

**ОСОБЛИВОСТІ НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНОГО СТАНУ ЗВАРНОЇ ФЕРМИ З
УРАХУВАННЯМ ТЕМПЕРАТУРНИХ ВПЛИВІВ**

Я. О. Ковальчук, Н. Я. Шингера, О. І. Рибачок, А. В. Бойчук, М. П. Бобик

В роботі досліджено напружено-деформований стан зварної підкрокової ферми під дією зовнішніх силових і температурних впливів. Дослідження виконано на фізичній моделі ферми методами натурного і комп'ютерного моделюючого експерименту. Виявлено високий рівень збігу отриманих результатів при малих навантаженнях та їх розбіжність при збільшенні навантажень. Результати роботи можуть бути використані при проектуванні зварних ферм та розрахунках тривкої здатності існуючих фермових конструкцій.

Разработана физическая модель сварной фермы, поведение которой при статических нагрузках исследовано как натурным экспериментом, так и компьютерным расчетом с использованием прикладного программного пакета ANSYS. Получен высокий уровень совпадения результатов при низких нагрузках и низкий - при высоких нагрузках, что свидетельствует о значительном влиянии на НДС сварной фермы стохастических факторов

The physical model of the welded truss, behaviour of that at the dead load is investigated both by an experiment and computer calculation with the usage of the application software package of ANSYS, is worked out. The high level of coincidence of results is achieved at the low loading and low level is achieved at the high loading that affirms considerable influence of the welded truss of stochastic factors upon ISS.

Вступ

Під дією зовнішніх чинників (експлуатаційних, аварійних, температурних 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, які при конструюванні закладає проектувальник, виходячи зі свого досвіду і результатів експлуатації аналогічних конструкцій. Наслідком такого суб'єктивного підходу є заниження розрахункових показників у порівнянні з фактичними 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.

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), [1, 2], резервуари, які працюють під тиском (котли, ресивери, газгольдери) [3, 4], авіаційну техніку (лонжерони, обшивка, елементи шасі), магістральні газо- та нафтопроводопроводи, транспортні системи (рами автомобілів, причепів, різні шасі) тощо. Однак узагальнена інформація для характеристики НДС зварних ферм з врахуванням комплексного багатопараметричного впливу стохастичних факторів відсутня.

Формування задач дослідження

Внаслідок інформаційного пошуку виявлено небагато результатів натурних експериментальних випробувань повномасштабних зварних фермових конструкцій [1]. Мала кількість таких досліджень зумовлена необхідністю застосування для цього досить енергозатратного випробувального устаткування та високою вартістю дослідних зразків. Однак, виявлені результати доцільно використати для ідентифікації фізичної моделі зварної ферми і визначення констант подібності фізичного моделювання.

Метою роботи є порівняння результатів комп'ютерних розрахунків та натурних експериментальних досліджень фізичної моделі зварної ферми під дією зовнішніх навантажень та температурних впливів.

Для дослідження слід розробити конструкцію фізичної моделі зварної підкрокової ферми, схему її навантажування та конструкцію пристосування для натурних досліджень моделі на випробувальному комплексі СТМ-100. Дослідження доцільно виконати під дією статичних навантажень. Отримані результати натурального експерименту порівняти з даними комп'ютерного розрахунку з використанням прикладного програмного пакета ANSYS.

Експериментальні дослідження зварної ферми

Конструкція фізичної моделі підкрокової ферми розроблена з дотриманням класичних положень теорії подібності (рис. 1) [1]. Запропонована схема навантажування фізичної моделі при виконанні натурального експерименту (рис. 2) та пристосування для реалізації цієї схеми на випробувальному комплексі СТМ-100 [5].

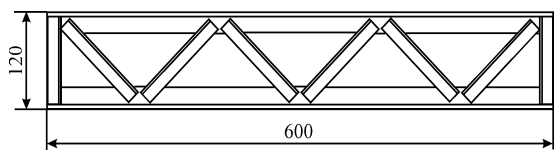


Рис. 1. Конструкція фізичної моделі зварної ферми

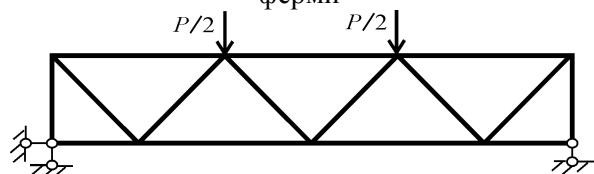


Рис. 2. Схема навантажування фізичної моделі при виконанні натурального експерименту

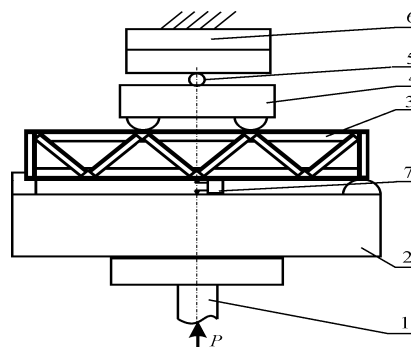


Рис. 3. Схема реалізації експериментального навантажування зразків

Експериментальні навантаження P від штока 1 гідроциліндра через підставку 2 передаються на досліджувану ферму 3. Траверса 4 сприймає навантаження від двох вузлів ферми, зрівноважуючи його за рахунок 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.

Натурними випробуваннями при дії статичних навантажень досліджено поведінку 5 зразків. Отримано величину деформацій кожного зразка для різних навантажень. Визначені усереднені значення деформацій (табл. 1).

Таблиця 1

Усереднені значення деформацій фізичної моделі зварної ферми при різних навантаженнях за результатами натурального дослідження

Навантаження P , кН	6	12	20	26	30	36	40
Деформація δ , мм	0,208	0,405	0,652	0,788	0,832	0,998	1,16

Комп'ютерне моделювання поведінки зварної ферми під навантаженням

Для запропонованої фізичної моделі виконано дослідження поведінки зварної ферми під дією статичних навантажень з використанням прикладного програмного пакета ANSYS (рис. 4).

Побудовано суміщено діаграму деформування досліджуваного зразка типової зварної ферми (рис. 5) за результатами комп'ютерного моделюючого експерименту (лінія 1) і натурального експерименту (лінія 2).

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 $P_{max} = 40$ кН, а усереднене значення руйнівного навантаження при натурному експерименті рівне

45,7 кН, що на 14,3 % вище від розрахункового. Пластичне деформування конструкції за результатами розрахунків наступило при зусиллях 32 кН, а при натурному експерименті почалося при 40 кН, що на 25 % більше від розрахункової величини.

Data1		
	A(X)	B(Y)
	Force, kg	displacement, mm
1	600	0,2082
2	1200	0,41648
3	2000	0,69414
4	2600	0,90296
5	3000	1,0448
6	3600	1,2919
7	4000	1,5486
8	4400	1,9
9	4800	2,37
10	5000	3,068
11		

Рис. 4. Результати деформування фізичної моделі зварної ферми, отримані комп'ютерним розрахунком

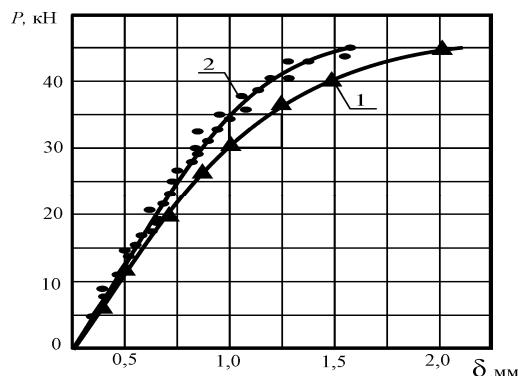


Рис. 5. Діаграма деформування фізичної моделі зварної ферми за результатами комп'ютерного моделюючого (1) та натурального (2) експериментів

Рівень збігу C визначено як відношення деформації зразка за результатами комп'ютерного моделюючого експерименту $\delta_{розр}$ до усередненої фактичної деформації $\delta_{експ}$, отриманої натурним дослідженням п'яти зразків ферми (табл. 2)

$$C = \delta_{розр} / \delta_{експ}$$

Таблиця 2

Збіг величини деформації зварної ферми при статичному навантаженні за результатами комп'ютерного моделюючого $\delta_{розр}$ та натурального $\delta_{експ}$ експериментів

Показники	Навантаження P , кН						
	6	12	20	26	30	36	40
$\delta_{розр}$, мм	0,208	0,416	0,694	0,903	1,045	1,292	1,55
$\delta_{експ}$, мм	0,205	0,405	0,652	0,788	0,832	0,998	1,16
C	0,985	0,971	0,938	0,872	0,796	0,772	0,682

Зведений графік збігів розрахункових та експериментальних результатів за величиною деформації при однакових навантаженнях подано на рис. 6.

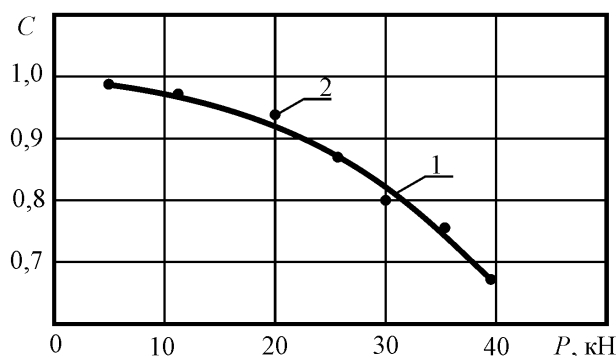


Рис. 6. Зведений графік збігів C деформацій зварної ферми під дією статичного навантаження за результатами комп'ютерного моделюючого та натурального експериментів: 1 – розрахункові точки; 2 – лінійна апроксимація результатів

Низький рівень збігів результатів при високих навантаженнях зумовлюється імовірнісною природою формування пошкоджень під впливом дефектів зварювання, лікваций в матеріалі, температурним впливом в навколошовній ділянці тощо.

Комп'ютерним розрахунком досліджено вплив кліматичних перепадів температур на НДС

досліджуваної конструкції. Вихідними даними взято лінійний коефіцієнт температурного розширення сталі $\gamma=1,21 \times 10^{-5}$ град⁻¹ та максимальний температурний діапазон при експлуатації конструкції 100°C. Відносна деформація елементів ферми за таких умов становитиме $\varepsilon=0,121$ %, а розрахункові напруження при цьому ($\sigma = 968$ МПа) в декілька разів перевищують межу міцності сталі Ст 3, з якої виготовлена ферма. В реальній конструкції ці напруження суттєво зменшуються за рахунок деформації ферми. Однак тривка здатність зварної ферми під впливом температурних напружень знижується і це потрібно враховувати при проектуванні.

Висновки

- Розроблено конструкцію фізичної моделі зварної підкрокової ферми, методику її натурних випробувань та пристосування для виконання експериментальних досліджень. Виконано дослідження поведінки ферми під дією статичних навантажень як натурним експериментом, так і з використанням прикладного програмного пакета ANSYS. Виявлено високий рівень збігів отриманих результатів при низьких навантаженнях і низький – при високих навантаженнях. Це свідчить про неврахування в розрахункових методиках комплексного впливу стохастичних чинників, які створюють суттєвий вплив саме при значних зусиллях.
- Виявлений вплив температурних напружень на зниження тривкої здатності зварної ферми.
- Отримані результати можуть бути використані для оцінювання кінетики пошкодження зварних фермових конструкцій під дією статичних навантажень з врахуванням комплексного багатопараметричного впливу стохастичних чинників і дають можливість отримати розрахункові результати максимально наближеними до фактичних.

Використана література

1. Лобанов Л. М. Сварные строительные конструкции / Лобанов Л. М., Махненко В. И., Труфяков В. И. – К.: Наук. Думка, 2005 – 416 с.
2. 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.
3. Клёмин А. И. Надёжность ядерных энергетических установок: Основы расчёта / Клёмин А. И. – М. : Энергоатомиздат, 2006. – 344 с.
4. 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.
5. Пат. № 40196 Україна, МПК G01N 3/00. Пристрій для базування зварних ферм при випробуваннях на статичну та циклічну міцність / Шингера Н. Я., Ковальчук Я. О.; заявник і патентовласник Тернопіль. держ. техніч. ун-т. – № 40196 ; заявл.13.11.08 ; опубл. 25.03.09, Бюл. № 6.

Ковальчук Ярослав Олексійович – к.т.н., доцент, доцент кафедри будівельної механіки Тернопільського національного технічного університету ім. Івана Пулюя.

Шингера Наталія Ярославівна – к.т.н., асистент кафедри комп'ютерних систем та мереж Тернопільського національного технічного університету ім. Івана Пулюя.

Рибачок Оксана Іванівна – магістр Тернопільського національного технічного університету ім. Івана Пулюя.

Бойчук Андрій Васильович – студент Тернопільського національного технічного університету ім. Івана Пулюя.

Бобик Максим Петрович – магістр Тернопільського національного технічного університету ім. Івана Пулюя.