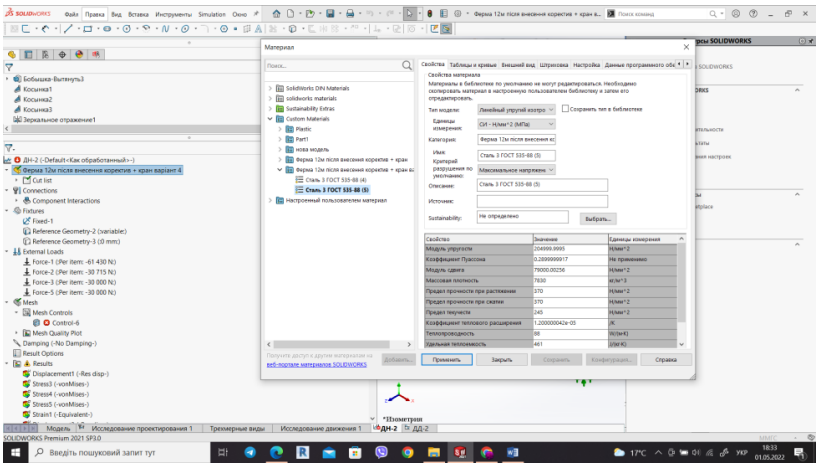

Рисунок 2.8 – Процес завдання характеристик матеріалу

5. Завдання місць і типи кріплення ферми (рис. 2.9);

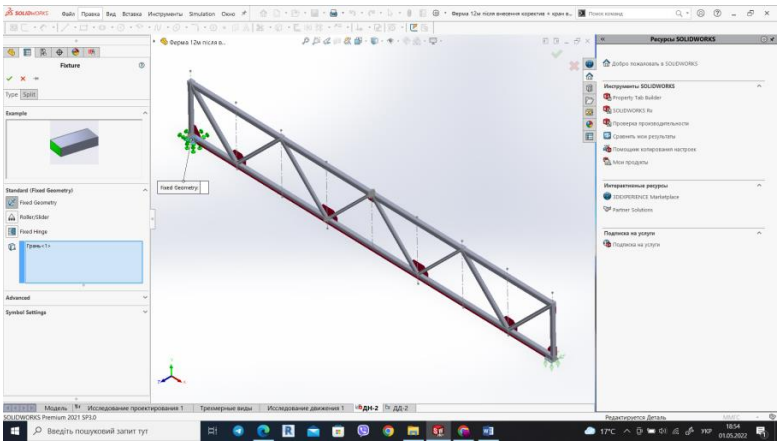

Рисунок 2.9 – Процес завдання місць і типи кріплення ферми

6. Завдання тип і величину навантажень у відповідні вузли (рис. 2.10);

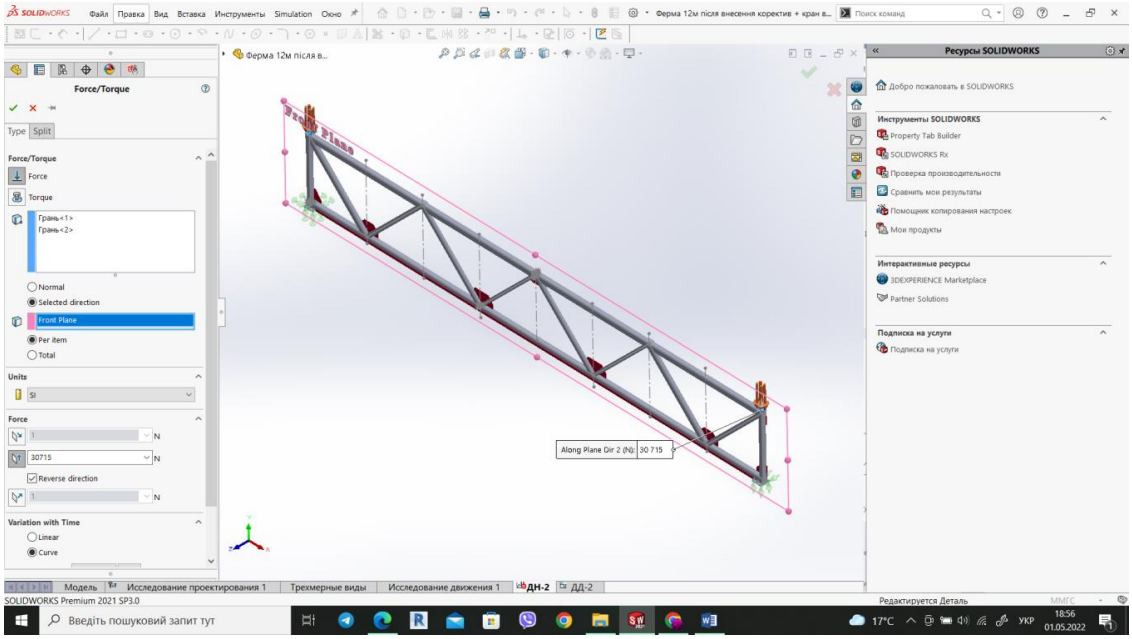

Рисунок 2.10 – Процес завдання тип і величину навантажень у відповідні вузли

7. Створення сітки контролю результатів дослідження(рис. 2.11);

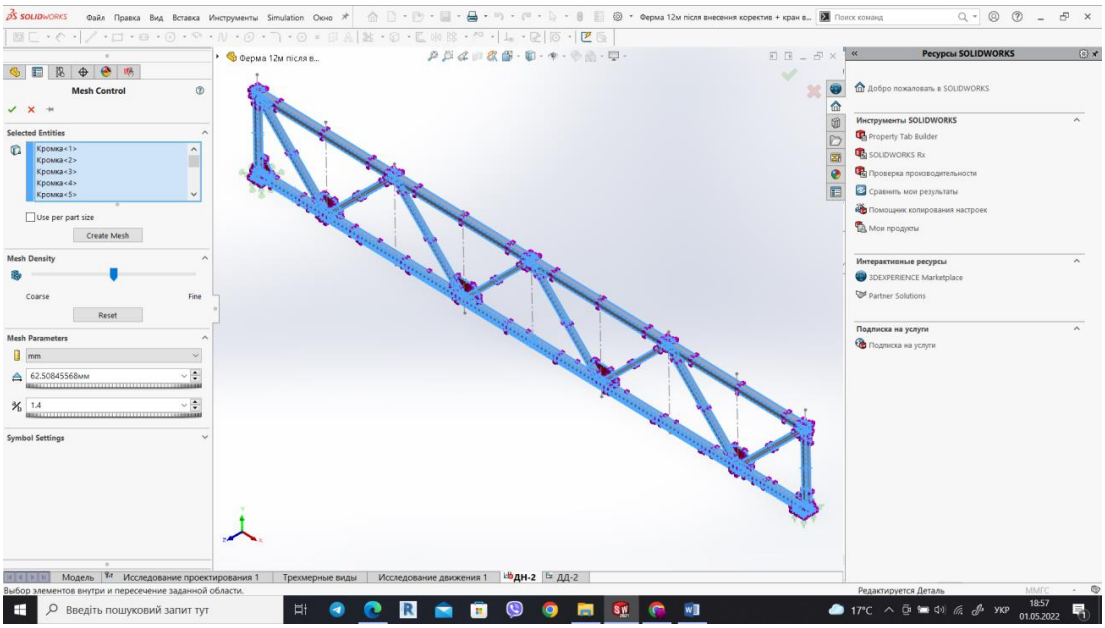

Рисунок 2.11 – Процес створення сітки контролю результатів дослідження

8.Створення детальної сітки елементів моделі на дрібні деталі (Рис. 2.12);

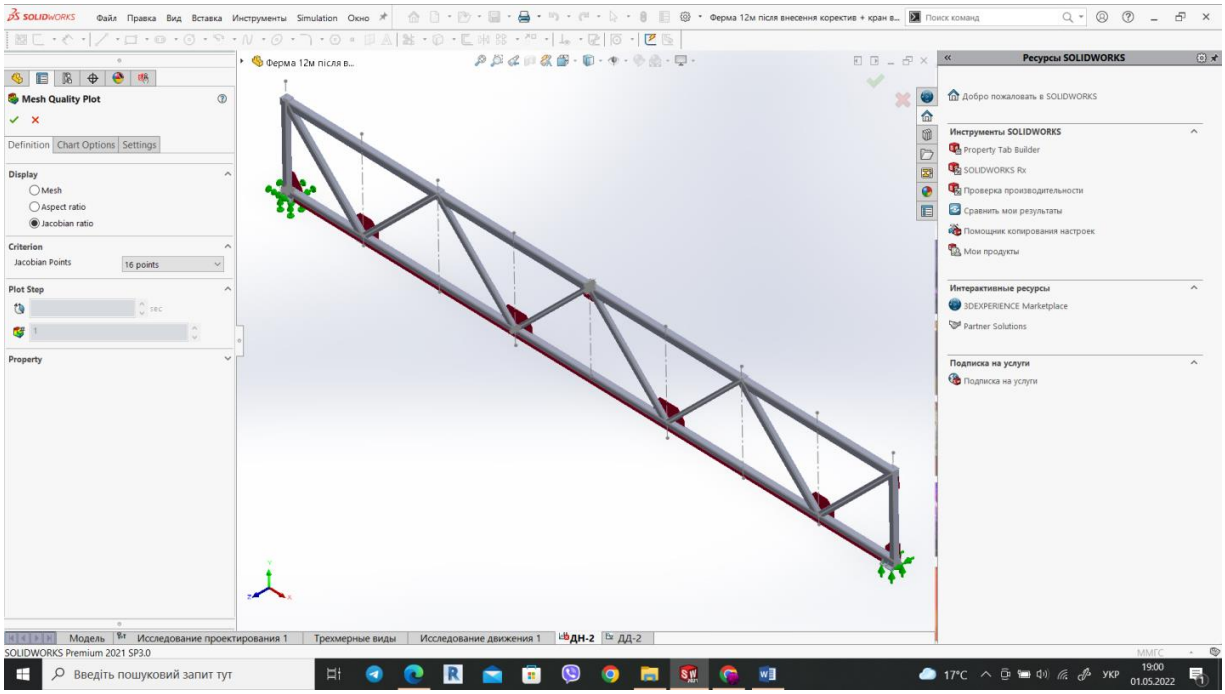

Рисунок 2.12 – Процес створення детальної сітки розбиття елементів моделі на дрібні деталі.

9. Запуск дослідження.

10. Формування і завдання характеристик результатам дослідження.

2.4 Методика проведення комп’ютерного моделюючого експерименту для дослідження на втому

Втома – це явище, яке спостерігається, коли багаторазове навантаження і розвантаження з часом послаблює об'єкт, навіть коли викликані напруження значно менші за допустимі межі напружень. Налаштування аналізу втоми в SolidWorks Simulation дозволить нам визначити чи зможе ферма витримати вимоги використання впродовж певного періоду часу, а не тільки чи витримає за умов статичного навантаження [21].

Однак під час дослідження втоми у новому діалоговому вікні є чотири варіанти, з яких можна вибрати:

– події постійної амплітуди з визначеними циклами;
– дані історії змінної амплітуди;
– гармоніка – втома від синусоїдального навантаження;

– випадкова вібрація – втома випадкової вібрації.

Під час дослідження довговічності ферми доцільно обрати перший тип дослідження, а саме події постійної амплітуди з визначеними циклами [22].

Успішний аналіз втоми можна виконати в сім кроків:

1.Визначте тип навантаження під час створення дослідження та вибір необхідного типу дослідження (рис. 2.13)

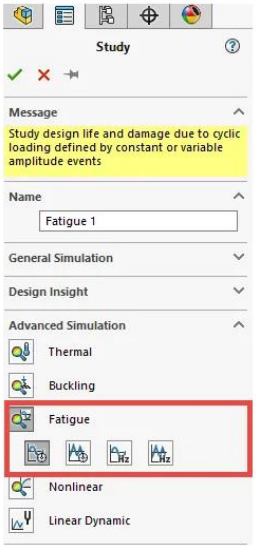

Рисунок 2.13 – Вибір типу дослідження

2. Додайте події (рис. 2.14);

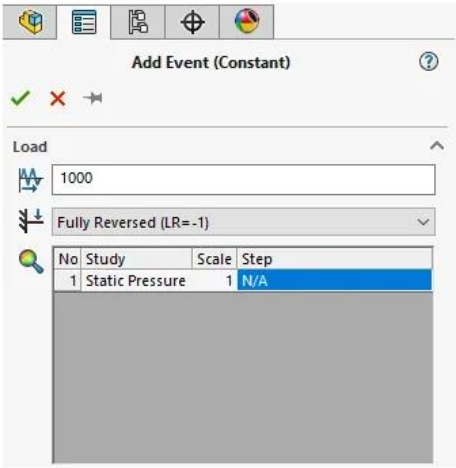

Рисунок 2.14 – Вибір події

3. Визначте дані про втому (рис. 2.15);

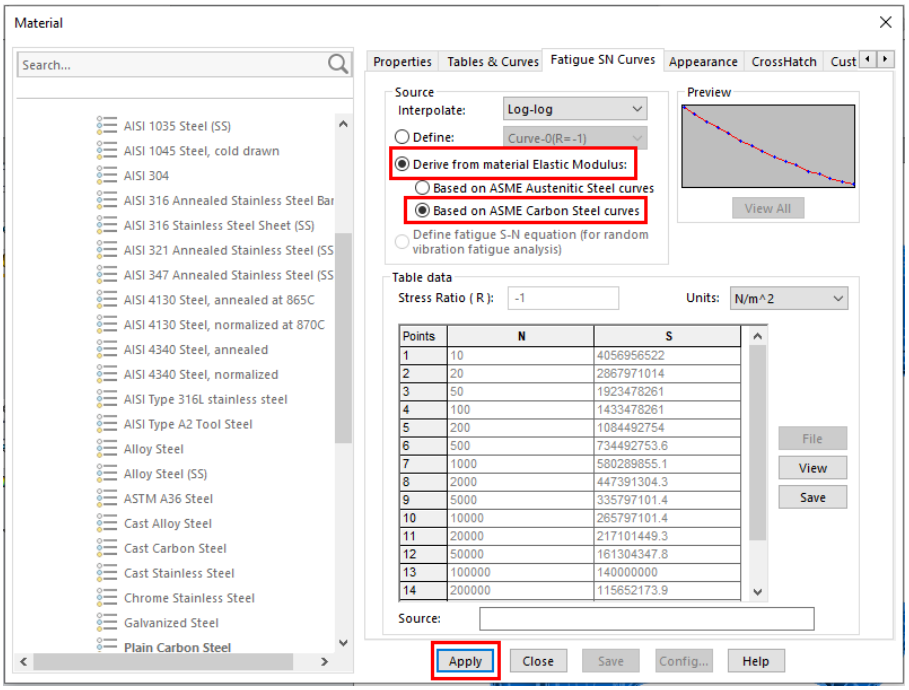

Рисунок 2.15 – Визначення кривої втоми для вуглицевої сталі

4. Варіанти результату (рис. 2.16);

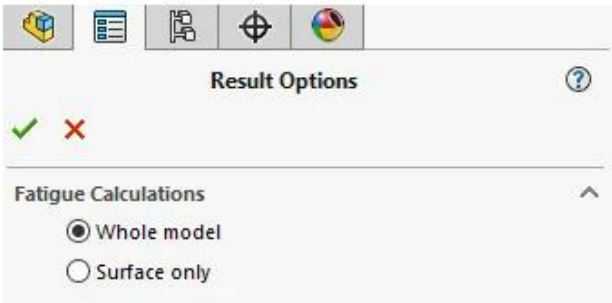

Рисунок 2.16 – Вибір варіанту результату

5.Властивості дослідження втоми (рис. 2.17);

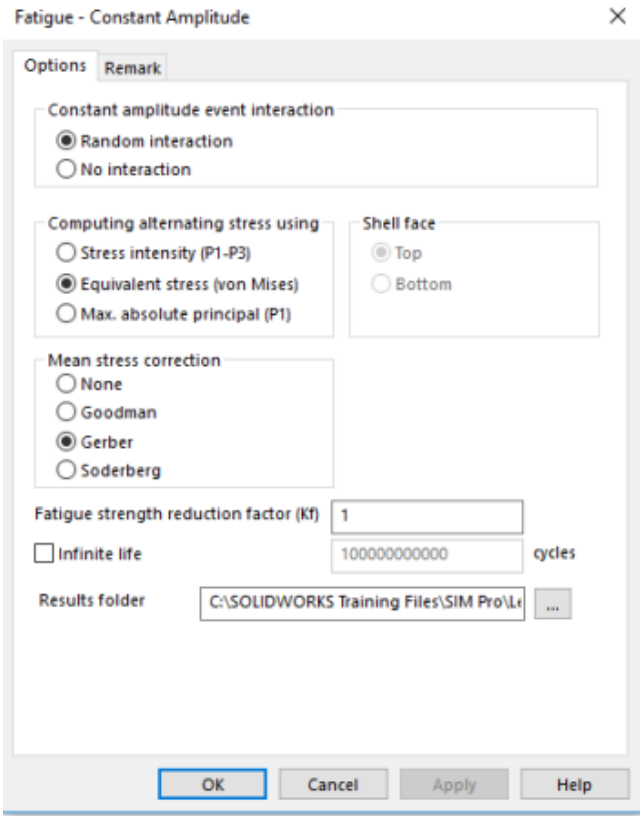

Рисунок 2.17 – Вибір властивостей дослідження втоми

6. Запустіть аналіз.

7. Постобробка результатів (рис. 2.18);

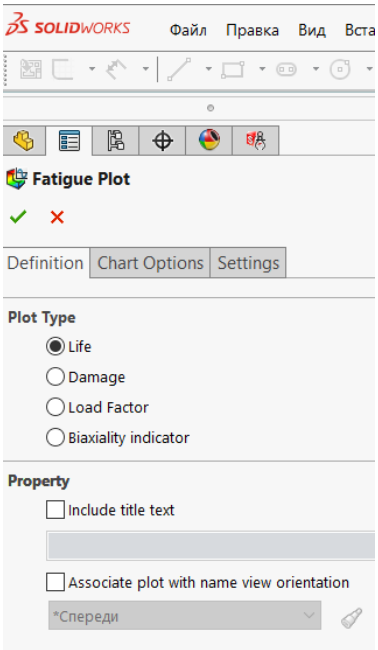

Рисунок 2.18 – Вибір властивостей дослідження втоми

Для події з постійною амплітудою:

– Введіть кількість циклів для події.
– Вкажіть тип завантаження.
– Повністю перевернуто (Fully Reversed).

Програма встановлює змінне напруження в кожному вузлі, рівне вибраному значенню напруження (інтенсивність напруження, фон Мізеса або P1) з еталонного статичного дослідження, помноженому на масштабний коефіцієнт. Максимальне й мінімальне значення компонентів напружень рівні за величиною і протилежні за напрямком (рис. 2.19) [23].

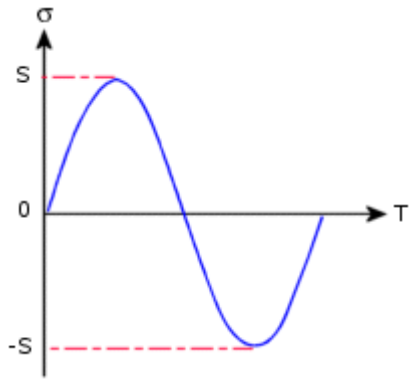

Рисунок 2.19 – Максимальне й мінімальне значення компонентів напружень

Програма встановлює змінне напруження в кожному вузлі, що дорівнює половині відповідного значення напружень в еталонному статичному дослідженні, помноженому на масштабний коефіцієнт. Програма отримує один із піків із еталонного статичного дослідження та встановлює інший пік у 0.

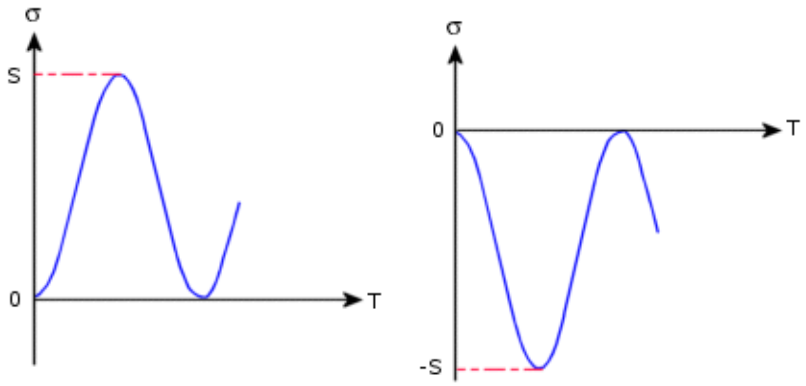

Рисунок 2.20 – Графік навантажень на основі нуля (Zero Based)

Припускаючи, що коефіцієнт навантаження, визначений користувачем, дорівнює R, програма отримує один з піків із контрольного дослідження (з урахуванням заданого масштабного коефіцієнта) і обчислює інший пік, помножуючи перший пік на R (рис. 2.21) [23].

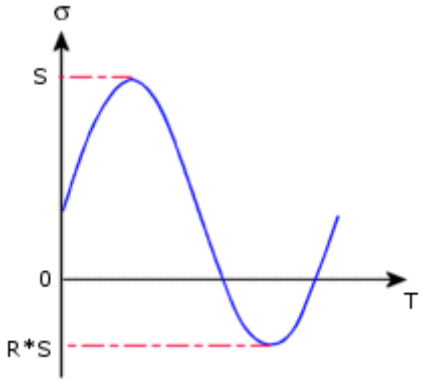

Рисунок 2.21 – Графік навантажень на основі коефіцієнта завантаження

Потім програма обчислює величину напруги, вибрану в діалогове вікно Властивості втоми та обчислює змінне напруження як |S*(1 - R)|/2, де S – екстремальне значення компонента напруги в еталонному статичному дослідженні [23].

2.5 Висновок за розділом 2

1. Сучасні прикладні програмні пакети дають можливість врахувати комбінацію статичних і циклічних навантажень, врахувати тепловий і технологічний вплив на конструкцію зварної ферми.

2. Проаналізувавши можливості програмного комплексу SolidWorks, виявлено можливість проведення дослідження на довговічність будь якого типу конструкції, в тому числі і зварної ферми.

3. Розглянуто різні варіації і типи подій, їх вплив на втому конструкції та визначено необхідні методичні аспекти дослідження для подальшого розрахунку фермових конструкцій в комп’ютерно-моделюючому програмного комплексу SolidWorks .

РОЗДІЛ 3
ВИЯВЛЕННЯ ПОВЕДІНКИ ДОСЛІДЖУВАЛЬНОЇ ФЕРМИ

3.1 Поведінка базової конструкції ферми при дії статичних навантажень

Дослідження проведено в межах пружних деформацій при статичному лінійному розрахунку. Враховано екстремальне снігове навантаження, вагу матеріалів покрівлі, власну вагу прогонів, кроквяної і підкроквяної ферми. Враховано коефіцієнт запасу. Розрахункову схему ферми наведено на рисунку 3.1.

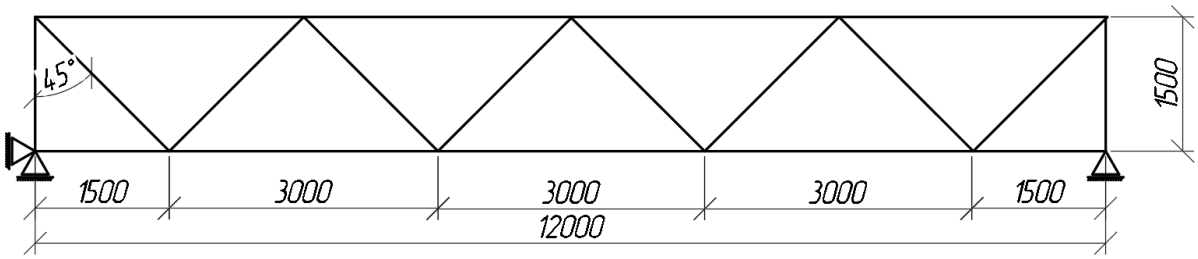

Рисунок 3.1 – Розрахункова схема досліджуваної металевої підкроквяної ферми

Верхній пояс виконано з гнутого зварного квадратного профілю перерізом 120х120х5 мм. Нижній пояс виконано з гнутого зварного квадратного профілю, перерізом 120х120х5 мм. Опорні стійки виконано з гнутого зварного квадратного профіля, перерізом 100х100х4 мм. Опорні розкоси виконано з гнутого зварного квадратного профілю перерізом 100х100х4 мм. Проміжні розкоси виконано з гнутого зварного квадратного профілю перерізом 80х80х4 мм.

Схему навантаження ферми наведено на рис. 3.2. Навантаження на крайні вузли підкранової ферми рівне 30715Н. Навантаження на проміжні вузли підкранової ферми рівне 61430Н.

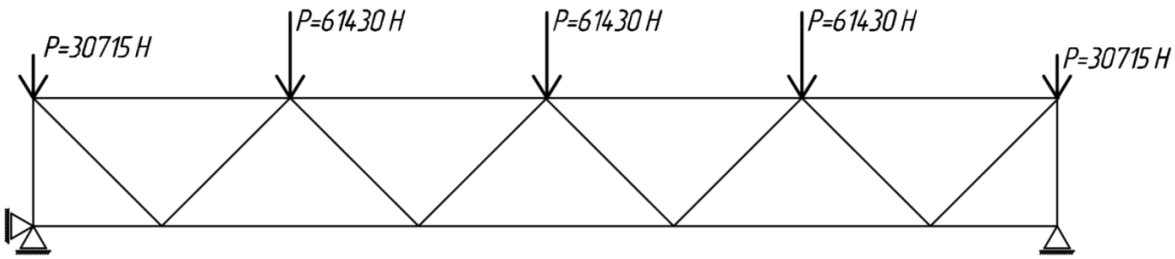

Рисунок 3.2 – Схема прикладання навантажень до ферми

Ферма базується горизонтальними фланцями з обпиранням на полиці каркасних залізобетонних колон будівлі й фіксується в проєктному положенні анкерними болтами та фасонками для жорсткого закріплення. Просторову модель опорного вузла кріплення, змодельовану в SolidWorks, наведено на рисунку 3.3.

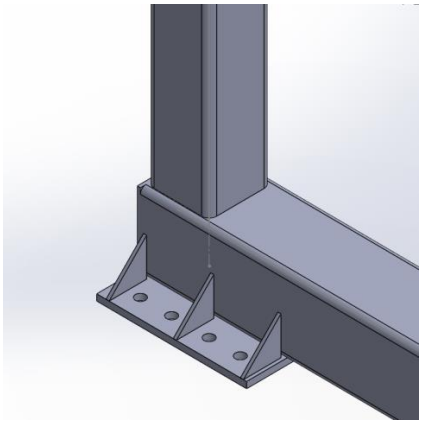

Рисунок 3.3 – Просторова модель опорного вузла досліджуваної ферми

Більш детально схему опорного вузла подано на рис. 3.4.

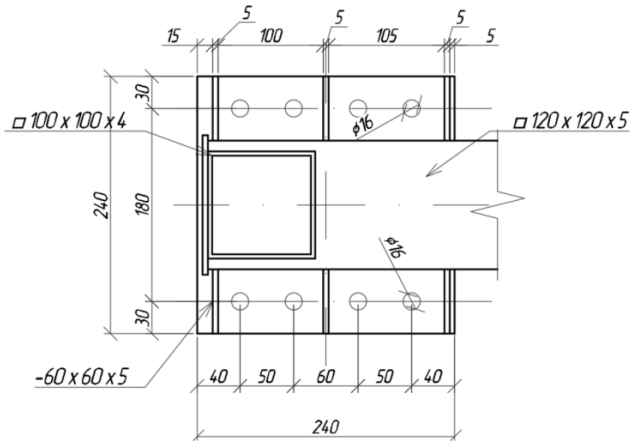

Рисунок 3.4 – Схема жорсткого опорного вузла досліджуваної ферми

Проведено аналіз ферми в програмному комплексі SolidWorks. Одержано такі результати:

– просторова модель ферми з графічними результатами дослідження;
– табличні дані НДС елементів ферми.

Розподіл напружень в фермі подано на рис. 3.5.

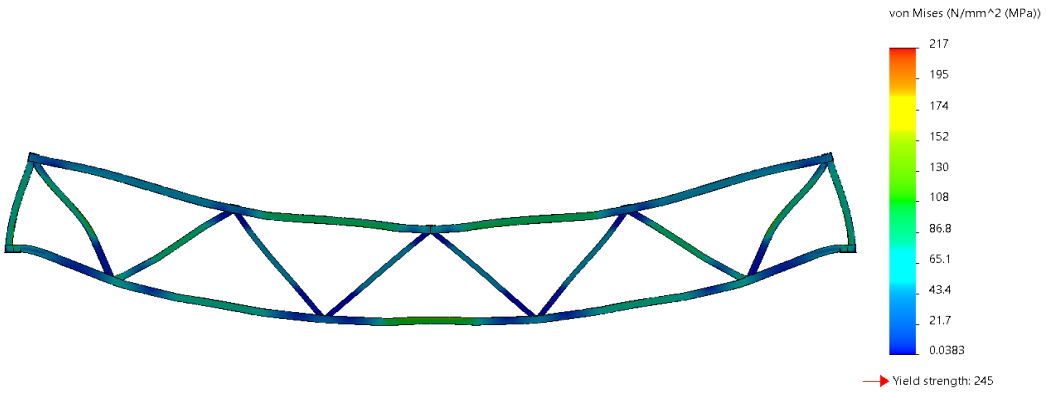

Рисунок 3.5 – Графічна візуалізація напружень в стержнях ферми

Максимальні напруження локалізуються в опорних вузлах ферми (рис. 3.6) і проміжних вузлах нижнього пояса (рис. 3.7).

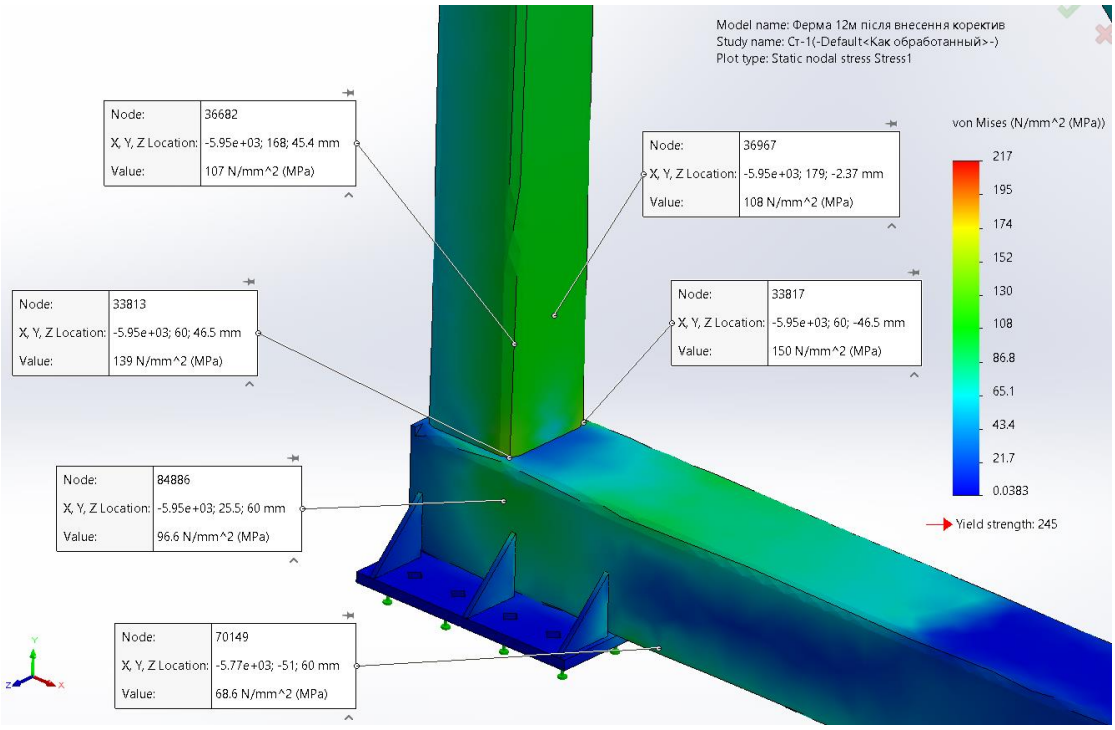

Рисунок 3.5 – Графічна візуалізація місця локалізації максимальних напружень в опорному вузлі досліджуваної ферми

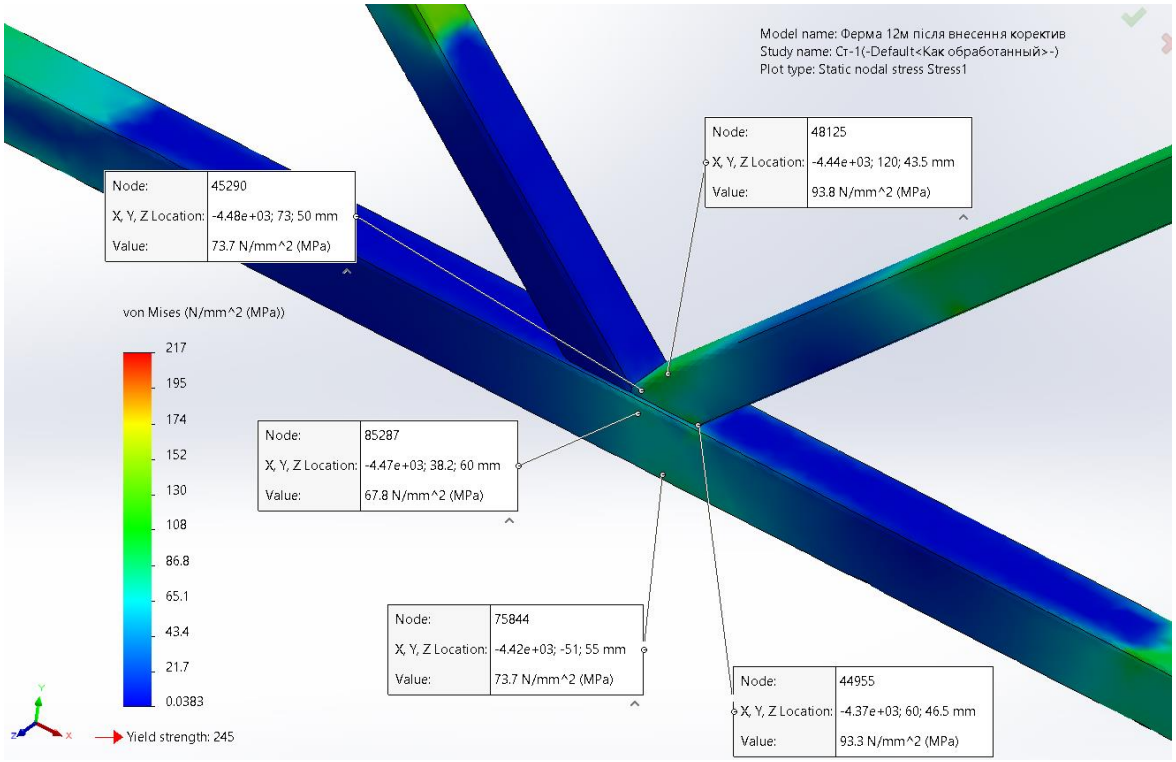

Рисунок 3.6 – Графічна візуалізація місця концентрації максимальних напружень в проміжному вузлі ферми

Переміщення ферми вздовж осі У (прогин) від заданих навантажень візуалізовано на рис. 3.7.

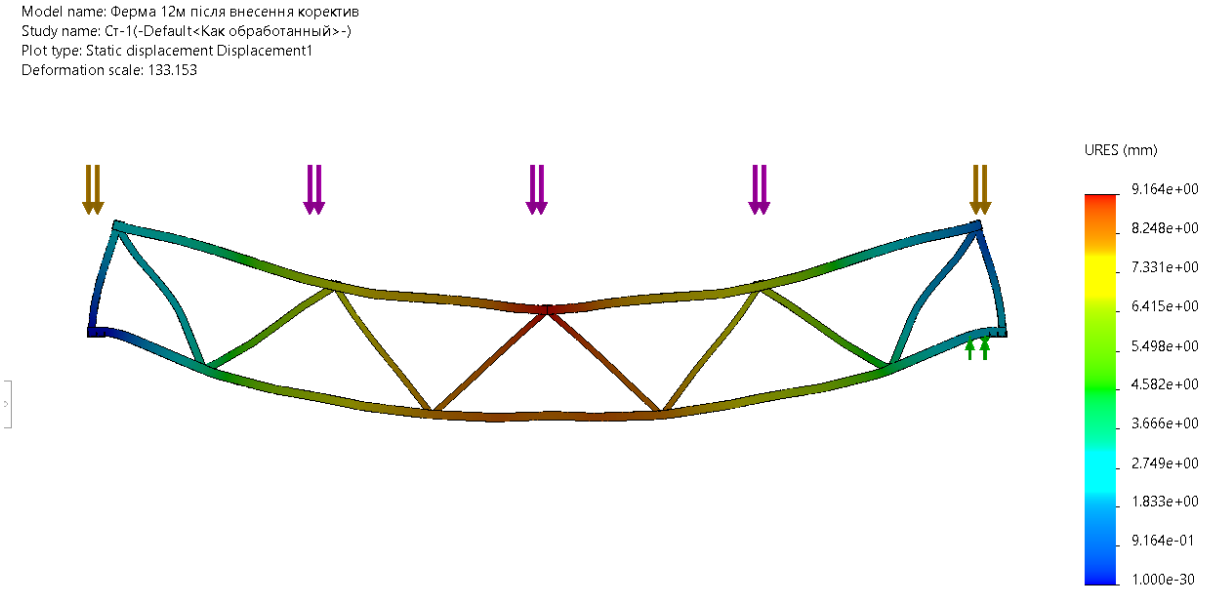

Рисунок 3.7 –Графічна візуалізація прогину ферми

Наглядно розглянути зміну переміщення верхнього поясу вздовж осі У (прогин) по довжині ферми можна на рис. 3.8.

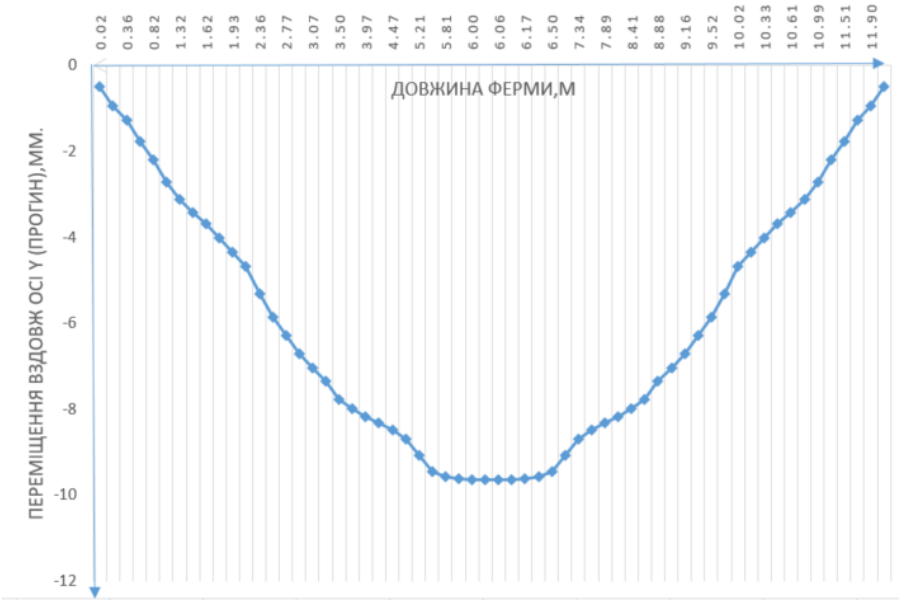

Рисунок 3.8 – Діаграма прогину в верхньому поясі ферм від статичних навантажень

Наглядно розглянути зміну переміщення нижнього поясу вздовж осі У (прогин) по довжині ферми можна на рис. 3.9.

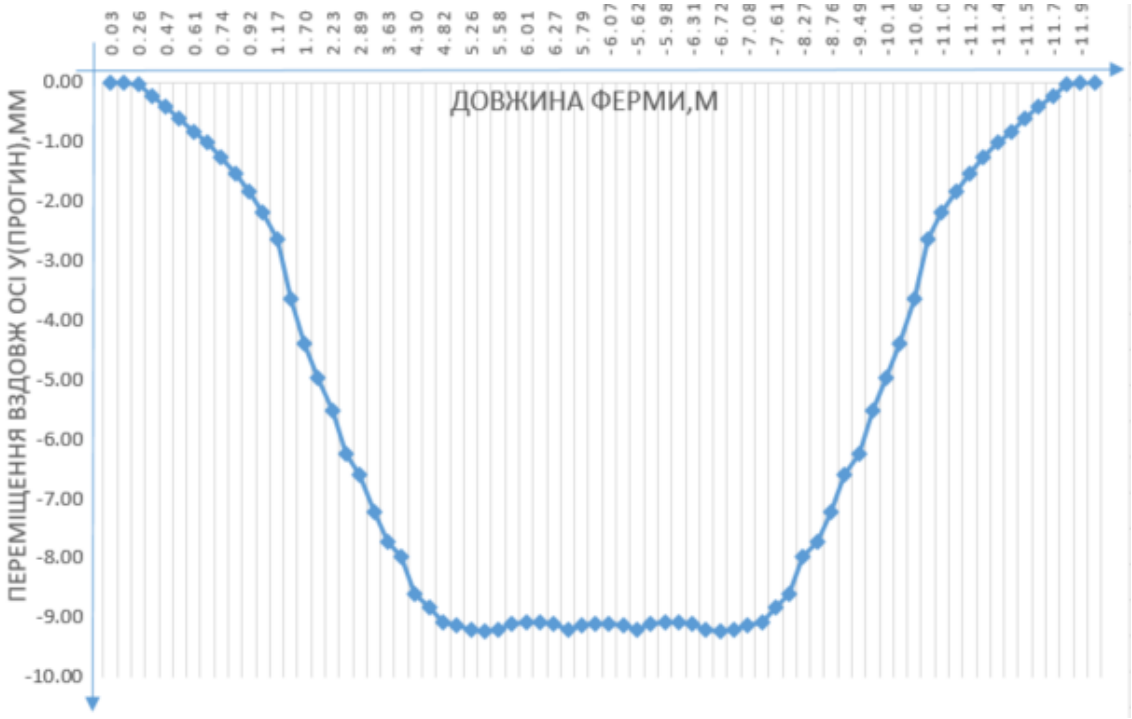

Рисунок 3.9 – Діаграма прогину в нижньому поясі ферм від статичних навантажень

Враховуючи сітку моделі з набором обмежень переміщення та навантажень, програма лінійного статичного аналізу працює наступним чином:

– програма будує та розв’язує систему одночасних лінійних рівнянь рівноваги кінцевих елементів для розрахунку компонентів переміщення в кожному вузлі;

– потім програма використовує результати зміщення для обчислення компонентів деформації відносного видовження;

– програма використовує результати деформації та співвідношення деформації відносного видовження для обчислення напружень.

Комп’ютерно моделюючий експеримент дозволяє проаналізувати результати досліджень в табличній формі і визначити залежність між відносним видовженням, переміщенням та напруженням у контрольних точках ферми. Результати досліджень у нижньому поясі ферм представлено в табл. 3.1.

Таблиця 3.1 – Чисельні значення напружень, переміщень вздовж осі У, відносного видовження в точках максимальних напружень ферми по зовнішній поверхні профілю вздовж нижнього пояса ферми

№ точки	Кординати точки, мм			Напруження σ, МПа.	Переміщення вздовж осі У (прогин),мм	Відносне видовження	Довжина ферми,м
	X	У	Z				
79106	-6050,0	25,5	55,0	34,3	-0,00903	0,000185	0,00
94668	-5943,7	38,3	55,0	104	-0,0239	0,000417	0,06
89994	-5778,2	60,0	-38,3	84,6	-0,0553	0,000368	0,22
103101	-5506,4	55,0	7,8	55,1	-0,579	0,000158	0,49
84082	-4978,6	0,0	60,0	5,69	-2,22	2,28E-05	1,02
94102	-4478,4	25,5	55,0	63,8	-3,79	0,000273	1,52
71034	-4372,1	51,0	60,0	80,4	-4,12	0,00048	1,63
80167	-4075,2	-60,0	25,5	25,2	-4,71	0,000108	1,92
70064	-3686,7	-51,0	60,0	48,2	-5,46	0,000191	2,31
85833	-3544,9	31,9	60,0	85,7	-5,73	0,000376	2,46
102368	-3474,0	55,0	-37,3	90,7	-5,83	0,000396	2,53

Продовження таблиці 3.1

101802	-3072,3	55,0	-13,9	83,4	-6,37	0,000348	2,93
89468	-2682,3	60,0	-25,5	83,5	-6,97	0,000351	3,32
103093	-2481,4	55,0	-8,0	116	-7,31	0,000423	3,52
90710	-2020,6	60,0	4,4	1,45	-7,75	5,31E-06	3,98
88343	-1500,7	55,2	58,9	18,2	-8,21	5,68E-05	4,50
89459	-1075,3	60,0	25,5	0,458	-8,36	2,29E-06	4,92
94262	-756,3	25,5	55,0	47,8	-8,47	0,000191	5,24
91499	-555,4	59,2	-54,7	176	-8,53	0,000337	5,44
88275	-342,7	54,6	59,2	116	-8,42	0,00049	5,66
90411	23,6	60,0	0,0	121	-8,34	0,000512	6,02
88744	330,9	60,0	0,0	124	-8,38	0,000522	6,33
71995	543,6	60,0	-51,0	101	-8,48	0,000503	6,54
71574	543,6	60,0	51,0	157	-8,48	0,000608	6,54
80764	811,4	-60,0	6,4	33,3	-8,43	0,000142	6,81
88378	1500,7	58,9	55,2	76,2	-8,25	0,0004	7,50
84319	1953,6	25,5	60,0	5,05	-7,74	2,48E-05	7,95
87808	2316,0	59,6	53,7	57,5	-7,33	0,000272	8,32
90331	2475,5	60,0	28,3	102	-7,14	0,000596	8,48
102518	2859,6	55,0	15,9	87,4	-6,51	0,000366	8,86
88614	3166,8	60,0	0,0	85,4	-6,09	0,000359	9,17
89327	3391,3	60,0	25,5	87,8	-5,81	0,000376	9,39
102789	3509,5	55,0	32,1	110	-5,69	0,00059	9,51
85685	3734,0	12,8	60,0	35,2	-5,29	0,000145	9,73
93467	4064,8	7,2	55,0	17	-4,68	7,81E-05	10,06
85510	4382,5	0,0	60,0	64,9	-4,05	0,00031	10,38
87544	4410,2	-56,8	57,9	80,2	-3,96	0,000185	10,41
93703	4702,9	30,3	55,0	19,4	-3,07	0,000417	10,70
84139	5072,9	0,0	60,0	6,05	-1,92	0,000368	11,07
89375	5376,5	60,0	25,5	0,613	-0,979	0,000158	11,38
90397	5471,0	60,0	16,9	38,5	-0,686	2,28E-05	11,47
88865	5624,6	60,0	0,0	69,2	-0,302	0,000273	11,62
90203	5766,4	60,0	8,8	83,9	-0,066	0,00048	11,77
102565	5884,6	55,0	-0,4	49,9	-0,0322	0,000108	11,88
87723	5955,5	55,5	58,8	104	-0,0324	0,000191	11,96
95088	6014,6	8,6	55,0	52,5	-0,0135	0,000376	12,00
*Примітка: максимальні напруження виникають по внутрішній поверхні профілів.							

Результати досліджень у верхньому поясі ферм представлено в табл. 3.2.

Таблиця 3.2 – Чисельні значення напружень, переміщень вздовж осі У, відносного видовження в точках максимальних напружень ферми по зовнішній поверхні профіля вздовж верхнього пояса ферми

№ точки	Кординати точки, мм			Напруження σ, МПа.	Переміщення в здовж осі У (прогин),мм	Відносне видовження	Довж. Ферми,м
	X	У	Z				
124330	-6026	1500	60	29,8	-0,453	0,000127	0,00
120035	-5719	1551	60	19,7	-0,595	8,59E-05	0,28
125857	-5223	1560	0	24	-0,867	9,94E-05	0,78
133490	-4419	1555	14	34,5	-1,2	0,000143	1,58
134469	-3823	1555	-29	42,5	-1,62	0,000178	2,18
126298	-3439	1560	-2	44,7	-1,95	0,000201	2,56
125284	-3046	1510	60	25,3	-2,27	0,000108	2,95
126746	-2747	1560	13	41,3	-2,71	0,00018	3,25
125869	-2552	1560	0	84,4	-3,19	0,00036	3,45
126023	-2245	1560	32	97,4	-3,64	0,000411	3,76
125833	-1796	1560	-11	92,8	-4,35	0,000388	4,20
126287	-1099	1560	26	85,5	-4,99	0,000358	4,90
125976	-756	1560	19	82,9	-5,59	0,000347	5,24
126144	-425	1560	26	71,1	-6,03	0,000292	5,58
133875	-130	1555	26	68,8	-6,44	0,000305	5,87
119641	0	1440	51	85,1	-6,78	0,000328	6,00
20594	95	1555	59	85,7	-7,15	0,000344	6,10
29390	301	1555	16	55,1	-7,45	0,000237	6,30
29167	733	1555	27	83,1	-7,56	0,000351	6,73
29678	1196	1555	12	87,1	-7,69	0,000367	7,20
29230	1772	1555	7	92,3	-7,88	0,000389	7,77
29791	2156	1555	31	95,8	-8,05	0,000401	8,16
28766	2552	1555	2	83,4	-8,29	0,000321	8,55
29005	2883	1555	-21	32,9	-8,78	0,000144	8,88
29314	3131	1555	9	22,7	-9,02	0,000101	9,13
21056	3521	1560	0	44,7	-9,08	0,000193	9,52
21076	3852	1560	0	43,5	-9,01	0,000185	9,85
29277	4136	1555	-5	39,3	-8,8	0,000166	10,14
21127	4608	1560	-14	32,4	-8,4	0,000135	10,61
28723	5105	1555	-16	25,8	-8,09	0,000109	11,11
22070	5501	1560	-10	24,3	-7,91	0,000105	11,50
21820	5831	1560	10	24,8	-7,74	0,000104	11,83
24552	5979	1491	55	31,1	-7,57	0,000122	12,00
*Примітка: максимальні напруження виникають по внутрішній поверхні профілів.							

Отже, проаналізовано дані дослідження в табличній формі й досягнуто висновку, що дані три параметри взаємопов'язані й змінюються в залежності один від одного.

3.2 Визначення показників силового впливу при експлуатації мостового крана

Каретка крана рухається як вздовж, так і в поперек приміщення цеху, тому по мірі переміщення каретки від місця кріплення підкранової балки до крана навантаження зменшується. Загалом кранове навантаження складається з двох типів навантаженнь – статичного та циклічного (перемінного в часі).

Дослідимо максимально несприятливі умови, а саме переміщення каратки лише в площині однієї ферми. Розрахункові навантаження на підкранові вузли ферм наведено в табл. 3.3.

Таблиця 3.3 – Збір навантажень від мостового крану

Статичні навантаження				
№ п/п	Найменування навантаження	Нормативне навантаження Кн	Коефіцієнт надійності по навантаженню	Розрахункове навантаження Кн
	Підкранова балка	2,5	1,2	3
	Рейка	1,2	1,2	1,44
			$P_{\text{стат,}}$	5
Циклічні навантаження				
№ п/п	Найменування навантаження	Нормативне навантаження Кн	Коефіцієнт надійності по навантаженню	Розрахункове навантаження Кн
	Вага каретки	2	1,2	2,4
	Корисний вантаж	20	1,1	22
			$P_{max.}$	25

Вузли прикладання кранових навантажень наведено на рис. 3.10.

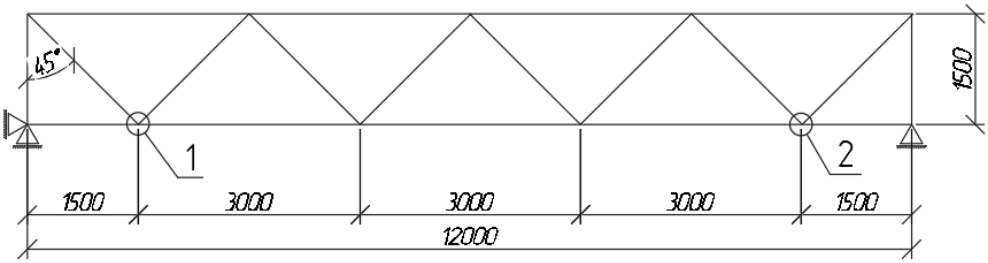

Рисунок 3.10 – Місця прикладання кранових навантажень

Статичне навантаження в вузлі №1 і вузлі №2 стабільне і не змінне, а циклічне змінюється з часом, переходячи з одного вузла в інший. Середній цикл роботи складає 50 секунд. На рис. 3.11 наведено розрахунове навантаженя впродовж одного усередненого циклу роботи на вузол №1. На рис. 3.12 наведено розрахунове навантаженя впродовж одного усередненого циклу роботи на вузол №2.

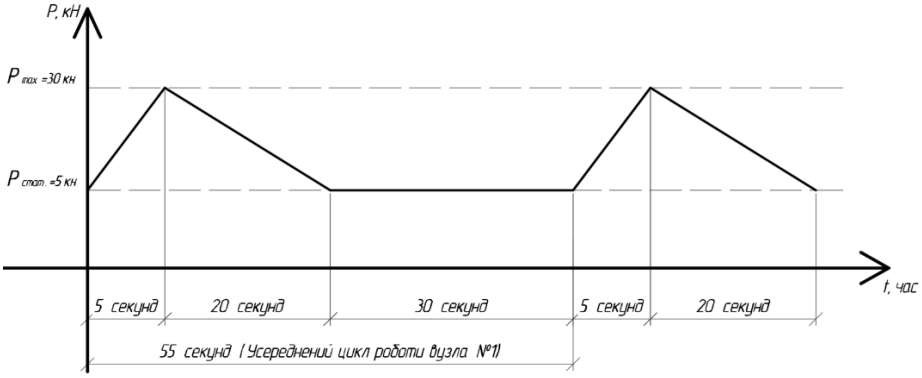

Рисунок 3.11 – Приведена розрахункова схема зміни циклічного навантаження з часом у вузлі №1, в якому кріпиться підкранова балка

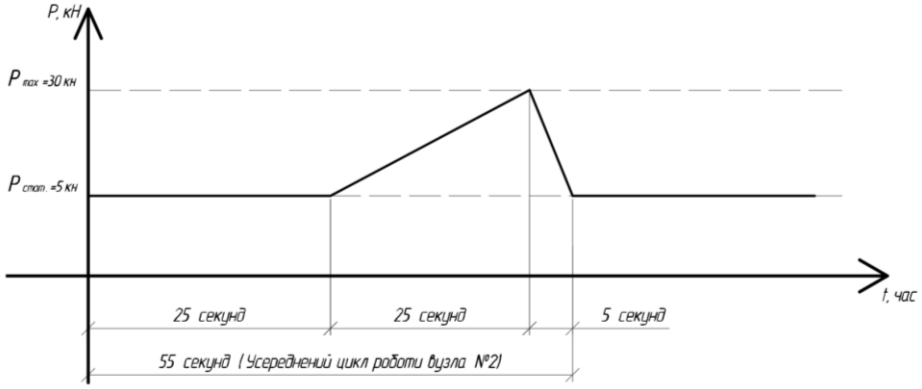

Рисунок 3.12 – Приведена розрахункова схема зміни ціклічного навантаження з часом у вузлі №2, в якому кріпиться підкранова балка

3.3 Пошкодження і руйнування базової ферми при дії циклічних навантажень

При довантажені існуючої ферми крановими циклічними навантаженнями в фермі виникають надлишкові напруження, які формують пошкодження в свою чергу, що призведуть до руйнації ферми.

Довантаживши ферму крановими навантаженнями, отримано графічні результати дослідження. Візуалізацію напруження на 50 секунді у фермі наведено на рис. 3.13.

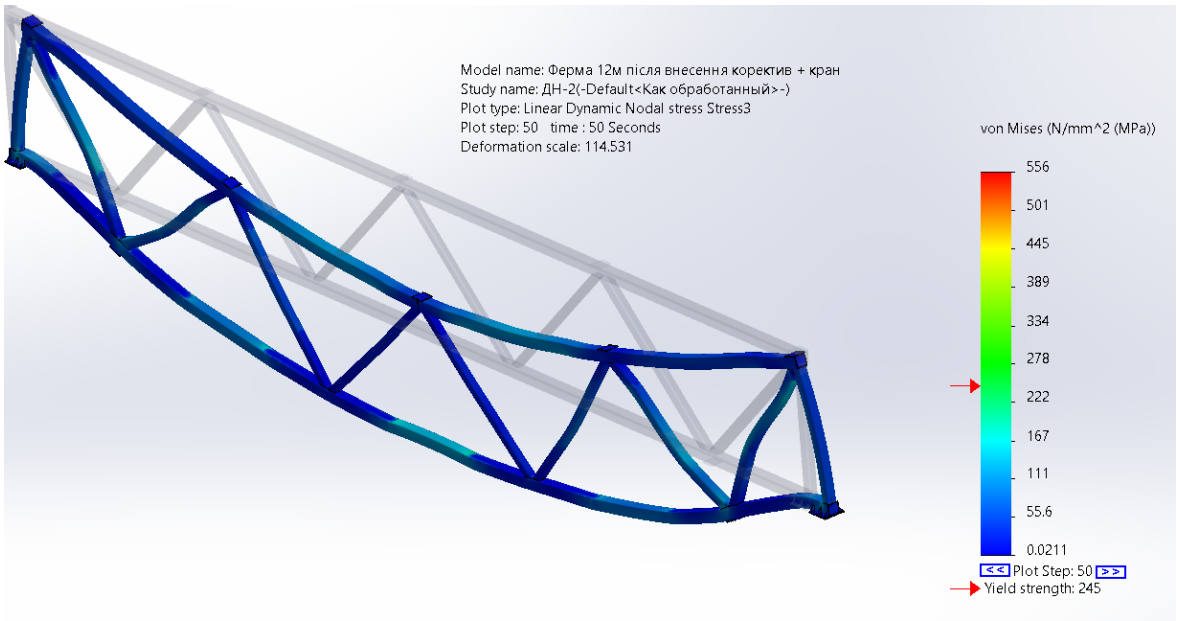

Рисунок 3.13 – Графічна візуалізація напружень в стержнях досліджуваної ферми

Не менш важливим є прогин і видовження ферми, візуалізацію яких на 50 секунді у фермі наведено на рис. 3.14 і рис. 3.15, відповідно.

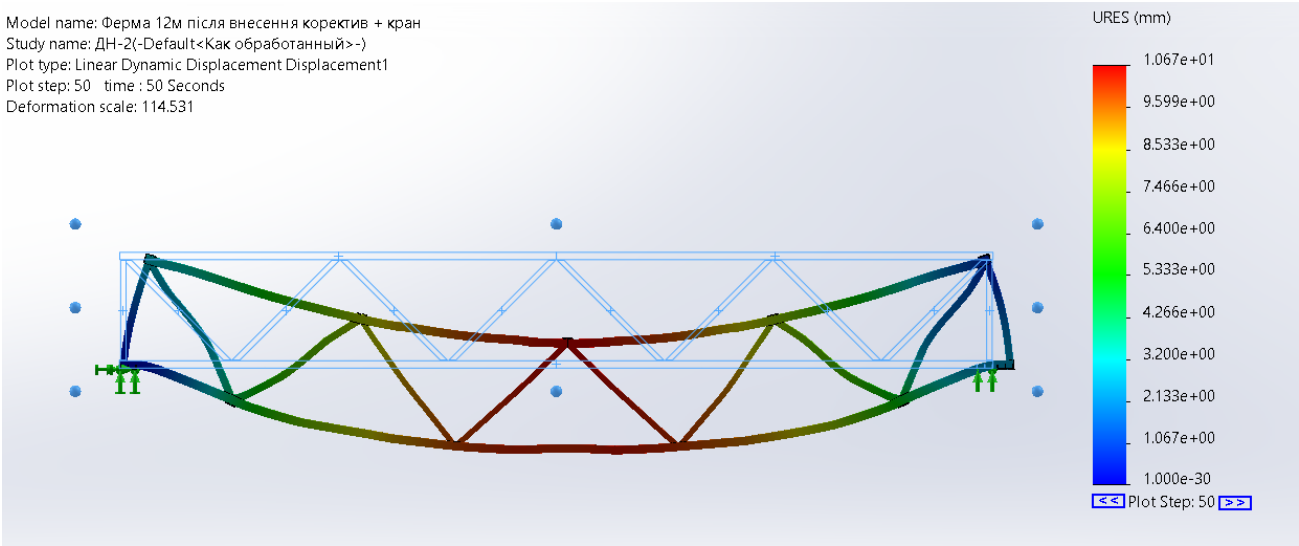

Рисунок 3.14 – Графічна візуалізація переміщень в стержнях ферми

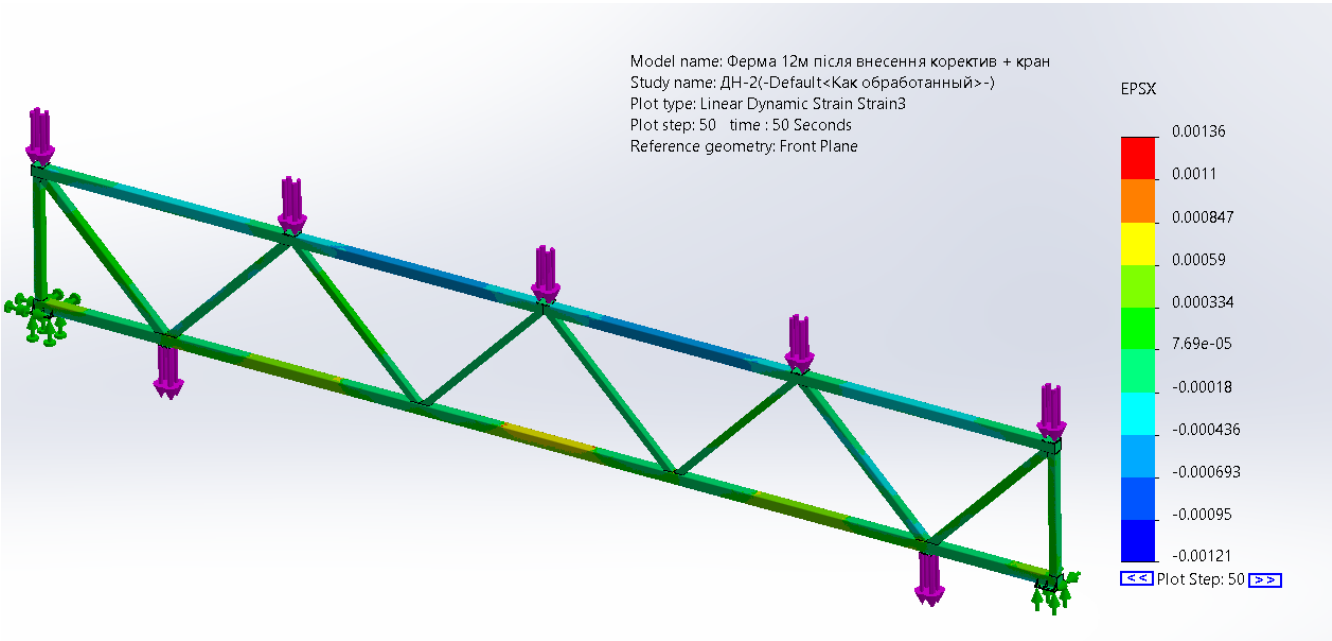

Рисунок 3.15 – Графічна візуалізація відносного видовження в стержнях досліджуваної ферми

Виявлено, що максимальні навантаження локалізуються в внутрішній поверхні профілів. На рис. 3.16 наведено відображення локалізації напруження в опорному вузлі.

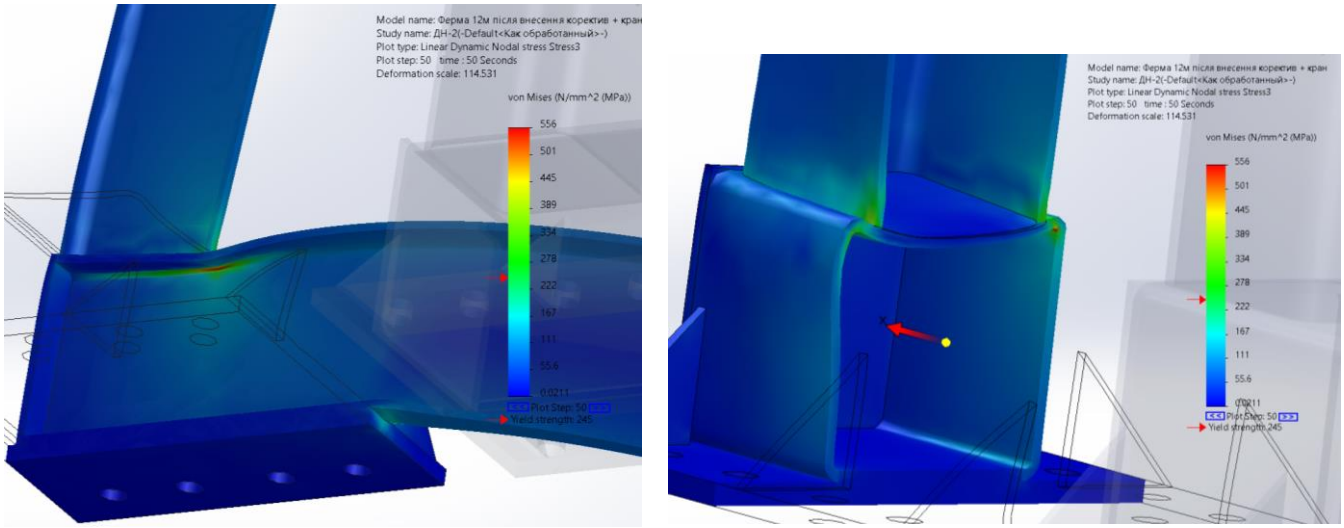

Рисунок 3.16 – Графічна візуалізація напружень в розрізі опорного вузла досліджуваної ферми

Виявлено, що напруження в нижньому поясі ферми розподіляється не симетрично (рис. 3.17). Це зумовлено різним типом защемлення і не симетричністю навантажень.

Рисунок 3.17 – Графік напружень в точках локалізації максимальних напружень у нижньому поясі досліджуваної ферми по зовнішній поверхні профіля на 50 секунді циклу

Порівняння напруження у верхньому поясі досліджуваної ферми по зовнішній поверхні профіля в залежності від часу, а саме на 5, 25 і 50 секунді робочого циклу наведено на рис. 3.18.

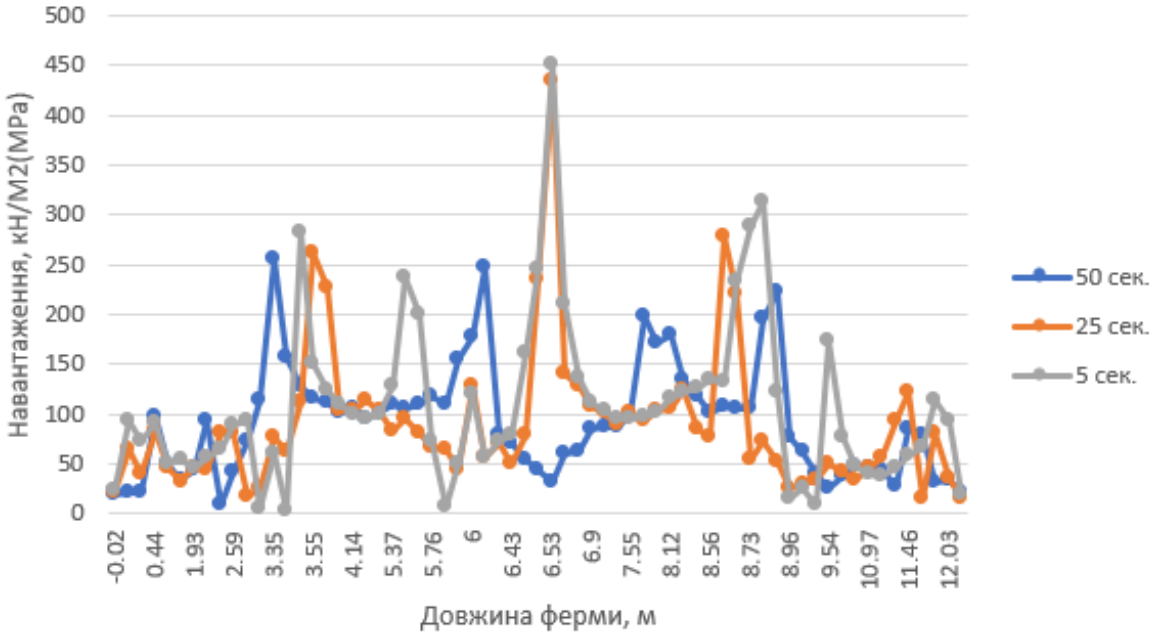

Рисунок 3.18 – Графік напружень в точках локалізації максимальних напружень у верхньому поясі досліджуваної ферми по зовнішній поверхні профіля на 5, 25 і 50 секунді робочого циклу

Напруження у опорній стійці №1 і №2 досліджуваної ферми (рис. 3.19 і рис. 3.20 відповідно) змінюються пропорційно зміні навантаження на вузли кріплення підкранової балки.

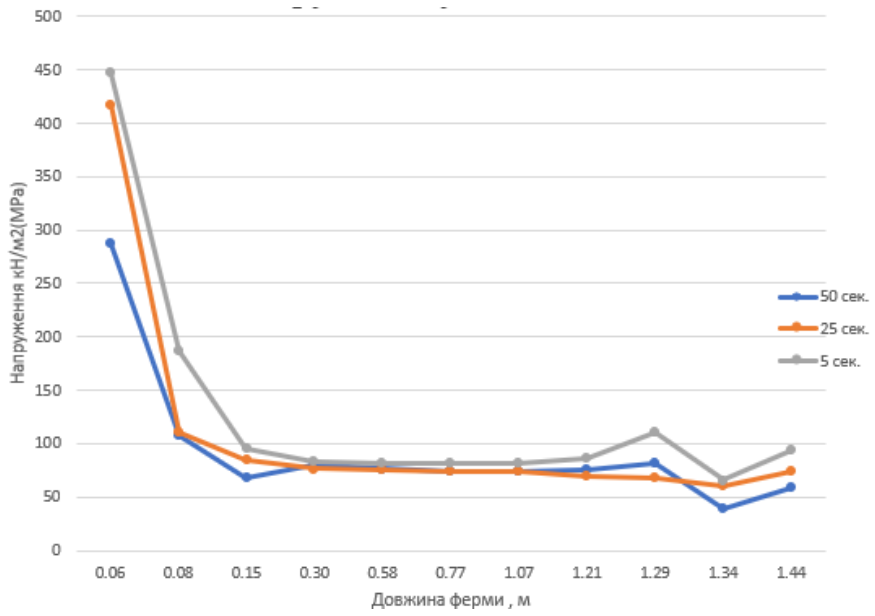

Рисунок 3.19 – Графік напружень в точках локалізації максимальних напружень у опорній стійці №1 досліджуваної ферми по зовнішній поверхні профіля на 5, 25 і 50 секунді робочого циклу

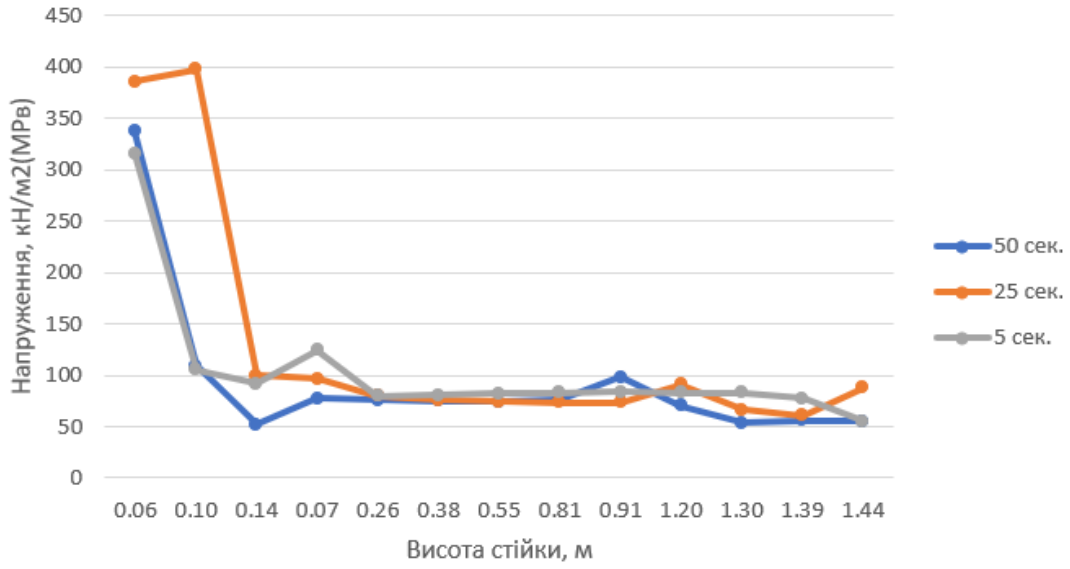

Рисунок 3.20 – Графік напружень в точках локалізації максимальних напружень у опорній стійці №2 досліджуваної ферми по зовнішній поверхні профіля на 5, 25 і 50 секунді робочого циклу

Провівши аналіз графіків видно, що в опорних стійках найбільші навантаження виникають у опорному вузлі ферми.

Проаналізовано графічні дані напружень досліджуваної ферми по зовнішній поверхні профіля на 5, 25 і 50 секунді робочого циклу в розкосі №1 (рис. 3.21), розкосі №2 (рис. 3.22), розкосі №3 (рис. 3.23), розкосі №4 (рис. 3.24).

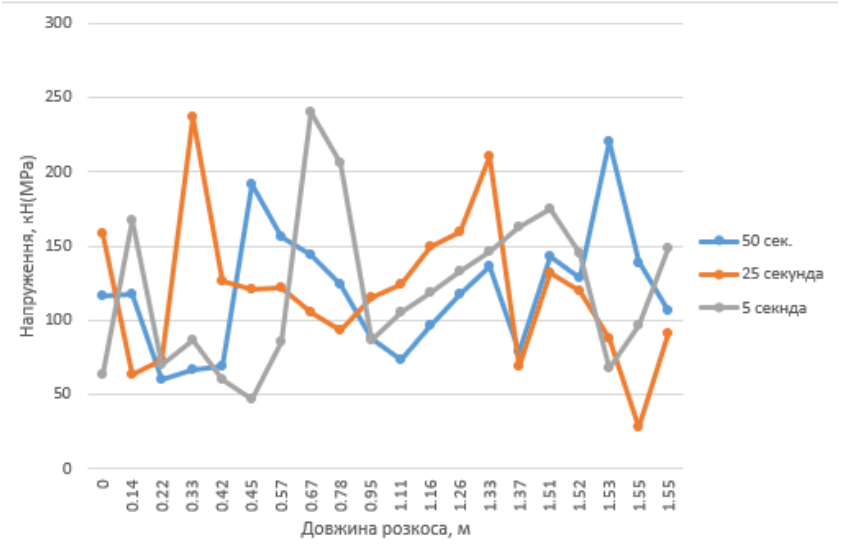

Рисунок 3.21 – Графік напружень в точках локалізації максимальних напружень у розкосі №1

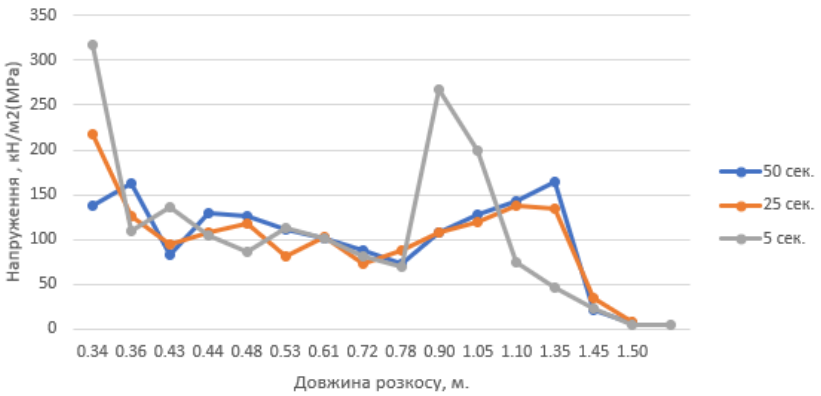

Рисунок 3.22 – Графік напружень в точках локалізації максимальних напружень у розкосі №2

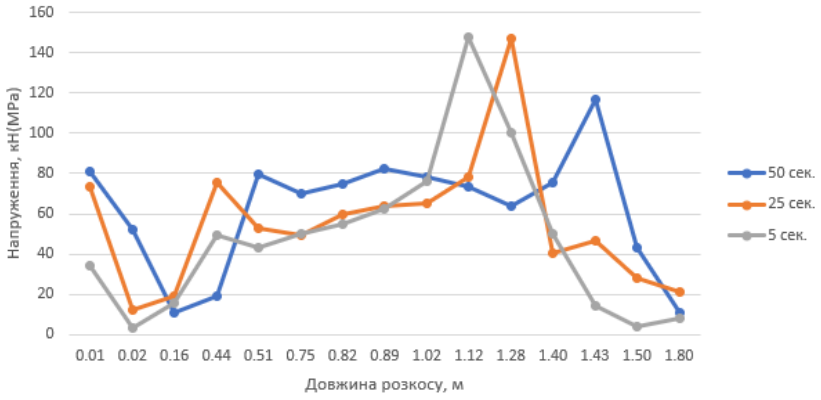

Рисунок 3.23 – Графік напружень в точках локалізації максимальних напружень у розкосі №3

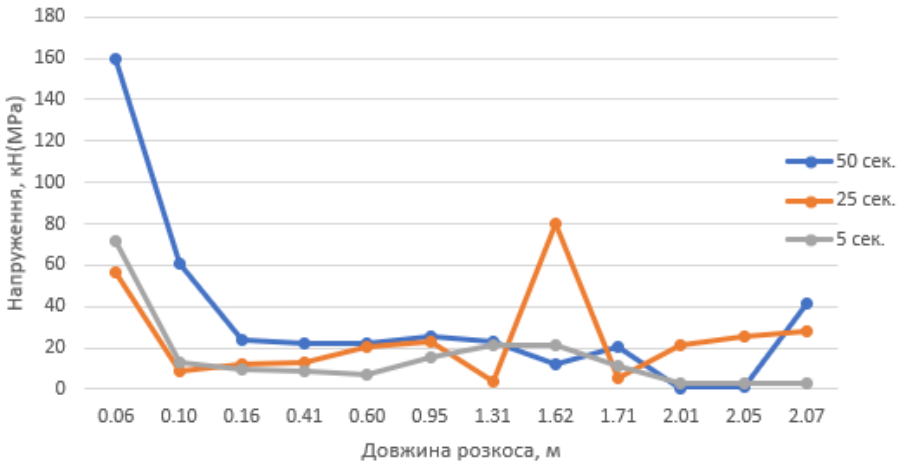

Рисунок 3.24 – Графік напружень в точках локалізації максимальних напружень у розкосі №4

Проаналізовано графічні дані напружень досліджуваної ферми по зовнішній поверхні профіля на 5, 25 і 50 секунді робочого циклу в розкосі №5 (рис. 3.25), розкосі №6(рис. 3.26) , розкосі №7 (рис. 3.27), розкосі №8 (рис. 3.28).

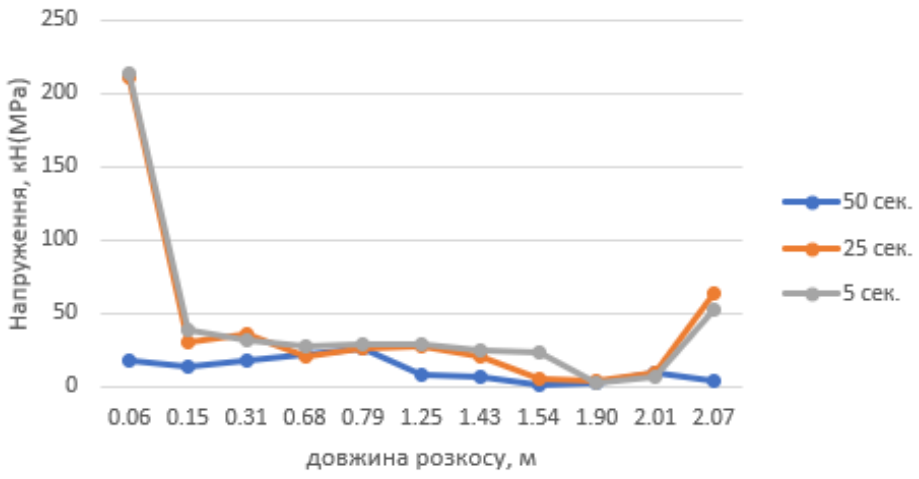

Рисунок 3.25 – Графік напружень в точках локалізації максимальних напружень у розкосі №5

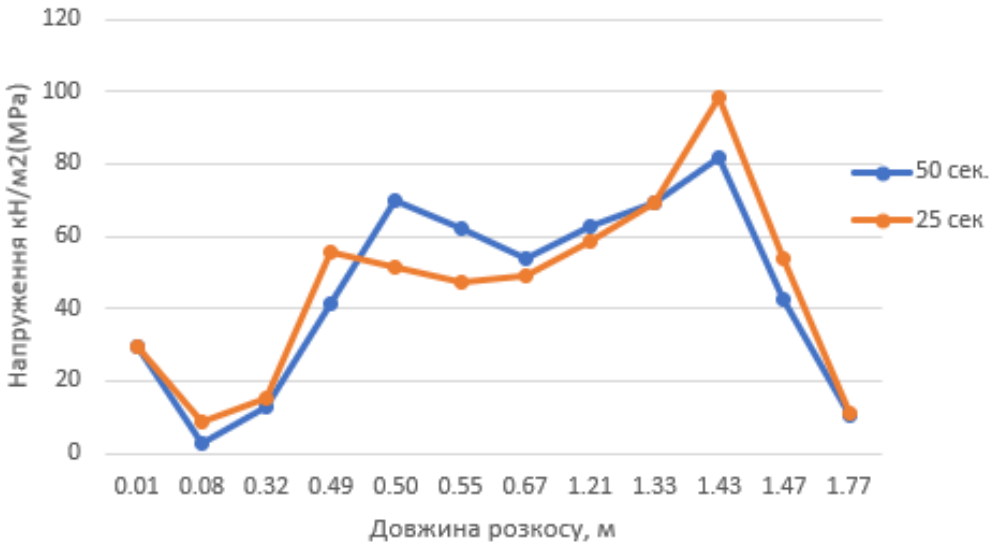

Рисунок 3.26 – Графік напружень в точках локалізації максимальних напружень у розкосі №6

Рисунок 3.27 – Графік напружень в точках локалізації максимальних напружень у розкосі №7

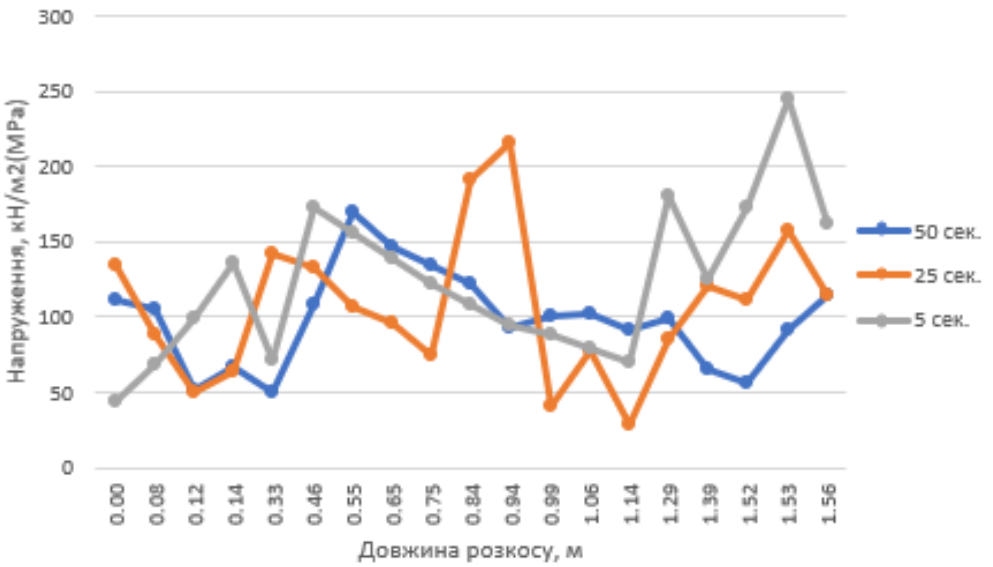

Рисунок 3.28 – Графік напружень в точках локалізації максимальних напружень у розкосі №8

Отже, проаналізовано дані дослідження в табличній формі і досягнуто висновку, що в залежності від перерозподілу навантажень у вузлах ферми змінюються місця локалізації максимальних напружень в стержнях ферми.

Програмним комплексом SolidWorks досліджено деформації прогину в здовж осі У в точках локалізації максимальних деформацій у нижньому (рис. 3.29) і верхньому поясі (рис. 3.30) досліджуваної ферми по зовнішній поверхні профілю.

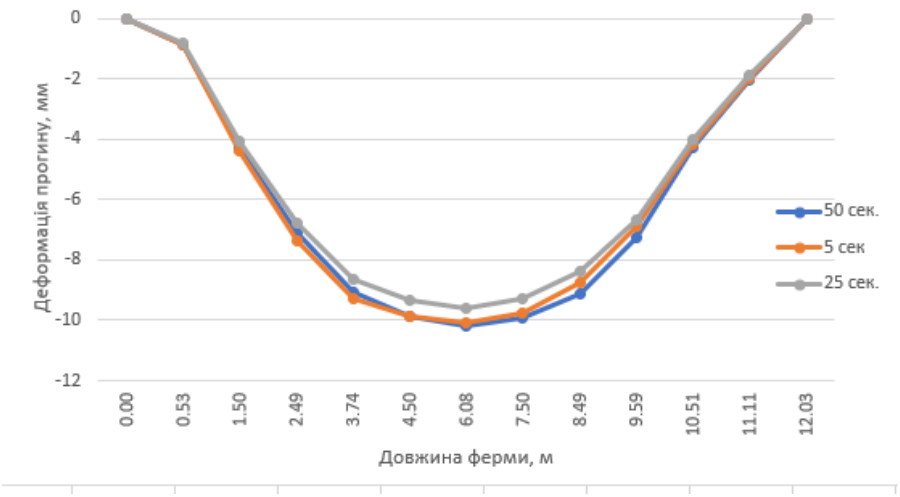

Рисунок 3.29 – Графік деформації прогину в здовж осі У в точках локалізації максимальних деформацій у нижньому поясі досліджуваної ферми по зовнішній поверхні профіля на 50 секунді робочого циклу

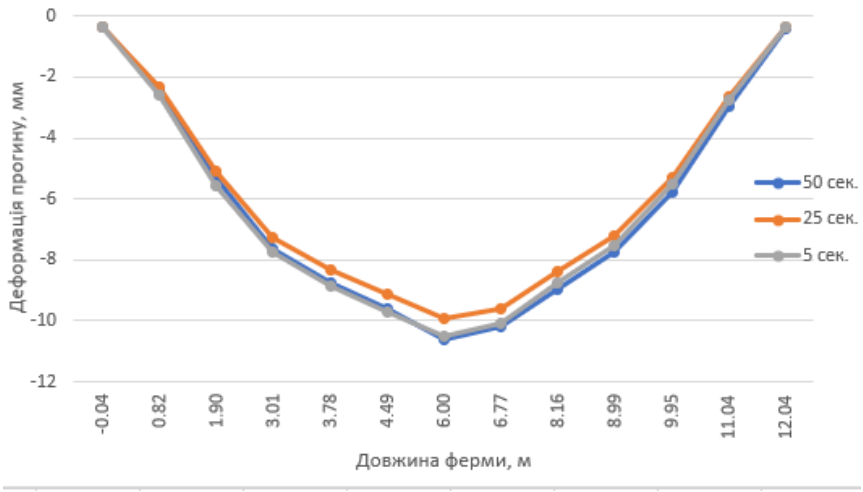

Рисунок 3.30 – Графік деформації прогину в здовж осі У в точках локалізації максимальних деформацій у верхньому поясі досліджуваної ферми по зовнішній поверхні профіля на 5, 25 і 50 секунді робочого циклу

Програмним комплексом SolidWorks досліджено відносне видовження в у нижньому (рис. 3.31) і верхньому поясі (рис. 3.32) досліджуваної ферми по зовнішній поверхні профіля.

Рисунок 3.31 – Графік відносного видовження в точках локалізації максимальних напружень у верхньому поясі досліджуваної ферми по зовнішній поверхні профіля на 50 секунді робочого циклу

Рисунок 3.32 – Графік відносного видовження в точках локалізації максимальних напружень у нижньому поясі досліджуваної ферми по зовнішній поверхні профіля на 50 секунді робочого циклу

3.4 Висновок за розділом 3

1. Найбільші напруження в нижньому поясі ферм, виникають в місцях опорних вузлів та в середині панелей ферми.

2. Найбільші напруження виникають у верхньому поясі ферми.

РОЗДІЛ 4
ДОСЛІДЖЕННЯ РЕКОНСТРУЙОВАНОЇ ФЕРМИ

4.1 Конструктивні і технологічні пропозиції щодо реконструкції підкранової ферми

Проаналізувавши слабкі місця ферми, розглянемо 3 варіанти зміцнення ферми з метою знайти найраціональніший метод зміцнення.

Максимальні навантаження локалізуються у вузлах ферми і в 1/3 центральної панелі ферми з обох сторін.

1. Перший варіант зміцнення конструкції – це наварення фасонок у вузлах ферм з метою збільшення площі контакту розкосів з поясами ферми, що у свою чергу призведе до розповсюдження навантаження по більшій площі поясу для зменшення протискання і ліквідації локалізованих навантажень.

Фасонки виконано з листової сталі класу С255, товщиною 6мм. Розміри фасонки у вузлі стикування опрої стійки і нижнього поясу ферми 250х300х6мм, марка фасонки Ф-1. Розміри фасонки у вузлі стикування опрої стійки і верхньому поясу ферми 200х300х6мм, марка фасонки Ф-2. Розміри фасонки у проміжних вузлах досліджуваної ферми 250х500х6мм, марка фасонки Ф-3

2. Другий варіант зміцнення конструкції – усунення напруження в поясах ферми шляхом збільшення перерізу за допомогою взяття в обойму з кутників нижнього пояса ферми (рис. 4.1). Обойма формується з кутників 50х50х5 .

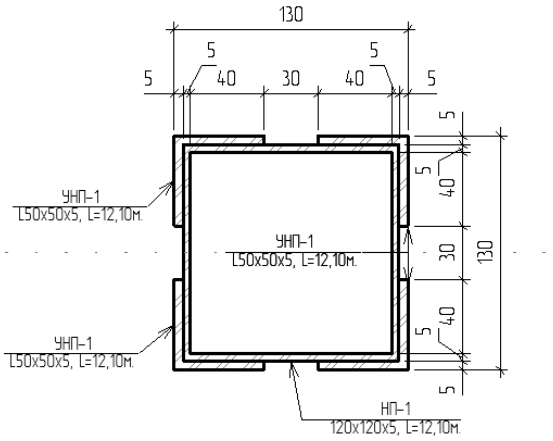

Рисунок 4.1 – Схема зміцнення кутниками нижнього поясу ферми

3. Третій варіант зміцнення конструкції усунення напруження в поясах і вузлах ферми шляхом збільшення перерізу за допомогою зміцнення нижньої зони нижнього поясу ферми двома суцільними кутниками, а також наварення фасонок у вузлах ферми. Зміцнення формується з кутників 50х50х5 (рис. 4.2) з листової сталі класу С255 товщиною 6мм.

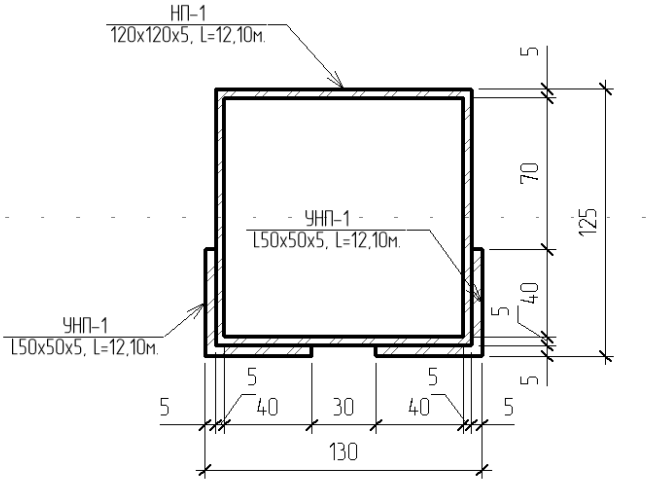

Рисунок 4.2 – Схема зміцнення кутниками нижнього поясу ферми

Розміри фасонки у вузлі стикування опрої стійки і нижнього поясу ферми 250х300х6мм, марка фасонки Ф-1. Розміри фасонки у вузлі стикування опрої стійки і верхньому поясу ферми 200х300х6 мм, марка фасонки Ф-2. Розміри фасонки у проміжних вузлах досліджуваної ферми 500х500х6мм, марка фасонки Ф-3.

4.2 Статична міцність та циклічна довговічність для ферми згідно пропозиції зміцнення №1

Спершу доцільно дослідити ферму на несучу здатність конструкції, щоб максимальні напруження коливалися в межі пружної деформації сталі Ст3пс. Коли максимальні напруження не перевищуватимуть межі текучості сталі Ст3пс, а саме 245 МПа, тільки тоді приступити до розрахунку конструкції на довговічність.

Дослідження напруження, переміщення в здовж осі У та відносного видовження елементів ферми зміцненої першим методом зміцнення.

Змоделювавши фасонки у вузлах досліджуваної ферми у програмному комплексі SolidWorks, приступим до аналізу ферми за результатами комп'ютерно моделюючого експерименту. Максимальні напруження після зміцнення локалізуються в центральній панелі нижнього поясу ферми по внутрішній грані профілю (рис. 4.3).

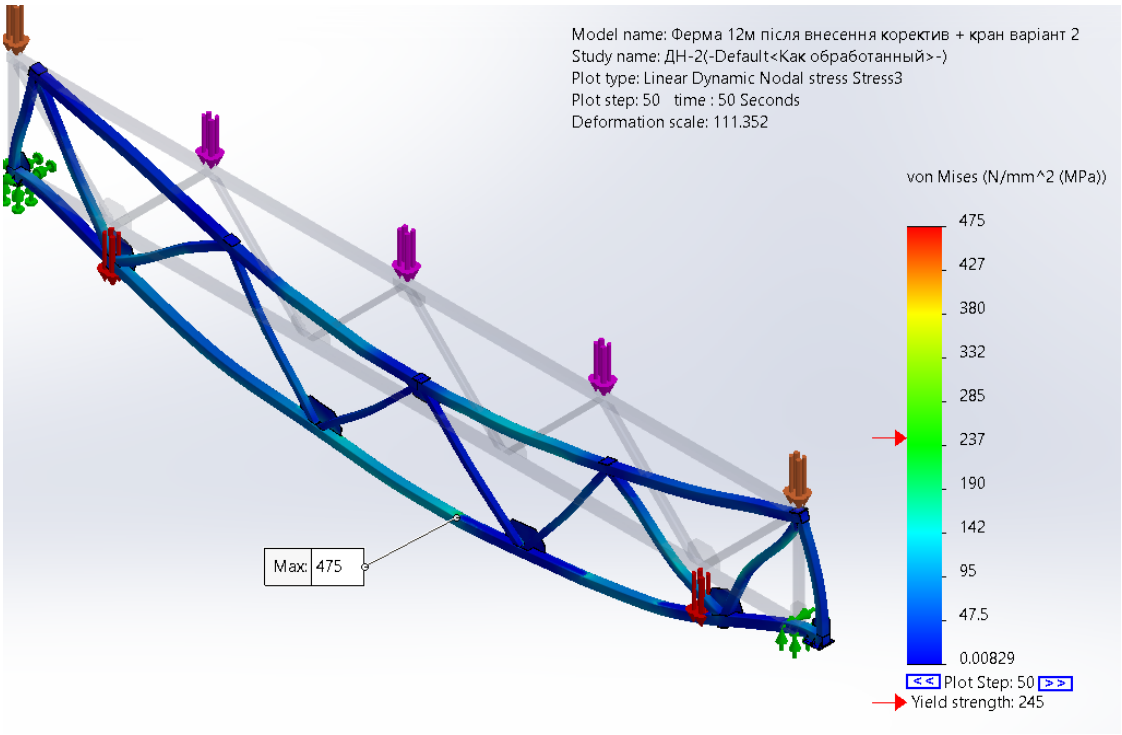

Рисунок 4.3 – Графічна візуалізація напружень у досліджуваній фермі, зміцненої першим методом на 50 секунді циклу роботи

Досліджено, що максимальний прогин в центрі ферми близько 12мм. Наглядно це показано на рис. 4.4.

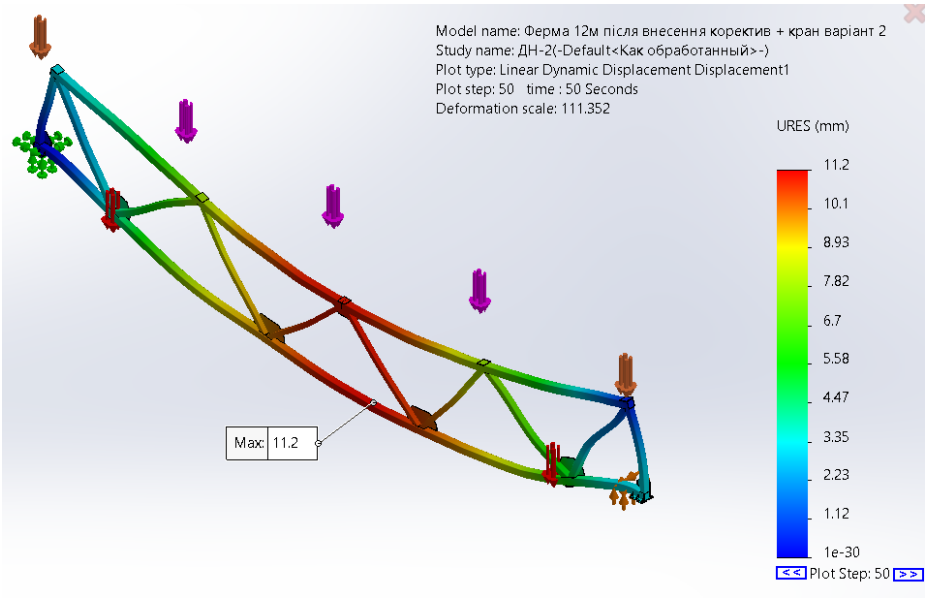

Рисунок 4.4 – Графічна візуалізація прогину ферми, зміцненої першим методом на 50 секунді циклу роботи

Максимальні напруження у верхньому поясі реконструйованої досліджуваної ферми знаходяться на 50 секунді циклу у вузлі, що в правій частині ферми (рис 4.5).

Рисунок 4.5 – Графік напружень в точках локалізації максимальних напружень у верхньому поясі досліджуваної зміцненої ферми першим методом по зовнішній поверхні профілю на 5, 25 і 50 секунді робочого циклу

Максимальні напруження у нижньому поясі реконструйованої ферми знаходяться у приопорних вузлах (рис 4.5).

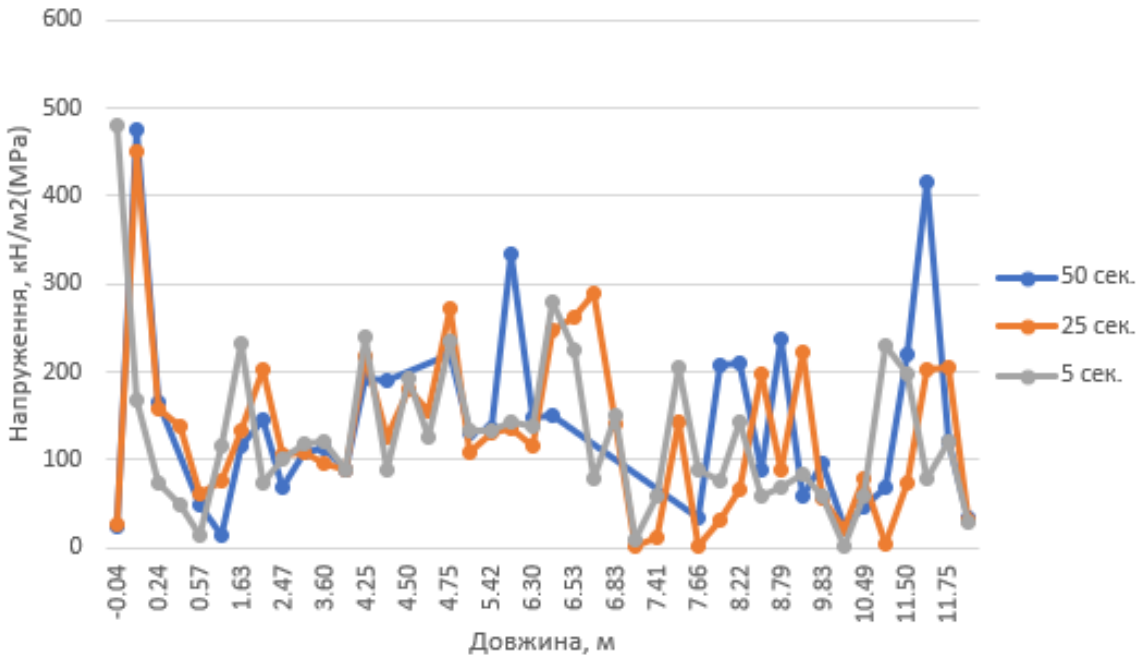

Рисунок 4.6 – Графік напружень в точках локалізації максимальних напружень у нижньому поясі досліджуваної зміцненої ферми першим методом по зовнішній поверхні профілю на 5, 25 і 50 секунді робочого циклу

Проаналізувавши результати досліду, виявлено:

– локалізовані вузлові напруження у вузлах ферми усунено;

– напруження в поясах ферми зменшились, але не суттєво.

4.3 Статична міцність та циклічна довговічність для ферми згідно пропозиції зміцнення №2

Змоделювавши зміцнення досліджуваної ферми кутниками у програмному комплексі SolidWorks комп’ютерно моделюючим експериментом виявлено, що найбільші напруження виникають на 50 секунді циклу роботи крана, тому розглянем напруження у даний відрізок часу.

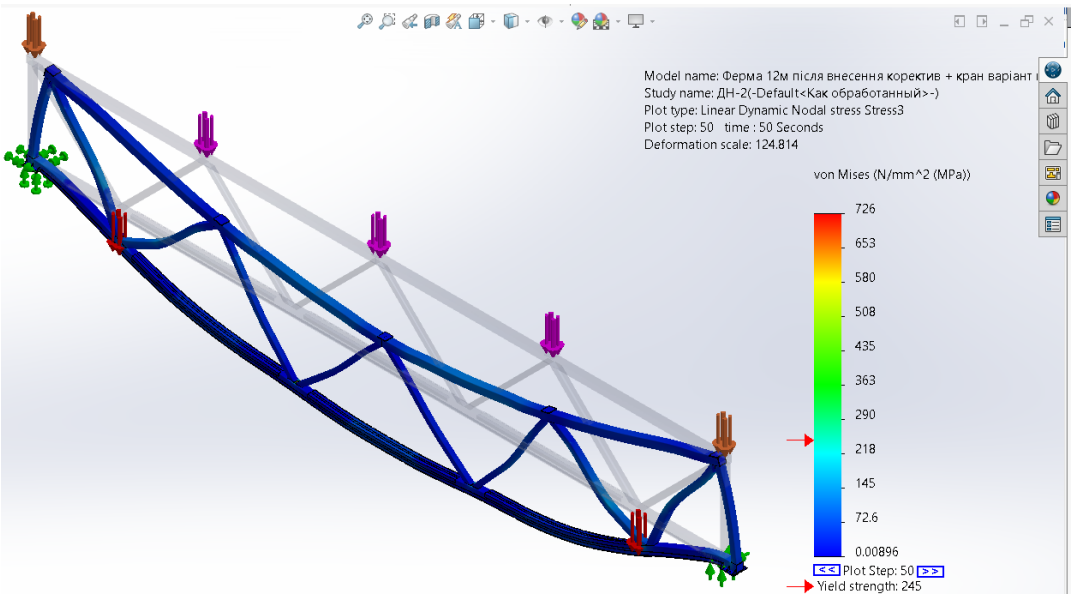

Рисунок 4.7 – Графічна візуалізація напружень у досліджуваній фермі, зміцненій першим методом на 50 секунді циклу роботи

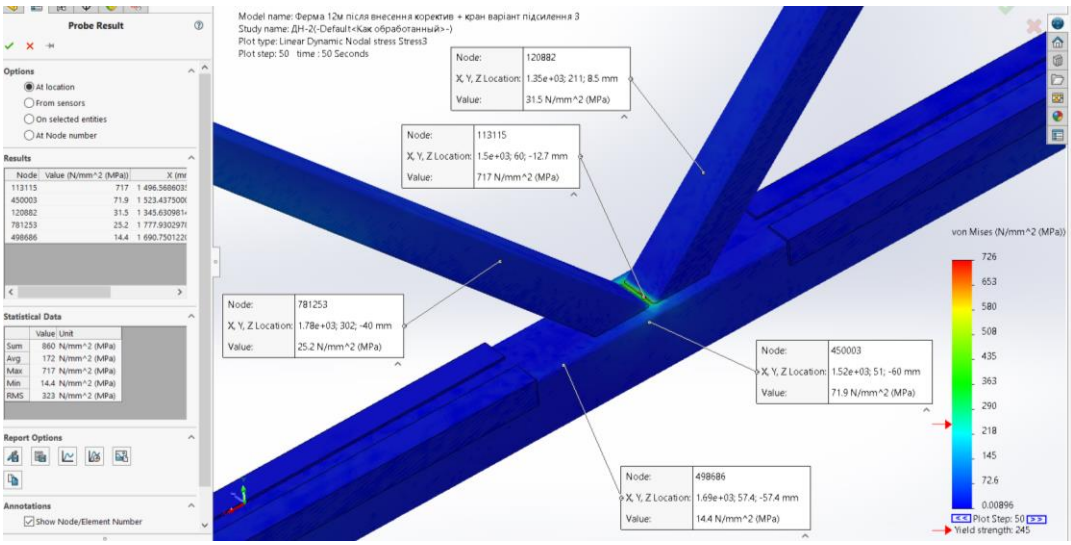

Рисунок 4.8 – Графічна візуалізація локалізація максимальних напружень у проміжному вузлі після зміцнення нижнього поясу ферми обоймою з кутників

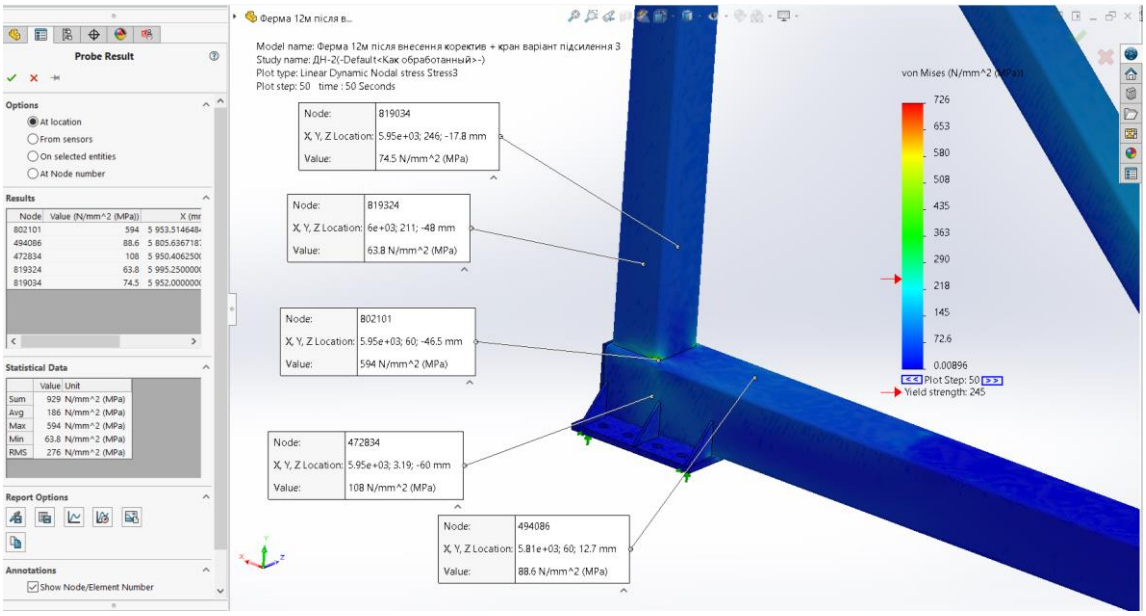

Рисунок 4.9 – Графічна візуалізація локалізації максимальних напружень у опорному вузлі після зміцнення нижнього поясу ферми обоймою з кутників

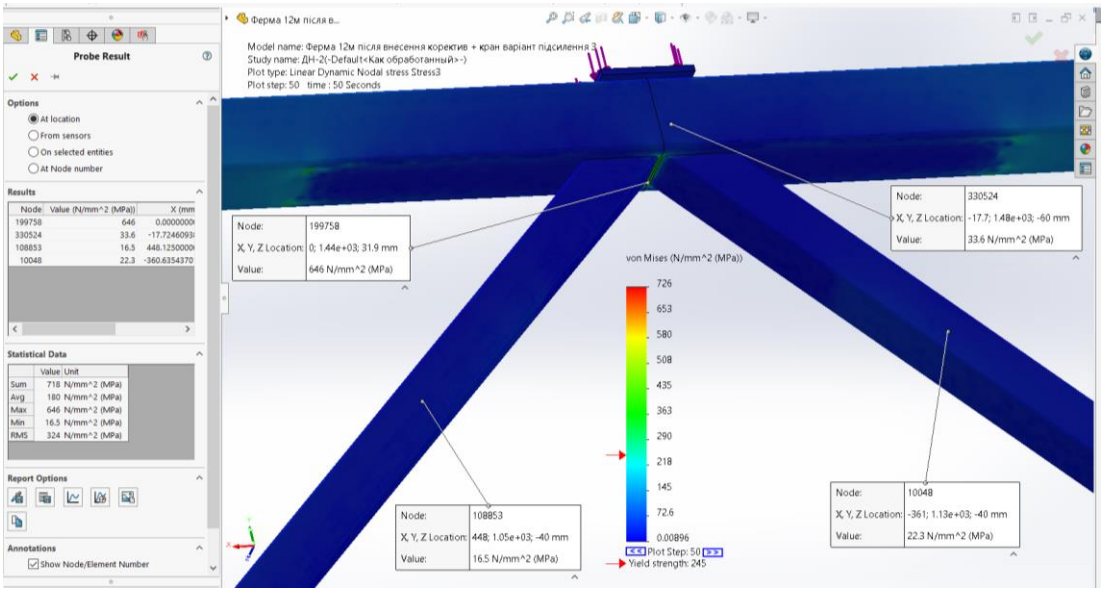

Рисунок 4.10 – Графічна візуалізація локалізації максимальних напружень у центральному вузлі після зміцнення нижнього поясу ферми обоймою з кутників

За результатами досліджень виявлено:

– понаднормове напруження в поясах ферми ліквідовано.

– всі максимальні напруження після зміцненнянижнього поясу кутниками локалізувались у вузлах.

4.4 Статична міцність та циклічна довговічність для ферми згідно пропозиції зміцнення №3

Змоделювавши зміцнення досліджуваної ферми кутниками у програмному комплексі SolidWorks (рис. 4.11), виконано комп’ютерно моделюючий експеримент. Виявлено,що найбільші напруження виникають на 50 секунді циклу (рис. 4.12), роботи крана. Тому розглянуто напруження у даний відрізок часу.

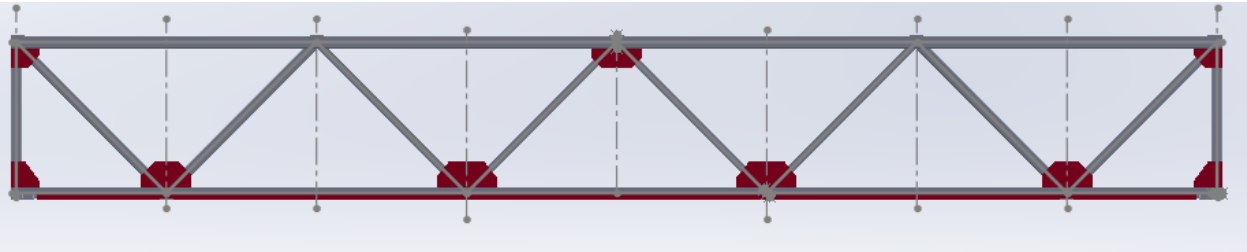

Рисунок 4.11 – Модель ферми в програмному комплексі SolidWorks

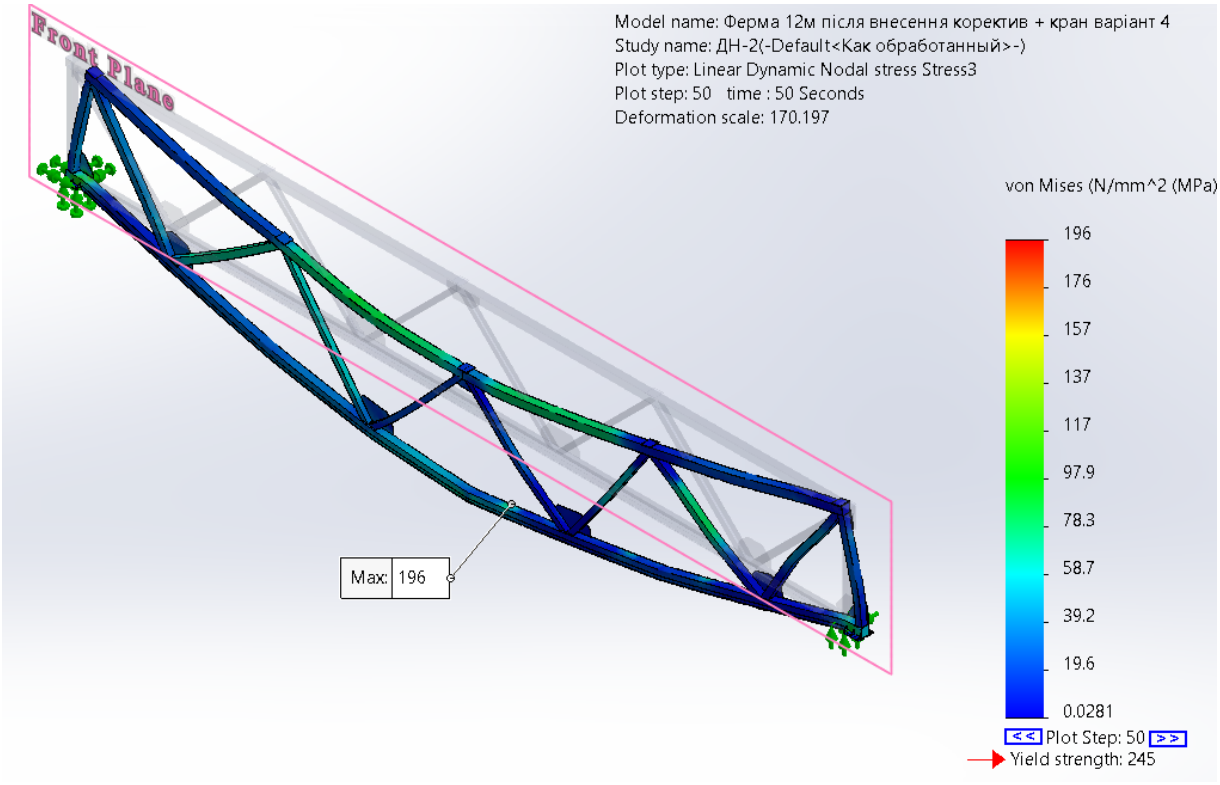

Рисунок 4.12 – Графічна візуалізація напружень у досліджуваній фермі, зміцненій третім методом на 50 секунді циклу роботи

Зниження напруження в зміцнених елементах ферми призвело до закономірних знижень відносного видовження (рис. 4.13) та прогину досліджуваної ферми (рис. 4.14).

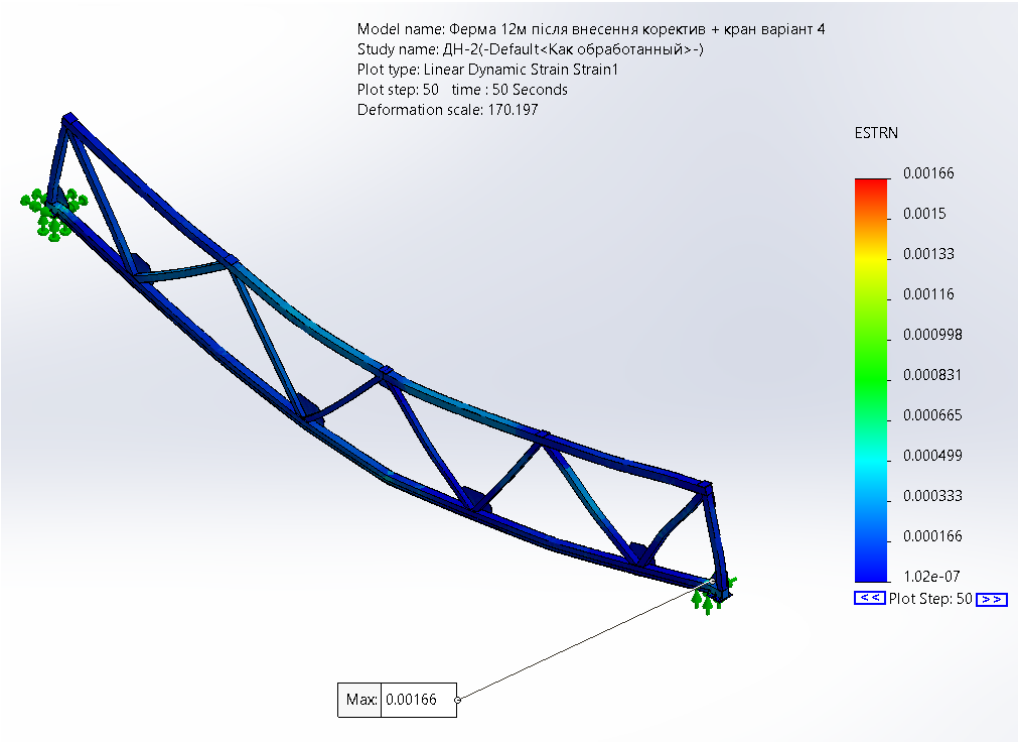

Рисунок 4.13 – Графічна візуалізація відносного видовження у досліджуваній фермі, зміцненій третім методом на 50 секунді циклу роботи

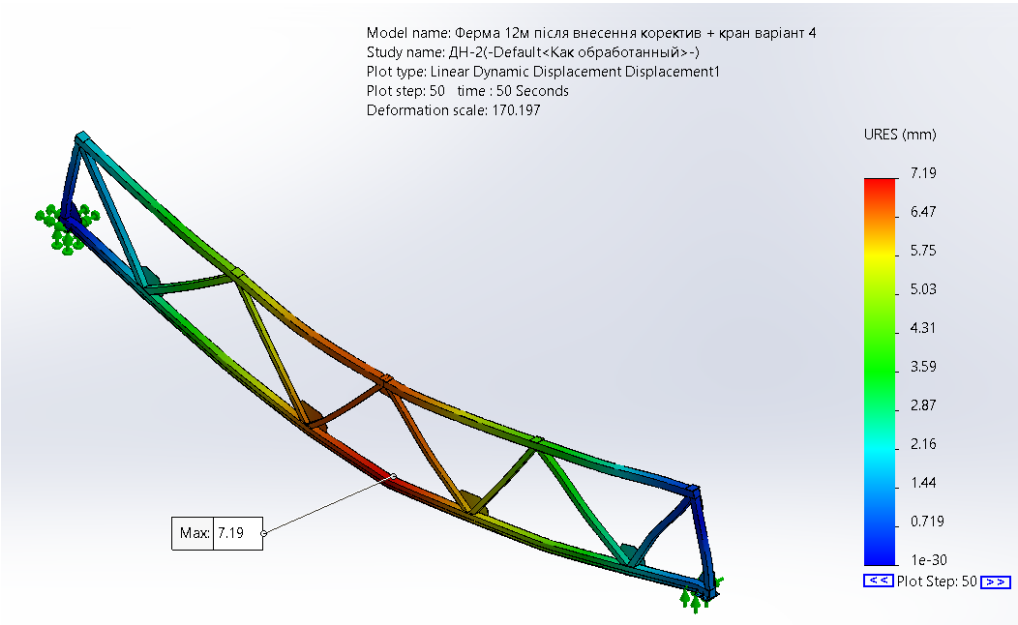

Рисунок 4.14 – Графічна візуалізація прогину у досліджуваній фермі, зміцненій третім методом на 50 секунді циклу роботи.

Дане програмне забезпечення дозволяє наочно спостерігати зміну напруження з часом в кожній з точок детальної сітки ферми, це сприяє розуміню роботи конструкції . Досліджено що навантаження в опорному вузлі змінюються незначно протягом циклу роботи. Цього висновку досягли, проаналізувавши результати досліджень в місці контакту стійки ферми з нижнім поясом досліджуваної ферм (рис. 4.15) та місці контакту краю фасонки опорного вузла та нижнього поясу ферми (рис. 4.16) .

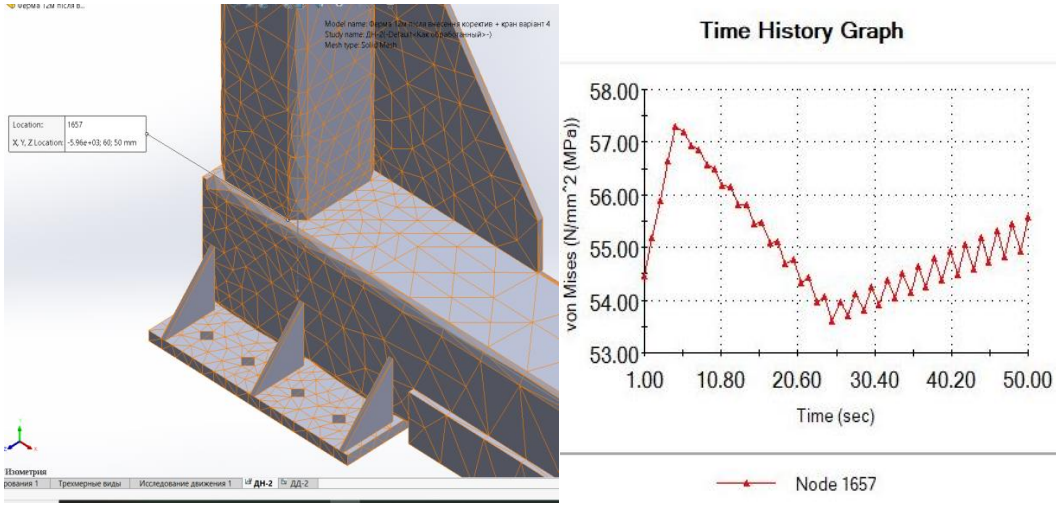

Рисунок 4.15 – Графік зміни напружень з часом циклу роботи у одній з точок сітки досліджуваної ферми, розташованій в опорному вузлі ферми

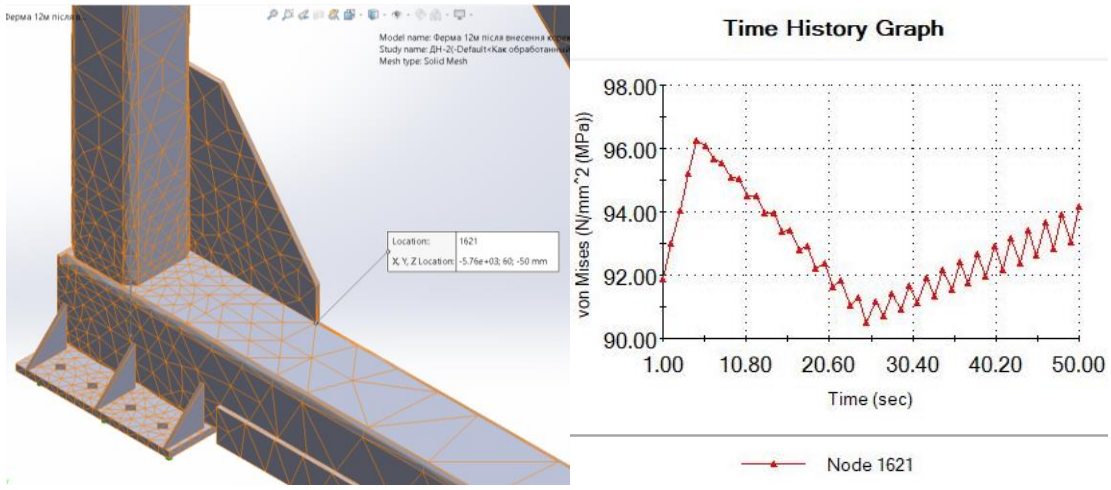

Рисунок 4.16 – Графік зміни напружень з часом циклу роботи у одній з точок сітки досліджуваної ферми, розташованій в місці контакту торця фасонки і нижнього поясу ферми

Досліджено що навантаження у вузлі кріплення підкранової балки змінюються незначно протягом циклу роботи, цього висновку досягли проаналізувавши результати досліджень (рис. 4.17, рис. 4.18).

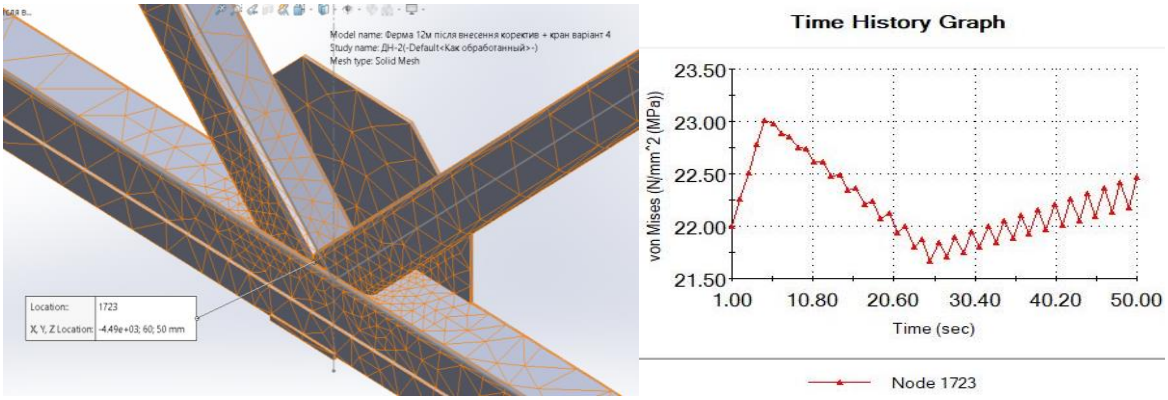

Рисунок 4.17 – Графік зміни напружень з часом циклу роботи у одній з точок сітки досліджуваної ферми, розташованій в першому вузлі кріплення підкранової балки до нижнього поясу ферми , зміцненій третім методом

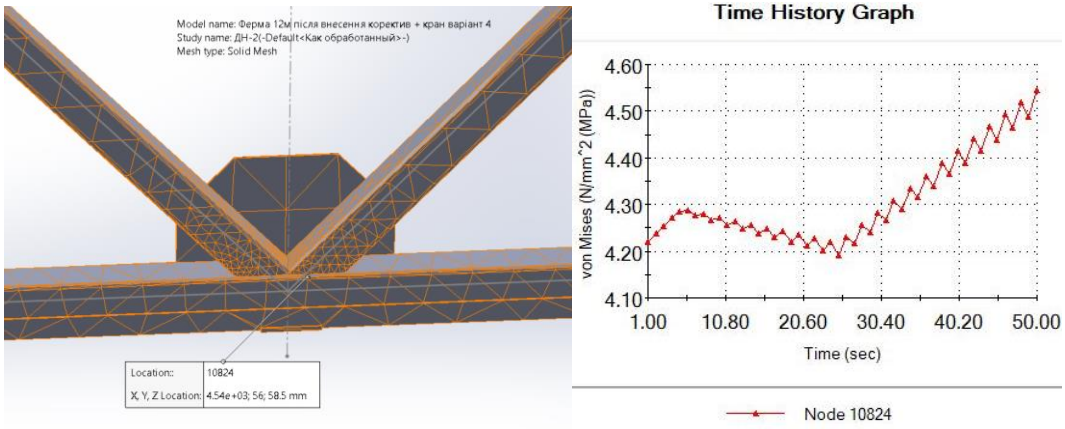

Рисунок 4.18 – Графік зміни напружень з часом циклу роботи у одній з точок сітки досліджуваної ферми, розташованій в другому вузлі кріплення підкранової балки до нижнього поясу ферми , зміцненій третім методом

Досліджено максимальні напруження опрацьовано результати і на основі них сформовані графіки напружень у нижньому (рис. 4.19) і верхньому поясі (рис. 4.20) досліджуваної ферми по зовнішній поверхні профілю.

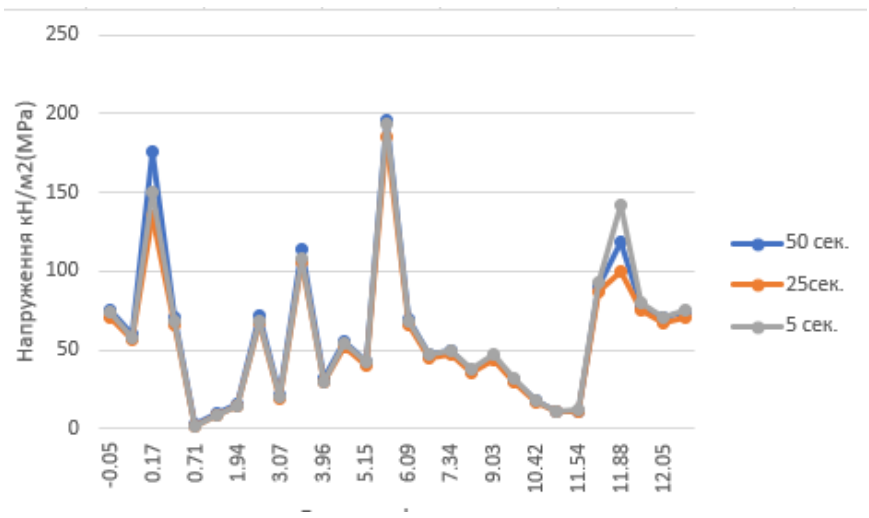

Рисунок 4.19 – Графік напружень в точках локалізації максимальних напружень у нижньому поясі досліджуваної зміцнененоїферми третім методом по зовнішній поверхні профіля на 5, 25 і 50 секунді робочого циклу

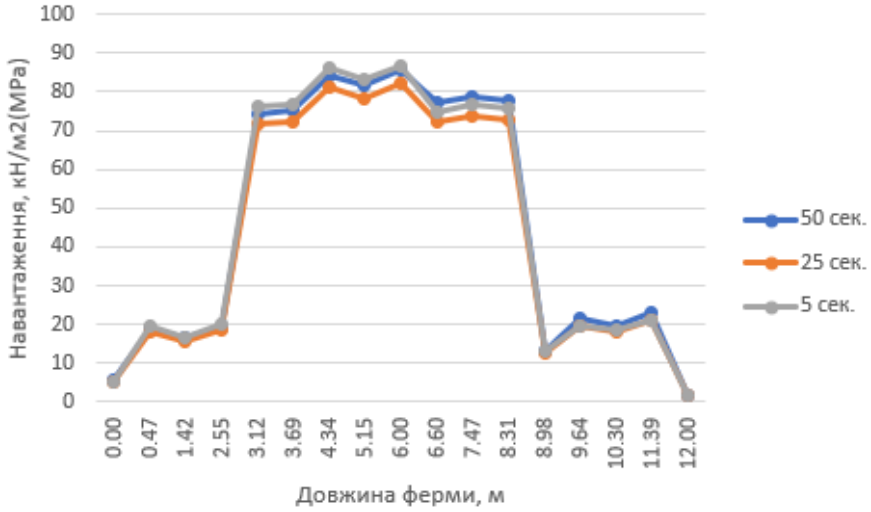

Рисунок 4.20 – Графік напружень в точках локалізації максимальних напружень у верхньому поясі досліджуваної зміцнененоїферми третім методом по зовнішній поверхні профіля на 5, 25 і 50 секунді робочого циклу

Досліджено максимальні деформації вздовж осі У, опрацьовано дані результати і на основі них сформовані графіки деформації прогину у нижньому (рис. 4.21) і верхньому поясі (рис. 4.22) досліджуваної ферми по зовнішній поверхні профіля.

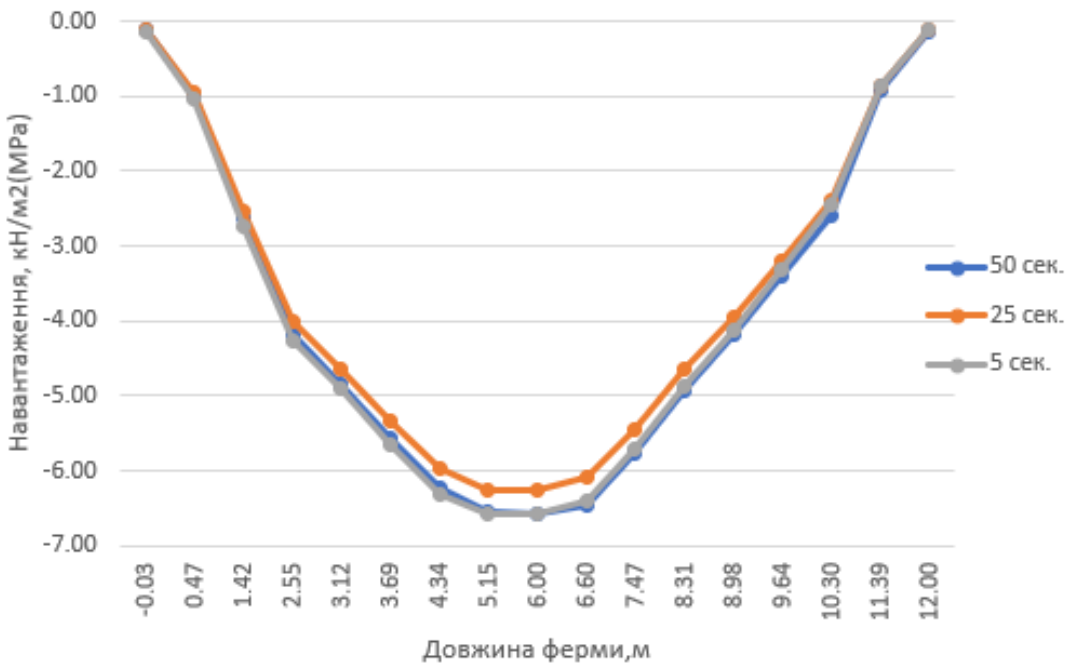

Рисунок 4.21 – Графік деформації прогину в здовж осі У в точках локалізації максимальних деформацій у верхньому поясі досліджуваної ферми по зовнішній поверхні профіля на 5, 25 і 50 секунді робочого циклу

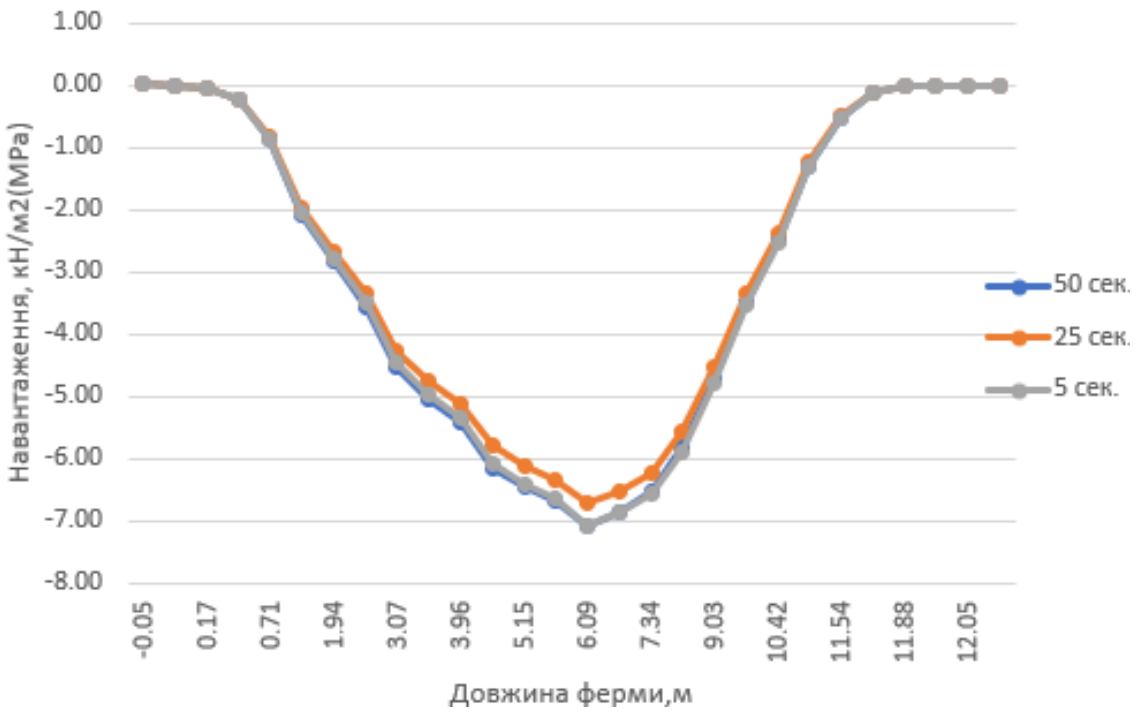

Рисунок 4.22 – Графік деформації прогину в здовж осі У в точках локалізації максимальних деформацій у нижньому поясі досліджуваної ферми по зовнішній поверхні профіля на 5, 25 і 50 секунді робочого циклу

Досліджено відносне видовження ферми опрацьовано дані результати і на основі них сформовані графіки відносного видовження у нижньому (рис. 4.23) і верхньому поясі (рис. 4.24) досліджуваної ферми по зовнішній поверхні профілю.

Рисунок 4.23 – Графік відносного видовження в точках локалізації максимальних напружень у нижньому поясі досліджуваної ферми по зовнішній поверхні профіля на 5, 25 і 50 секунді робочого циклу

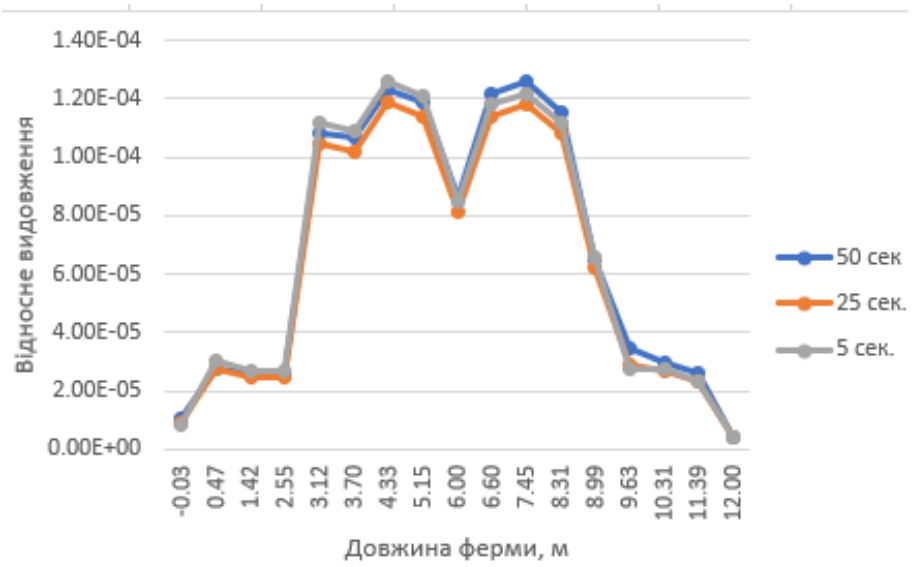

Рисунок 4.24 – Графік відносного видовження в точках локалізації максимальних напружень у верхньому поясі досліджуваної ферми по зовнішній поверхні профіля на 5, 25 і 50 секунді робочого циклу

Новітні способи дослідження дозволяють згенерувати базу даних напружень для подальшого аналізу і формування висновку про роботу ферми. Результати напружень в нижньому поясі наведено в табл. 4.1, а в верхньому – в табл. 4.2.

Таблиця 4.1 – Порівняння напруження у точках максимальних напружень ферми на 50 секунді циклу з напруження у цих точках у інший період часу по нижньому поясу ферми

№ точки	Координати точок, мм			Напруження, МПа.			Довж. Ферми, м
	X	У	Z	50сек.	25сек.	5сек.	
4314	6050,00	12,75	-60,00	75,10	71,00	74,40	0,00
10594	5973,86	25,50	-60,00	59,80	56,00	58,10	0,03
10640	5826,28	25,50	-60,00	176,00	165,00	172,00	0,17
2674	5671,87	51,00	-60,00	70,20	65,70	68,20	0,33
2649	5293,75	51,00	-60,00	2,21	2,02	2,05	0,71
2622	4537,50	51,00	-60,00	9,57	8,73	8,83	1,46
3959	4064,84	51,00	-55,00	15,40	14,10	14,20	1,94
3905	3592,18	51,00	-55,00	71,90	66,50	68,00	2,41
3970	2930,46	51,00	-55,00	21,30	19,60	19,90	3,07
11025	2420,00	57,36	-57,36	114,00	106,00	108,00	3,58
11184	2041,87	58,71	-55,62	31,80	29,30	29,80	3,96
12197	1228,90	53,34	-54,24	55,30	51,90	53,90	4,77
3986	850,78	51,00	-55,00	42,60	40,50	42,40	5,15
12136	567,18	53,61	-54,02	196,00	185,00	193,00	5,43
3951	-94,53	51,00	-55,00	69,20	65,60	68,70	6,09
3964	-661,71	51,00	-55,00	47,20	44,80	46,90	6,66
10587	-1336,04	0,00	-60,00	49,30	46,90	49,40	7,34
3914	-2079,69	51,00	-55,00	37,20	35,90	38,20	8,08
2604	-3025,00	51,00	-60,00	45,30	44,10	47,50	9,03
18443	-3812,26	10,39	-57,36	31,10	30,10	32,10	9,81
10612	-4415,57	0,00	-60,00	17,50	16,90	17,80	10,42
3896	-5104,69	51,00	-55,00	11,00	10,70	11,30	11,10
10626	-5542,66	0,00	-60,00	11,10	10,80	11,70	11,54
3925	-5766,41	51,00	-55,00	90,30	86,70	92,30	11,77
10551	-5881,25	0,00	-60,00	129,00	124,00	132,00	11,88
10552	-6014,38	-12,75	-60,00	78,20	74,90	79,40	12,01
1602	-6050,00	-51,00	-60,00	70,30	67,10	70,70	12,05
4861	-6055,00	-45,00	-60,00	74,40	71,00	74,70	12,06
*Примітка: максимальні напруження виникають по внутрішній поверхні профілів.							

Таблиця 4.2 – Порівняння напруження у точках максимальних напружень ферми на 50 секунді циклу з напруження у цих точках у інший період часу по верхньому поясові ферми

№ точки	Координати точок, мм			Напруження, МПа.			Довж. Ферми, м
	X	У	Z	50сек.	25сек.	5сек.	
15718	-6026,37	1504,78	55,00	5,60	5,16	5,14	0,00
9337	-5896,39	1440,00	51,00	23,00	22,30	24,10	0,10
18158	-5453,47	1513,77	57,00	18,50	18,10	19,80	0,55
8802	-3970,31	1560,00	51,00	25,50	25,10	27,60	2,03
15034	-3308,59	1500,00	60,00	20,00	19,70	21,60	2,69
15176	-2937,85	1492,03	60,00	65,20	62,70	66,90	3,06
18176	-2407,33	1493,79	57,00	73,90	70,70	75,10	3,59
18202	-1666,43	1484,94	57,00	67,80	64,40	68,20	4,33
18271	-1089,97	1500,60	57,00	74,80	71,60	76,00	4,91
18169	-523,15	1499,80	57,00	75,00	71,70	76,10	5,48
15191	-118,16	1493,62	60,00	44,30	42,30	44,80	5,88
20143	165,42	1531,87	60,00	25,20	23,60	24,60	6,17
20156	425,39	1500,00	60,00	64,30	60,00	62,30	6,43
21382	993,46	1499,03	57,00	77,60	72,8	75,70	6,99
21500	1643,01	1498,35	57,00	76,90	72,10	75,00	7,64
21320	2125,52	1501,54	57,00	77,10	72,20	75,10	8,13
21530	2599,70	1503,84	57,00	32,30	30,60	32,10	8,60
21340	2881,53	1501,80	57,00	16,00	15,10	15,90	8,88
18688	3119,53	1449,00	60,00	7,28	6,88	7,20	9,12
21527	3750,44	1488,64	57,00	21,00	18,70	18,40	9,75
21447	4775,30	1557,57	-1,00	22,80	19,90	19,10	10,78
20153	5624,60	1500,00	60,00	1,94	2,09	2,57	11,62
20100	5979,10	1512,75	60,00	1,45	1,44	1,58	12,00
*Примітка: максимальні напруження виникають по внутрішній поверхні профілів.							

Також новітні способи дослідження дозволяють згенерувати базу данних деформацій вздовж осі У для подальшого аналізу і формуання висновку про роботу ферми, результати прогину в нижньому поясі наведено в табл. 4.3, а в верхньому в табл. 4.4.

Таблиця 4.3 – Порівняння переміщень у точках максимальних переміщень вздовж осі У(прогин) ферми на 50 секунді циклу з переміщеннями у цих точках у інший період часу по нижньому поясові ферми

№ точки	Координати точок, мм			Переміщення, мм			Довж. Ферми, м
	X	У	Z	50сек.	25сек.	5сек.	
4314	6050,00	12,75	-60	0,05830	1,16	1,22	0,00
10594	5973,86	25,50	-60	0,03090	1,16	1,22	0,03
10640	5826,28	25,50	-60	0,00679	1,14	1,20	0,17
2674	5671,87	51,00	-60	0,01290	1,12	1,17	0,33
2649	5293,75	51,00	-60	1,43000	1,35	1,42	0,71
2622	4537,50	51,00	-60	2,38000	2,24	2,34	1,46
3959	4064,84	51,00	-55	3,05000	2,87	2,99	1,94
3905	3592,18	51,00	-55	3,73000	3,51	3,66	2,41
3970	2930,46	51,00	-55	4,66000	4,38	4,57	3,07
11025	2420,00	57,36	-57	5,16000	4,86	5,08	3,58
11184	2041,87	58,71	-55	5,50000	5,20	5,43	3,96
12197	1228,90	53,34	-54	6,22000	5,89	6,17	4,77
3986	850,78	51,00	-55	6,54000	6,19	6,50	5,15
12136	567,18	53,61	-54	6,77000	6,41	6,73	5,43
3951	-94,53	51,00	-55	7,15000	6,78	7,13	6,09
3964	-661,71	51,00	-55	6,91000	6,56	6,92	6,66
10587	-1336,04	0,00	-60	6,56000	6,25	6,60	7,34
3914	-2079,69	51,00	-55	5,86000	5,59	5,92	8,08
2604	-3025,00	51,00	-60	4,74000	4,53	4,81	9,03
18443	-3812,26	10,39	-57	3,49000	3,34	3,55	9,81
10612	-4415,57	0,00	-60	2,49000	2,39	2,54	10,42
3896	-5104,69	51,00	-55	1,30000	1,25	1,33	11,10
10626	-5542,66	0,00	-60	0,51100	0,49	0,52	11,54
3925	-5766,41	51,00	-55	0,17700	0,17	0,18	11,77
10551	-5881,25	0,00	-60	0,05830	0,06	0,06	11,88
10552	-6014,38	-12,75	-60	0,03090	0,03	0,03	12,01
1602	-6050,00	-51,00	-60	0,00679	0,01	0,01	12,05
*Примітка: максимальні напруження виникають по внутрішній поверхні профілів.							

Таблиця 4.4 – Порівняння переміщень у точках максимальних переміщень вздовж осі У(прогин) ферми на 50 секунді циклу з переміщеннями у цих точках у інший період часу по верхньому поясові ферми

№ точки	Координати точок, мм			Переміщення, мм			Довж. Ферми, м
	X	У	Z	50сек.	25сек.	5сек.	
15718	-6026,37	1504,78	55,00	1,84	1,76	1,86	0,03
9337	-5896,39	1440,00	51,00	1,76	1,69	1,78	0,10
18158	-5453,47	1513,77	57,50	2,13	2,05	2,18	0,55
8802	-3970,31	1560,00	51,00	3,96	3,81	4,07	2,03
15034	-3308,59	1500,00	60,00	4,61	4,42	4,70	2,69
15176	-2937,85	1492,03	60,00	5,00	4,79	5,08	3,06
18176	-2407,33	1493,79	57,50	5,61	5,38	5,70	3,59
18202	-1666,43	1484,94	57,50	6,33	6,06	6,42	4,33
18271	-1089,97	1500,60	57,52	6,56	6,27	6,62	4,91
18169	-523,15	1499,80	57,54	6,62	6,30	6,64	5,48
15191	-118,16	1493,62	60,00	6,62	6,28	6,60	5,88
20143	165,42	1531,87	60,00	6,60	6,25	6,57	6,17
20156	425,39	1500,00	60,00	6,56	6,22	6,53	6,43
21382	993,46	1499,04	57,54	6,18	5,85	6,13	6,99
21500	1643,01	1498,36	57,27	5,61	5,30	5,55	7,64
21320	2125,52	1501,54	57,42	5,13	4,84	5,07	8,13
21530	2599,70	1503,84	57,52	4,64	4,37	4,57	8,60
21340	2881,53	1501,80	57,41	4,31	4,06	4,24	8,88
18688	3119,53	1449,00	60,00	4,03	3,79	3,95	9,12
21527	3750,44	1488,64	57,51	3,30	3,08	3,19	9,75
21447	4775,30	1557,57	-1,59	1,96	1,80	1,83	10,78
20153	5624,60	1500,00	60,00	0,80	0,74	0,76	11,62
20100	5979,10	1512,75	60,00	0,56	0,52	0,53	11,98
*Примітка: максимальні напруження виникають по внутрішній поверхні профілів.							

Отже, даний варіант зміцнення конструкції, а саме зміцнення нижнього поясу двома кутниками 50х50х5 та зміцнення вузлів фасонками з листової сталі товщиною 6 мм, задовольняє статичну міцність конструкції.

Оскільки статична міцність забезпечена, доцільно перейти до розрахунку на довговічність конструкції. Дослідження на втому розраховується на основі дослідження на статичну міцність. До початку розрахунку задано дані кривої втоми для вуглецевої сталі (рис. 4.25). Задано ліміт максимальної кількості циклів роботи, елементів ферми, що дорівнює 1 000 000 циклів. Тип циклічних навантажень

заданий нульового базування (подано на рис. 2.20). Найбільші пошкодження виникли по центру нижнього поясу ферм (рис. 4.26) та в опрних вузла (рис. 4.27), а отже і їх довговічність.

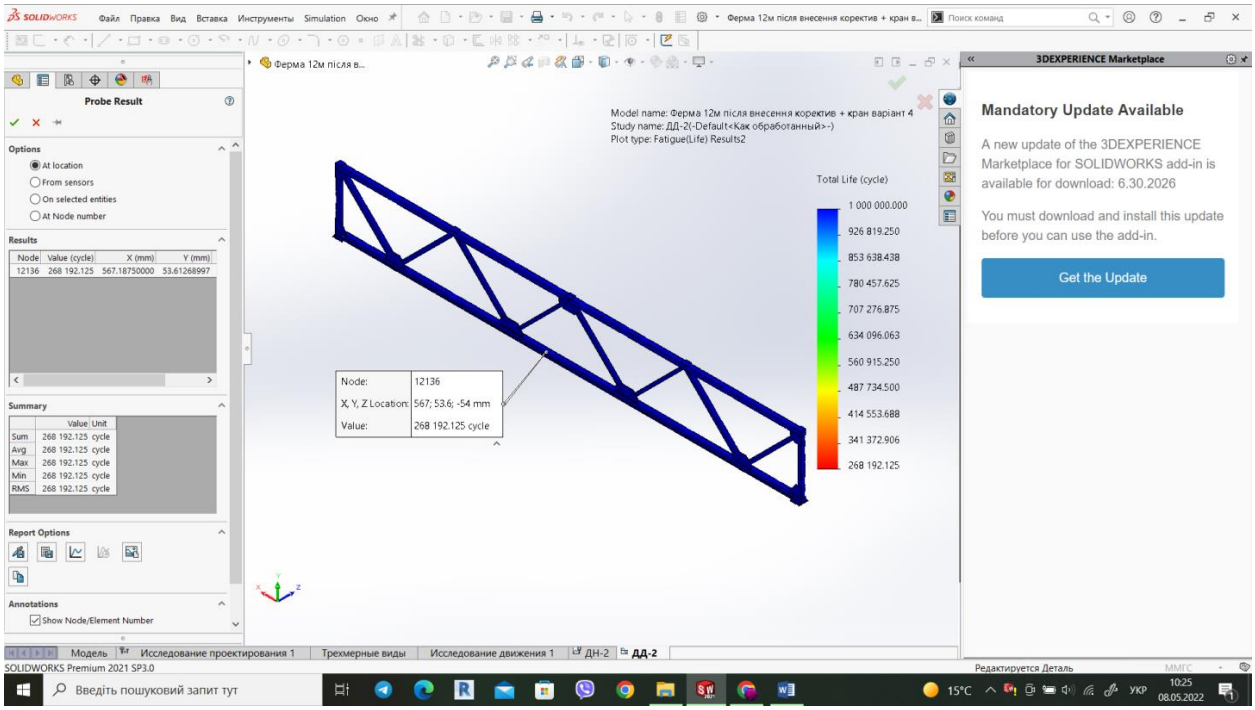

Рисунок 4.26 – Графічна візуалізація межі довговічності ферми

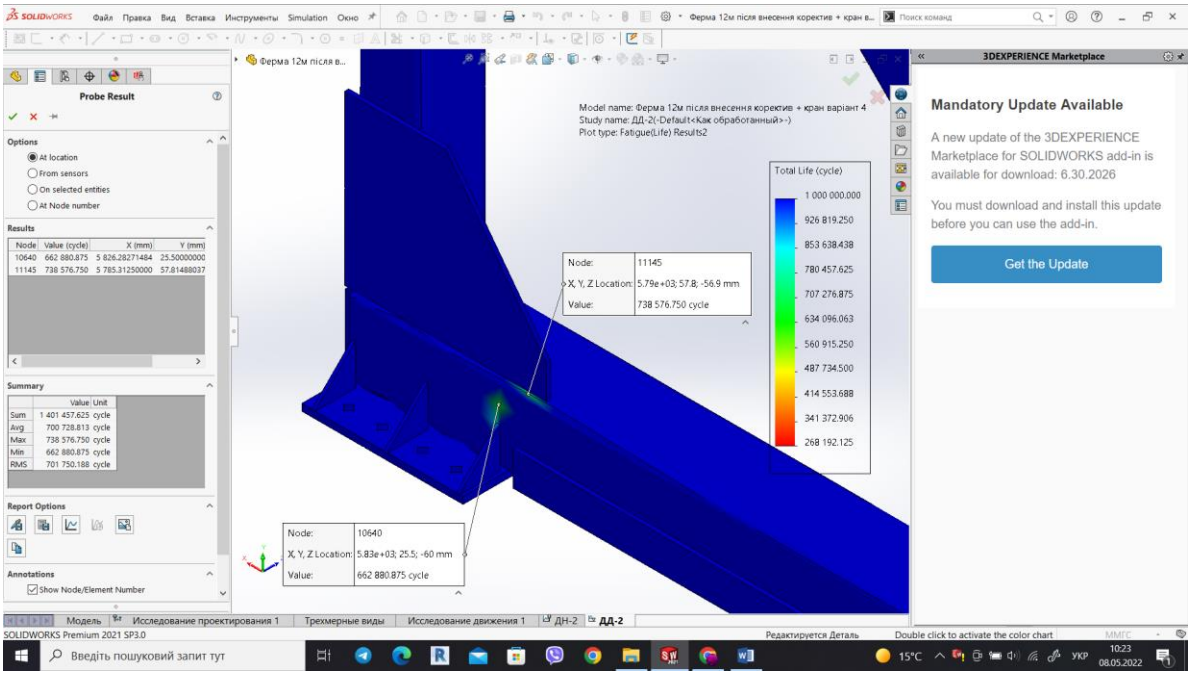

Рисунок 4.27 – Графічна візуалізація межі довговічності в опорному вузлі ферми

4.5 Узагальнені результати визначення статичної міцності та циклічної довговічності для ферми за результатами досліджень

Проаналізовано найслабші місця ферми з набільшими значенями напружень за цими даними сформовано графік напружень в нижньому поясі зміцненої ферми (рис. 4.28).

Рисунок 4.28 – Зведений графік напружень в нижньому поясі по довжині ферми

Проаналізувавши результати статичної міцності ферми виявлено, що найменші напруження в третьому варіанті зміцнення ферми. З графіку (рис. 4.28) видно, що максимальні напруження в третьому варіанті зміцнененя ферми знаходяться в зоні пружних деформацій.

Проаналізовано найслабші місця ферм з найменшим запасом довговічності за цими даними сформовано графіки кількості циклів до початку руйнації верхнього (рис. 4.29) та нижнього поясу (рис. 4.30) зміцненої ферми.

Рисунок 4.29 – Зведений графік кількості циклів до початку руйнації верхнього поясу по довжині ферми

Рисунок 4.30 – Зведений графік кількості циклів до початку руйнації нижнього поясу по довжині ферми

Точні результати досліджень, що наведено на графіку (рис. 4.29) кількості циклів до початку руйнації нижнього поясу зміцненої ферми сформовані в базу даних, які зведено в табл. 4.5. Також результати по яких сформований графік кількості циклів до початку руйнації верхнього поясу по довжині ферми (рис. 4.30) навндено в таблиці 4.6.

Таблиця 4.5 – База даних кількості циклів до початку руйнації нижнього поясу зміцненої ферми

№	Кількість циклів, шт.			Координати , мм			Довжина ферми, м
	Вар. зміц. №1	Вар. зміц. №2	Вар. зміц. №3	X	Y	Z	
	1000000	1000000	1000000	6026,36	19,125	-55	-0,03
	25184	42194	456957	5826,28	25,500	-60	0,17
	1000000	1000000	1000000	4537,50	-51,000	-55	1,46
	1000000	34889	–	3568,555	59,89432	52	2,43
	199269	–	1000000	3100,62	51,000	-60	2,90
	–	1000000	–	2473,199	60	44	3,53
	347551	–	1000000	1512,50	-51,000	-60	4,49
	444596	282046	215970	567,18	53,612	-54	5,43
	47270	–	–	-21,26	57,500	22	6,02
	1000000	1000000	–	-1248,91	60,000	-48	7,25
	92703	–	1000000	-1450,00	-16,000	-66	7,45
	–	44500	1000000	-2835,93	51,000	-55	8,84
	1000000	1000000	1000000	-4531,25	-16,000	-66	10,53
	283634	28753	–	-5289,81	-5,578	60	11,29
	1000000	1000000	646236	-5830,00	0,000	-60	11,83
	15650	21721	1000000	-6026,36	6,375	-55	12,03

Таблиця 4.6 – База даних кількості циклів до початку руйнації верхнього поясу зміцненої ферми

№	Кількість циклів, шт.			Координати , мм			Довжина ферми, м
	Вар. зміц. №1	Вар. зміц. №2	Вар. зміц. №3	X	Y	Z	
	1000000	1000000	1000000	6014,55	1525,50	-60,00	-0,01
	1000000	1000000	1000000	4679,30	1497,81	-57,50	1,32
	1000000	1000000	1000000	3013,18	1487,25	-60,00	2,99
	67417	62932	1000000	2460,77	1440,00	-35,06	3,54
	1000000	1000000	1000000	1488,87	1487,25	-60,00	4,51
	165220	40896	1000000	496,29	1440,18	52,78	5,50
	89887	1000000	1000000	0,00	1440,00	-38,25	6,00
	–	42165	1000000	-531,74	1440,00	37,45	6,53
	1000000	–	1000000	-1435,69	1454,58	60,00	7,44
	–	1000000	1000000	-1621,80	1445,00	12,75	7,62
	–	57576	1000000	-2460,77	1440,00	-43,03	8,46
	87229	1000000	1000000	-2989,55	1440,70	-54,47	8,99
	1000000	1000000	1000000	-4493,19	1442,50	-32,97	10,49
	–	495414	1000000	-5879,77	1440,00	-49,09	11,88
	1000000	1000000	1000000	-6050,00	1512,75	-60,00	12,05

Виконано розрахунок кількості циклів, необхідний для виробництва Завданням задано термін експлуатації 50 років. Робочий день тривалістю 8 годин. Усереднена кількість циклів на годину 2 цикли. Кількість робочих днів у році, згідно робочого календаря 249 шт. Відповідно, кількість робочих циклів за один рік = 249*(8*2)=3984, циклів.

Отже, необхідна кількість циклів на 50 років експлатації становить – 3984*50=199200, циклів.

Отримані результати досліджень задовільняють умови експлуатації ферми і забезпечують 8% запасу в точці з найменшою тривалістю життя з точок сітки, на яку розділено ферму.

4.5 Висновок за розділом 4

1. Одержані результати дослідження доцільно використовувати для подальших наукових праць та в інженерній практиці для зміцнення зварних ферм, які експлуатуються при впливі на них не тільки статичними, а й циклічними навантаженнями.

2. Одержані результати дослідження свідчать про те, що навіть при статичній міцності ферми доцільно проводити регулярні обстеження конструкції, щоб запобігти втомним руйнування ферми.

РОЗДІЛ 5
ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

5.1 Законодавча база про охорону праці

Закон України «Про охорону праці» визначає основні положення щодо реалізації конституційного права працівників на охорону їх життя і здоров'я у процесі трудової діяльності, на належні, безпечні і здорові умови праці, регулює за участю відповідних органів державної влади відносини між роботодавцем і працівником з питань безпеки, гігієни праці та виробничого середовища і встановлює єдиний порядок організації охорони праці в Україні.

В Законі України «Про охорону праці», містяться статті, які визначають його характеристики.

Згідно із статтею 5 «Права на охорону праці під час укладання трудового договору» вказуються умови трудового договору, в якому прописуються положення, які не суперечать законам та іншим нормативно-правовим актам з охорони праці.

Стаття 6 «Права працівників на охорону праці під час роботи» вказує про умови праці на робочому місці. Згідно даної статті, працівник має право відмовитися від дорученої роботи, якщо створилася виробнича ситуація, небезпечна для його життя чи здоров'я або для людей, які його оточують, або для виробничого середовища чи довкілля.

В Статті 8 «Забезпечення працівників спецодягом, іншими засобами індивідуального захисту, мийними та знешкоджувальними засобами» міститься положення, що роботодавець зобов'язаний забезпечити за свій рахунок придбання, комплектування, видачу та утримання засобів індивідуального захисту відповідно до нормативно-правових актів з охорони праці та колективного договору.

5.2 Правила охорони праці при монтажі зварних ферм

Для запобігання впливу небезпечних і шкідливих виробничих факторів застосовують засоби колективного та індивідуального захисту. При монтуванні металоконструкцій найбільш поширені обмежуючі пристрої, переважно захисні та сигнальні загородження. Захисні загородження застосовуються, аби запобігти доступу сторонніх осіб на дільниці, де проводяться роботи. Щоб уникнути падіння людей з висоти, висоту захисних загороджень вибирають не менше 1,1 м. До колективних засобів захисту належать і знаки безпеки, які доносять необхідну інформацію про можливу небезпеку. Щоб попередити падіння монтажників з висоти, а також для того, щоб упіймати предмети, які впали, застосовати захисні пристрої з синтетичними сітками, їх встановлюють як по периметру будівлі, так і через кожні 3…4 м по висоті будівлі. Засоби індивідуального захисту при виконанні монтажних робіт найчастіше застосовують комбінезони з бавовняних тканин, які захищають від пилу, бруду, дрібних травм.. Порядок і послідовність монтування конструкцій обумовлюються у ПВР. Важливим заходом запобігання виробничому травматизму при монтажі є підготовка конструкцій до підйому на висоту. Кроквяні та підкроквяні ферми монтують, використовуючи стропи і траверси. Після встановлення та закріплення ферми на колонах, але перед тим, як встановлювати зв'язки по верхньому поясу, необхідне тимчасове закріплення її за допомогою розтяжок та розпірок. У багатьох випадках кроквяні ферми монтують блоками з двох або трьох ферм. Між фермами встановлюють розпірки, які сприймають зусилля стискування. При монтажі окремих конструкцій або блоків не допускається пересування по верхніх поясах кроквяних і підкроквяних ферм. Дозволяється пересування монтажників нижніми поясами цих конструкцій, якщо вздовж ферми натягнуто канат і вжито заходів, аби він не ослаблювався і не провисав. Для переходу між фермами слід користуватися пересувними містками з перилами. Всі роботи необхідно виконувати із застосуванням запобіжного пояса.

5.3 Проведення комплексу інженерно-технічних, технологічних і організаційних заходів для підвищення стійкості роботи об'єктів будівництва в надзвичайних ситуаціях

Найбільш типовими аваріями є руйнування виробничох будівлі ччи споруди є внаслідок перевантаення конструкцій додатковими навантаженнями, які не враховані при розрахунку несучих конструкцій, вибухи, пожежі, затоплення, хімічне і біологічне зараження та інше. Статистика показує, що 85 % випадків аварій, що трапляються з обваленням несучих конструкцій об’єкта, виникають у наслідок людських помилок, що допускаються при проектуванні, зведенні та експлуатації будівлі чи споруди. Ці помилки формують внутрішній (об’єктний) ризик аварій, від величини якого залежить тривалість експлуатації (ресурс) споруди. Крім техногенних факторів (вибухи, пожежі, та ін.), існують також і природні фактори (сейсміка, зсуви, урагани і т. д.), через вплив яких можливе виникнення часткової або повної руйнації будівлі.

Аварії будівельних конструкцій рідко відбуваються раптово. Зазвичай можна спостерігати ряд передвісників аварії. Якщо своєчасно відмітити ознаки аварії, що наближається, то можна вчасно прийняти профілактичні заходи такі як:

1. Періодично обстежувати несучі конструкції для виявлення локальних пошкоджень та усунення їх.

2. Не допускати перевантаження технологічного обладнання яке впливає на несучі конструкції будівлі чи споруди.

3. Періодично очищати покрівлю від снігового покрову та снігових мішків.

4. Дотримуватися правил протипожежного захисту.

На стійкість роботи і на запобігання виникненню надзвичайних ситуацій впливають такі фактори:

1. Захищеність службовців і робітників від уражаючих факторів НС.

2. Здатність інженерно-технічного комплексу об’єкта протистояти руйнівній дії уражаючих факторів аварій, катастроф, природних явищ та сучасної зброї.

3. Підготовленість об’єкта до проведення аварійно-рятівних та відбудовних робіт.

4. Надійність постачання об’єкта водою, електроенергією, паливом, комплектуючими та сировиною.

5. Оперативність управління виробництвом та здійсненням заходів цивільної оборони в надзвичайних ситуаціях.

Підвищення стійкості об’єкта досягається проведенням комплексу інженерно-технічних, технологічних, організаційних заходів. Інженерно-технічні заходи вміщують роботи, що забезпечують стійкість виробничих будівель і споруд, обладнання та комунально-енергетичних систем.

Технологічні заходи забезпечують підвищення стійкості об’єкта шляхом зміни технологічного процесу у бік спрощення виробництва кінцевої продукції та виключення або обмеження розвитку аварій.

Організаційні заходи передбачають розробку ефективних дій керуючого складу, штабу, служб та формувань ЦЗ при проведенні рятувальних та інших невідкладних робіт та відновлення виробництва.

Для підвищення стійкості будівель та споруд до дії вражаючих факторів проводять наступні заходи :

1. зміцнення несучих, огороджуючих та конструкцій будівель та споруд

2.встановлення допоміжних перекрить, підкосів, розпірок тощо;

3.встановлення додаткових зв'язків між окремими елементами споруди;

4.заміна елементів конструкції, які згоряють, такими, що не займаються, використання вогнезахисних покрить.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВОКИ

1. В кваліфікаційній роботі для дослідження вибрано одну з типову зварну ферму з паралельними поясами, довжиною 12 м та висотою 2,5м.

2. Вибрано комп'ютерно моделюючу інженерну методику дослідження ферми, за допомогою програмного комплексу SolidWorks. Визначено статичні навантаження на вузли верхнього поясу досліджуваної підкроквяної ферми. Навантаження від кроквяних ферм на проміжні вузли верхнього поясу становить 61430Н, а на крайні вузли 30715Н;

3. Проведено дослідження міцнісних характеристик елементів ферми до реконструкції і визначено що найбільші напруження в нижньому поясі ферми виникають в опорному вузлі, що рівне 104 кН/м^2 та у центральній панелі ферми, що рівне 176 кН/м^2. В верхньому поясі ферм виявлено напруження, що дорівнюють 95,8 кН/м^2 і це значно менші напруження, ніж в нижньому поясі ферми.

4. З використанням прикладного програмного пакету SolidWorks проведено дослідження комп'ютерно моделюючим експериментом для виявлення поведінки зварної підкроквяної ферми під впливом статичних та циклічних навантажень. Циклічні навантаженні зумовлені переміщенням каретки крана вздовж направляючої балки.

5. Визначено параметри напружено деформативного стану (НДС) всіх елементів ферми після довантаження її крановими навантаженнями. Проаналізувавши результати досліджень виявлено, що максимальні напруження виникають у вузлах досліджуваної ферми та у нижньому поясі ферми, максимальні значення напруження спостерігаються в центральній панелі нижнього поясу ферми та рівні 550 кН/м^2. Виявлено, що конструкцію ферми необхідно зміцнити, а саме вузли та нижній пояс ферм, так як це місця з максимальною концентрацією напружень. Запропоновано та досліджено три варіанти зміцнення ферми і вибрано з них один з найбільшою статичною міцністю, в найбільш оптимальному варіанті

реконструкції. Максимальні напруження локалізуються у опорних вузлах ферми, що рівні 176 кН/м^2, та в центральній панелі нижнього поясу 196 кН/м^2 .

6. Досліджено, що найвища довговічність у ферми зміцненій третім способом. Виявлено, що у фермі зміцненій третім способом, місця з найменшим запасом циклів роботи до руйнування знаходяться в опорному вузлі – 456957 шт. та в центральній панелі ферми – 215970 шт., що задовольняє умови виробництва і складає 8% запасу в місці з найменшим запасом довговічності конструкції.

БІБЛІОГРАФІЯ:

1. ДБН В-2.6-163:2010 Конструкції будівель і споруд. Сталеві конструкції. Норми проектування, виготовлення і монтажу : – К.: Укрархбудінформ, 2009. – 206 с.

2. ДБН В.1.2-14-2009. Загальні принципи забезпечення надійності та конструктивної безпеки будівель, споруд , будівельних конструкцій та основ: – К.: Укрархбудінформ, 2009. – 37 с.

3. ДБН В.2.6-198:2014 Сталеві конструкції. Норми проектування, : К., Мінрегіон України, – 2014, 128 с.

4. Металеві конструкції: підруч. [для студ. вищ. навч. закл.] / [Нілов О. О., Пермяков В. О., Шимановський О. В. та ін.]. – К.: Вид-во “Сталь”, 2010. – 869 с.

5. Шептак А.Б. Локалізація максимальних напружень у місцях зварної підкроквяної ферми під впливом статичних та динамічних навантажень /А. Шептак// Матеріали: V Міжнародної студентської науково - технічної конференції «Природничі та гуманітарні науки. Актуальні питання» /Тернопіль: Терн. нац. техніч. ун-т ім. І.Пулюя – м. Тернопіль, 28-29 квітня 2022 р.,– 97с

6. Ковальчук Я. О. Фізичне моделювання втомного пошкодження зварної ферми / Я. О. Ковальчук, Н. Я. Шингера // Матеріали XIX наукової конференції ТНТУ ім. Ів. Пулюя, 18-19 травня 2016 року – Т. : ТНТУ, 2016 – С. 143.

7. Шингера Н. Я. Моделювання пошкодження зварних будівельних ферм / Н. Я. Шингера, Я. О. Ковальчук, І. Б. Окіпний // Вісник Тернопільського нац. техн. унту ім. І. Пулюя. – 2011. – Спецвип., част. 2 – С. 112–117.

8. Ковальчук Я. О. Моделювання напружено-деформованого стану нижнього пояса будівельної зварної ферми / Я. О. Ковальчук, Н. Я. Шингера, О.І.Рибачок // Вісник ТНТУ ім. Івана Пулюя. – 2014. № 2– С. 34 – 39.

9. Ковальчук Я. О. Моделювання поведінки зварної кроквяної ферми при розподілених навантаженнях / Я. О. Ковальчук, Н. Я. Шингера, О.І.Качка // Вісник ТНТУ ім. Івана Пулюя. – 2015. № 3(79)– С. 46 – 51 — (Механіка та матеріалознавство).

10. Ковальчук Я.О. Деформування зварної будівельної ферми при дії теплових впливів / Я.О. Ковальчук, М.П.Бобик, О.І.Рибачок, А.В.Бойчук // II наук.-техн. конф. мех.-техн. ф-ту Тернопільського нац. тех. ун-ту ім. І. Пулюя, 24–25 квіт. 2013р. : тези доп. – , Тернопіль, 2013. – С. 12.

11. Ковальчук Я. О. Моделювання напружень в елементах зварної ферми при нагріванні / Я. Ковальчук, Н. Шингера // Матеріали XXI наукової конференції ТНТУ ім. І. Пулюя, 16-17 травня 2019 року. — Т. : ТНТУ, 2019. — С. 107. — (Матеріалознавство, міцність матеріалів і конструкцій, будівництво).

12. Шингера Н.Я. Статистична модель для визначення залишкового ресурсу типової зварної ферми при циклічних навантаженнях : дис. канд. техн. наук : 01.05.02 / Н. Я. Шингера; Терноп. нац. техн. ун-т ім. І. Пулюя. - Т., 2012. - 157 с.

13. Ясній П. В. Верифікація результатів моделювання напруженодеформованого стану зварної ферми / Ясній П. В., Ковальчук Я. О., Шингера Н. Я., Рибачок О. І. // Механіка і фізика руйнування будівельних матеріалів та конструкцій [Текст]: Зб. наук. статей / За заг. ред. Лучка Й.Й. – Львів: Каменяр, 2014. – Вип. 10. – С.461

14. Ковальчук Я.О Моделювання втомної пошкоджуваності вузлів підкроквяних ферм / Я.О. Ковальчук, Н.Я. Шингера, О.І. Качка // XVIII наук. конф. Тернопільського нац. тех. ун-ту ім. І. Пулюя, 29–30 жовт. 2014р. : тези доп. – Тернопіль, 2014. – С. 87.

15. Ковальчук Я.О. Вплив циклічних навантажень на пошкодження вузлів зварної ферми / Я.О Ковальчук, Н.Я. Шингера // Всеукр. наук.-практ. конф. «Обладнання і технології сучасного машинобудування», 11–12 трав. 2017 р.: тези доп. – Тернопіль, 2017. – С. 90.

16. Ковальчук Я.О. Втомна пошкоджуваність вузлів зварних фермових мостів / Я.О. Ковальчук, Н.Я. Шингера, О.І. Качка // Міжнар. наук.-практ. конф. ім. д.т.н. Сокола Е.М. «Безпека руху і наукові засади експертних досліджень транспортних пригод та інженерних споруд», 9–11 верес. 2015 р.: тези. доп. – Львів, 2015. – С. 76.

17. Миронов А.Н. Методологические основы для проведения экспериментальных испытаний на выносливость узлов решетчатых конструкций с применением ГСП и ШПД // Вісник ДонДАБА. – Вип. 2002 – 2(33). “Будівельні конструкції, будівлі та споруди”. – С. 92-96

18. Ковальчук Я. О. Комп’ютерне моделювання деформації зварної ферми з косинками у вузлах / Я. О. Ковальчук, Н. Я. Шингера // Вісник ТНТУ, – Т. : ТНТУ, 2016 – Том 83. – № 3. – С. 73-78. – (Механіка та матеріалознавство).

19. Ковальчук Я.О. Вплив експлуатаційних пошкоджень у вузлах зварних ферм на їх тримкість / Я.О Ковальчук, Н.Я. Шингера, В.В.Лазар // XX наук.-техн. конф. ТНТУ, 17–18 трав. 2017 р.: тези доп. – Тернопіль, 2017. – С. 146 (Матеріалознавство, міцність матеріалів і конструкцій, будівництво).

20. Kovalchuk Y. The influence of height of angular profile of rods on rectangular welded truss deformation / Yaroslav Kovalchuk, Natalya Shynhera // Scientific Journal of TNTU. – Tern. : TNTU, 2017. – Vol 88. – No 4. – P. 82–87. – (Mechanics and materials science).

21. Sturm, S., Nussbaumer, A., Hirt, M. A., Fatigue behaviour ofcast steel nodes in bridge structures, Proceed. of the 10th Int. Symp. on Tubular Structures, pp. 357-364, Tubular Structures X, A.A. Balkema Publishers, Madrid, 2003.

22. M. A. Lotfollahi-Yaghin, H. Ahmadi, “Effect of geometrical parameters on SCF distribution along the weld toe of tubular KT-joints under balanced axial loads,” International Journal of Fatigue, vol. 32, pp. 703–719, 2010.

23. H. Ahmadi, M. A. Lotfollahi-Yaghin, Y. B. Shao, M. H. Aminfar, “Parametric study and formulation of outer-brace geometric stress concentration factors in internally ring-stiffened tubular KT-joints of offshore structures,” Applied Ocean Research, vol. 38, pp. 74–91, 2012