

Міністерство освіти і науки України

Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя  
(повне найменування вищого навчального закладу)

Механіко-технологічний факультет  
(назва факультету)

Кафедра будівельної механіки  
(повна назва кафедри)

## ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА

до дипломної роботи

**магістра**

(освітньо-кваліфікаційний рівень)

на тему:

**Деформування зварної підкрюквяної ферми при статичних навантаженнях**

Виконав: студентка VI курсу, групи МБ<sub>м</sub>-61

спеціальності 8.06010101

Промислове і цивільне будівництво

(шифр і назва спеціальності)

**Рибачок О.І.**

(прізвище та ініціали)

Керівник

Кандидат технічних наук, доцент

**Ковальчук Я.О.**

(наук ступінь, вч. звання, прізвище та ініціали)

Рецензент

(наук ступінь, вч. звання, прізвище та ініціали)

м. Тернопіль – 2013

## ЗМІСТ

РЕФЕРАТ .....	6
ABSTRACT.....	9
ВСТУП .....	11
РОЗДІЛ 1 РОЗРАХУНКОВО-ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ПІДХОДИ ДО ДОСЛІДЖЕННЯ ДЕФОРМАЦІЙ ЗВАРНИХ ФЕРМ.....	15
1.1 Деформування зварних ферм при навантаженнях. Поняття про граничний стан конструкції.....	15
1.2 Аналіз існуючих аварій зумовлених руйнуванням зварних ферм від перевантаження .....	16
1.3 Розрахункові методи для оцінювання тримкості зварних ферм та результати їх верифікації.....	21
1.4 Дослідження поведінки зварних ферм під навантаженням натурним експериментом, фізичним та математичним моделюванням .....	24
1.5 Аналіз існуючих методів дослідження деформацій зварних ферм та постановка задачі для магістерської роботи.....	27
1.6 Висновки за розділом 1 .....	30
РОЗДІЛ 2 МЕТОДИЧНІ АСПЕКТИ ДОСЛІДЖЕННЯ ДЕФОРМАЦІЙ ЗВАРНОЇ ФЕРМИ.....	31
2.1 Вибір зварної ферми для дослідження та аналіз її конструктивних і технологічних особливостей .....	31
2.2 Розрахункові методики дослідження напружено-деформованого стану зварної ферми .....	34
2.3 Методика комп'ютерного моделюючого експерименту для дослідження зварної ферми .....	36

2.4	Розробка конструкції фізичної моделі зварної ферми для напівнатурного експерименту .....	39
2.5	Методика напівнатурного силового експерименту і дослідна установка для її реалізації.....	42
2.6	Висновки за розділом 2 .....	46
<b>РОЗДІЛ 3 РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ ПОВЕДІНКИ</b>		
<b>ЗВАРНОЇ ПІДКРОКВЯНОЇ ФЕРМИ</b>		
<b>ПРИ СТАТИЧНИХ НАВАНТАЖЕННЯХ ТА ЇХ АНАЛІЗ .....</b>		
<b>47</b>		
3.1	Дослідження напружено-деформованого стану фізичної моделі зварної ферми при статичних навантаженнях комп'ютерним моделюючим експериментом .....	47
3.2	Дослідження поведінки фізичної моделі зварної ферми при статичних навантаженнях натурним силовим експериментом .....	52
3.3	Верифікація результатів комп'ютерного моделюючого експерименту	54
3.4	Дослідження поведінки повномасштабної зварної ферми при статичних навантаженнях комп'ютерним моделюючим експериментом .....	58
3.5	Визначення констант фізичного моделювання зварної ферми .....	62
3.6	Висновки за розділом 3 .....	64
<b>РОЗДІЛ 4 ОБГРУНТУВАННЯ ЕКОНОМІЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ .....</b>		
<b>65</b>		
4.1	Загальні відомості. Суть економічного ефекту.....	65
4.2	Витрати на виготовлення нової конструкції зварної підкрюквяної ферми	66
4.3	Економічна ефективності від використання результатів дипломної роботи .....	72
4.4	Висновки за розділом 4 .....	75
<b>РОЗДІЛ 5 СПЕЦІАЛЬНА ЧАСТИНА.....</b>		
<b>76</b>		

5.1	Порівняння зварних підкрюквяних ферм.....	76
5.2	Розрахунок економічного ефекту .....	79
5.3	Висновки за розділом 5 .....	80
РОЗДІЛ 6 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ...		81
6.1	Охорона праці .....	81
6.1.1	Закон України "Про охорону праці" .....	81
6.1.2	Правила охорони праці під час зварювання металів .....	82
6.1.3	Висновки за пунктом 6.1 .....	85
6.2	Безпека в надзвичайних ситуаціях.....	85
6.2.1	Суть стійкості будівель та споруд у разі виникнення надзвичайних ситуацій.....	85
6.2.2	Оцінка стійкості роботи будівель і споруд та їх елементів до дії вторинних вражаючих факторів .....	87
6.2.3	Способи підвищення стійкості роботи будівель і споруд .....	88
6.2.4	Висновки за пунктом 6.2 .....	90
РОЗДІЛ 7 ЕКОЛОГІЯ .....		91
7.1	Актуальність охорони навколишнього середовища .....	91
7.2	Небезпека забруднення довкілля, що може виникнути при виготовлення металевих конструкцій .....	92
7.3	Заходи зі зменшення забруднення довкілля в результаті виготовлення і складання металевих конструкцій.....	94
7.4	Висновки за розділом 7 .....	95
ВИСНОВКИ .....		96
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ .....		97

## РЕФЕРАТ

**Актуальність теми** зумовлена тим, що за результатами аналізу пошкоджуваності реальних зварних будівельних ферм виявлено суттєве неспівпадання фактичних показників тримкої здатності цих конструкцій з проектними показниками, що зумовлено комплексним впливом на їх поведінку стохастичних чинників (конструктивних, технологічних, експлуатаційних).

**Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.** Дипломна робота магістра виконана згідно з напрямком наукових досліджень кафедри будівельної механіки Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя.

**Мета й завдання дослідження.** Мета дипломної роботи є визначення особливостей деформування та руйнування зварної підкрюквяної ферми при дії статичних навантажень комп'ютерним моделюючим експериментом і виявлення достовірності отриманих результатів порівнянням їх з результатами натурального експерименту.

Для досягнення мети вирішуються наступні завдання:

- вибір конфігурації зварної ферми та схеми її навантажування;
- комп'ютерний моделюючий експеримент;
- розробка методики натурних досліджень ферми;
- виготовлення дослідного зразка ферми;
- натурне експериментальне дослідження зразка;
- порівняння результатів комп'ютерного моделювання і натурального експериментів.

**Об'єкт дослідження** – деформування і руйнування зварної підкрюквяної ферми.

**Предмет дослідження** – тримкість зварної підкрюквяної ферми.

**Методи дослідження:** використані методи дослідження будівельної механіки та механіки деформівного твердого тіла, метод скінченних елементів, реалізований в програмному комплексі ANSYS Workbench 14.5.

**Наукова новизна одержаних результатів:**

- вперше отримано показники напружено-деформованого стану підкрюв'яної ферми компютерним моделюючим експериментом та виявлений високий рівень їх кореляції з результатами натурних досліджень;
- отримала подальший розвиток методика визначення тримкої здатності типової зварної підкрюв'яної ферми при дії статичних навантажень;
- удосконалено методику зміцнення зварних підкрюв'яних ферм, які експлуатуються при статичних навантаженнях.

**Практичне значення одержаних результатів.** Практичне значення отриманих результатів полягає в тому, що виявлення закономірностей напружено-деформованого стану зварних ферм дасть можливість отримати розрахункові результати тримкої здатності зварних ферм максимально наближеними до фактичних і не допустити настання граничного стану в процесі експлуатації конструкції.

**Апробація результатів магістерської роботи.** Матеріали роботи доповідались і обговорювались на II науковій конференції Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя механіко-технологічного факультету «Прогресивні матеріали та технології в машинобудуванні, будівництві та транспорті», 24 квітня 2013 р., м. Тернопіль; на VI Всеукраїнській студентській науково-технічній конференції «Природничі та гуманітарні науки. Актуальні питання», 25-26 квітня 2013 р., м. Тернопіль; на науково-практичній конференції II-го туру Всеукраїнського конкурсу студентських наукових робіт галузі «Машинознавство», 27-28 березня 2013 р., м. Чернігів; на XVI науковій конференції Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя «Матеріалознавство та машинобудування», 5-6 грудня 2012 р., м. Тернопіль; на міжнародній науково-

технічній конференції «Інноваційні технології в будівництві», 13-15 листопада 2012 р., м. Вінниця.

**Публікації.** Результати магістерської роботи опубліковані у 5 працях: 1 стаття у фаховому виданні, що увійшла до переліку ВАК України та у 3 збірниках тез доповідей науково-технічних конференцій.

Відомості по дипломну роботу: обсяг роботи – 104 ст., кількість ілюстрацій – 27, таблиць – 12, джерел за переліком посилань – 78.

**Ключові слова:** зварна ферма, напружено-деформований стан, несуча здатність, втрата тримкості ферм.

## ABSTRACT

**Topicality** of the theme is due to the results of the analysis of the damageability of welded farm buildings which showed the significant mismatching of the indices of supporting ability of these constructions and the projected indices caused by complex effects on their behavior of stochastic factors (structural, technological, operational).

**Connection of the paper with academic programs, plans, themes.** Master Thesis is performed in accordance with the direction of research of structural mechanics department of Ivan Puluj Ternopil National Technical University.

**Purpose and objectives of the study.** The purpose of the thesis is to determine the characteristics of deformation and fracture of welded chevron farm under the condition of functioning of static loads of computer modeling experiment and to detect certainty of the results by comparing them with the results of field experiments.

The following objectives are realized to achieve the purpose:

- choice of configuration of the welded truss configurations and schemes of its loading;
- computer modeling experiment;
- development of methods of field researches of the farm;
- design of the experimental sample of the farm;
- full scale experimental research designs;
- comparing the results of computer modeling and field experiments.

**Object of the study** - the deformation and fracture of the welded chevron farm.

**Subject of the study** – supporting abilities of the welded chevron farm.

**Methods:** methods of structural mechanics and mechanics of deformable solids, finite element method, implemented in software complex ANSYS Workbench 14.5.

**Scientific novelty of the results:**

- the study obtains indices of the stress-strain state of the chevron farm with a help of computer modeling experiment; a high level of correlation with the results of field research is observed;



- a method of determining the supporting ability of a typical welded chevron farm under the action of static loads is further developed;
- a method of strengthening welded chevron farms operated under static loading is improved.

**Practical significance of the results.** Practical significance of the results lies in the fact that the identification of patterns of the stress-strain state of welded farms gives the opportunity to calculate results of the supporting ability of welded farms as close to the actual as possible and to prevent the onset of boundary condition in the process of constructions operation.

**Testing of the master's paper results.** The materials of the paper were reported and discussed at the Second Scientific Conference of Ternopil National Technical University of science mechanics Engineering Department "Advanced materials and technologies in engineering , construction and transport" , 24 April 2013, Ternopil; at the VI All-Ukrainian Student Scientific Conference "Natural and Human Sciences. Topical Issues " , April 25-26, 2013, Ternopil; at scientific conference of the second round of the All-Ukrainian student research field of "Engineering Science", March 27-28, 2013, Chernihiv; at XVI scientific conference of Ivan Puluj Ternopil National Technical University "Materials Science and Engineering", 5-6 December 2012, Ternopil; at the International Scientific-Technical Conference "Innovative Technologies in Construction" , 13-15 November 2012, Vinnytsa .

**Publications.** The results of the master's paper are published in 5 works: 1 article in the professional journal included in the list of HAC of Ukraine and 3 collections of abstracts of scientific and technical conferences.

**Keywords:** welded farms, stress-strain state, supporting ability, loss of supporting ability of the farms.

**Information on master's paper:** volume - 104 pages, number of illustrations – 27, number of tables – 12, sources in the list of references - 78.

## ВСТУП

Під дією різних факторів впливу (робочі навантаження, сніг, вітер, температура, сейсмічні впливи, аварійні ситуації тощо) в елементах зварних конструкцій відбуваються пошкодження суцільності аж до руйнування. Інтенсивність пошкоджень елементів зварних металевих конструкцій залежить від їх конструктивних і технологічних особливостей, а також умов їх експлуатації. Сучасна комп'ютерна техніка і розрахункові методики, які базуються на прикладних програмних пакетах, дають можливість враховувати значну кількість пошкоджуючих чинників. Однак досягнути високої точності розрахунків все ж не вдається через стохастичну природу факторів впливу. При конструюванні ферми проектувальник закладає вхідну інформацію, використовуючи типові проекти або виходячи зі свого досвіду за результатами експлуатації аналогічних конструкцій. Наслідком такого суб'єктивного підходу є заниження розрахункових показників тримкості ферми у порівнянні з фактичними експлуатаційними результатами в 1,3...1,65 рази. Це зумовлює значні матеріальні перевитрати на виготовлення ферм та зняття конструкції з експлуатації до моменту вичерпування їх фактичного ресурсу.

Великий вклад у вивчення залишкового напруженого стану, що виникає в елементах металевих конструкцій після виготовлення, його вплив на роботу конструкцій внесли: К.П. Большаков, В.Н. Васильєв, В.А. Вінокуров, А.І. Голоднов, А.Г. Грігорьянц, В.С. Ігнат'єва, А.А. Казіміров, Б.С. Касаткін, Л.М. Лобанов, А.Я. Недосека, Г.А. Ніколаєв, Н.О. Окерблом, Е.О. Патон та інші [1].

Оцінку резервів несучої здатності статично невизначених ферм з гранично розтягнутими стрижнями, працюючими за границею пружності, дала Хамудісова І.Б [2].

Для багатьох типових зварних конструкцій виявлено показники напружено-деформованого стану (НДС) за результатами дослідження як натурних зразків, так і їх фізичних моделей. Однак основний акцент в цих роботах взятий на об'єкти

енергетичної галузі (паропроводи, теплообмінники, колектори) [3, 4], резервуари, які працюють під тиском (котли, ресивери, газгольдери) [5, 6], авіаційну техніку (лонжерони, обшивка, елементи шасі), магістральні газо- та нафто трубопроводи, транспортні системи (рами автомобілів, причепів, різні шасі) тощо. Однак узагальнена інформація для характеристики поведінки зварних ферм з врахуванням комплексного багатопараметричного впливу стохастичних факторів відсутня.

Внаслідок інформаційного пошуку виявлено не багато результатів натурних експериментальних випробувань повномасштабних зварних фермових конструкцій [3]. Мала кількість таких досліджень зумовлена необхідністю застосування для цього досить енергозатратного випробувального устаткування та високою вартістю дослідних зразків. Однак, виявлені результати можуть бути покладені в основу досліджень для ідентифікації фізичної моделі зварної ферми і визначення констант подібності фізичного моделювання.

**Актуальність теми** зумовлена тим, що за результатами аналізу пошкоджуваності реальних зварних будівельних ферм виявлено суттєве неспівпадання фактичних показників тримкої здатності цих конструкцій з проектними показниками, що зумовлено комплексним впливом на їх поведінку стохастичних чинників (конструктивних, технологічних, експлуатаційних).

Металева ферма в будівельній тематиці позначає несучу конструкцію з металевих вузлів і деталей. Навантаження у фермах передається через монтажні кріплення і опорні столики на колони. Ферми мають різну гратчасту структуру, де верхній і нижній пояси з'єднані ґратами з кутникового профілю.

Кроквяні металеві ферми спираються на підкроквяні ферми. Наприклад, металеві кроквяні ферми стоять одна від іншої за проектом на 6 метрів. У цьому випадку підкроквяні елементи будуть розташовуватися на відстані 12 метрів один від одного. Таким чином, підкроквяні гратчасті елементи є опорою для основних несучих конструкцій, якщо крок колон відрізняється по довжині від кроку балок.

Верхні вертикальні елементи в цьому випадку беруть на себе вітрове, снігове і пилове навантаження, а також вагу покрівлі. Нижні вертикальні

елементи ферми сприймають навантаження від кріплень і передають її на фундамент через опорні колони. Вся конструкція покликана забезпечувати поздовжню жорсткість металоконструкції.

При невеликих навантаженнях та великих прогонах ферми є більш економічними, ніж суцільні балки, завдяки раціональному використанню матеріалу стержнів – при осьових зусиллях нормальні напруження розподіляються по перерізу рівномірно, в той час як при згині найбільш напруженими є тільки крайні волокна. Крім того, ферми мають значну висоту, що забезпечує необхідну жорсткість конструкції при відносно малих витратах матеріалу.

Ферми потребують значно більших трудовитрат у порівнянні з балками. Вони можуть мати будь-яку конфігурацію залежно від компонувальних та функціональних вимог. Ферми раціональні при різних навантаженнях, включаючи важкі, що характерно, наприклад, для мостових конструкцій.

Металеві зварні підкрюквяні ферми використовуються:

- у цивільному житловому будівництві;
- в промисловому будівництві;
- у будівництві будинків з великою площею (вокзали , ангари , торгові та спортивні комплекси) ;
- у будівництві мостів ;
- в монтажі щогл, веж, вишок, естакад, транспортних галерей та інших споруд такого типу.

У порівнянні зі сталевими балками, які виконують аналогічну функцію, гратчасті ферми є легкими конструкціями. Це скорочує фінансові проектні витрати. Причому закладена міцність легкої конструкції не менше, ніж у суцільній. Це пояснюється розподілом навантаження за рахунок її розподілу через зигзагоподібні з'єднання між верхнім і нижнім поясами. Таким чином, опірність металу зберігається, при порівняно малій витраті вихідного матеріалу.

**Мета дипломної роботи** – визначення особливостей деформування та руйнування зварної підкрюквяної ферми при дії статичних навантажень

комп'ютерним моделюючим експериментом і виявлення достовірності отриманих результатів порівнянням їх з результатами натурального експерименту.

Для досягнення мети вирішуються наступні завдання:

- вибір конфігурації зварної ферми та схеми її навантажування;
- компютерний моделюючий експеримент;
- розробка методики натурних досліджень ферми;
- виготовлення дослідного зразка ферми;
- натурне експериментальне дослідження зразка;
- порівняння результатів компютерного моделювання і натурального експериментів.

Застосування виявлених закономірностей дасть можливість отримати розрахункові результати тримкої здатності зварних ферм максимально наближеними до фактичних, оскільки вони враховують комплексний багатопараметричний вплив на процес пошкодження і руйнування конструкції стохастичних чинників.

Результати роботи доцільно застосувати для проектних розрахунків зварних будівельних конструкцій.

**Об'єкт дослідження** – деформування і руйнування зварної підкроквяної ферми.

**Предмет дослідження** – тримкість зварної підкроквяної ферми.

У роботі використані **методи дослідження** будівельної механіки та механіки деформівного твердого тіла, метод скінченних елементів, реалізований в програмному комплексі ANSYS Workbench 14.5.

Робота виконана згідно з напрямком наукових досліджень кафедри будівельної механіки Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя.

## РОЗДІЛ 1

### РОЗРАХУНКОВО-ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ПІДХОДИ ДО ДОСЛІДЖЕННЯ ДЕФОРМАЦІЙ ЗВАРНИХ ФЕРМ

#### 1.1 Деформування зварних ферм при навантаженнях. Поняття про граничний стан конструкції

Деформація (від лат. *Deformatio* - «спотворення») - зміна взаємного положення частинок тіла, пов'язане з їх переміщенням відносно один одного.

До числа питань, де вдосконалення теорії і методів розрахунку може дати відчутні практичні результати, належать питання, пов'язані зі стійкістю деформованого стану стрижневих елементів металевих конструкцій.

Внаслідок інформаційного пошуку виявлено ряд робіт [7-13], автори яких працювали над дослідженням деформацій стержневих систем.

Граничний стан – це стан конструкції, при якому вона перестає задовольняти експлуатаційним вимогам, тобто або втрачає здатність чинити опір зовнішнім впливам, або одержує неприпустиму деформацію або місцеве ушкодження. Подальша експлуатація такої конструкції неприпустима або недоцільна [14].

Граничний стан об'єкта настає за умов [15]:

- втрати тримкості при одноразовій дії навантаження (руйнування, втрата стійкості, поява неприпустимих залишкових деформацій);
- втрати тримкості за багаторазового впливу силових факторів (втомне руйнування);
- ушкоджень від зношення або корозії.

Подальша експлуатація конструкцій з пошкодженнями на рівні граничного стану є дуже небезпечною, тому що призводить до повного або часткового руйнування конструкції. Аварії зумовлюють значні матеріальні втрати, а іноді й людські жертви.

## **1.2 Аналіз існуючих аварій зумовлених руйнуванням зварних ферм від перевантаження**

Внаслідок інформаційного пошуку виявлено ряд літературних джерел в яких проаналізовані причини аварій сталевих конструкцій і способи їх усунення [16-20].

Металеві конструкції перебувають в гіршому становищі, ніж інженерні конструкції, виконані з інших матеріалів. Високі розрахункові опори і обумовлені ними легкість і ажурність металевих конструкцій можуть призвести до того, що недостатній опір тільки одного конструктивного елемента викликає аварію всієї конструкції.

При дослідженні аварій конструкцій, їх окремих елементів або цілих споруд завжди має місце збіг ряду несприятливих факторів. Іноді буває важко правильно встановити причину аварій і відокремити її від наслідків, а це грає важливу роль не тільки для розслідування причин катастрофи, але і для їх профілактики в майбутньому. Так, наприклад, втрата стійкості конструкції в ряді випадків могла б і не мати місця, якщо б не було перевантаження, а остання стала наслідком безглуздої випадковості і т. п.

Аналіз аварійних станів зварних підкроквяних ферм дозволяє прийти до висновку, що більшість їх відбувається в результаті снігового перевантаження, на яке при експлуатації споруд не звертають належної уваги.

Прийняті до експлуатації споруди, розраховані на усереднені, а не на реальні навантаження, продовжують експлуатувати, не звертаючи уваги на невідповідність між проектними і реальними навантаженнями.

Іноді можливе не тільки перевантаження снігом, кригою, виробничим пилом, але і непродумане очищення конструкцій. При чистці окремі несучі конструкції або їх частини перевантажуються. У правилах експлуатації будівель і

споруд обов'язково повинна бути інструкція, в якій вказані способи очищення конструкцій від снігу. Не можна допускати скидання снігу на конструкції, розташовані нижче, утворення снігових мішків, одностороннього нерівномірного перевантаження конструкцій.

До найбільш повторюваним аварій слід віднести обвалення металевих конструкцій покриттів промислових будівель, а також конвеєрних галерей.

Найбільше число обвалень металевих конструкцій покриттів відбулося в процесі їх монтажу в основному через грубі відступи від проектів, а також внаслідок низької якості виготовлення і перевантаження конструкцій.

Розслідування причин обвалення сталевих конструкцій показало, що мають місце такі порушення, що призводять в сукупності до аварій : недостатній облік в проектах виробництва робіт ( ПВР ) і при виконанні робіт особливостей сучасних проектних рішень, що передбачають замість зв'язків і розпірок в площині верхніх поясів кроквяних ферм і ліхтарів використання збірних залізобетонних плит покриття; недотримання послідовності укладання плит покриття; неякісне виконання монтажного зварювання; перевантаження конструкцій покриттів внаслідок відступу від проектів у влаштуванні верхньої частини покрівлі (потовщення асфальтових і цементних стяжок, утеплювачів); довільна заміна перерізів елементів сталевих конструкцій при їх виготовленні (без узгодження з проектною організацією); відступу від креслень проекту при розробці деталізованих креслень, що виразилися в ослабленні робочих перерізів елементів конструкцій, вузлів і зварних швів, порушенні технічних умов при виконанні робіт; заміна сталі, прийнятої в проекті, на сталь з більш низькими міцнісними характеристиками; необґрунтовані відступи від проекту, вказівок ПВР і технічних умов; відсутність контролю за якістю робіт; зміни розрахункової схеми конструкцій покриття внаслідок неправильного закріплення ферм на опорах; невдалі проектні рішення конструкцій покриттів.

За останні роки відбулося кілька обвалень галерей конвеєрів, виконаних в металевих конструкціях .

Основні причини обвалень цих конструкцій:



- застосування для основних несучих конструкцій (ферм, опор, колон) сталі низької якості, що не має гарантій за межею текучості і за хімічним складом і володіє підвищеною крихкістю, непридатною для виготовлення відповідальних зварних конструкцій, особливо працюючих в умовах негативних температур;
- незадовільна якість зварних швів (відсутність провару, занижені по висоті і довжині розміри швів, шлакові включення і т. п. ) з наявністю великих зазорів у фланцевих з'єднаннях і відсутність належного контролю за їх якістю;
- відступу від проектів - перевантаження конструкцій галерей, порушення центрування опорних сполучень, зміна окремих конструктивних рішень вузлів;
- грубі відхилення при розробці креслень КМД від КМ організаціями , що виготовляють металеві конструкції галерою конвеєрів;
- наявність великих ексцентриситетів в місцях спирания ферм на опори і в з'єднаннях окремих частин опор;
- незадовільне виконання фундаментів опор;
- невдалі конструктивні рішення опор галерей;
- недотримання вимог ДБН .

17 лютого 2011 р. в київському торгово-розважальному центрі (ТРЦ) Sky Mall обвалилася стеля (рисунок 1.1). Одна людина постраждала.

За попередніми даними, площа обвалу становить 500 метрів квадратних.

Очевидці повідомляють, що металеві конструкції між стелею і дахом раптово обвалилися і впали на торгові точки, розташовані на першому поверсі.



Рисунок 1.1 - Торговельно-розважальний центр (ТРЦ) Sky Mall в Києві

Наприкінці січня схожа подія сталася в петербурзькому торговому центрі.

29 листопада 2012 в м. Маунт Вернон , штат Вашингтон - далекобійник тягнув бурове обладнання через міст та раптом його вантаж штовхнув сталеву структуру моста. Він подивився в дзеркало заднього виду і з жахом побачив, як один із п'яти прольотів моста звалився у воду позаду нього (рис. 1.2). Дві машини впали в крижану річку Скаджіт.

Дивно, але ніхто не загинув. Троє осіб, які впали у воду, відбулися лише незначними травмами.



Рисунок 1.2 – міст через річку Скаджіт

В даному штаті за 2012 р. було 21 руйнування мостів ударами за участю вантажівок, 24 в 2011 і 14 в 2010 році.

У 1960 р. у Комсомольську-на-Амурі обрушилася частина металевих конструкцій покриття великого промислового цеху. Аварія сталася на площі 900 м<sup>2</sup>. Обвалення було викликано руйнуванням вузла опорної панелі підкровоквяний ферми прольотом 27 м. Основною причиною руйнування косинки виявилася прихована тріщина, що утворилася в результаті холодного руйнування сталі. На підкровоквяну ферму спиралися чотири ферми з прольотами 33 м. У момент аварії максимальна напруга в поясі ферми від фактичних навантажень була близько 1030 кг/см<sup>2</sup> замість 2100, тобто фактична напруга була вдвічі менше розрахункової.

У 1956 р. на Уралі при зовнішній температурі 13°C обрушилися трьохшарнірні арки трапецеїдального обрису прольотом 30 м зі спираючими на них конструкціями, що перекривали склад мінеральної сировини. Розрахункове снігове навантаження було 60 кг/м<sup>2</sup>, а фактична, заміряна по товщині снігового покриву на покрівлі збереженої частини споруди, досягала 134 кг/м<sup>2</sup>. Сніг був перемішаний з пилом і золою. Питома вага виявився рівним 235 кг/м<sup>3</sup>. Напруження в елементах арки досягали межі текучості, що призвело до випучування арки з її площини і послужило основною причиною аварії.

Додаткове навантаження у вигляді цементного пилу виявилось причиною обвалення сталевих двопрогінних покриття по фермах цехової споруди на цементному заводі в Куйбишеві в 1960 р. Ферми прольотом 21 м спиралися на залізо бетонні колони з кроком 6 м. Пил надходив через аераційні ліхтарі; товщина відкладеної між ліхтарями пилюки досягала 70-80 см, об'ємна вага її в результаті дощів досягав 1,6-2 т/м<sup>3</sup>. Розрахунок показав, що елементи ферм у момент аварії відчували аварійне перенапруження. Навантаження від пилу в момент аварії перевищувало розрахункове в 14 раз і дорівнювало 960 кг/м<sup>2</sup>. Стислі елементи ферм втратили стійкість з площини ферми, і подальші руйнування відбувалися за законом взаємозв'язку. Перевантаження покрівлі цементним пилом, посилене намоканням пилу в період дощів, призвела до аварії.

У результаті снігового перевантаження обвалився в 1952-1953 рр.. середній відсік покриття «корпусу згущення» на збагачувальній фабриці комбінату «Апатит». Кроквяні ферми прольотом 36,5 м і підкроквяні ферми крайніх відсіків вимагали посилення. Довжина підкроквяних ферм 33,1 м, 34,8 м (тих, що обвалились) і 32,2 м. У результаті уточнення снігового навантаження виявилось, що фактичне навантаження  $490 \text{ кг/м}^2$ , а не  $390 \text{ кг/м}^2$ , як було передбачено в проекті. Зусилля в стержнях зросли в середньому від 30 до 50%.

Проект посилення кроквяних і підкроквяних ферм, розроблений ленінградським інститутом Механобр, передбачав посилення за допомогою збільшення перерізів стержнів ферм приварюванням до них додаткових профілів. Посилення проектувалося в напруженому стані - без розвантаження ферм.

Ферми з неправильно сконструйованими зв'язками - погано чинять опір вигину з площини конструкцій. Невелике перевантаження або дефекти монтажу можуть викликати обвал. Все це часто призводить до катастроф.

### **1.3 Розрахункові методи для оцінювання тримкості зварних ферм та результати їх верифікації**

Основоположниками класичних аналітичних методів розрахунку стержневих будівельних конструкцій були Л. Ейлер, Я. Бернуллі, Ж. Лагранж, С. Пуассон, Д.І. Журавський, К.О. Мор, С.П. Тимошенко, І.М. Рабінович та ін. [22].

Сьогодні існує два методи розрахунку металоконструкцій:

- 1) метод граничних станів (ДБН В.2.6-163:2010 Сталеві конструкції [23]) ;
- 2) метод допустимих напружень для деяких технологічних конструкцій, коефіцієнти перевантаження яких встановити неможливо.

Для фермових конструкцій стандартизованою є методика розрахунку за методом граничних станів [24-28].

Метод граничних станів застосовується в системі Європейських норм [29], в стандарті ISO [30]

Основні положення теорії та методу граничних станів стосовно до металевих конструкцій були сформульовані в роботах А.А.Гвоздева, В.М.Келдиша, І.І.Гольденבלата, А.Р. Ржаницина та інших дослідників.

Розрахунок за методом граничних станів встановлює три граничних стани конструкцій, при досягненні яких подальша нормальна експлуатація стає неможливою [31] :

- 1) за несучої здатності , міцності або стійкості ;
- 2) за деформаціями ;
- 3) за освітою чи розкриття тріщин.

Розрахунок металевих конструкцій виконують по першому і другому граничним станам.

При розрахунку за граничними станами користуються трьома розрахунковими коефіцієнтами: перевантаження, однорідності металу і умов роботи.

Коефіцієнт перевантаження  $n$  враховує змінність нормативної навантаження в процесі експлуатації. У результаті множення нормативної навантаження на відповідний коефіцієнт перевантаження виходить розрахункове навантаження:

$$P = nP_H,$$

де  $P$  - розрахункове навантаження;  $n$  - коефіцієнт перевантаження;  $P_H$  - нормативне навантаження. Коефіцієнт однорідності металу  $K$ , що враховує мінливість механічних властивостей матеріалів, приймається менше одиниці. Множення нормативного опору  $R_H$  (межі текучості) на коефіцієнт однорідності  $K$  називають розрахунковим опором  $R$  і визначають за формулою:

$$R = KR_H.$$

Коефіцієнт умов роботи  $m \leq 1$  враховує можливі відхилення від нормальних умов експлуатації, викликані особливостями роботи конструкцій. Міцність центрально-стиснутих і розтягнутих елементів визначається рівністю:

$$N/F_{нт} = Rm,$$

де  $N$  - розрахункова сила стиснення або розтягнення;  $F_{нт}$  - площа перерізу елемента нетто;  $R$  - розрахунковий опір стали розтягу або стиску. При розрахунку за допустимим напруженням напруження в конструкціях від нормативних навантажень не повинні перевищувати допустимих напружень. Допустимі напруження приймають рівними певної частини межі текучості:

$$\sigma = \sigma_T / K,$$

де  $\sigma_T$  - межа текучості;  $K$  - коефіцієнт запасу. Коефіцієнт запасу враховує можливі відхилення фактичного навантаження від нормативної, нерівномірність властивостей металу і можливі відхилення фактичної конструкції від теоретичної розрахункової. Узагальнений коефіцієнт запасу не може характеризувати фізичний стан конструкції під навантаженням, так як не враховує впливу кожного фактора, що визначає його несучу здатність.

Розрахунок і діагностику зварних конструкцій проведено авторами Недосека А.Я., Голоднов А.И., Козлов С.В., Иванов А.П., Кирсанов М.Н. та інші [32-46].

За результатами експлуатації та натурних випробувань зварних ферм виявлено такі недоліки при переході від реальної конструкції до її розрахункової схеми:

– для методів граничних станів:

- 1) допускається, при малих погонних жорсткостях стрижнів, введення шарнірно-стрижневої безмоментної розрахункової схеми;

- 2) стійкість стиснутих елементів конструкції оглядається без урахування гнучко-крутильної форми втрати стійкості;
- 3) розрахунковий опір матеріалів завжди менше нормативного, тобто з метою підвищення надійності розрахунку дійсні міцнісні характеристики матеріалів штучно занижуються;
- 4) при оцінці несучої здатності стиснутих елементів дуже наближено враховують умови їх закріплення і т.д.

Багато з цих спрощень можуть призвести до істотного відхилення розрахункових характеристик напружено-деформованого стану від дійсних, особливо для стрижневих систем, елементи яких мають просторові геометричні недосконалості. Ця обставина була зазначена багатьма дослідниками.

– для методу допустимих напружень:

- 1) застосування єдиного коефіцієнта запасу міцності, який не оцінює мінливості різних видів навантаження;
- 2) застосування єдиного коефіцієнта запасу міцності не досить чітко враховує мінливість міцності матеріалу;
- 3) застосування єдиного коефіцієнта запасу міцності не досить чітко враховує умови роботи конструкції.

У результаті одні конструкції можуть мати надмірні, а інші – недостатні запаси міцності. Крім того, робота конструкцій розглядалася лише в пружній стадії, без урахування пластичних властивостей матеріалу, що знижувало їх економічність.

#### **1.4 Дослідження поведінки зварних ферм під навантаженням натурним експериментом, фізичним та математичним моделюванням**

Дослідженням металевих конструкцій займались Скачков С.В. [47], Нургазієв Р.Б. [48], Сунгатуллін М.Р. [49], Мберейахо Леопольд [50] та інші.

Великої уваги заслуговує робота Шингери Н.Я. [51]. Дослідження зварної ферми натурним експериментом виконано на випробувальному комплексі СТМ-100 зі спеціально розробленим оригінальним базуючим пристосуванням (рисунок 1.4).

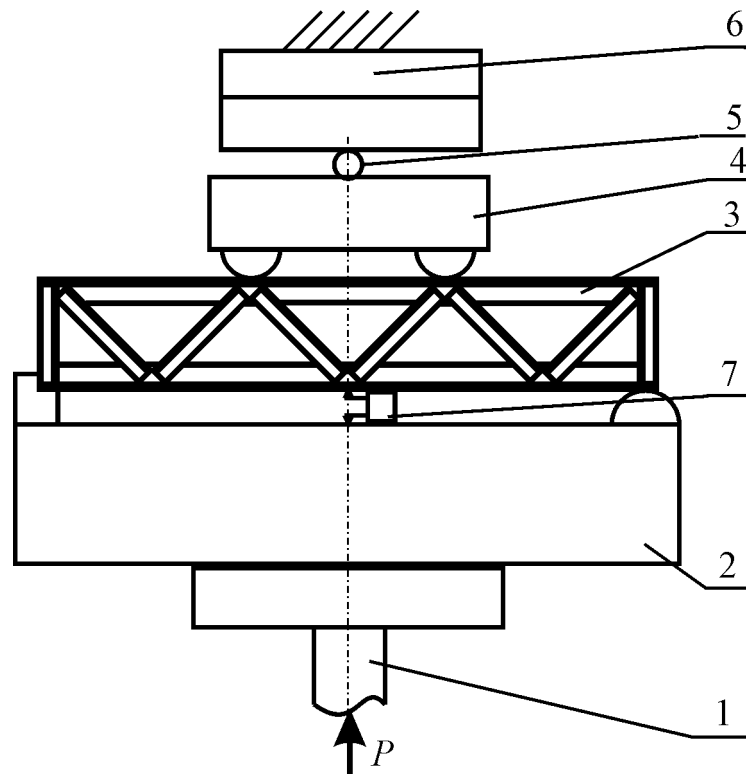


Рисунок 1.3 – Схема реалізації експериментального навантаження зразків на випробувальному комплексі СТМ-100.

Експериментальні навантаження  $P$  створюються штоком 1 гідроциліндра і через підставку 2 передаються на досліджувану ферму 3. Траверса 4 сприймає навантаження від двох вузлів ферми, зрівноважуючи його за рахунок циліндричного шарніра 5 і передаючи на жорстко закріплений динамометр 6. Динамометр 6 фіксує відпрацьований силовий сигнал, а тензOMETричний датчик 7 – величину деформації зразка вздовж лінії навантажування.

Перевагами такої схеми є:

- конструктивна та технологічна раціональність;
- відкритий візуальний доступ до всіх зварних швів;
- максимальне наближення експлуатаційних та випробувальних умов.



Підставка 2 виготовлена з швелера № 14, а траверса 4 – з швелера №12. Шляхом класичних інженерних розрахунків і експериментальних випробувань виявлено, що жорсткість цих елементів на порядок перевищує жорсткість досліджуваного зразка, тому суттєвого впливу на чистоту експерименту внаслідок деформування елементів устаткування не буде.

В процесі експериментальних досліджень виконано як статичне навантажування зразків аж до руйнування, так і циклічне. Проведено порівняння експериментальних і розрахункових результатів [51].

Також у роботі [51] виділені методи фізичного моделювання і методи математичного моделювання для оцінки ресурсу зварних конструкцій (рисунок 1.5).

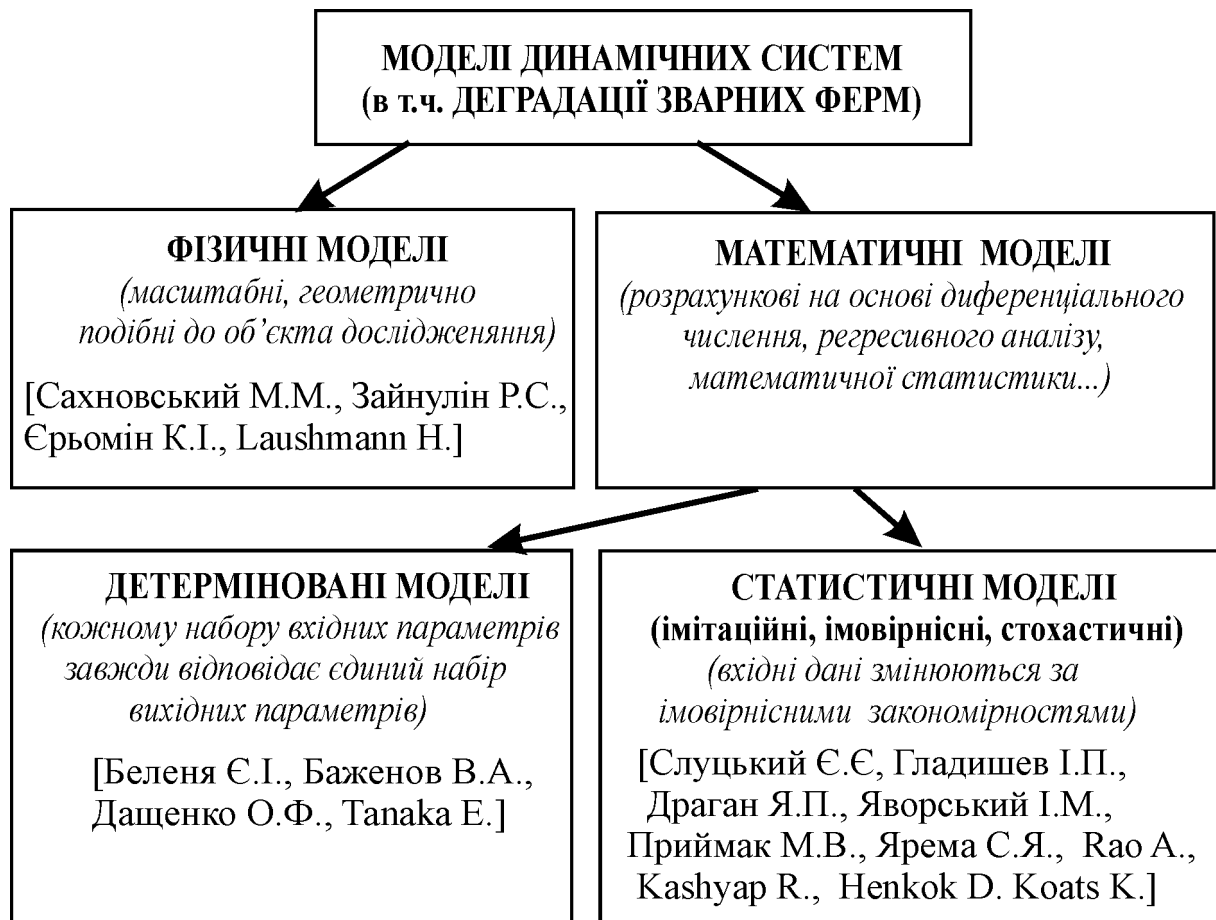


Рисунок 1.4 – Класифікація моделей для оцінки ресурсу зварних ферм

Дослідження поведінки зварних ферм, зокрема визначення їх залишкового ресурсу, математичним моделюванням проведено в роботах [52-57].

Для дослідження поведінки зварних ферм широко використовуються теорії подібності [58], що полягають в дотриманні умов, які визначають співвідношення між параметрами моделі й реальних конструкцій, а також правила перерахунку досліджуваних величин з моделі на реальну конструкцію і навпаки.

### **1.5 Аналіз існуючих методів дослідження деформацій зварних ферм та постановка задачі для магістерської роботи**

Вимірювання деформації проводиться або в процесі випробування матеріалів з метою визначення їх механічних властивостей, або при дослідженні конструкції в натурі або на моделях для судження про величини напруг. Пружні деформації дуже малі, і їх вимір вимагає високої точності.

Існує безліч способів вимірювання деформацій: тензорезистивний, поляризаційно-оптичний, п'єзорезистивний, волоконно-оптичний, або простим зчитуванням показань з лінійки механічного тензодатчика. Серед електронних тензодатчиків, найбільшого поширення набули тензорезистивні датчики.

Тензометрія - спосіб вимірювання напружено-деформованого стану конструкції. Базується на визначенні напруг і деформацій в зовнішніх шарах деталі. Прилад для вимірювання цих параметрів називається тензометром; зазвичай основним елементом такого приладу є тензодатчик, що перетворює вимірювані величини в електричний сигнал, який потім передається реєструючої апаратури.

Поляризаційно-оптичний метод – це експериментальний метод визначення напружень у тілах з оптично чутливих матеріалів, що базується на поляризації світла і явищі штучної подвійної променезаломлюваності в деяких прозорих матеріалах. Штучна подвійна променезаломлюваність – це властивість первинно ізотропних матеріалів надовбувати під дією навантаження оптичну анізотропію. Ступінь анізотропії залежить від величини напружень і деформацій у

досліджуваних моделях. Тому, визначаючи ступінь анізотропії, можна скласти уявлення про напружено-деформований стан моделі.



Рисунок 1.5 - Оптико-поляризаційний тензOMETричний датчик «ТД-16оп»

Оптико-поляризаційний тензOMETричний датчик «ТД-16оп» - призначений для вимірювання величин статичних і динамічних деформацій металевих, залізобетонних і бетонних конструкцій. Датчики можуть працювати у складі силувимірювальних, вагових і дозуючих пристроїв.

Волоконно-оптичний датчик (ВОД) - датчик фізичних величин, в конструкції якого в якості чутливого елемента і передавальної оптичне випромінювання середовища використовується волоконний світловод. Чутливий елемент ВОД перетворює певний фізичний вплив у зміну властивостей пройшовшого, відбитого або розсіяного випромінювання. у волоконно-оптичних датчиках оптичне волокно може бути застосоване просто як лінії передачі, а може грати роль самого чутливого елемента датчика. В останньому випадку використовуються чутливість волокна до електричного поля (ефект Керра), магнітного поля (ефект Фарадея), до вібрації, температури, тиску, деформацій (наприклад, до вигину).

За результатами огляду раніше виконаних досліджень деформування і руйнування зварних ферм виявлені такі проблемні питання:

- 1) при конструюванні ферми проектувальник закладає вхідну інформацію, виходячи зі свого досвіду за результатами експлуатації аналогічних конструкцій, що призводить до заниження розрахункових показників тримкості ферми у порівнянні з фактичними експлуатаційними результатами і перевитрати матеріалу на виготовлення ферм;
- 2) не врахування стохастичної природи факторів впливу;
- 3) не врахування впливу зварювання на роботу стержнів ферми (мають місце теплові ослаблення і деформації, протяжність швів, порядок наплавлення);
- 4) не врахування дефектів отриманих при виготовленні, транспортуванні, монтажі та експлуатації;
- 5) не врахування дії температур, агресивних корозійних середовищ, тощо.

Виходячи з цього задачами дипломної роботи є:

- 1) розроблення конфігурації типової зварної підкрюквяної ферми;
- 2) дослідження фізичної моделі зварної підкрюквяної ферми при статичних навантаженнях комп'ютерним моделюючим експериментом з використанням прикладного програмного комплексу ANSYS Workbench 14.5;
- 3) дослідження фізичної моделі зварної підкрюквяної ферми при статичних навантаженнях напівнатурним силовим експериментом;
- 4) порівняння та аналіз результатів комп'ютерного моделюючого та напівнатурного силового експериментів;
- 5) рекомендації до практичного застосування.

## 1.6 Висновки за розділом 1

1. Для попередження аварій і руйнувань конструкцій, для продовження часу їх експлуатації необхідно володіти інформацією про рівень їх тримкої здатності і надійності. Виявлено, що тримкість зварних ферм залежить від комплексного поєднання багатьох стохастичних чинників, котрі спричиняють втомне пошкодження конструкції за конкретних умов експлуатації.

2. Проаналізовано такі методи розрахунку металоконструкцій: метод граничних станів і метод допустимих напружень, що дає можливість вибрати позитивні і негативні сторони розрахунків за цими методами.

3. В дипломній роботі поставлено завдання розроблення конфігурації типової зварної підкрюквяної ферми, дослідження фізичної моделі зварної підкрюквяної ферми при статичних навантаженнях комп'ютерним моделюючим експериментом і напівнатурним силовим експериментом, порівняння та аналіз отриманих результатів.

## РОЗДІЛ 2

### МЕТОДИЧНІ АСПЕКТИ ДОСЛІДЖЕННЯ ДЕФОРМАЦІЙ ЗВАРНОЇ ФЕРМИ

#### 2.1 Вибір зварної ферми для дослідження та аналіз її конструктивних і технологічних особливостей

Ферми класифікують за різними ознаками: за призначенням - ферми мостів, покриттів (кроквяні і підкроквяні), транспортних естакад, гідротехнічних затворів, вантажопідіймальних кранів і т.д.; за профілем обрису поясів - ферми з паралельними поясами, полігональні, абочні і трикутні. Обрис поясів ферми визначається призначенням ферми та прийнятою конструктивною схемою.

На рисунку 2.1 представлена конструктивна схема досліджуваної ферми.

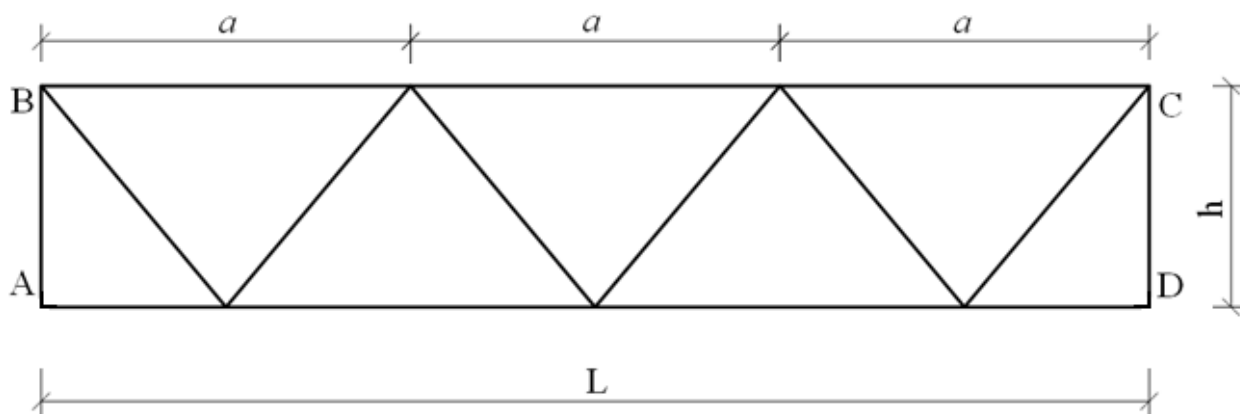


Рисунок 2.1 – Конструктивна схема досліджуваної ферми

Ферма включає в себе три основних конструктивних елемента (рисунок 2.1) – верхній (BC) і нижній (AD) пояси і решітка, що складаються з розкосів (похилі стержні) і стояків (вертикальні стержні), які поєднують пояси. Відстань  $a$  між вузлами решітки ферми називається панеллю, відстань  $L$  між її опорами - прогоном. Габаритний розмір ферми між поясами – її висота  $h$ .

На рисунку 2.2 представлена конфігурація зварної ферми, яка використовувалась у дослідженнях наведених в таблиці 2.1.

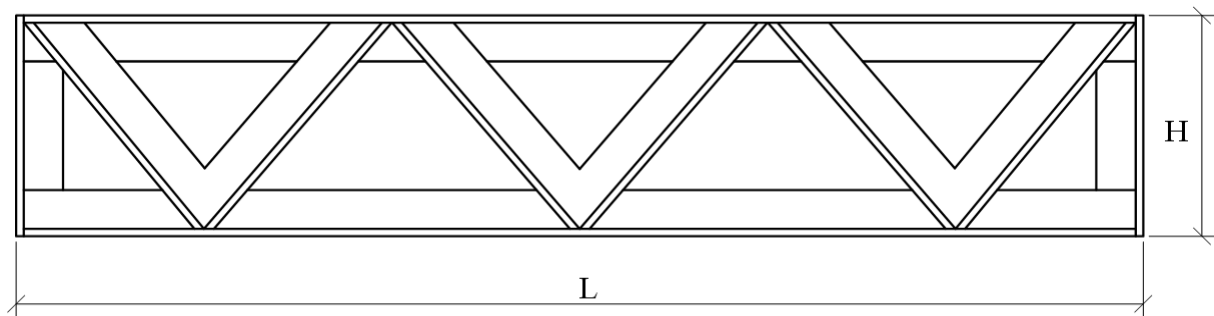


Рисунок 2.2 – Конфігурація зварної ферми

У таблиці 2.1 вказано дослідження, які проводились в даній дипломній роботі і дослідження іншого автора [51], що використовувалися для порівняння і визначення констант фізичного моделювання зварної підкрівляної ферми.

Таблиця 2.1 – Дослідження зварних ферм

Дослідження	L, мм	h, мм
Власні - комп'ютерне моделювання; - напівнатурний експеримент	2000	400
Шингера Н.Я. - комп'ютерне моделювання; - напівнатурний експеримент	600	120
Власні - комп'ютерне моделювання	18000	3600

Як видно з таблиці 2.1 і рисунків 2.1 і 2.2 для дослідження вибрано зварну підкрювяну ферму з трикутною решіткою і паралельними поясами. Конструктивні та технологічні аспекти ферми узгоджено з рекомендаціями [59].

Конструктивні елементи зварної підкрювяної ферми виготовлено зі стандартного вальцьованого рівнополичкового кутникового профілю 40×40×4 мм. Кутовий профіль дозволяє використовувати різні типи кутників (рівнополичкові або нерівнополичкові). Це дозволяє конструювати стрижні з різними радіусами інерції.

У вузлах ферми стержні з'єднуються за допомогою зварних швів, виконаних напівавтоматичним дуговим зварюванням. Технологічний процес зварювання металевої ферми починається з виготовлення її елементів по заданих кресленнях. Виготовлені елементи ферми збирають на стапелі і скріплюють короткими зварними швами. Зібрану ферму знімають зі стапеля для зварювання. Послідовність накладення зварних швів при зварюванні ферми виконуватися відповідно до технології, яка передбачає отримання мінімальних викривлень, допустимих без подальшого рихтування ферми.

Всі елементи досліджуваного зразка виготовлені зі сталі звичайної якості ВСт3пс (конструкційна вуглецева сталь звичайної якості, що поставляється за механічними властивостями і хімічному складі, напівспокійна) ДСТУ 2651:2005, ISO 1052—82 [41]. В таблиці 2.2 подано її технологічні характеристики.

Таблиця 2.2. – Технологічні властивості сталі звичайної якості ВСт3пс

Зварюваність	без обмежень
Флокеночутливість	не чутлива
Схильність до відпускнуї крихкості	не схильна

Розрахункові характеристики матеріалу зварної ферми приймаються рівними їх нормативним значенням згідно [23].



## 2.2 Розрахункові методики дослідження напружено-деформованого стану зварної ферми

Суцільні балки і колони при збільшенні їх прогонів трансформувались у наскрізні решітчасті конструкції, які більш раціональні з точки зору використання матеріалу. При розрахунку таких конструкцій їх моделюють фермами.

На метод розрахунку ферми значний вплив має її місце в класифікації за конструктивною схемою: балкова (прогонова або консольна), арочна (розпірна), та по типу решітки: трикутна, розкосна, напіврозкосна, багаторозкосна, ромбічна решітка тощо.

Розрахунок ферми полягає у визначенні поздовжніх зусиль в усіх її стержнях, які в подальшому будуть використовуватись у підборі (перевірці) поперечного перерізу її елементів. Існують аналітичні та графічні методи розрахунку плоских статично визначуваних ферм. До аналітичних відносяться:

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

Метод вирізання вузлів ґрунтується на аналізі внутрішніх зусиль шляхом умовного вирізання вузлів і визначенні реакцій в стержнях за сумою проєкцій зусиль на координатні осі ( $\Sigma X=0$ ,  $\Sigma Y=0$ ) та сумою моментів відносно кожного з вузлів ( $\Sigma M=0$ ). Такий підхід є класичним в опорі матеріалів.

Із графічних методів найбільш відомий метод Максвелла-Кремони. Побудова діаграми Максвелла-Кремони полягає в побудові силових багатокутників, побудованих для всіх вузлів ферми, в одне креслення так, щоб жодне з зусиль не повторювалося двічі.

Варто зазначити, що графічний метод менш точний.

Розрахунок ферм виконують у такій послідовності:

- встановлення розрахункової схеми ферми;

- визначення та збір навантаження;
- визначення розрахункових зусиль в елементах ферми;
- підбір поперечних перерізів розтягнутих та стиснутих елементів;
- складання загальної таблиці зусиль, поперечних перерізів і напружень в елементах ферми;

У сучасній науці широко використовується велика кількість розрахункових програмних комплексів, кожний з яких має свої ключові переваги і недоліки.

Розрахунок металевих конструкцій, зокрема зварних ферм, за допомогою програмних комплексів виклали у своїх роботах Дрокін А.В. [60], Алпатов В.Ю. (ПК ПОФСК-Мираж-ПСМК, «Лира-W», SCAD, Cosmos Works, Design Space) [61], Алдушкін Р.В. (ПК SCAD і Mathcad) [62], Дубенець В.Г., Савченко О.В. (ПК АРМ WinTruss ) [63], Шингера Н.Я. (ПК ANSYS) [51] та ін..

У дипломній роботі проектний розрахунок поведінки фізичної моделі зварної ферми (рисунок 2.1) під дією статичних навантажень виконано з використанням прикладного програмного пакету ANSYS Workbench 14.5, тому що цей програмний комплекс має ряд переваг:

- побудова моделі конструкції або імпорт їх з CAD систем ( а саме із SolidWorks, AutoCAD, Inventor та ін.);
- вивчення реакції конструкції на різні фізичні впливи, такі, як вплив різних навантажень;
- оптимізація геометрії конструкції;
- на базі Workbench реалізовані інструменти для обміну і ефективного керування розрахунковими даними користувачів (ANSYS EKM);
- висока продуктивність. Програмне забезпечення ANSYS включає десятки можливостей, які мінімізують час, тощо.

Програмний комплекс ANSYS відноситься до числа лідерів в області CAE-продуктів скінченно-елементного аналізу і має майже сорок років практики в розв'язанні прикладних задач числовими методами. Перша версія ANSYS, що вийшла в 1970 р., дозволяла проводити розрахунок напружено-деформованого стану конструкції і тепловий розрахунок в стаціонарній постановці, з тих пір

можливості програми вирости в багато разів. Основним напрямком розвитку програмного пакета ANSYS, визначеним його засновником – професором Джоном Свонсоном (John Swonson), стала реалізація багатодисциплінарних інженерних розрахунків. Це багато в чому визначило політику розвитку компанії ANSYS, Inc. і в теперішній час програмний комплекс ANSYS охоплює практично всі види інженерного аналізу: від механіки деформівного твердого тіла і теплового аналізу до гідрогазодинаміки і аналізу процесів горіння, вибуху, тепломасообміну і фазових переходів, електродинаміки [64].

Враховуючи тенденції інтенсивного розвитку CAD-систем проектування, фірма ANSYS, Inc., запропонувала нову платформу Workbench, яка реалізує сучасний графічний інтерфейс і дозволяє ефективно керувати окремими модулями і продуктами ANSYS.

### **2.3 Методика комп'ютерного моделюючого експерименту для дослідження зварної ферми**

Проектний розрахунок поведінки зварної підкрюквяної ферми під дією статичних навантажень виконано комп'ютерним моделюючим експериментом з використанням прикладного програмного пакету ANSYS Workbench 14.5, який алгоритмічно базується на методі скінчених елементів. Мета скінченно-елементного аналізу - знайти відгук системи на заданий зовнішній вплив. Для вирішення використовується математична модель:

- геометрична модель CAD разом із заданим вантаженням являє собою формалізовану фізичну модель (рисунок 2.3, а);
- скінченно-елементна сітка є математичним поданням геометричної моделі CAD; це розрахункова модель (рисунок 2.3, а);
- точність розрахунків визначається припущеннями фізичної моделі і щільністю сітки.

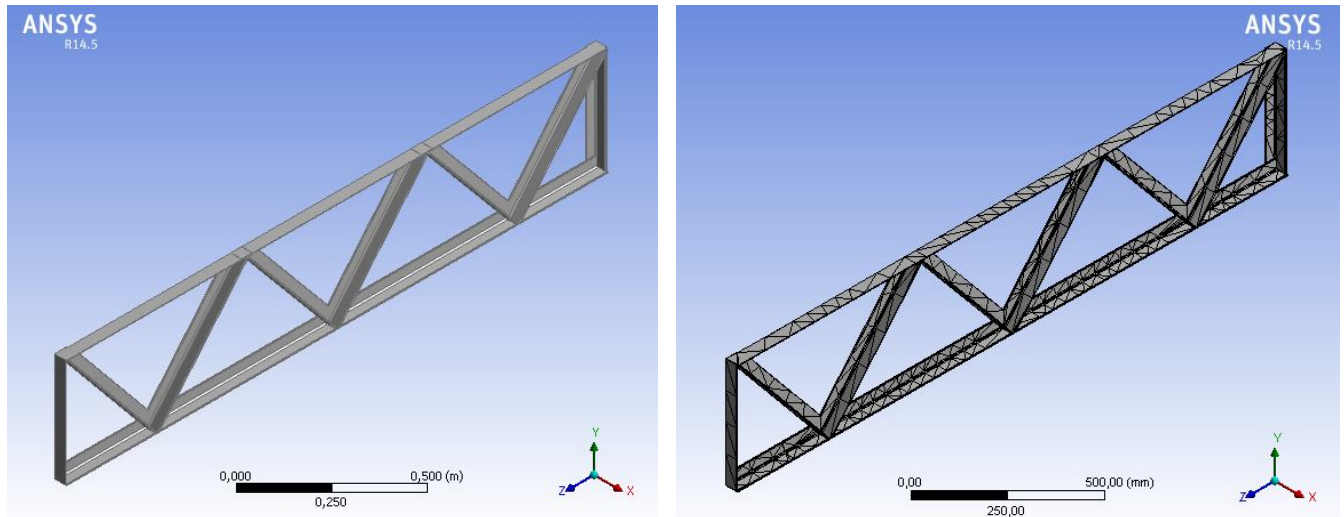


Рисунок 2.3 – Ферма з розмірами 2000×400 мм: а) САD – геометрична модель; б)САЕ – скінченно-елементна сіткова модель.

Розв'язок задачі проходить через 4 ступені.

#### 1. Основні допущення:

- вибір типу аналізу (статичний, динамічний, модальний), проводиться відповідні налаштування програми;
- вибір контактної моделі;
- вибір типу елементів (оболонкові або твердотільні).

#### 2. Препроцесінг:

- побудова геометричної моделі. Також вона може бути експортована з будь-якої САD-системи;
- вибір матеріалу об'єкта і зазначення всіх його необхідних властивостей (можуть задаватись з клавіатури або імпортуватись з бібліотеки матеріалів ANSYS);
- генерація сітки. Геометрична модель розбивається на скінченні елементи. При розбивці можуть задаватись різні параметри сітки;
- навантаження і закріплення конструкції;
- вибір розрахункових параметрів;

#### 3. Розрахунок.

#### 4. Постпроцесинг:

- перегляд результатів. В результаті розв'язку формується файл результатів;
- перевірка достовірності рішення. Всі фізичні величини представлені в графічному вікні ANSYS у вигляді картинок, таблиць, графіків, анімацій.

Розв'язання задачі при напружено-деформованих станах включає наступні основні кроки конструкційного аналізу:

- 1) транслювати геометричну модель з CAD системи;
- 2) задати властивості матеріалів;
- 3) згенерувати сітку;
- 4) закріпити модель;
- 5) прикласти навантаження;
- 6) вибрати параметри вирішувача;
- 7) задати список розрахункових результатів і провести розрахунок;
- 8) дивитись розрахункові результати;
- 9) згенерувати звіт.

У Workbench на самому початку розв'язку задачі вибирається тип інженерного аналізу, після чого програма вставляє в схему проекту відповідний блок, який містить всі необхідні етапи виконання аналізу. На рисунку 2.4 показаний блок статичного аналізу, який використовується в даній дипломній роботі.

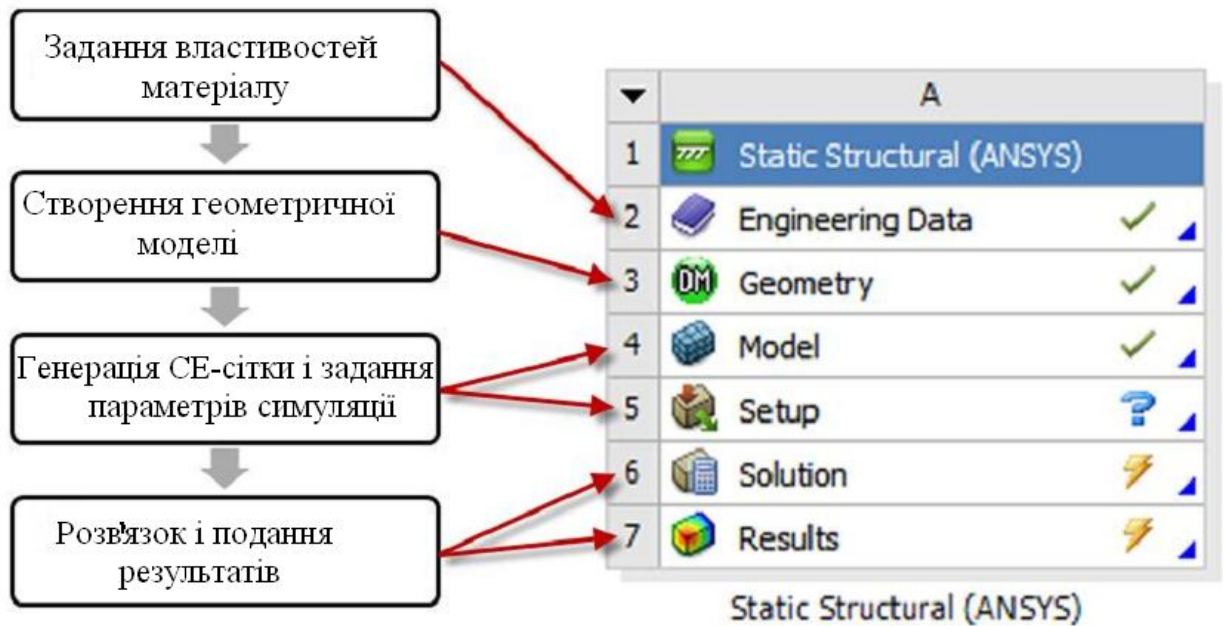


Рисунок 2.4 – Блок статичного аналізу

## 2.4 Розробка конструкції фізичної моделі зварної ферми для напівнатурного експерименту

Дуже часто прості аналітичні методи розрахунку враховують якусь обмежену кількість вхідних даних, які не охоплюють всіх властивостей конструкції, а лише найголовніші з них. Так формується розрахункова схема зварної ферми завдяки якій можна розрахунково передбачити її поведінку впродовж експлуатації.

Розрахункова схема – це спрощене (умовне) зображення (модель) конструкції, що приймається для розрахунку. Чим точніше розрахункова схема відповідає дійсній конструкції, тим більш трудомісткий її розрахунок. Однак тут вводяться деякі умовності й спрощення, які полегшують розрахунок. Однак неврахування, на перший погляд, несуттєвих факторів впливу при їх комплексному поєднанні зумовлює неузгодженість розрахункових та фактичних результатів, отриманих при експлуатації конструкції чи при її натурних

дослідженнях. Вибір розрахункової схеми певною мірою відображає рівень розвитку будівельної механіки, а також кваліфікацію виконавця; він залежить від наявності обчислювальної техніки й ін. умов.

Реальні зварні ферми є складними технічними системами, що мають комплекс різноманітних фізичних властивостей та недосконалостей, які не завжди в повній мірі можна описати теоретично.

Для дослідження складних технічних систем широко використовується фізичне моделювання, в основу якого покладено подібність фізичних процесів. У випадках, коли відсутня математична модель розв'язку задачі, або така модель дуже складна, вимагає багато вихідних даних, одержання яких ускладнене, зазвичай використовують натурні експериментальні дослідження на фізичних (масштабних) моделях з наступним перерахунком отриманих результатів на реальну конструкцію, яка стала прототипом моделі. Такі експериментальні дослідження фізичних моделей ще називають напівнатурними. Тобто при фізичному моделюванні вивчення поведінки конструкції, яка нас цікавить, замінюють вивченням поведінки її фізичної моделі, як правило, в спеціальних лабораторних умовах.

Розробка фізичної моделі для дослідження зварної підкрюквяної ферми при статичних навантаженнях зумовлена:

- складністю врахування впливу багатьох стохастичних чинників при їх комплексному поєднанні;
- значною матеріало-, трудо- і енергомісткістю випробування натурних зразків.

При виконанні напівнатурного експерименту система може піддаватися різноманітним видам впливу. Цей вплив повинен якомога точніше відтворювати робочі навантаження як за величиною, так і за характером дії.

Обов'язковою умовою при розробці фізичної моделі є дотримання умов подібності [3] реальної конструкції і її фізичної моделі (на практиці - з врахуванням певних коефіцієнтів). Найсуттєвіший науковий внесок в формулювання та розвиток положень теорії подібності при дослідженні

механічних систем, в тому числі фермових конструкцій, зробили Кірпічов М.В. [65], Сєдов Л.І. [66], Венніков В.А. [67].

Принципи теорії подібності полягають в дотриманні умов, які визначають співвідношення між параметрами моделі й реальних конструкцій, а також правила перерахунку досліджуваних величин з моделі на реальну конструкцію і навпаки.

В свою чергу експериментальні дані одержані на фізичній моделі забезпечують можливість ідентифікувати результати дослідження для повномасштабних зварних ферм.

Подібними називають системи тіл, геометрично подібних між собою, в яких відбуваються процеси однакової природи і в яких однойменні величини, які характеризують явища, відносяться між собою, як постійні числа. Іншими словами явище, подібне до заданого, може бути отримане шляхом такого його перетворення, коли значення кожної його величини змінюється в певну кількість разів. Таке перетворення називається подібним перетворенням [66].

Коефіцієнти пропорційності  $c_l$  і т.д. називаються константами подібності. Для кожного роду величин вони мають своє чисельне значення.

Константи подібності зберігають своє значення для будь-яких випадків співвідношення однойменних величин. Наприклад, якщо  $l'$  і  $l''$  – однойменні відрізки двох подібних систем, то справедлива рівність

$$\frac{l''}{l} = \frac{l_1''}{l_1'} = \frac{l_2''}{l_2'} = \frac{l_0''}{l_0'} = \frac{l_2'' - l_1''}{l_2' - l_1'} = \frac{\Delta l''}{\Delta l'} = c_l \quad (2.1)$$

і, отже, відношення довжин  $l''/l' = c_l$  можна замінити відношенням будь-яких інших відповідних довжин. Так формулюється правило заміщення одних величин іншими тієї ж назви.

Отже, напівнатурний експеримент виконано на фізичній моделі зварної підкрювняної ферми (рисунок 2.4), конструкцію якої розроблено з дотриманням класичних положень теорії подібності [3].



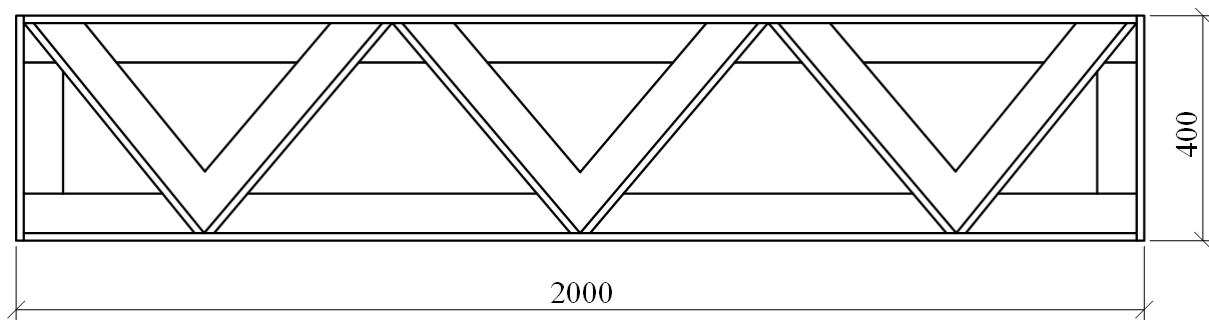


Рисунок 2.5 – Конструкція фізичної моделі зварної підкрівляної ферми

Дослідний зразок фізичної моделі виготовлено зі стандартного вальцьованого кутникового профілю 40x40 мм з товщиною стінки 4 мм. Матеріал досліджуваного зразка – сталь звичайної якості ВСт3пс. Всі зварні шви на зразку виконано напівавтоматичним дуговим зварюванням постійним струмом прямої полярності дротовим електродом діаметром 1,2 мм Св-08Г2С однієї поставочної партії в середовищі  $\text{CO}_2$  з дотриманням стандартизованих технологій. Робочий струм зварювання становив 110 А.

## **2.5 Методика напівнатурного силового експерименту і дослідна установка для її реалізації**

Для дослідження напружено-деформованого стану зварної ферми під впливом статичних навантажень виконаний напівнатурний силовий експеримент. Для його виконання велика увага була приділена розробці методики дослідження і установки для силового навантаження моделі зварної підкрівляної ферми.

Запропоновано схему навантажування зварної підкрівляної ферми при виконанні комп'ютерного моделюючого та натурного силового експерименту (рисунок 2.6), яка ідентифікує експлуатаційний режим для досліджуваної конструкції зварної підкрівляної будівельної ферми.

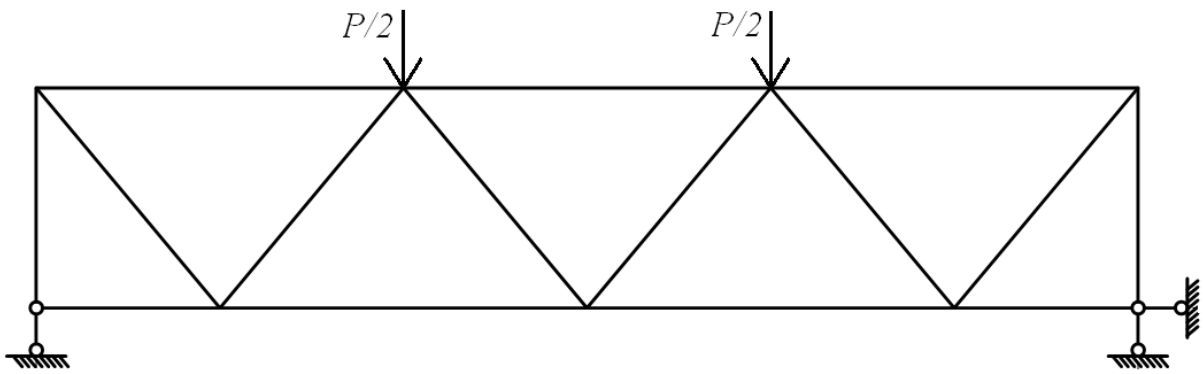


Рисунок 2.6 – Схема навантажування зварної ферми при виконанні комп'ютерного моделюючого та натурального силового експерименту

Схему реалізації експериментального навантажування зразка подано на рисунку 2.7.

На рисунку 2.5 показано: 1 – дослідний зразок; 2 – випробувальний стенд; 3 – нижні опори; 4 – верхні опори; 5 – траверса; 6 – домкрат 50 тс.; 7 – відліковий пристрій динамометра; 8 – динамометр; 9 – індикатор повздожньої деформації; 10 – затискач для індикатора; 11 – вимірювальний шток; 12 – затискач вимірювального штока.

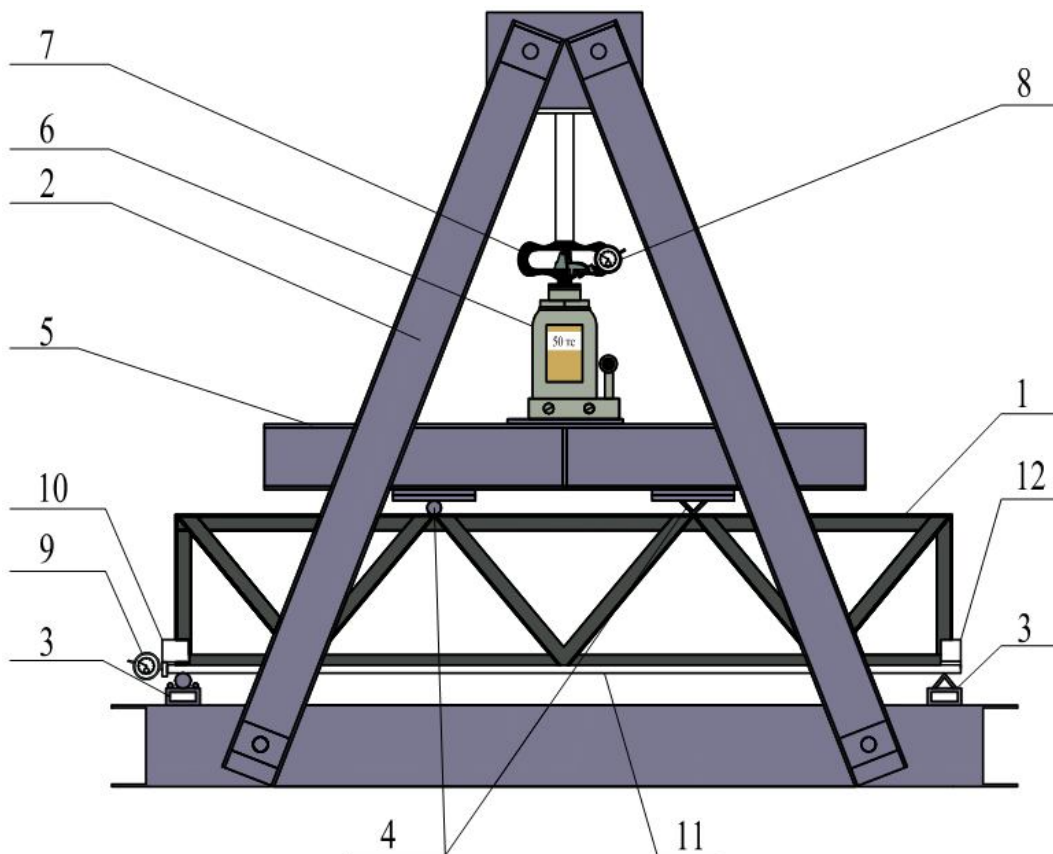


Рисунок 2.7 – Схема реалізації експериментального навантажування зразка

Для натурних випробувань досліджуваній зразок 1 встановлено у випробувальний стенд 2, згідно схеми навантаження (рисунок 2.6), на нижні опори 3. Навпроти верхніх вузлів встановлено опори 4 на траверсі 5. Навантаження створювали домкратом 6. Величину навантаження визначали за показами відлікового пристрою 7 динамометра 8. Величину повздовжньої деформації нижнього пояса визначали за показами індикатора 9, встановленого у затискачі 10 в лівому кінці пояса ферми. Відлік деформації визначався за переміщенням лівого торця вимірювального штока 11, правий кінець якого закріплений до затискача 12, встановленому на правому кінці нижнього пояса.

Силовий напівнатурний експеримент виконано на випробувальному стенді поданому на рисунку 2.8.



Рисунок 2.8 - Зварна ферма на випробувальному стенді перед навантаженням

При випробуванні проводився запис вимірювальних величин: величину навантаження визначали за показами відлікового пристрою динамометра (рисунок 2.9, а); величину поздовжньої деформації нижнього пояса визначали за показами індикатора (рисунок 2.9, б).

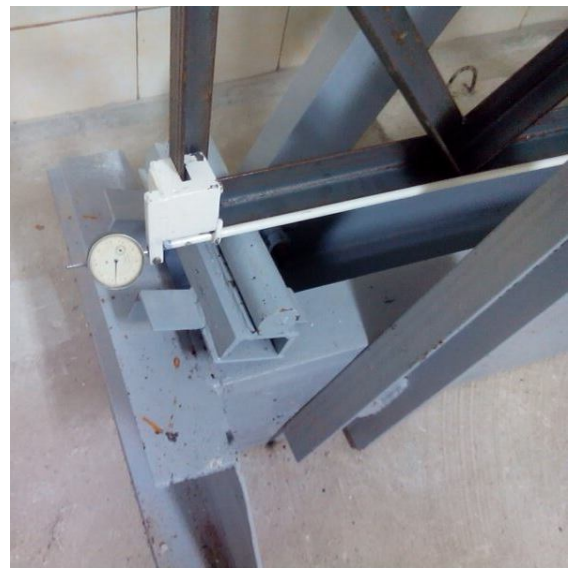
*a**б*

Рисунок 2.9 – Методика вимірювання досліджуваних величин за показами відлікового пристрою динамометра (*a*) та індикатора (*б*)

## 2.6 Висновки за розділом 2

1. За результатами аналізу досліджень інших авторів вибрано конфігурацію зварної ферми, яка дає можливість виконати комп'ютерний моделюючий експеримент напружено-деформованого стану конструкції і верифікувати його результати з показниками натурального експерименту.

2. Проаналізовано існуючі програмні комплекси для розрахунку напружено-деформованого стану конструкції, виявлено їх переваги і недоліки для конструювання зварних ферм, що дало можливість вибрати програмний комплекс ANSYS Workbench 14.5, який поєднує оптимальне співвідношення точності результатів і трудоемності комп'ютерного моделювання.

### РОЗДІЛ 3

## РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ ПОВЕДІНКИ ЗВАРНОЇ ПІДКРОКВЯНОЇ ФЕРМИ ПРИ СТАТИЧНИХ НАВАНТАЖЕННЯХ ТА ЇХ АНАЛІЗ

### 3.1 Дослідження напружено-деформованого стану фізичної моделі зварної ферми при статичних навантаженнях комп'ютерним моделюючим експериментом

Для дослідження напружено-деформованого стану (НДС) фізичної моделі зварної ферми при статичних навантаженнях комп'ютерним моделюючим експериментом використано програмний комплекс ANSYS Workbench 14.5, який алгоритмічно базується на методі скінчених елементів.

За допомогою програмного комплексу ANSYS Workbench 14.5 виконано статичний тип аналізу фізичної моделі. Статичний розрахунок ферми полягає у визначенні переміщень вузлів, реакцій опор, зусиль в стержнях, напружень і деформацій стержнів, що виникають в конструкції під дією навантажень. У статичному аналізі передбачається, що всі навантаження і реакції конструкції на навантаження якщо і змінюються в часі, то дуже повільно.

За результатами виконання комп'ютерного моделюючого експерименту отримано величину поздовжньої деформації і значення прогину нижнього пояса ферми при дії конкретних навантажень як в чисельному (таблиця 3.1), так і в графічному (рисунок 3.4) вигляді, деформації видовження вздовж нижнього пояса ферми при різних рівнях навантаження (рисунок 3.1), деформації прогину вздовж нижнього пояса ферми при різних рівнях навантаження (рисунок 3.2), напруження вздовж нижнього пояса ферми при різних рівнях навантаження (рисунок 3.3), а також зовнішньої конфігурації zdeформованої ферми при навантаженнях на рівні граничного стану (рисунок 3.5).

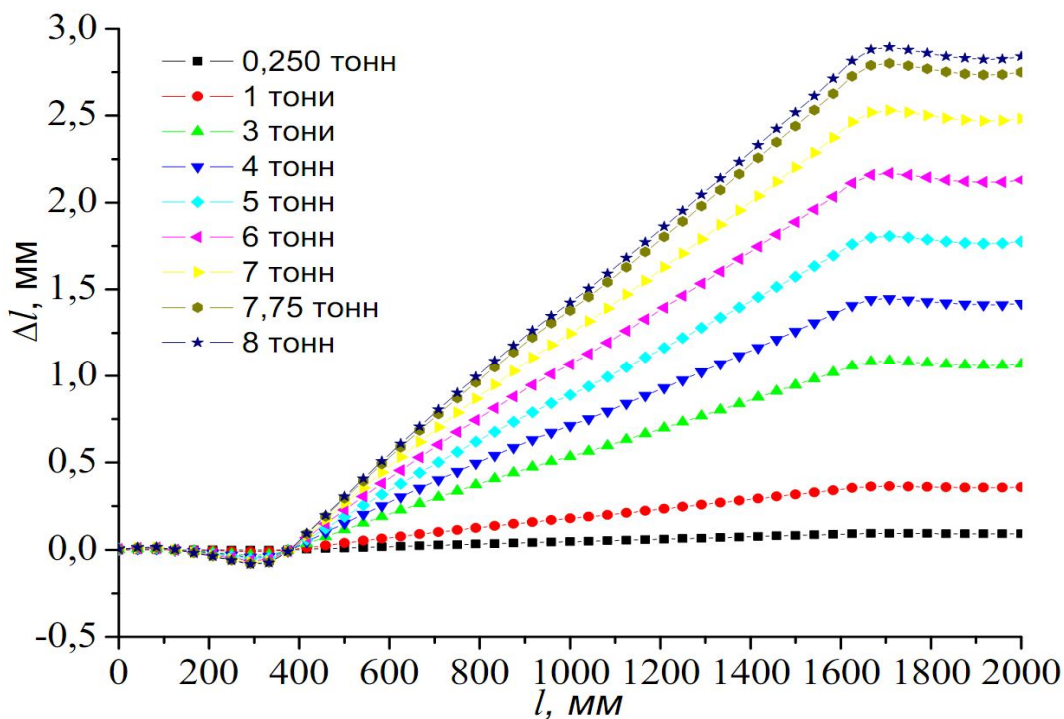


Рисунок 3.1 - Діаграма деформації видовження вздовж нижнього пояса ферми при різних рівнях навантаження

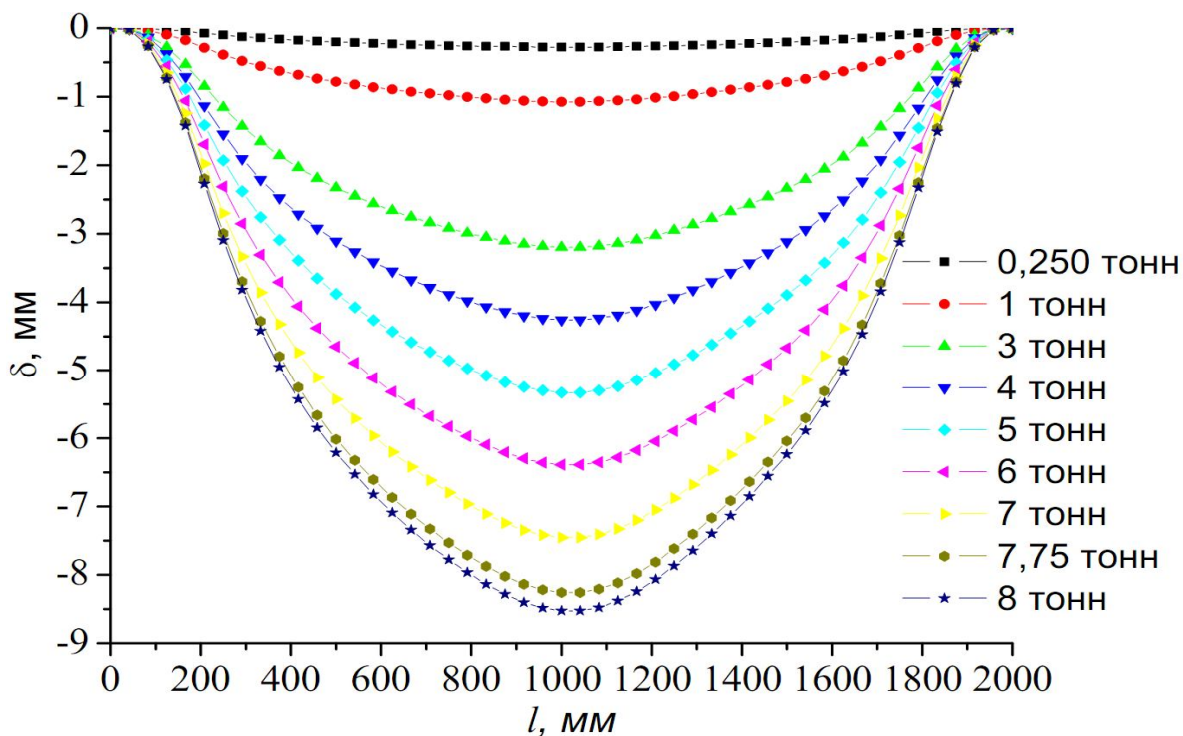


Рисунок 3.2 - Діаграма деформації прогину вздовж нижнього пояса ферми при різних рівнях навантаження

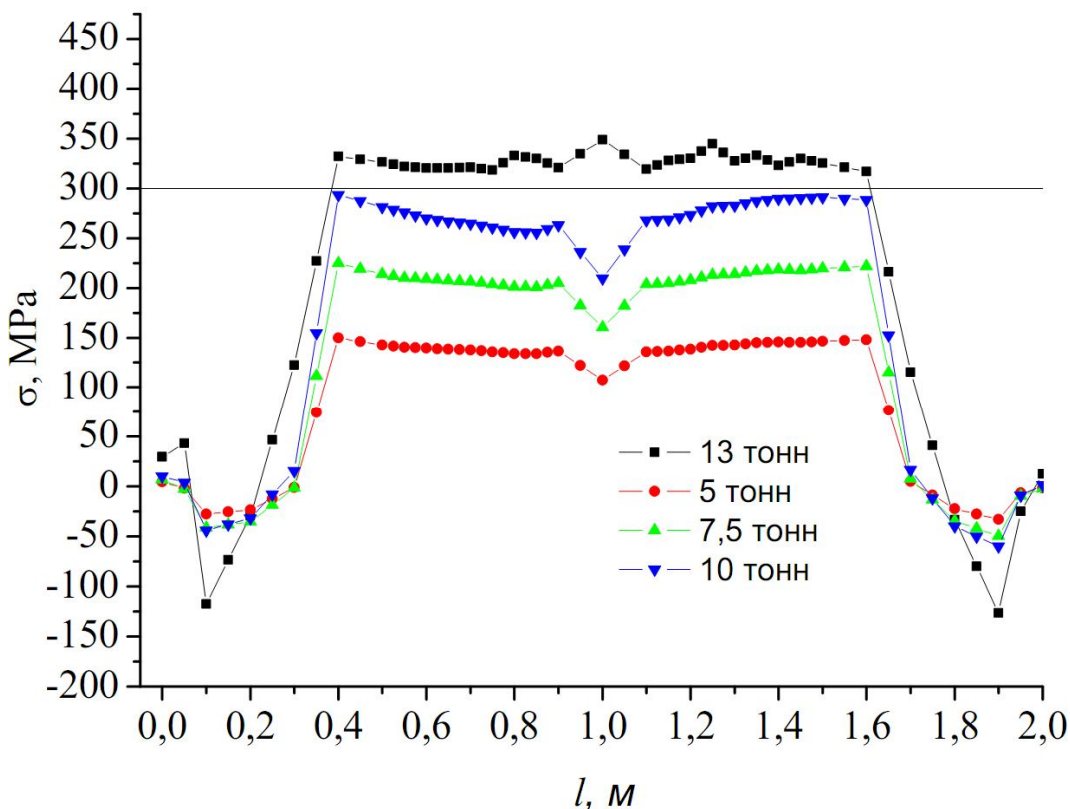


Рисунок 3.3 – Діаграма напружень вздовж нижнього пояса ферми при різних рівнях навантаження

Отримані значення максимальних деформації вздовж горизонтальної осі і максимальних деформації вздовж вертикальної осі нижнього пояса ферми в залежності від рівня навантаження зведено в таблицю 3.2.

Таблиця 3.1 – Результати навантажування і деформування зварної ферми, отримані комп'ютерним моделюючим експериментом

№	Навантаження $P$ , Н	Напруження $\sigma$ , МПа	Деформації видовження, нижнього поясу $\Delta l$ , мм	Деформації прогину нижнього поясу $\delta_{розр}$ , мм
1	2	3	4	5
1	2500	8,03889	0,09367	0,27711



## Продовження таблиці 3.1

1	2	3	4	5
2	5000	15,76287	0,18354	0,54244
3	7500	23,48686	0,27341	0,80776
4	10000	31,21085	0,363277	1,07311
5	12500	38,93484	0,45315	1,33846
6	15000	46,65883	0,54302	1,60381
7	17500	54,38282	0,63289	1,86917
8	20000	62,10680	0,72276	2,13452
9	22500	69,83079	0,81263	2,39988
10	25000	77,55477	0,9025	2,66523
11	27500	85,27875	0,99237	2,93059
12	30000	93,00252	1,08224	3,19594
13	32500	100,72629	1,17212	3,46131
14	35000	108,45008	1,26199	3,72668
15	37500	116,17438	1,35187	3,99206
16	40000	123,8992	1,441755	4,25745
17	42500	131,62421	1,53166	4,52291
18	45000	139,35041	1,62157	4,78840
19	47500	147,08002	1,71149	5,05393
20	50000	154,8101	1,801427	5,31948
21	60000	185,733	2,161206	6,38226
22	70000	216,711	2,52151	7,44649
23	77500	240,0232	2,792497	8,2481
24	80000	247,8627	2,882975	8,5185
25	90000	280,615	3,239206	9,67058
26	100000	300,7583	3,596665	11,1554
27	130000	333,5992	24,9099	58,7436

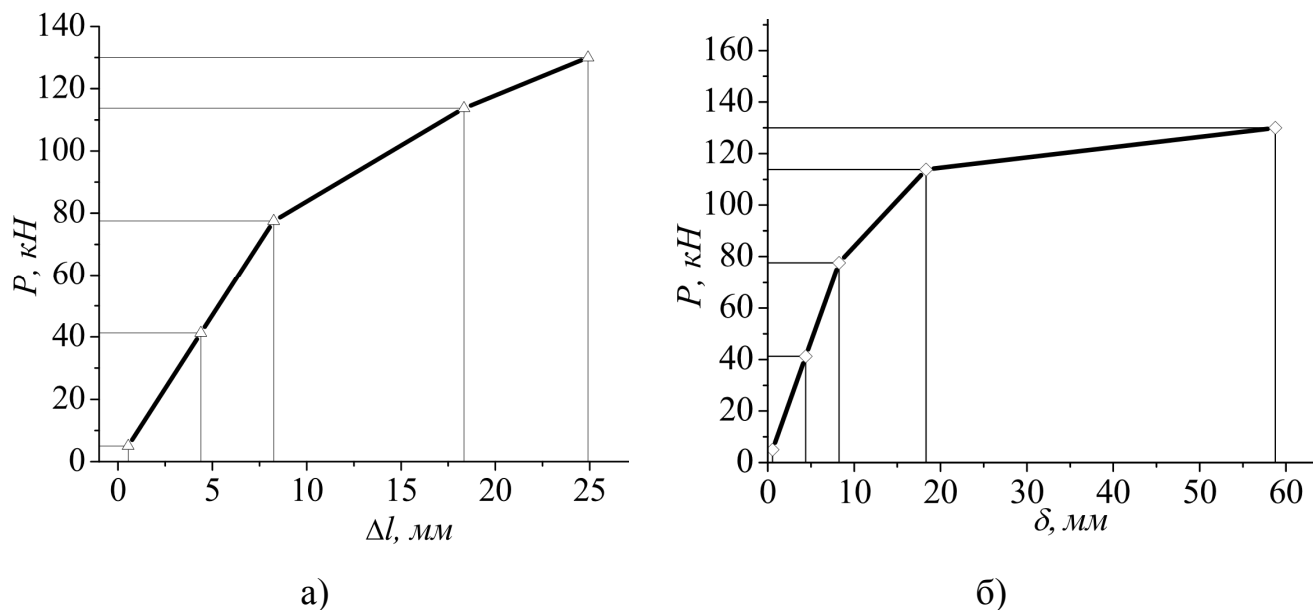


Рисунок 3.4 - Діаграми деформування фізичної моделі зварної ферми, отримані комп'ютерним моделюючим експериментом: а) максимальні деформації видовження нижнього поясу ферми; б) максимальні деформації прогину нижнього поясу ферми.

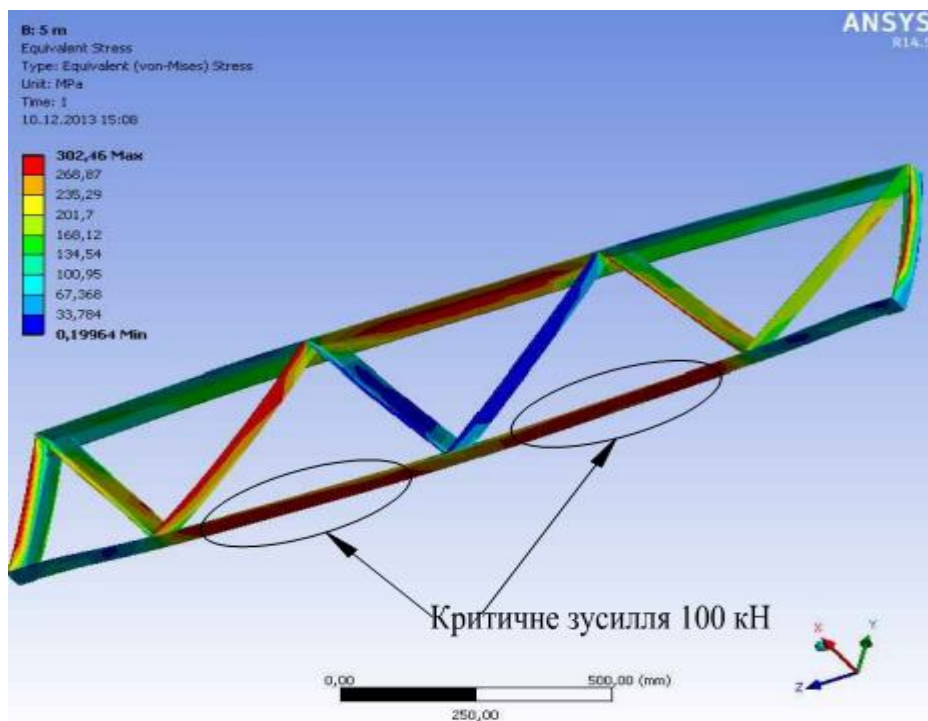


Рисунок 3.5 – Діаграма деформування зварної ферми, отримана комп'ютерним моделюючим експериментом на рівні граничного стану

Таким чином, за результатами комп'ютерного моделюючого експерименту виявлено кількісну та якісну картину поведінки зварної ферми під дією статичних навантажень.

Описаний комп'ютерний моделюючий експеримент виконують при конструюванні зварних будівельних ферм, для оцінювання поведінки ферм при дії на них статичних навантажень та для попередження настання граничного стану в зварних підкрюквяних будівельних фермах під дією відомих зовнішніх силових впливів в існуючій конструкції.

### **3.2 Дослідження поведінки фізичної моделі зварної ферми при статичних навантаженнях натурним силовим експериментом**

Для натурального дослідження використано модель зварної підкрюквяної ферми, виготовленої згідно розробленої конструкції фізичної моделі типової зварної ферми (п. 2.4, рисунок 2.5).

Дослідження поведінки фізичної моделі зварної ферми по запропонованій схемі навантажування (п. 2.5, рисунок 2.6) виконано на випробувальному стенді (п. 2.5, рисунок 2.7).

Натурним силовим експериментом отримано величину видовження нижнього поясу зварної підкрюквяної ферми при дії різних фіксованих значень статичних навантажень. При випробуванні виконано запис вимірюваних величин дослідження, представлених в таблиці 3.2.

Таблиця 3.2 – Результати навантажування і деформування зварної підкрювняної ферми, отримані натурним силовим експериментом

Навантаження $P, \text{H}$	Деформації видовження нижнього поясу $\Delta l, \text{мм}$
2500	0,093
5000	0,183
7500	0,273
10000	0,36
12500	0,441
15000	0,541
17500	0,63
20000	0,715
22500	0,809
25000	0,875
27500	0,969
30000	1,02224
32500	1,10212
35000	1,17199
37500	1,25187
40000	1,39176
42500	1,46166
45000	1,55157
47500	1,64149

Побудовано діаграму деформування досліджуваного зразка зварної підкрювняної будівельної ферми за результатами натурального силового експерименту (рисунок 3.6).

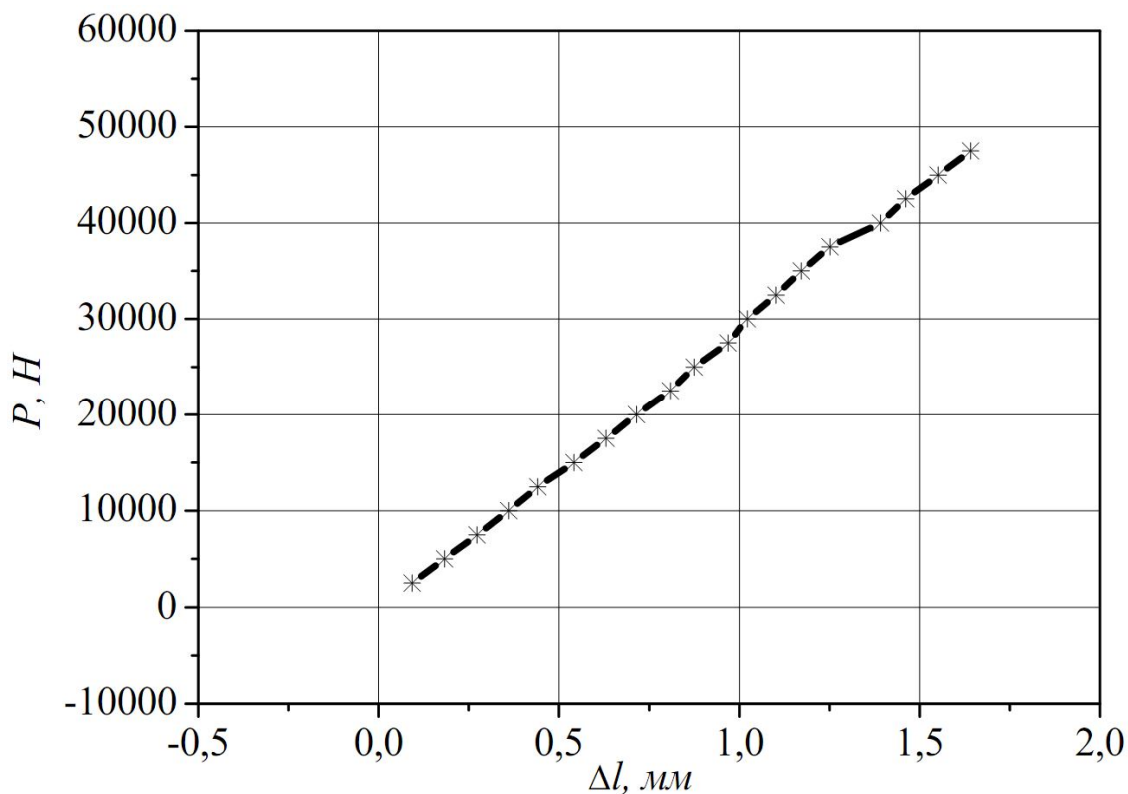


Рисунок 3.6 – Діаграма деформування фізичної моделі зварної ферми за результатами натурального експерименту

### 3.3 Верифікація результатів комп'ютерного моделюючого експерименту

Побудовано суміщену діаграму деформування досліджуваного зразка типової зварної ферми (рис. 3.8) за результатами комп'ютерного моделюючого експерименту і натурального експерименту.

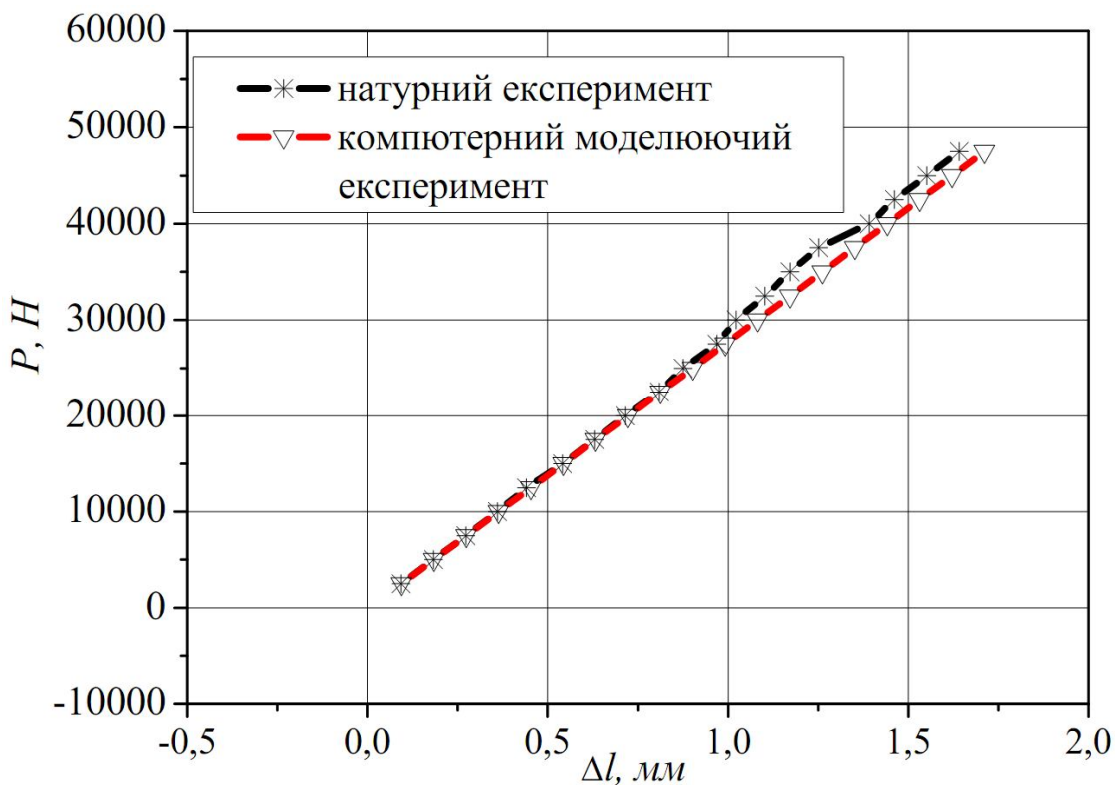


Рисунок 3.7 - Діаграма деформування фізичної моделі зварної ферми за результатами комп'ютерного моделюючого та натурального експериментів

Порівняно і проаналізовано результати натурального і комп'ютерного моделюючого експериментів. Очевидним є факт задовільного узгодження отриманих результатів при низьких рівнях навантаження і незадовільного при високих навантаженнях. Так втрата тримкості ферми за результатами комп'ютерного моделюючого експерименту настала при навантаженні  $P_{max} = 100$  кН, пластичне деформування конструкції наступило при зусиллях 77,5 кН.

Рівень співпадання  $C$  визначено як відношення деформації зразка за результатами комп'ютерного моделюючого експерименту  $\Delta l_{розр}$  до усередненої фактичної деформації  $\Delta l_{експ}$ , отриманої натурним дослідженням п'ятнадцяти зразків ферми (таблиця 3.3)

$$C = \Delta l_{розр} / \Delta l_{експ} .$$

Таблиця 3.3 – Співпадання величини деформації зварної ферми при статичному навантажуванні за результатами комп'ютерного моделюючого  $\Delta l_{розр}$  та натурального  $\Delta l_{експ}$  експериментів

Навантаження $P$ , кН	Показники		
	$\Delta l_{розр}$ , мм	$\Delta l_{експ}$ , мм	$C$
2500	0,09367	0,093	0,99284723
5000	0,18354	0,183	0,99705786
7500	0,27341	0,273	0,99850042
10000	0,363277	0,36	0,99097934
12500	0,45315	0,441	0,97318769
15000	0,54302	0,541	0,99628006
17500	0,63289	0,63	0,99543365
20000	0,72276	0,715	0,98926338
22500	0,81263	0,809	0,99553302
25000	0,9025	0,875	0,96952909
27500	0,99237	0,969	0,97645032
30000	1,08224	1,02224	0,94455943
32500	1,17212	1,10212	0,94027915
35000	1,26199	1,17199	0,92868406
37500	1,35187	1,25187	0,92602839
40000	1,441755	1,39176	0,96532351
42500	1,53166	1,46166	0,95429795
45000	1,62157	1,55157	0,95683196
47500	1,71149	1,64149	0,95909997

Зведений графік співпадання результатів комп'ютерного моделюючого експерименту та натурних досліджень за величиною максимальної деформації (видовження) ферми при однакових навантаженнях подано на рисунку 3.7.

Низький рівень співпадання результатів при високих навантаженнях зумовлюється імовірнісною природою формування пошкоджень під впливом дефектів зварювання, лікваций в матеріалі, температурним впливом в навколошовній ділянці тощо, положенням шва в просторі та цілим рядом інших стохастичних чинників.

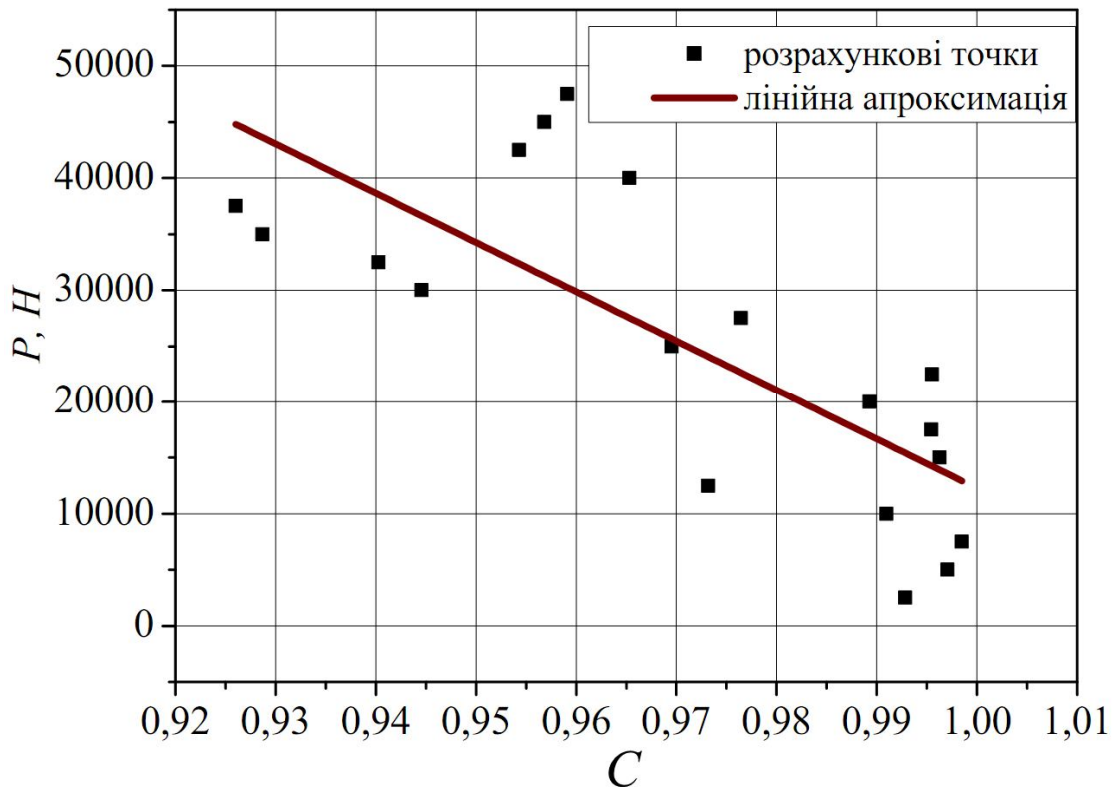


Рисунок 3.8 – Зведений графік співпадання  $C$  деформацій зварної ферми під дією статичного навантаження за результатами комп'ютерного моделюючого та натурального експериментів: 1 – лінійна апроксимація результатів; 2 – розрахункові точки (за таблицею 3.3)



### **3.4 Дослідження поведінки повномасштабної зварної ферми при статичних навантаженнях комп'ютерним моделюючим експериментом**

Для дослідження поведінки повномасштабної зварної ферми при статичних навантаженнях комп'ютерним моделюючим експериментом вибрано конфігурацію представлену в розділі 2 п. 2.2, таблиця 2.1.

Досліджено поведінку зварної підкрюквяної ферми по запропонованій схемі навантажування (п. 2.5, рисунок 2.6) програмним комплексом ANSYS Workbench 14.5.

За результатами виконання комп'ютерного моделюючого експерименту отримано величину поздовжньої деформації і значення прогину нижнього пояса ферми при дії конкретних навантажень як в чисельному (таблиця 3.4), так і в графічному (рисунок 3.12) вигляді, деформації видовження вздовж нижнього пояса ферми при різних рівнях навантаження (рисунок 3.9), деформації прогину вздовж нижнього пояса ферми при різних рівнях навантаження (рисунок 3.10), напруження вздовж нижнього пояса ферми при різних рівнях навантаження (рисунок 3.11), а також зовнішньої конфігурації zdeформованої ферми при навантаженнях на рівні граничного стану (рисунок 3.13).

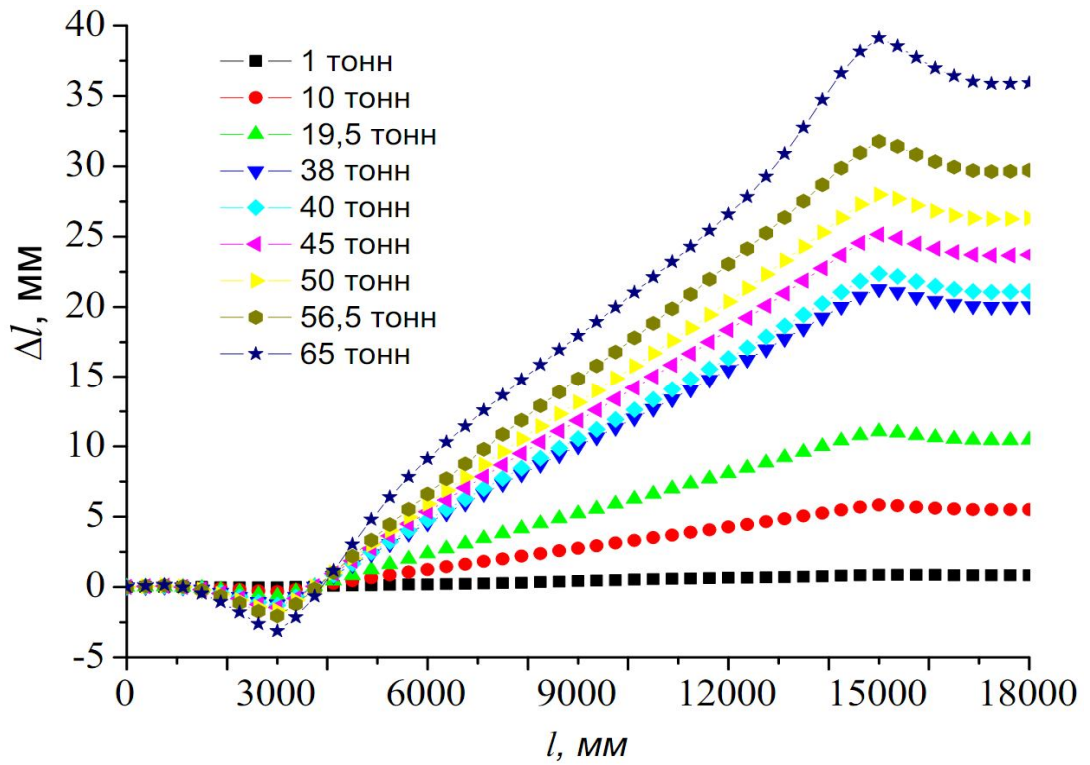


Рисунок 3.9 - Діаграма деформації видовження вздовж нижнього пояса ферми при різних рівнях навантаження

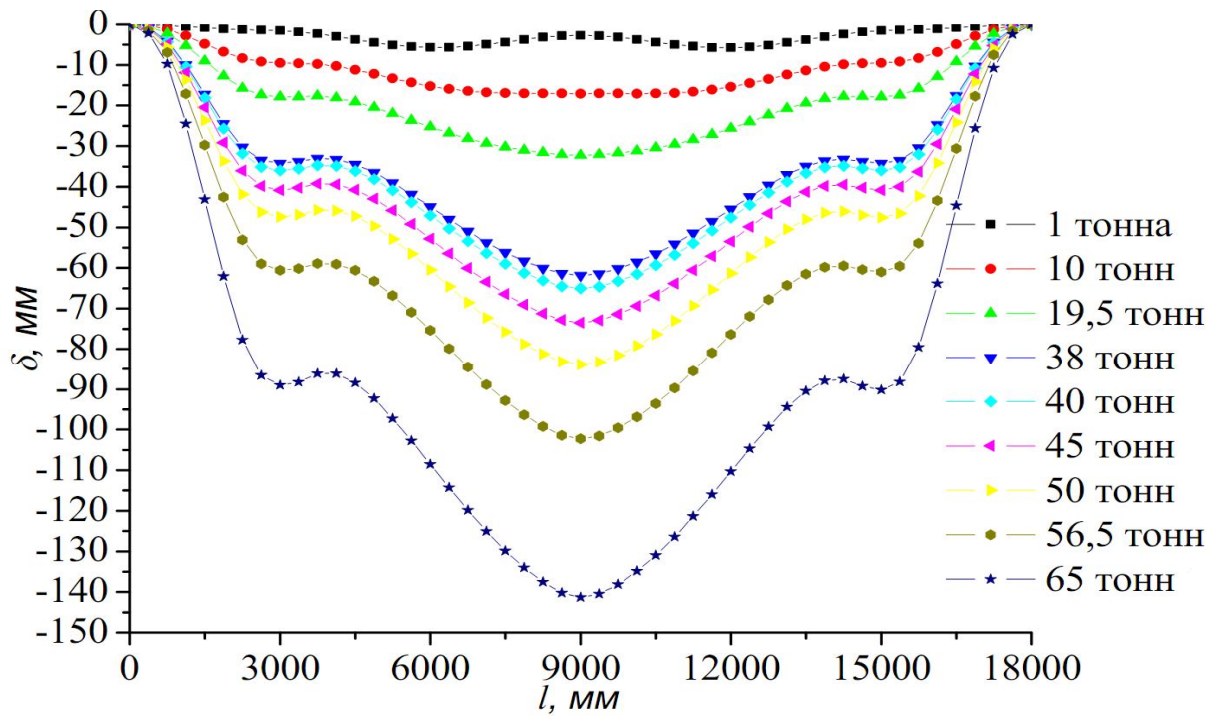


Рисунок 3.10 - Діаграма деформації прогину вздовж нижнього пояса ферми при різних рівнях навантаження

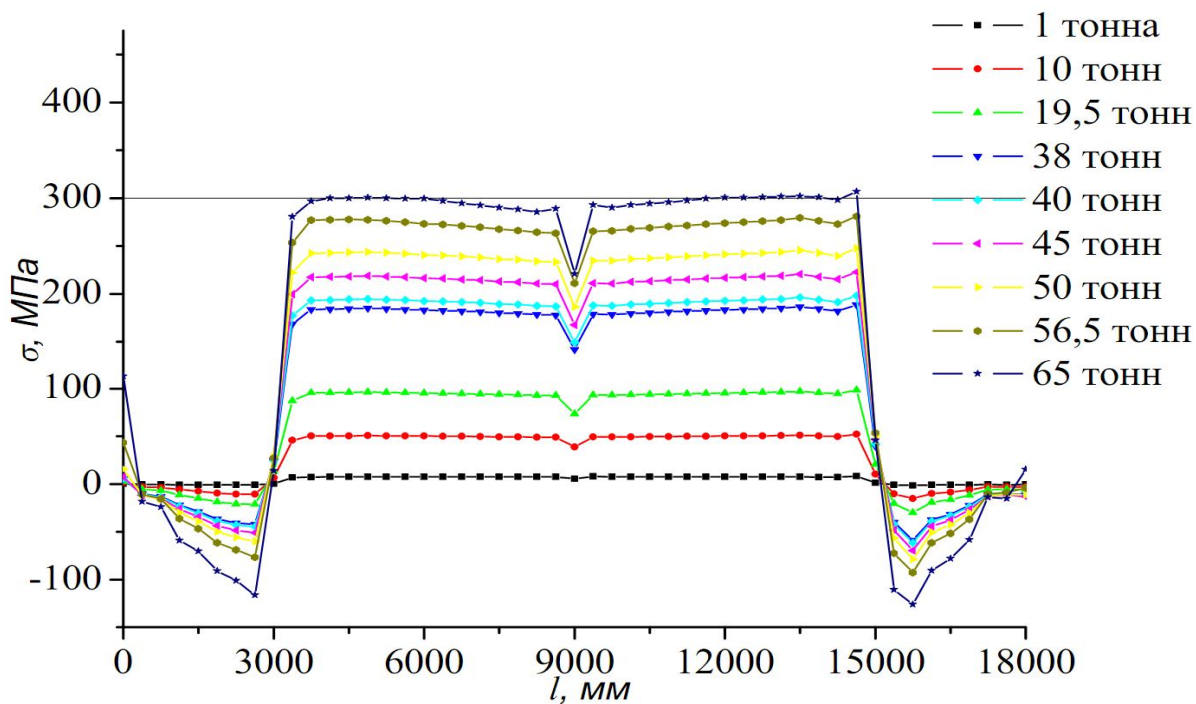


Рисунок 3.11 – Діаграма напружень вздовж нижнього пояса ферми при різних рівнях навантаження

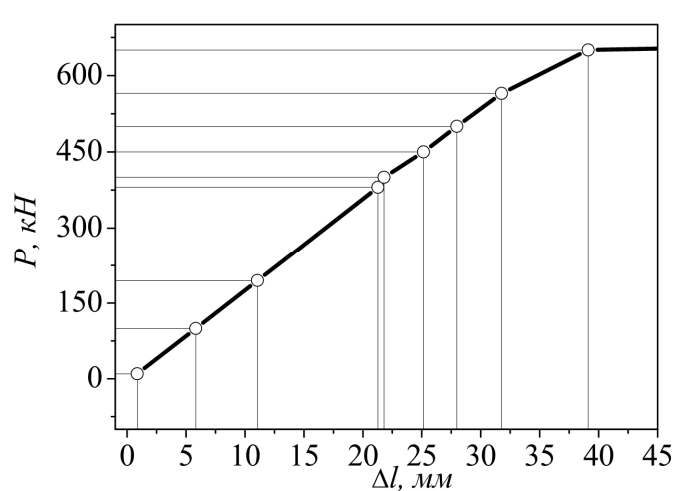
Отримані значення максимальних деформації вздовж горизонтальної осі і максимальних деформації вздовж вертикальної осі нижнього пояса ферми в залежності від рівня навантаження зведено в таблицю 3.4.

Таблиця 3.4 – Результати навантажування і деформування зварної ферми, отримані комп'ютерним моделюючим експериментом

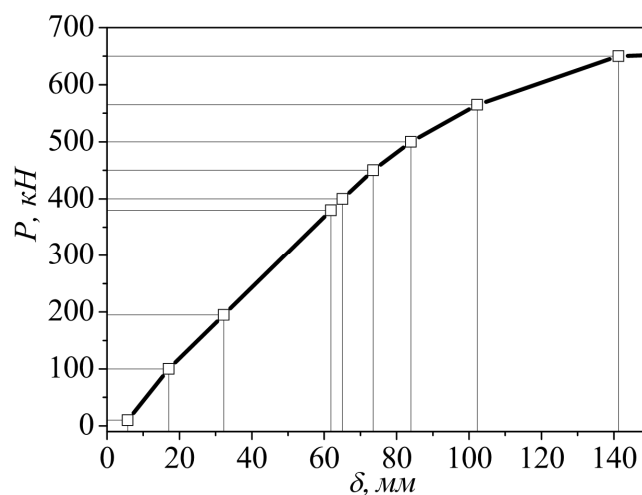
№	Навантаження $P$ , кН	Напруження по нижньому поясі $\sigma$ , МПа	Деформації видовження, нижнього поясу $\Delta l$ , мм	Деформації прогину нижнього поясу $\delta_{розр}$ , мм
1	2	3	4	5
1	10	8,3087	0,86847	5,7275
2	100	52,126	5,8298	17,061

Продовження таблиці 3.4

1	2	3	4	5
3	195	98,4	11,068	32,256
4	380	188,5	21,272	61,849
5	400	198,24	21,805	65,049
6	450	222,7	25,147	73,498
7	500	247,68	27,972	83,923
8	565	281,11	31,759	102,26
9	600	298,09	34,118	115,45
10	650	307,01	39,109	141,3
11	750	344,11	268,63	586,32



а)



б)

Рисунок 3.12 - Діаграми деформування зварної ферми, отримані комп'ютерним моделюючим експериментом: а) максимальні деформації видовження нижнього поясу ферми; б) максимальні деформації прогину нижнього поясу ферми.

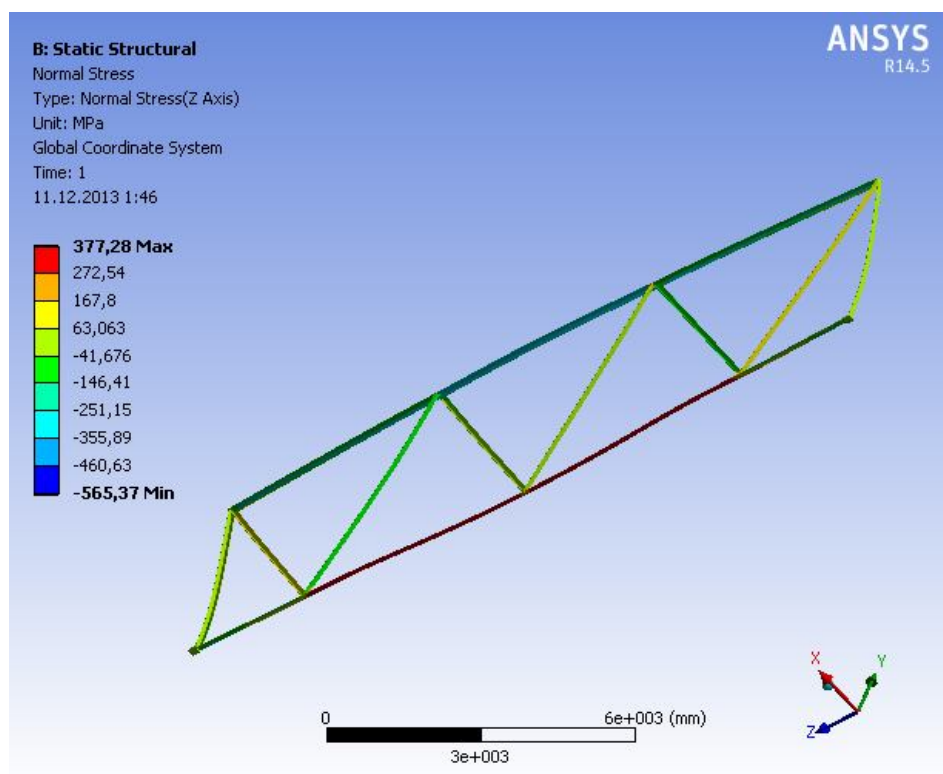


Рисунок 3.13 – Діаграма деформування зварної ферми, отримана комп'ютерним моделюючим експериментом на рівні граничного стану (56,5 т)

Таким чином, за результатами комп'ютерного моделюючого експерименту виявлено кількісну та якісну картину поведінки повномасштабної зварної ферми під дією статичних навантажень різних рівнів.

Втрата тримкості ферми за результатами комп'ютерного моделюючого експерименту настала при навантаженні  $P_{max} = 565$  кН, пластичне деформування конструкції наступило при зусиллях 380 кН.

### 3.5 Визначення констант фізичного моделювання зварної ферми

Фізична модель зварної ферми (див. розділ 2, п. 2.4) розроблена виходячи з умов подібності при фізичному моделюванні об'єктів і явищ (див. розділ 2, п. 2.4). Порівнюючи геометричні розміри натурального зразка і його фізичної моделі та

силові чинники, які зумовлювали їх руйнування, можна знайти константи подібності за співвідношенням (2.1):

– для розмірів конструкцій

$$C_l = l''/l' = 600\text{мм}/18000\text{мм} = 120\text{мм}/3600\text{мм} = 0,0333,$$

$$C_l = l'''/l' = 2000\text{мм}/18000\text{мм} = 400\text{мм}/3600\text{мм} = 0,1111,$$

де  $l''$ ,  $l'''$  і  $l'$  – відповідні лінійні розміри фізичної моделі і натурної конструкції зварної ферми;

У таблиці 3.5 подано константи фізичного моделювання зварної підкрювняної ферми, які визначені за умовами подібності по аналогії за формулою (2.1).

Таблиця 3.5 – константи фізичного моделювання зварної підкрювняної ферми

Матеріал	Розмір	$P_{max}$ кН	$\Delta l_{max}$ мм	$k_l$	$K_p$
Кутник 25×25×4	600×120 [51]	47,5	1,16	0,0333	0,0841
Кутник 40×40×4	2000×400	100	3,59	0,1111	0,177
Кутник 100×100×10	18000×3600	565	34,1	1	1

Отримані константи подібності можуть бути використані для перерахунку величин, отриманих для фізичної моделі розрахунковими шляхом чи

напівнатурним експериментом, до значень, які стосуються повномасштабної конструкції зварної ферми.

### **3.6 Висновки за розділом 3**

1. Розроблено конструкцію фізичної моделі типової зварної підкрювняної ферми, яку досліджено натурним та комп'ютерним моделюючим експериментом з використанням програмного пакету ANSYS Workbench 14.5, що дало можливість виявити неузгодженість результатів за комп'ютерного і натурального експериментів, зумовлену не врахуванням при комп'ютерному моделюванні комплексного впливу багатьох стохастичних чинників.

2. Досліджено фізичну модель типової зварної ферми натурним експериментом під дією статичних навантажень згідно розробленої схеми навантаження, що дало можливість виявити закономірності розподілу її фактичного залишкового ресурсу і використати їх для верифікації результатів дослідження.

3. Визначено константи подібності для параметрів моделі при фізичному моделюванні типової зварної ферми, що дозволяє ідентифікувати результати, отримані на фізичній моделі, для повномасштабних ферм.

## РОЗДІЛ 4

### ОБГРУНТУВАННЯ ЕКОНОМІЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ

#### 4.1 Загальні відомості. Суть економічного ефекту

Задачею техніко-економічного обґрунтування дипломної роботи є визначення величини економічного ефекту від використання основних і додаткових результатів, отриманих при вирішенні поставленої технічної задачі в даній дипломній роботі.

Економічний ефект - це результативність економічної діяльності, що характеризується відношенням отриманого економічного ефекту(результату) до витрат ресурсів, які зумовили отримання цього результату [68].

Щорічне збільшення обсягів застосування металу в будівництві і, зокрема, на будівельні металеві конструкції, вимагає дотримання режиму жорсткої економії, істотного скорочення питомої (на одиницю виробничої площі, одиницю продукції тощо) витрати металу, інакше кажучи, підвищення раціональності його використання.

Науково-технічний прогрес у галузі будівництва тісно пов'язаний з проблемами розвитку і вдосконалення сталевих металевих конструкцій. При правильному використанні досягнень можливо знизити матеріаломісткість будівельних металевих конструкцій приблизно на 10 - 20% і одночасно підвищити продуктивність праці більш ніж у два рази при їх виготовленні і на 70% при монтажі [69,70]. За рахунок цього продуктивність праці на збірці і на монтажі конструкцій підвищиться, відповідно тривалість монтажу скоротиться, а також знизиться вартість проектування.

Для вирішення і досягнення вище сказаного потрібно здійснити порівняння варіантів і вибір найбільш оптимального по заданому економічному критерію. Для металевих будівельних конструкцій розглядаються наступні критерії:

- критерії металоємності;
- критерії собівартості.



Металоємність конструкцій - показник витрати металу на одиницю продукції.

Собівартість продукції - це витрати на виробництво і реалізацію продукції, виражені в грошовій формі.

У собівартість виготовлення входять вартість основних і допоміжних матеріалів, а також позавиробничі витрати. Вона має таку структуру:

- 1) основні й допоміжні матеріали (65...70 %);
- 2) заробітна плата робітникам основних виробничих цехів (6...8 %);
- 3) цехові витрати (4...6 %);
- 4) позавиробничі витрати (4...10 %).

Чим менша витрата металу тим менша собівартість конструкції, але інколи ця залежність не є правильною, тому що використання критерію металоємності не повинно викликати втрати надійності конструкціями.

Для цього визначають пристосованість конструкції до досягнення оптимальних витрат ресурсів при виробництві й експлуатації для заданих показників надійності.

## **4.2 Витрати на виготовлення нової конструкції зварної підкроквяної ферми**

При втраті стійкості зварною підкроквяною фермою внаслідок дії силових та температурних факторів впливу виникає необхідність у її заміні. Для заміни необхідно виконати демонтаж конструкції покриття, що втратила експлуатаційні властивості, і встановити на її місце нову конструкцію.

Для виготовлення нової конструкції розмірами 18000x3600 мм з вальцьованого кутникового профілю 100x100x10 мм та сталі Ст3 потрібні наступні елементи:

- два пояси (верхній та нижній) довжиною по  $l_1 = 17980$  мм

- дві стійки (ліва та права) довжиною по  $l_2 = 3600$  мм;

- шість розкосів довжиною по  $l_3 = 4670$  мм.

Сумарно довжина елементів дорівнює:

$$L = 2 \cdot l_1 + 2 \cdot l_2 + 6 \cdot l_3 = 2 \cdot 17980 + 2 \cdot 3600 + 6 \cdot 4670 = 71180 \text{ мм.}$$

Вартість елементів складе:

$$C_A = L \cdot C_{e.2} = 71,180 \cdot 123,47 = 8789 \text{ грн,}$$

Вартість порізки за одне різання елемента 9 грн. Для даної конструкції необхідно 10 конструктивних елементів, відповідно:

$$C_{b.1} = C_k \cdot n = 9 \cdot 10 = 90 \text{ грн,}$$

де  $C_k$  - вартість за одне різання елемента,  $C_{k.1} = 9$  грн [71];

$n$  - к-сть конструктивних елементів зварної підкрюв'яної ферми,  $n = 10$  шт.

Зварювання елементів будівельної ферми виконано напівавтоматичним дуговим зварюванням постійним струмом прямої полярності дротовим електродом діаметром 1,2 мм Св-08Г2С однієї поставочної партії в середовищі  $CO_2$  з дотриманням стандартизованих технологій. Робочий струм зварювання становив 110 А. Вартість 1 см зварного шва 7,55 грн. Для з'єднання елементів ферми між собою необхідно виконати 1530 см зварного шва. Вартість зварювальних робіт для всієї конструкції:

$$C_{z.1} = l_{z.1} \cdot C_c = 1530 \cdot 7,55 = 11552 \text{ грн,}$$

де  $l_{z,1}$  - довжина зварного шва для з'єднання конструктивних елементів ферми,  $l_{z,1} = 1530$  см;

$C_c$  - вартість 1 см зварного шва,  $C_c = 7,55$  грн [72].

Сумарно вартість на виготовлення зварної будівельної ферми складе:

$$C_0 = C_A + C_{b,1} + C_{z,1} = 8789 + 90 + 11552 = 20431 \text{ грн.}$$

Зруйновану ферму можна утилізувати (здати на металобрухт), в результаті чого вартість ферми зменшується.

Вага всієї зварної підкроквяної ферми:

$$M = L_1 \cdot m = 71,180 \cdot 15,10 = 1075 \text{ кг.},$$

де  $m$  - вага 1 м.п. кутникового профілю 100x100x10 мм,  $m = 15,10$  кг.

Дохід від утилізації складе:

$$C_u = M \cdot C_m = 1,075 \cdot 2400 = 2580 \text{ грн,}$$

де  $C_m$  - вартість однієї тонни металобрухту,  $C_m = 2400$  грн [71].

Врахувавши дохід від утилізації зруйнованої зварної підкроквяної ферми, вартість виготовлення складе:

$$C_1 = C_0 - C_u = 20431 - 2580 = 17851 \text{ грн.}$$

Розглянута зварна підкроквяна ферма буде мати характеристики наведені в таблиці 4.1.

Таблиця 4.1 – Характеристики зварної підкрюквяної ферми з розмірами 18000x3600 мм з вальцьованого кутникового профілю 100x100x10 мм

Складові порівняння	Ферма з розмірами 18000x3600 мм з вальцьованого кутникового профілю 100x100x10 мм	Одиниці вимірювань
1. Витрати металу	0,137	м <sup>3</sup>
2. Вага	1075	кг
3. Вартість	17851	грн
4. Тримкість	56,5	т

Розглянута ферма не задовольняє потрібні показники тримкості конструкції. Оскільки, за аналізом фермових конструкцій, найбільші напруження виникають у нижньому поясі ферми, то саме ці місця варто зміцнювати.

Запропоновано зварну підкрюквяну ферму розмірами 18000x3600 мм в якій верхній пояс, стояки і розкоси виготовлені з вальцьованого кутникового профілю 100x100x10 мм сталі Ст3, а нижній пояс замінено на профіль із більшою товщиною стінки – 100x100x12 мм. Щоб виготовити конструкцію такої конфігурації необхідні наступні конструктивні елементи:

- верхній пояс довжиною  $l_{1,1} = 17980$  мм з кутникового профілю 100x100x10 мм;
- нижній пояс довжиною  $l_{1,2} = 17980$  мм, з кутникового профілю 100x100x12 мм;
- дві стійки (ліва та права) довжиною по  $l_2 = 3600$  мм;
- шість розкосів довжиною по  $l_3 = 4670$  мм.

Сумарно довжина елементів з профілю 100x100x10 мм дорівнює:

$$L_1 = l_{1,1} + 2 \cdot l_2 + 6 \cdot l_3 = 17980 + 2 \cdot 3600 + 6 \cdot 4670 = 53200 \text{ мм.}$$

Вартість елементів з профілю 100x100x10 мм складе:

$$C_{a.1} = L_1 \cdot C_{e.1} = 53,200 \cdot 123,47 = 6569 \text{ грн.},$$

де  $C_{e.1}$  - вартість 1 м.п. кутникового профілю 100x100x10 мм,  $C_{e.1} = 123,47$  грн. [71].

Вартість елементів з профілю 100x100x12 мм складе:

$$C_{a.2} = l_{1.2} \cdot C_{e.2} = 17,980 \cdot 140,17 = 2520 \text{ грн.},$$

де  $C_{e.2}$  - вартість 1 м.п. кутникового профілю 100x100x12 мм,  $C_{e.2} = 140,17$  грн. [71].

Сумарно вартість профілю складе:

$$C_A = C_{a.1} + C_{a.2} = 6569 + 2520 = 9089 \text{ грн.},$$

Вартість порізки металевих елементів рівна:

$$C_{b.1} = C_k \cdot n = 9 \cdot 10 = 90 \text{ грн.},$$

де  $C_k$  - вартість за одне різання елемента,  $C_{k.1} = 9$  грн. [71];

$n$  - к-сть конструктивних елементів зварної підкроквяної ферми,  $n = 10$  шт.

Вартість зварювальних робіт для всієї будівельної ферми складе:

$$C_{z.1} = l_{z.1} \cdot C_c = 1530 \cdot 7,55 = 11552 \text{ грн.},$$

де  $l_{z.1}$  - довжина зварного шва для з'єднання конструктивних елементів ферми,  $l_{z.1} = 1530$  см;

$C_c$  - вартість 1 см зварного шва,  $C_c = 7,55$  грн. [72].

Сумарно вартість на виготовлення зварної підкрювняної ферми складе:

$$C_0 = C_A + C_{b.1} + C_{z.1} = 9089 + 90 + 11552 = 20731 \text{ грн.}$$

Врахувавши дохід від утилізації зруйнованої зварної підкрювняної ферми, вартість виготовлення складе:

$$C_1 = C_0 - C_u = 20731 - 2580 = 18151 \text{ грн.}$$

Розглянута зварна підкрювняна ферма буде мати характеристики наведені в таблиці 4.2.

Таблиця 4.2 – Характеристики зварної підкрювняної ферми з розмірами 18000x3600 мм з підсиленням нижнім поясом

Складові порівняння	Ферма з нижнім поясом із зміненою товщиною стінки профілю	Одиниці вимірювань
1. Витрати металу	0,143	м <sup>3</sup>
2. Вага	1125	кг
3. Вартість	18151	грн
4. Тримкість	64,4	т

### 4.3 Економічна ефективності від використання результатів дипломної роботи

Економічна ефективність від використання результатів НДР полягає в тому, що дає можливість виявити міцнісні характеристики будівельних конструкцій в залежності від їх конфігурації. Таким чином створюється можливість вибрати саме таку фермову конструкцію, яка буде оптимально поєднувати характеристики міцності і довговічності.

Заслуговує уваги запропонована в роботі модифікація зварної підкрювняної ферми із збільшеною товщиною стінки нижнього поясу, яку можна застосовувати для підвищення тримкої здатності будівельних ферм.

У таблиці 4.3 порівняння розрахунків отриманих у пункті 4.2.

Таблиця 4.3 – Порівняння несучої здатності і матеріаломісткості металевих ферм

Ферма розмірами 18000×3600 мм		Вартість грн	Матеріало місткість кг	Несуча здатність т	Різниця матеріало місткості %	Різниця тривкості %
1	Базовий варіант: кутник 100×100×10 мм	17851	1075	56,5		
2	Кутник 100×100×10 мм – верхній пояс, стояки і розкоси; кутник 100×100×12 мм – нижній пояс	18151	1125	64,41	+0,05	+12

Якщо врахувати запас міцності металевої підкроквяної ферми з підсиленою товщиною стінки нижнього поясу, то можна спрогнозувати, що таку ферму, за період експлуатації будівлі (термін експлуатації промислової будівлі 100 років), при режимах 7к-8к з середньо або сильно агресивним середовищем, потрібно буде замінити близько 8 разів, а не підсилену (базову) ферму – 10 разів (таблиця 4.4).

Таблиця 4.4 – Нормативний термін експлуатації металевих конструкцій

Конструкції та їх елементи	Типи будинків	Неагресивне і слабо агресивне середовище	Середньо агресивне середовище	Сильно агресивне середовище
		Років		
Кроквяні і підкроквяні ферми	Безкрановий режим	18	15	12
	Легкий і середній крановий режим (1к-6к)	15	12	10
	Важкий і дуже важкий крановий режим (7к-8к)	12	10	10

Таким чином, вартість десяти не підсилених ферм за термін експлуатації промислової будівлі за 100 років становить:



$$C_0 = 10 \cdot 17851 = 178510 \text{ грн,}$$

Вартість вісьмох підсилених ферм становить:

$$C_1 = 8 \cdot 18151 = 145208 \text{ грн.}$$

Порівнянням результатів витрат є загальний економічний ефект:

$$E = C_0 - C_1 = 178510 - 145208 = 33302 \text{ грн.}$$

Економічна ефективність при використанні не підсиленої зварної будівельної ферми визнається за формулою:

$$E_{\phi.1} = \frac{E}{C_0} \cdot 100\% = \frac{33302}{178510} \cdot 100\% = 18,7 \%$$

Економічна ефективність при використанні підсиленої зварної будівельної ферми визнається за формулою:

$$E_{\phi.2} = \frac{E}{C_0} \cdot 100\% = \frac{33302}{145208} \cdot 100\% = 23 \%$$

Отже,

$$E_{\phi.1} = 18,7 \% < E_{\phi.2} = 23\% .$$

#### 4.4 Висновки за розділом 4

Розрахунки економічної ефективності про використання металевих конструкцій свідчать про актуальність і доцільність досліджень напружено-деформованого стану металевих конструкцій, розроблення нових конструкцій з високими показниками надійності, методів зниження металовитрат для потреб сучасного житла. Постійне збільшення обсягів застосування металу в будівництві вимагає підвищення раціональності його використання.

Розглянуто варіанти економічної ефективності зварної підкроквяної ферми і запропоновано оптимальний варіант конструкції. Надійнішою буде зварна підкроквяна ферма в якій збільшена товщина стінки нижнього поясу. Оскільки застосування нової конфігурації нижнього поясу збільшує несучу здатність та термін експлуатації ферми. У фермі звичайної конструкції ці властивості є меншими, руйнування настає швидше.

## РОЗДІЛ 5

### СПЕЦІАЛЬНА ЧАСТИНА

#### 5.1 Порівняння зварних підкроквяних ферм

Для порівняння розглядається зварна будівельна ферма розмірами 18000x3600 мм з вальцьованого кутникового профілю 100x100x12 мм та сталі Ст3.

Для Ферми розмірами 18000x3600 мм з вальцьованого кутникового профілю 100x100x12 мм та сталі Ст3 потрібні наступні елементи:

- два пояси (верхній та нижній) довжиною по  $l_1 = 17980$  мм
- дві стійки (ліва та права) довжиною по  $l_2 = 3600$  мм;
- шість розкосів довжиною по  $l_3 = 4670$  мм.

Сумарно довжина елементів дорівнює:

$$L = 2 \cdot l_1 + 2 \cdot l_2 + 6 \cdot l_3 = 2 \cdot 17980 + 2 \cdot 3600 + 6 \cdot 4670 = 71180 \text{ мм.}$$

Вартість елементів складе:

$$C_A = L \cdot C_{e2} = 71,180 \cdot 140,17 = 9977 \text{ грн,}$$

де  $C_A$  - вартість 1 м.п. кутникового профілю 100x100x12 мм,  $C_{e2} = 140,17$  грн [71].

Вартість порізки металевих елементів рівна:

$$C_{b.1} = C_k \cdot n = 9 \cdot 10 = 90 \text{ грн,}$$

де  $C_k$  - вартість за одне різання елемента,  $C_{k.1} = 9$  грн [71];

$n$  - к-сть конструктивних елементів зварної підкроквяної ферми,  $n = 10$  шт.

Вартість зварювальних робіт для всієї будівельної ферми складе:

$$C_{z.1} = l_{z.1} \cdot C_c = 1530 \cdot 7,55 = 11552 \text{ грн},$$

де  $l_{z.1}$  - довжина зварного шва для з'єднання конструктивних елементів ферми,  $l_{z.1} = 1530$  см;

$C_c$  - вартість 1 см зварного шва,  $C_c = 7,55$  грн [72].

Сумарно вартість на виготовлення зварної підкрювняної ферми складе:

$$C_0 = C_A + C_{b.1} + C_{z.1} = 9977 + 90 + 11552 = 30798 \text{ грн.}$$

Врахувавши дохід від утилізації зруйнованої зварної підкрювняної ферми, вартість виготовлення складе:

$$C_1 = C_0 - C_u = 30798 - 2580 = 28218 \text{ грн.}$$

Розглянута зварна підкрювняна ферма буде мати характеристики наведені в таблиці 5.1.

Таблиця 5.1 – Характеристики зварної підкрюквяної ферми з розмірами 18000x3600 мм з вальцьованого кутникового профілю 100x100x12 мм

Складові порівняння	Ферма з розмірами 18000x3600 мм з вальцьованого кутникового профілю 100x100x12 мм	Одиниці вимірювань
1. Витрати металу	0,137	м <sup>3</sup>
2. Вага	1274	кг
3. Вартість	28218	грн
4. Тримкість	64,41	т

Таблиця 5.2 – Порівняння несучої здатності і матеріаломісткості порівнюваних металевих ферм

Ферма розмірами 18000×3600 мм	Вартість грн	Матеріало місткість кг	Несуча здатність т	Різниця матеріало місткості %	Різниця тривкості %
1 Кутник 100×100×12 мм	28218	1274	67,8		
2 Кутник 100×100×10 мм – верхній пояс, стояки і розкоси; кутник 100×100×12 мм – нижній пояс	18151	1125	64,4	-36	-0,05

## 5.2 Розрахунок економічного ефекту

Згідно з таблицею 4.4 (розділ 4, п. 4.3) термін експлуатації підкрюквяних ферм при режимах 7к-8к з середньо або сильно агресивним середовищем – 10 років.

Таким чином, вартість десяти ферм з кутника 100×100×12 мм за термін експлуатації промислової будівлі (100 років) становить:

$$C_0 = 10 \cdot 28218 = 282180 \text{ грн,}$$

Вартість десяти ферм з підсиленою товщиною стінки нижнього поясу становить:

$$C_1 = 10 \cdot 18151 = 181510 \text{ грн.}$$

Порівнянням результатів витрат є загальний економічний ефект:

$$E = C_0 - C_1 = 282180 - 181510 = 100670 \text{ грн.}$$

Економічна ефективність при використанні не підсиленої зварної будівельної ферми визнається за формулою:

$$E_{\phi.1} = \frac{E}{C_0} \cdot 100\% = \frac{100670}{282180} \cdot 100\% = 36\%.$$

Економічна ефективність при використанні підсиленої зварної будівельної ферми визнається за формулою:

$$E_{\phi.2} = \frac{E}{C_0} \cdot 100\% = \frac{100670}{181510} \cdot 100\% = 55\%.$$

Отже,

$$E_{\phi.1} = 36\% < E_{\phi.2} = 55\% .$$

### 5.3 Висновки за розділом 5

Виконано порівняння двох ферм із різними конфігураціями. Більш прийнятним є варіант ферми зі збільшеною товщиною стінки нижнього поясу, оскільки витрати на експлуатацію є меншими, що підтверджено розрахунками.

Ферма з нижнім поясом із зміненою товщиною стінки профілю є надійною в експлуатації, довговічною, із невисокою металомісткістю.

## РОЗДІЛ 6

### ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

#### 6.1 Охорона праці

##### 6.1.1 Закон України "Про охорону праці"

В Основному Законі — Конституції України (ст. 43) зазначено: "Кожен має право на належні, безпечні й здорові умови праці, на заробітну плату, не нижчу від визначеної законом"; "Використання праці жінок і неповнолітніх на небезпечних для їхнього здоров'я роботах забороняється". "Кожен, хто працює, має право на відпочинок" (ст. 45).

Зазначені права реалізуються шляхом виконання вимог, викладених у Кодексі законів про працю, а також Законах: "Про охорону праці", "Про загальнообов'язкове державне соціальне страхування від нещасного випадку на виробництві та професійного захворювання, які спричинили втрату працездатності", "Про охорону здоров'я", "Про пожежну безпеку", "Про забезпечення санітарного та епідеміологічного благополуччя населення", "Про використання ядерної енергії та радіаційний захист", "Про охорону навколишнього природного середовища", "Про колективні договори і угоди", "Про дорожній рух", "Про поводження з радіоактивними відходами". Положення цих Законів конкретизуються у відповідних правилах, стандартах, нормах, інструкціях та інших нормативно-правових актах, перелік яких наведений в "Державному реєстрі нормативних актів з охорони праці".

Закон "Про охорону праці" поширюється на всіх юридичних та фізичних осіб, які відповідно до законодавства використовують найману працю, та на всіх працюючих.

Таким чином, у Законі "Про охорону праці" реалізована концепція управління охороною праці в державі, яка полягає в пріоритеті життя і здоров'я працівників і запровадженні плати за ризик (шкідливі й важкі умови праці, штрафні санкції) — як важелі здійснення державної політики. Встановлений



принцип добровільності прийняття ризику, тобто ніхто не має права наражати людину на ризик без її згоди. Одночасно встановлений принцип правового регулювання ризику шляхом створення нормативно-правових актів, які визначають систему заборон і норм попередження нещасних випадків і профзахворювань. Розроблений порядок доступності й відкритості інформації з питань охорони праці.

У Законі передбачені механізми запобігання шкоди людині й суспільству, відшкодування завданого збитку, закладені правові норми управління охороною праці, котрі забезпечують організаційно-господарську та наглядову діяльність шляхом визначення повноважень, прав і відповідальності господарських органів, а також органів місцевого самоврядування і виконавчих органів влади.

Однак останнім часом вимоги щодо охорони праці часто недотримуються підприємствами різних організаційно-правових форм, що використовують працю найманих робітників. Зумовлюється це насамперед важким економічним становищем держави, а також іншими об'єктивними і суб'єктивними причинами, зокрема: спрацюванням основних виробничих фондів; відсутністю зацікавленості власників у поліпшенні умов і безпеки праці; некомпетентністю більшості персоналу в питаннях охорони праці; низькою трудовою і технологічною дисципліною; недостатньою роллю органів нагляду і контролю за дотриманням законодавства про працю й охорону праці.

### **6.1.2 Правила охорони праці під час зварювання металів**

У дипломній роботі дослідний зразок фізичної моделі виготовлено зі стандартного вальцьованого кутникового профілю 40x40 мм з товщиною стінки 4 мм. Матеріал зразків – сталь звичайної якості ВСт3пс. Всі зварні шви на зразках виконано напівавтоматичним дуговим зварюванням постійним струмом прямої полярності дротовим електродом діаметром 1,2 мм Св-08Г2С однієї поставочної

партії в середовищі CO<sub>2</sub> з дотриманням стандартизованих технологій. Робочий струм зварювання становив 110 А.

Для створення безпечних умов різних видів зварювальних процесів слід пам'ятати, що всі проводи і струмоведучі частини установок повинні мати добру ізоляцію, їх корпуси, зварювальні кожухи вимикачів — надійно заземлені.

Безпека праці під час проведення газо- і електрозварювальних робіт полягає в усуненні причин виникнення професійних захворювань від дії на зварювальників променевої енергії, зварювального пилу і газів (окислу вуглецю, окислів азоту і марганцю, озону), а також опіків і електротравм.

Ультрафіолетові промені викликають опіки слизової оболонки очей і шкіри, розщеплюють кисень з утворенням озону, тому зварювальник повинен мати щитки і шоломи з захисним склом, й брезентові рукавиці, захисні окуляри, спецодяг і спецвзуття. Видимі промені під час зварювання також є дуже небезпечними для органів зору, оскільки засліплюють очі, в результаті чого можуть викликати важке ураження сітківки і помітне зниження зору. Теплова дія під час зварювання також сприяє розвитку втоми й може призвести до перегрівання організму працівників.

Робоче місце зварювальника має бути огорожене ширмами або знаходитися в спеціальних кабінах, забезпечених приточно-витяжною вентиляцією. Пил, частинки якого менші за 1 мкм, що містяться в зоні дихання зварювальника в границях 25-42 мг/м (без урахування озону), необхідно видаляти за допомогою місцевої вентиляції.

Особливо уважними слід бути при експлуатації ацетиленових генераторів, кисневих балонів, іншої газозварювальної апаратури. Недопустимим є витік газів із генераторів, трубопроводів, балонів, кидання балонів та ін.

Під час виконання зварювальних робіт на необладнаних робочих місцях завжди існує потенційна небезпека пожежі і ризик отримання травм, тому ставляться підвищені вимоги щодо безпеки, основними з яких є такі:

- роботи з електродугового та плазмового зварювання в будівлях виконують у спеціально для цього відведених, обладнаних вентиляційними установками приміщеннях, площа яких задовольняє вимоги СНП;
- під час робіт на електрозварювальних установках забезпечують вимоги електробезпеки відповідно до Правил безпечної експлуатації електроустановок споживачів [73];
- електрозварювальники повинні мати кваліфікаційну групу з техніки безпеки не нижче II;
- зварювальні установки, допоміжні прилади і апарати до них, які встановлюють на відкритому повітрі, мають бути у брызкопилозахисному виконанні, а над ними необхідно спорудити навіси з негорючих матеріалів, за відсутності навісів роботи зі зварювання під час дощу або снігопаду повинні бути припинені;
- зварювання в закритих посудинах виконують не менше двох осіб, одна особа знаходиться при цьому зовні зварюваної посудини для контролю за безпечним виконанням робіт зварювальником. Електрозварювальна установка має бути обладнана пристроєм автоматичного відключення напруги холостого ходу або обмеження її до 12 В з витримкою часу не більше 0,5 с;
- для захисту обличчя і очей під час роботи зварювальнику належить застосовувати щиток або маску. Скло для щитка або маски необхідно підбирати відповідно до стандарту залежно від режиму зварювання; користуватися спецодягом;
- повинні бути плакати, які попереджають про небезпеку опромінювання очей і шкіри працівників. Вивішують їх у майстернях, кабінах, на робочих місцях зварювання;
- рециркуляція повітря в приміщеннях для зварювання металів не дозволяється.

### **6.1.3 Висновки за пунктом 6.1**

У розділі розглянуто Закон "Про охорону праці". Його суть полягає в охороні праці у державі. Система охорони праці поєднує сукупність правових, соціально-економічних, організаційно-технічних, санітарно-гігієнічних і лікувально-профілактичних заходів і засобів, що спрямовані на збереження здоров'я і працездатності людини в процесі праці.

Відзначено основні правила охорони праці під час зварювання металів. Ці Правила поширюються на всі суб'єкти господарювання незалежно від форм власності та організаційно-правових форм, діяльність яких пов'язана з обробленням металів та нанесенням покриттів на метали, а також механічним обробленням металевих виробів.

## **6.2 Безпека в надзвичайних ситуаціях**

### **6.2.1 Суть стійкості будівель та споруд у разі виникнення надзвичайних ситуацій**

Найбільш типовими техногенними аваріями і катастрофами є вибухи, пожежі, затоплення, радіаційне забруднення, хімічне і біологічне зараження та інше. На території України можливе виникнення практичного всього спектру небезпечних природних явищ і процесів геологічного походження. До них відносяться: великі повені, катастрофічні затоплення, землетруси та зсувні процеси, лісові та польові пожежі, великі снігопади та ожеледі, урагани, смерчі та шквальні вітри, тощо [74].

Виникнення надзвичайних ситуацій (НС) повністю виключити неможливо, але прагнути до мінімізації їх наслідків необхідно.

У разі виникнення НС важлива роль у забезпеченні безперервної надійної роботи об'єкта господарювання і здатність його в умовах надзвичайних ситуацій випускати продукцію в запланованому обсязі та номенклатурі, а вразі слабких та середніх руйнувань, або порушенні матеріального постачання відновлювати виробництво у стислий термін.

При розробці заходів по підвищенню стійкості роботи промислового об'єкту необхідно враховувати усі його елементи.

Необхідно проводити аналіз уразливості як об'єкта в цілому, так і його елементів.

Проектування будівель і споруд передбачає тривалий термін їх експлуатації в нормальних умовах і при належному догляді за конструкціями.

Крім ушкоджень, що накопичуються в процесі експлуатації, на працездатність будівельних конструкцій та їх відмови в роботі можуть впливати сейсмічні впливи, небезпечні метеорологічні явища, пожежі, вибухи зовні і всередині споруд, значні дефекти матеріалів та виконання робіт та ін.

Наслідки аварій конструкцій покриттів є найбільш руйнівними. Тому вже на стадії їх проектування слід забезпечити безпеку знаходження в спорудах людей і збереження майна за рахунок зниження ймовірності прогресуючого (лавиноподібного, ланцюгового та ін) обвалення при локальних руйнуваннях окремих несучих елементів. Ці локальні руйнування не повинні призводити до руйнування сусідніх несучих елементів. Стійкість споруд проти прогресуючого обвалення повинна забезпечуватися конструктивними та профілактичними заходами і перевірятися розрахунком.

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

- захищеність службовців і робітників від уражаючих факторів НС;
- здатність інженерно-технічного комплексу об'єкта (будівель, споруд, обладнання та комунально-енергетичних систем) протистояти руйнуючій дії уражаючих факторів аварій, катастроф, природних явищ та сучасної зброї;

- підготовленість об'єкта до проведення аварійно-рятувальних та відбудовних робіт;
- надійність постачання об'єкта водою, електроенергією, паливом, комплектуючими та сировиною;
- оперативність управління виробництвом та здійсненням заходів ЦО в надзвичайних ситуаціях.

### **6.2.2 Оцінка стійкості роботи будівель і споруд та їх елементів до дії вторинних вражаючих факторів**

Дослідження стійкості роботи об'єкта господарської діяльності (ОГД) – це всебічне вивчення обстановки, яка може скластися під час НС та визначення її впливу на виробничу діяльність підприємства. Мета дослідження полягає в тому, щоб вивчити слабкі місця в роботі об'єкта та виробити найбільш ефективні пропозиції, спрямовані на підвищення його стійкості.

Дослідження стійкості роботи ОГД проводяться силами інженерно-технічного персоналу із залученням спеціалістів науково-дослідних та проектних організацій. Організатором та керівником досліджень є керівник підприємства.

Увесь процес планування і проведення досліджень поділяється на три етапи:

- I етап – підготовчий;
- II етап – оцінка стійкості роботи ОГД;
- III етап – розроблення заходів, які підвищують стійкість роботи ОГД.

Вторинними вражаючими факторами є пожежі, вибухи, затоплення, забруднення атмосфери та місцевості і т. ін.

Джерела вторинних вражаючих факторів на об'єкті й в небезпечному віддаленні від нього повинні виявлятися заздалегідь з метою завчасного прийняття заходів, що направлені на виключення чи зменшення вражаючої дії.

Оцінка стійкості будівель і споруд та їх елементів до дії вторинних вражаючих факторів проводиться в такій послідовності:

- виявляють всі можливі джерела вражаючих факторів, як внутрішні, так і зовнішні;
- визначають найкоротшу відстань від об'єкта до кожного джерела вторинного ураження (на місцевості або на мапі чи плані);
- визначають характер вражаючої дії вторинного фактора (пожежа, вибух та ін.);
- встановлюють чи вираховують час від моменту появи до моменту початку дії на об'єкт вторинного вражаючого фактора;
- визначають тривалість дії вражаючого фактора й можливі розміри втрат.

Одержані результати аналізують і роблять конкретні висновки для розробки організаційних, інженерно-технічних та технологічних заходів щодо виключення або обмеження дії на роботу об'єкта вторинних вражаючих факторів.

### **6.2.3 Способи підвищення стійкості роботи будівель і споруд**

Заходи з підвищення стійкості планують з урахуванням місцевих умов, важливості об'єкта, його географічного положення, економічної доцільності проведення заходів. На мирний час планують головним чином трудомісткі заходи, які потребують значних матеріальних витрат і часу, а на період загрози нападу противника - такі заходи, що не потребують багато часу чи проведення яких не є доцільним у мирний час.

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 [75]:

- зміцнення несучих, огорожуючих та інших конструкцій будівель та споруд (постановка додаткових колон, ферм, рам та ін);
- підсилення цокольного поверху прогонами, закладання віконних проїмів цеглою, щитами та ін.;
- встановлення допоміжних перекриттів, підкосів, розпірок тощо;
- підсилення конструкцій обкладкою лантухами з піском;
- встановлення додаткових зв'язків між окремими елементами споруди;
- закріплення відтяжками високих малостійких споруд;
- заглиблення споруд або створення захисних валів (обвалування споруд);
- заміна елементів конструкції, які згоряють, такими, що не займаються, використання вогнезахисних покриттів.



#### **6.2.4 Висновки за пунктом 6.2**

У справі попередження НС будівель і споруд та їх експлуатованих металевих конструкцій, згідно [76], важливе значення мають служба експлуатації та нагляду за несучими конструкціями, посилення конструкцій і супутнє йому регулювання напружень в елементах, виявлення неврахованих запасів міцності і стійкості, вдосконалення методик розрахунку будівельних конструкцій.

Пропонуються такі способи попередження прогресуючого обвалення будівельних конструкцій: загальне зміцнення всієї споруди, місцеве посилення окремих елементів і конструктивний взаємозв'язок елементів.

## РОЗДІЛ 7

### ЕКОЛОГІЯ

#### 7.1 Актуальність охорони навколишнього середовища

Завданням Закону України «Про охорону навколишнього природного середовища» є регулювання відносин у галузі охорони, використання і відтворення природних ресурсів, забезпечення екологічної безпеки, запобігання і ліквідації негативного впливу господарської та іншої діяльності на навколишнє природне середовище, збереження природних ресурсів, генетичного фонду живої природи, ландшафтів та інших природних комплексів, унікальних територій та природних об'єктів, пов'язаних з історико-культурною спадщиною [77].

Застосування металевих конструкцій дає значні переваги в будівництві: висока швидкість зведення об'єктів при зниженні трудомісткості, відносно невисока вартість, низька матеріалоемність, легкість споруд. Проте при їх виробництві та встановленні у проектне положення використовується великий арсенал сучасних металообробних технологій: зварювання, різка, гнуття, штампування.

Незалежна Україна успадкувала від СРСР спотворену систему промисловості, в якій неприродно велику частину займають гірничодобувна, металургійна й хімічна галузі, що складаються з «соціалістичних супергігантів» із застарілими технологіями виробництва, надзвичайно матеріаломісткого й енергоємного, що, як правило, дає продукцію низької якості й дуже забруднює довкілля. А тим часом у розвинених країнах світу на перше місце виходять наукоємні виробництва — мікроелектроніка, обчислювальна техніка, випуск надчистих матеріалів тощо.

Металургійні заводи одні із перших, які вносять найбільший вклад у забруднення природного середовища. Металургійні підприємства характеризуються високим рівнем споживання ресурсів і великою кількістю відходів. Серед них пил, оксид вуглецю, сірчистий ангідрид, коксовий газ, фенол,

сірководень, вуглеводні (зокрема, бензпірен). Металургійна промисловість використовує багато води, яка забруднюється в процесі виробництва.

Використання зварювання на будівництві дозволяє зменшити вагу сталевих конструкцій на 15%, полегшує виготовлення й збільшує міцність всієї конструкції. При спорудженні доменних печей застосування зварювання замість клепки дозволяє заощаджувати від 12 до 15% металу, у конструкціях кроквяних і підкроквяних ферм — 10-20%, у конструкціях піднімальних кранів — 15-20%. Разом з тим процес зварювання металевих конструкцій не є цілком безпечним і екологічним. Тому завданням законодавства про охорону навколишнього природного середовища є забезпечення екологічної безпеки, запобігання і ліквідації негативного впливу господарської та іншої діяльності на навколишнє природне середовище.

## **7.2 Небезпека забруднення довкілля, що може виникнути при виготовлення металевих конструкцій**

Процеси виплавки чавуну і переробки його на сталь супроводжуються викидом в атмосферу різних газів. Викид пилу в розрахунку на 1т передільного чавуну складає 4,5 кг, сірчистого газу - 2,7 кг і марганцю 0,5 - 0,1 кг. Разом з доменним газом в атмосферу в невеликих кількостях викидаються також сполуки миш'яку, фосфору, сурми, свинцю, пари ртуті і рідких металів, ціанистий водень і смолисті речовини.

До складу сталі входять так звані важкі метали. У роботах, присвячених проблемам забруднення навколишнього природного середовища та екологічного моніторингу, на сьогоднішній день до важких металів відносять більше 40 металів періодичної системи з атомною масою понад 50 атомних одиниць: V, Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, Mo, Cd, Sn, Hg, Pb, Bi та ін. При цьому важливу роль у категоріюванні важких металів відіграють такі умови: їх висока токсичність для

живих організмів у відносно низьких концентраціях, а також здатність до біоаккумуляції і біомагніфікації. Практично всі метали, які потрапляють під це визначення (за винятком свинцю, ртуті, кадмію та вісмуту, біологічна роль яких на даний момент невідома), активно беруть участь у біологічних процесах.

У дипломній роботі дослідний зразок фізичної моделі виготовлено зі стандартного вальцьованого кутникового профілю 40x40 мм з товщиною стінки 4 мм. Матеріал зразку – сталь звичайної якості ВСт3пс хімічний склад якої наведено у таблиця 7.1.

Таблиця 7.1 – Хімічний склад у% матеріалу ВСт3пс по ДСТУ 2651:2005 Сталь вуглецева звичайної якості. Марки.

Химический элемент	%
Кремній (Si)	0.05-0.17
Мідь (Cu), не більше	0.30
Миш'як (As), не більше	0.08
Марганец (Mn)	0.40-0.65
Нікель (Ni), не більше	0.30
Фосфор (P), не більше	0.04
Хром (Cr), не більше	0.30
Сірка (S), не більше	0.05

Таким чином до сталі звичайної якості ВСт3пс входять такі токсичні сполуки важких металів як марганець, нікель, мідь, хром.

Стічні води підприємств металургійної промисловості є основним джерелом надходження міді в природні води. Мідь може з'являтися в результаті корозії мідних трубопроводів, які використовуються в системах водопостачання та інших металевих споруд. Сталь, не захищена від контакту з вологою, в поєднанні з агресивними газами, солями, пилом піддається корозії.

Мідь бере участь у процесі фотосинтезу і впливає на засвоєння азоту рослинами. Разом з тим, надлишкові концентрації міді надають несприятливий вплив на рослинні та тваринні організми.

Сполуки миш'яку, які також є у відходах металургійних заводів, в підвищених концентраціях є токсичними для організму тварин і людини: вони гальмують окисні процеси, пригнічують постачання киснем органів і тканин.

ГДК миш'яку складає  $0,05 \text{ мг/дм}^3$  (лімітуючий показник шкідливості - санітарно-токсикологічний) і ГДК у воді водойми, яка використовується в рибогосподарських цілях, -  $0,05 \text{ мг/дм}^3$ .

Значну загрозу для екології представляє захист металевих поверхонь від корозії різними покриттями. Наприклад, гальванічне цинкування - відновленням цинку з електролітів є серйозною загрозою для екології.

### **7.3 Заходи зі зменшення забруднення довкілля в результаті виготовлення і складання металевих конструкцій**

Для комплексного вирішення проблем санітарної охорони поверхневих водойм від забруднень стічними водами і навколишнього середовища відходами галузей металургійної промисловості необхідна розробка та впровадження в практику технологічних, санітарнотехнічних та допоміжних заходів, які б зменшили потрапляння стоків важких металів у річки [78] і навколишнє середовище. Також не менш важливим є створення законодавчої та нормативно-правової бази управління водними ресурсами, прийняття Водного кодексу, поліпшення системи моніторингу, посилення державного нагляду та контролю за скидами із підприємств, екологізація металургійного виробництва на основі комплексності рішень у питаннях охорони навколишнього природного середовища, використання та відтворення відновлюваних природних ресурсів, модернізація металургійних підприємств.

При захисті металевих конструкцій від корозії доцільно застосовувати екологічно безпечні покриття, наприклад, замість гальванічного цинкування використовувати «холодне цинкування».

Правильна технологія виконання зварювання, різання, фрезерування чи штампування металевих конструкцій дозволить зменшити викиди шкідливих речовин в навколишнє середовище.

#### **7.4 Висновки за розділом 7**

У розділі розглянуто небезпеку забруднення довкілля, що може виникнути у результаті виготовлення і складання металевих конструкцій.

Відзначено, що металургійні заводи вносять великий вклад у забруднення природного середовища. Металургійні підприємства характеризуються високим рівнем споживання ресурсів (наприклад, води) і великою кількістю відходів.

Було вказано, що в сталі звичайної якості ВСтЗпс містяться такі екологічно небезпечні елементи: марганець, нікель, мідь, хром. Тому для зменшення потрапляння таких речовин у навколишнє середовище запропоновано впровадження в практику технологічних, санітарнотехнічних та допоміжних заходів, які б зменшили потрапляння стоків важких металів у річки, посилення державного нагляду та контролю за скидами із підприємств, екологізація металургійного виробництва.

При виробництві та встановленні у проектне положення металевих конструкцій використовується зварювання, різка, гнуття, штампування. Правильна технологія виконання цих процесів дозволить зменшити викиди шкідливих речовин із металів.

## ВИСНОВКИ

В дипломній роботі на основі вибраної фізичної моделі методом комп'ютерного і натурного експерименту розв'язано науково-технічну задачу з визначення тримкої здатності типової зварної підкроквяної ферми при дії статичних навантажень.

Отримано основні результати досліджень:

1. За результатами аналізу наукових публікацій виявлено низький рівень збіжності розрахункових і фактичних значень тримкої здатності зварних ферм, зумовлений повним або частковим неврахування в існуючих розрахункових методиках комплексного впливу багатьох стохастичних чинників.

2. Виконано дослідження поведінки зварної підкроквяної будівельної ферми під дією статичних навантажень як комп'ютерним моделюючим експериментом з використанням прикладного програмного пакету ANSYS, так і натурним силовим експериментом з використанням випробувального стенда.

3. Виявлено високий рівень співпадання отриманих результатів при низьких навантаженнях і низький – при високих навантаженнях. Результати комп'ютерного моделюючого експерименту занижують тримку здатність зварної ферми, що зумовлює її завищену матеріаломісткість при проектуванні і занижені режими навантаження при експлуатації.

Неврахування при виконанні комп'ютерного моделюючого експерименту комплексного впливу на тримку здатність зварної підкроквяної ферми стохастичних чинників є причиною такого неспівпадання. При значних зусиллях саме такі чинники мають значний вплив на будівельні конструкції.

4. Удосконалено методику зміцнення зварних підкроквяних ферм, які експлуатуються при статичних навантаженнях.

5. Розглянуто варіанти економічної ефективності зварної підкроквяної ферми і запропоновано оптимальний варіант конструкції.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Козлов С.В. Повышение устойчивости сжатых элементов ферм из угловых профилей локальными термическими воздействиями: дис... канд. тех. наук: 05.23.01. [Текст] / Козлов Сергей Васильевич.– К.: 2004. – 168с.
2. Хамудісова І.Б. Оцінка резервів несучої здатності статично невизначених сталевих ферм, що працюють за межами пружності : автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук : спец. 05.23.01 «Будівельні конструкції, будівлі і споруди» / І.Б. Хамудісова, - Єкатеренбург, 2002. – 20 с.
3. Лобанов Л.М. Сварные строительные конструкции / Лобанов Л.М., Махненко В.И., Труфяков В.И. – К.: Наук. Думка, 2005 – 416 с.
4. Фошко Э. Оценка надёжности теплоэнергетического оборудования электростанций с использованием полумарковских процессов // Структура генерирующих мощностей и режимы работы энергосистемы / Эдуард Фошко. – М., 2003. – С. 93-102.
5. Клёмин А. И. Надёжность ядерных энергетических установок: Основы расчёта / Клёмин А. И. – М. : Энергоатомиздат, 2006. – 344 с.
6. Митрофанов А. В. Расчет гамма-процентного ресурса сосудов и резервуаров / А. В. Митрофанов, С. Б. Киченко // Безопасность труда в промышленности. – 2004. – №9. – С. 28-32.
7. Син Вань Сян Пространственные деформации и устойчивость поясов решетчатых металлических конструкций : автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук : спеціальність ВАК 05.23.01 «Строительные конструкции, здания и сооружения» / Син Вань Сян, - Санкт-Петербург, 2000. – 20 с.
8. Алексеев П. И. Устойчивость стержней и балок. Киев: Будивельник, 1964. - 126 с.:ил. - Библиогр. С. 123.



9. Белый Г. И. О расчете пространственно-деформируемых стержневых элементов металлических конструкций //Металлические конструкции и испытания сооружений: Межвуз. темат. сб. тр. Л.: Ленингр. инж.-строит. ин-т, 1981.- С. 48-55.
- 10.Белый Г. И. О расчете упругих стержней по деформированной схеме при действии активных и параметрических нагрузок //Механика стержневых систем и сплошных сред. Л.: Ленингр. инж.-строит. ин-т. 1980.
- 11.Белый Г. И. Расчет металлических стержневых элементов, входящих в состав конструкций по пространственно-деформированной схеме //Металлические конструкции и испытания сооружений. Л., 1983. -с. 42-48.
- 12.Вольмир А. С. Устойчивость деформируемых систем. М.: Наука, 1967. -984 с.
- 13.Геммерлинг А. В. Несущая способность стальных стержневых конструкций. М., 1958. - 216 е.: ил.
- 14.Большой Энциклопедический словарь. 2000.
- 15.Канарчук В. Є. Надійність машин: Підручник/ Канарчук В. Є., Полянський С. К., Дмитрієв М. М. – К. : Либідь, 2003. – 424 с.
- 16.Санхновский М.М., Титов А.М. Уроки аварий стальных конструкций. - Киев: Будівельник, 1969. 200 е.: ил.
- 17.Аугустин Я., Шледзевский Е. Аварии стальных конструкций. М.: Стройиздат, 1978. - 183 е.: ил.
- 18.Шкинев А. Н. Аварии строительных объектах, их причины и способы предупреждения и ликвидации. М.: Стройиздат, 1966. - 308 е.: ил.
- 19.Беляев В.И., Корниенко В.С. Причины аварий стальных конструкций и способы их устранения. М.: Стройиздат, 1968. с. 206.: ил.
- 20.Эглескалн Ю. С. Анализ состояния строительных ферм в условиях эксплуатации. //Промышленное строительство. 1971. №8. с 37-44.
- 21.Васильева Л. С. Действительная работа стальных стропильных ферм с учетом дефектов и повреждений: Автореф. дис. канд.техн. наук. - Новосибирск, 1998. 17 с.

22. Николаев Г. А. Сварные конструкции. Прочность сварных соединений и деформации конструкций / Николаев Г. А., Куркин С. А., Винокуров В. А. – М. : Высш. шк., 1982. – 272 с.
23. Сталеві конструкції : ДБН В.2.6-163:2010 – [Чинний від 2011-12-1] – К. : Держспоживстандарт України, 2011. — 127 с. — (Державні будівельні норми України).
24. Оцінка технічного стану сталевих конструкцій виробничих будинків і споруд, що експлуатуються : ДБН 362-92. – К.: Вид-во Держкомбуд України, 1995.
25. Строительные конструкции и основания. Основные положения проектирования : СТ СЭВ 384 – 87. – М. : Изд-во стандартов, 1987.  
Канарчук В. Є. Надійність машин: Підручник/ Канарчук В. Є., Полянський С. К., Дмитрієв М. М. – К. : Либідь, 2003. – 424 с.
26. Система надійності та безпеки у будівництві. Основи проектування конструкцій : ДСТУ-Н Б В.1.2-13-2008. – К.: Вид-во Держкомбуд України, 2009.
27. Геммерлинг А. В. Расчет стержневых систем. М.: Стройиздат, 1974. -208 е.: ил.
28. Масленников А. М. Расчет строительных конструкций методом конечных элементов: Учебное пособие. Л.: Ленингр. инж.-строит, ин-т, 1977.-78 с.
29. Eurocode 1. Basis of Design and Action on Structures. Part 1: Basis of Design, ENV 1991 CEN – 1, 1994.
30. General Principles on Reliability for Structures : ISO/TC98.5723- 94, 1994.
31. Канарчук В. Є. Надійність машин: Підручник/ Канарчук В. Є., Полянський С. К., Дмитрієв М. М. – К. : Либідь, 2003. – 424 с.
32. Недосека А.Я. Основы расчета и диагностики сварных конструкций [Текст] / А.Я. Недосека. – К.: ИНДПРОМ, 2001. – 815 с.

33. Голоднов А.И. Регулирование остаточных напряжений в сварных двутавровых колоннах и балках [Текст] / А.И. Голоднов. – К.: Сталь, 2008. – 150с
34. Козлов С.В. Повышение устойчивости сжатых элементов ферм из уголковых профилей локальными термическими воздействиями: дис... канд. тех. наук: 05.23.01. [Текст] / Козлов Сергей Васильевич. – К.: 2004. – 168с.
35. Иванов А.П. Методика определения напряженно-деформированного состояния в прокатных швеллерах после локальных термических воздействий [Текст] / А.П. Иванов, И.А. Иванова // Сборник научных трудов ДонГТУ. – Алчевск: «Ладос», 2009. – вып.28. – С. 260-268.
36. Кирсанов М.Н. Оптимизация пространственной фермы с учетом ползучести материала // Известия вузов. Строительство 2001. - №10. - С. 11-15.
37. Козлов С. В. Исследование остаточных напряжений в прокатных уголках после наплавки сварных швов // Современные строительные конструкции из металла и древесины: Сборник научных трудов / Одесская государственная академия строительства и архитектуры. - Одесса: ОГАСиА, 2003 – С. 136 - 142.
38. Мажид К.И. Оптимальное проектирование конструкций / Пер. с англ.
39. Рабинович И.М. Некоторые вопросы теории статически неопределимых ферм / Исследования по теории сооружений. — М. JL: Госстройиздат, 1959. — Вып. 8.-С. 485-498.
40. Рейтман Г.И. Методы оптимального проектирования деформируемых тел (постановки и способы решения задач оптимизации параметров элементов конструкций) / Г.И. Рейтман, Г.С. Шапиро. М.: Наука, 1976. - 258 с.
41. Ржаницын А.Р. Составные стержни и пластинки. — М.: Стройиздат, 1986.- 316 с.
42. Юрьев А.Г., Дрокин А.В. Решение изопериметрической задачи термоупругости для ферм // Современные методы статического и динамического расчета сооружений и конструкций. Воронеж, 2000. — С. 154 — 158.

43. Adelman H.M., Narayanaswami R. Resizing procedur for optimum design of structures under combined mechanical and thermal loading // NASA TM X — 72816, Van.-1976.
44. Sankaranarayanan S., Haftka R.T., Kapania R.K. Truss topology optimization with simultaneous analysis and design // AIAA Journal. — 1994. — 32, №2. —P. 420—424.
45. Tan Zhongfu, Sun Huanchum. The modified simplex method for topology optimization of space truss structure with multiple loading conditions // Acta mech. 1994. - 26, №1. - P. 90 - 98.
46. <http://www.metalostroy.ru/osnovnaya-chast/peregruzka-2.html>
47. Скачков С.В. Експериментально-теоретичне дослідження металевих безраскосние ферм з поясами з таврів : автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук : спеціальність ВАК РФ 05.23.01 / С.В. Скачков. - Ростов-на-Дону , 2000. – 24 с.
48. Нургазієв Р.Б. Статичний розрахунок просторових мембранно-стрижневих систем з урахуванням геометричної та конструктивної не лінійності : автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук : спеціальність ВАК РФ 05.23.17 / Р.Б. Нургазієв. - Саратов , 2004. – 24 с.
49. Сунгатуллін М.Р. Уточнене математичне моделювання складових стрижневих конструкцій, що знаходяться в умовах статичного термосилового навантаження : автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. физико-математических наук : спеціальність ВАК РФ 05.13.18 / М.Р. Сунгатуллін. - Казань , 2002. – 24 с.
50. Мберейахо Леопольд Розрахунок на стійкість ферм з жорсткими вузлами методом переміщень : автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук : спеціальність ВАК РФ 05.23.17 / Мберейахо Леопольд. - Москва, 2001. – 20 с.
51. Шингера Н.Я. Статистична модель для визначення залишкового ресурсу типової зварної ферми при циклічних навантаженнях: дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук : 01.05.02 – математичне моделювання та

обчислювальні методи / Шингера Наталія Ярославівна. – Тернопіль, 2012. – 166 с

52. Махутов Н. А. Инженерные методы оценки и продления ресурса сложных технических систем по критериям механики разрушения / Махутов Н. А., Алымов В. Т., Бармас В. Ю. // Заводская лаборатория. Диагностика материалов. – 2002. – №6. – С. 45–51.
53. Малов Е. А. О методике технического диагностирования и определения остаточного ресурса, а также сервисного обслуживания компрессорных установок, сосудов, аппаратов и технологических трубопроводов / Е. А. Малов // Безопасность труда в промышленности. – 1999. – №3. – С. 56–57.
54. Шаталов А. А. Оценка работоспособности и остаточного ресурса тонкостенных сварных сосудов химически опасных промышленных объектов / А. А. Шаталов, М. П. Закревский, А. М. Лепихин // Безопасность труда в промышленности. – 2003. – №7. – С. 34–36.
55. Техническая диагностика. Прогнозирование остаточного ресурса машин и деталей по косвенным параметрам : РД 50-490-91. – Методические указания. – М. : Изд-во стандартов, 1992. – 19 с.
56. Викторов В. В. Рост поверхностных трещин при регулярном и случайном нагружении / В. В. Викторов // Проблемы разрушения, ресурса и безопасности технических систем. Ассоциация КОДАС-СибЭРА, 1997. – С. 266–272.
57. Когаев В. П. Расчет деталей машин на прочность и долговечность / Когаев В. П., Махутов А. П., Гусенков А. П. – М. : Машиностроение, 1985. – 224 с.
58. Седов Л. И. Методы подобия и размерности в механике / Седов Л. И. – М. : Наука, 1987. — 432 с.
59. Будівельна механіка та металеві конструкції / [Баженов В.А., Дашенко О. Ф., Коломієць Л. В., Ухов О. В.] [підр. для студ. вищ. навч. зал.]. – Одеса : Астропринт, 2001. – 432 с.

60. Дрокин А.В. Оптимизация строительных конструкций, подверженных силовым и термическим воздействиям : автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук : спеціальність ВАК 05.23.01 «Строительные конструкции, здания и сооружения» / А.В. Дрокин, - Белгород, 2003. – 20 с.
61. Алпатов В.Ю. Оптимальное проектирование металлических структур: автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук : спеціальність ВАК 05.23.01 «Строительные конструкции, здания и сооружения» / А.В. Дрокин, - Самара, 2002. – 23 с.
62. Алдушкин Р.В. Развитие и совершенствование рациональных методов усиления и регулирования усилий в металлических конструкциях балочного типа и фермах : автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук : спеціальність ВАК 05.23.01 «Строительные конструкции, здания и сооружения» / Р.В. Алдушкин, - Орел, 2008. – 20 с.
63. Дубенець В.Г., Савченко О.В. Практиккум з обчислювальної механіки / В.Г. Дубенець, О.В. Савченко // Розрахунок і проектування конструкцій ферм на АРМ WinTruss
64. Инженерный анализ в ANSYS Workbench: Учеб. пособ. / [Бруйка В.А., В.Г. Фокин, Е.А. Солдусова, Н.А. Глазунова, И.Е. Адеянов] – Самара: Самар. гост. техн. ун-т, 2010. – 271 с. :ил.
65. Кирпичев М. В. Теория подобия / Кирпичев М. В. — М. : Изд. АН СССР, 1953. – 94 с.
66. Седов Л. И. Методы подобия и размерности в механике / Седов Л. И. – М. : Наука, 1987. — 432 с.
67. Веников В. А. Теория подобия и моделирования / Веников В. А. — М. : Высшая школа, 1976. — 479 с.
68. Фінансово-економічний словник Загородній А.Г., Вознюк Г.Л. Фінансово-економічний словник. – К.: Знання , 2007. – 1072с.

69. Балдин В.А. Легкие металлические несущие и ограждающие конструкции для одноэтажных промышленных зданий // Пром. стр-во. 1972. № 9. С. 9 - 14.
70. Бирюлев В.В. Стальные фермы с коробчатыми сечениями стержней, сваренных из уголков // Изв. вузов. Сер. стр-во и архитектура. 1973. С. 8-14.
71. Прайс-лист ПМП «Рост» (станом на 14.11.2013). – Режим доступу: <http://www.rost.te.ua>.
72. СОУ МПП 03.080.10-333.1:2011. Ресурсні елементні кошторисні норми. Технічне обслуговування і ремонт устаткування та обладнання загального призначення. Частина 1. Зварювальні роботи та газове різання. – К.: Мінпромполітика України, 2011. – 67 с.
73. ДНАОП 0.00-1.21-98 Правила безпечної експлуатації електроустановок споживачів.
74. Закон України "Про Цивільну оборону України" ВРУ № 2974 XII - К.: 1989.
75. Обухов С.О. Підвищення стійкості роботи об'єктів господарської діяльності (ОГД) за надзвичайних умов мирного й воєнного часу (Конспект лекцій для студентів очної і заочної форми навчання всіх напрямків) / Укл. Обухов С.О. - Харків: ХНАМГ, 2008 р. - 27 с.
76. Лашенко, М. Н. Підвищення надійності металевих конструкцій будівель і споруд при реконструкції. - М.: Стройиздат, Ленінгр. отд., 1987. - 136 с.
77. Закон України «Про охорону навколишнього природного середовища»
78. Гончарук Є.Г. Комунальна гігієна. / Є.Г. Гончарук. — Київ: "Здоров'я", — 2003, — 728 с.

КОМП'ЮТЕРНИЙ