

DOI 10.26886/2414-634X.5(41)2020.11

UDC 624.078.3; 624.014.078.45; 624.3.

DURABILITY OF A WELDED TRUSS UNDER CYCLIC LOADS

M. Basara

<https://orcid.org/0000-0001-7174-6887>

e-mail: Basaram@ukr.net

Ya. Kovalchuk, PhD of Technical Sciences, Assoc. Professor

<https://orcid.org/0000-0002-3167-8901>

e-mail: yarkv@i.ua

N. Shynhera, PhD of Technical Sciences, Assoc. Professor

<https://orcid.org/0000-0002-3070-9008>

e-mail: natalyashynhera@gmail.com

Ternopil Ivan Puluj National Technical University, Ukraine, Ternopil

The paper presents the results of experimental studies of the durability of a rectangular welded truss. The truss is made of profile pipes with butt joint nodes. A concentrated cyclic load is adopted for the construction, which corresponds to the operating mode of the roof truss with the ways for the bridge crane. The study was performed using the method of semi-natural and computer simulation experiment in ANSYS Workbench 17 environment. It was found that the loss of bearing capacity by the truss during operation occurs due to the fatigue crack initiation in the K-shaped node on the upper chord of the truss. The durability of the truss is determined by the ratio of the parameters of force and time of operation of the truss. The results of the semi-natural and computer simulation experiment were verified and the fatigue damage indicators coincided at the level of 5.7%.

Keywords: welded truss, fatigue damage, truss nodes, durability of the truss.

Басара М. А., кандидат технічних наук, доцент, Ковальчук Я. О.; кандидат технічних наук, доцент Шингера Н. Я., Довговічність зварної ферми при дії циклічних навантажень / Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, Україна, Тернопіль.

В роботі наведено результати експериментальних досліджень довговічності прямокутної зварної ферми. Ферму виготовлено з профільних труб з безфасонковими вузлами. Для конструкції прийнято зосереджене циклічного навантаження, що відповідає експлуатаційному режиму підкроквяної ферми з шлямим для мостового підймального крана. Дослідження виконано за методикою напівнатурного і комп'ютерного моделюючого експерименту в середовищі ANSYS Workbench 17. Виявлено, що втрата тримкості фермою впродовж експлуатації відбувається за рахунок формування втомної тріщини в К-подібному вузлі на верхньому поясі ферми. Визначено довговічність ферми за співвідношенням параметрів силового впливу і часу експлуатації ферми. Виконано верифікацію результатів напівнатурного і комп'ютерного моделюючого експерименту і отримано співпадання показників втомної пошкоджуваності на рівні 5,7%.

Ключові слова: зварна ферма, втомне пошкодження, вузли ферми, довговічність ферми.

Постановка проблеми. Довговічність зварної ферми залежить від поєднання конструктивних, технологічних та силових чинників впродовж експлуатації конструкції до настання граничного стану. Граничний стан конструкції, яка експлуатується при циклічних навантаженнях, настає при досягненні втомної тріщиною такої довжини, при якій вичерпується тримальна здатність ферми. Впродовж

експлуатації ферми в місцях, де локалізуються максимальні напруження, зароджується втомна тріщина, яка в подальшому поширюється до критичної довжини.

Проблема полягає в тому, що втомні пошкодження накопичуються поступово, а руйнування конструкції настає раптово при експлуатаційних впливах. Для попередження аварійних ситуацій при дії на ферму циклічних навантажень при комплексному впливі конструктивних, технологічних та експлуатаційних чинників необхідно виявити співвідношенням параметрів силового впливу і часу експлуатації ферми.

Формулювання мети статті та задач. Метою роботи є виявлення проектної довговічності зварної ферми при її експлуатації за умов циклічних навантажень в залежності від геометричних параметрів конструкції, технології її отримання і характеристик силового впливу на неї. Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити завдання, які полягають у визначенні місць зародження втомної тріщини та часу експлуатації досліджуваної конструкції до настання граничного стану при різних значеннях циклічних навантажень.

Виклад основного матеріалу. Дослідження довговічності зварних ферм при дії циклічних навантажень виконували натурним експериментом [1-3], напівнатурним експериментом [4, 5], комп'ютерним моделюючим експериментом [2, 3, 6].

Комплексний вплив конструктивних, технологічних та експлуатаційних чинників найповніше враховуються при натурному експерименті. Однак це зумовлює значні матеріальні витрати на зразки і випробувальне устаткування.

Сучасний стан обчислювальної техніки і прикладного програмного забезпечення дають можливість максимально наблизити результати

комп'ютерного моделюючого експерименту до показників натурних досліджень.

Дослідження виконано для прямокутної ферми розмірами 4954x1596 мм із трикутною решіткою, а також для її фізичної моделі 550x167мм (рис. 1). Елементи ферми виготовлено з профільних труб різноманітних розмірів зі сталі ВСтЗсп. Зварні з'єднання виконано напівавтоматичним електродуговим зварюванням в середовищі CO_2 з використанням дротового електроду Св08Г2С.

Базування ферм здійснено по осях крайніх вузлів на нижньому поясі, а зосереджене циклічне навантаження P прикладене до центрального вузла на верхньому поясі. Такі умови максимально наближені до експлуатаційного режиму ферми, на яку встановлено кроквяні конструкції з підкрановими шляхами для мостового підйимального крану.

Для досягнення поставленої в роботі мети прийнято такий алгоритм досліджень:

- розроблено конструкцію фізичної моделі для досліджуваної ферми;
- виконано напівнатурний силовий експеримент для цієї фізичної моделі зварної ферми;
- виконано комп'ютерний моделюючий експеримент для цієї ж фізичної моделі і аналогічних впливах на неї;
- виконано верифікацію результатів за п.2 і п.3 і отримано задовільні показники їх співпадання;
- виконано комп'ютерний моделюючий експеримент для повномасштабної досліджуваної ферми, прийнявши параметри скінченно-елементної моделі за аналогією з параметрами для фізичної моделі.

Такий методичний підхід дає можливість отримати високий рівень співпадіння результатів комп'ютерного моделюючого експерименту для повномасштабних ферми з результатами її натурних досліджень.

Напівнатурні дослідження виконано для фізичної моделі зварної ферми при дії на неї циклічного силового впливу (рис. 1, а) на сервогидравлічному випробувальному комплексі СТМ-100 (рис. 1, б).

Силовий вплив здійснюється за допомогою керованого по силі переміщення штока 2 та через опорний стенд передається на досліджувану ферму згідно прийнятої схеми базування і навантажування. Величину навантаження отримували від динамометра 6. Результати досліджень подано в табл. 1.

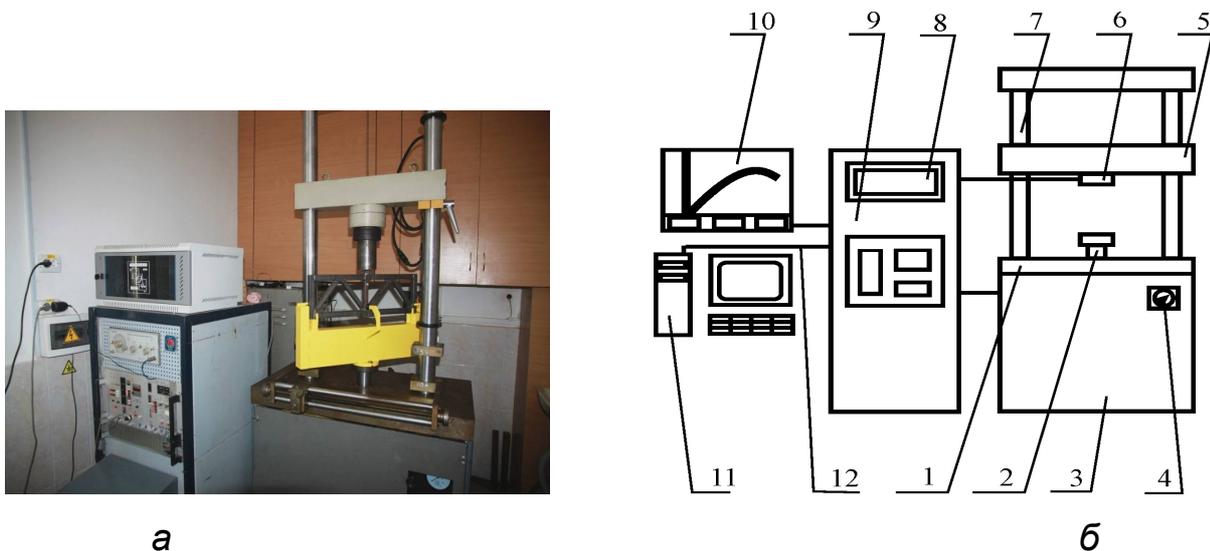


Рис. 1. Випробувальний комплекс СТМ-100

а – фізична модель зварної ферми в процесі випробувань;

б – структурна схема випробувального комплексу

1 – робочий стіл; 2 – шток гідроциліндра; 3 – гідростанція;

4 – манометр; 5 – траверса; 6 – динамометр; 7 – колона;

8 – генератор сигналів;

9 – аналогово-цифровий перетворювач; 10 – двокоординатний

потенціометр; 11 – керуючий комп'ютер; 12 – лінії зв'язку

Дослідження комп'ютерним моделюючим експериментом виконано в середовищі ПК ANSYS Workbench 17.1. Група скінченних елементів, яка використовується для створення скінченно-елементної сітки для елементів ферми та зварних швів, – SOLID 226 [7]. Обрано саме цей скінченний елемент, оскільки він підтримує всі види геометричних фігур детермінованих елементів. Тип аналізу для визначення періоду до зародження втомної тріщини обрано Stress Life, який базується на кривій Веллера.

Для корекції середніх напружень циклу обрано теорію Гербера для пластичних матеріалів, яка враховує силові характеристики матеріалу (1). Силовий фактор втоми $K_f = 1$.

$$\frac{\sigma_{\text{Змінне}}}{S_{\text{Межа витривалості}}} + \left(\frac{\sigma_{\text{середнє}}}{S_{\text{Межа міцності}}} \right)^2 = 1 \quad (1)$$

де $\sigma_{\text{Змінне}} = (\sigma_{\text{max}} - \sigma_{\text{min}}) / 2$, $\sigma_{\text{середнє}} = (\sigma_{\text{max}} + \sigma_{\text{min}}) / 2$, $S_{\text{Межа витривалості}}$ – межа витривалості сталі $S_{\text{Межа міцності}}$ – межа міцності сталі.

Для ідентифікації напружень у вузлах, а саме у зварних швах використано силовий компонент за критерієм еквівалентних напружень Мізеса (2).

$$\sigma_{\text{екв}} = \frac{1}{\sqrt{2}} \sqrt{(\sigma_x - \sigma_y)^2 + (\sigma_y - \sigma_z)^2 + (\sigma_z - \sigma_x)^2 + 6(\tau_{xy}^2 + \tau_{yz}^2 + \tau_{xz}^2)} \quad (2)$$

де σ_x – нормальні напруження по осі x скінченного елемента, відповідно σ_y – по осі y , σ_z – по осі z , τ_{xy} – дотичні напруження в напрямку xu скінченного елемента, τ_{yz} – в напрямку yz , τ_{xz} – в напрямку uz .

Параметри вхідних даних, по яких розраховувались період до зародження, поширення та досягнення тріщиною критичної довжини,

отримано за результатами експериментальних досліджень зварних зразків сталі ВСтЗсп [2].

За результатами досліджень визначено параметри НДС в конструктивних елементах і у місцях їх зварних з'єднань для скінченно-елементної моделі (СЕМ) зварної ферми (рис. 2, а). З отриманого розподілу очевидно, що найбільші напруження формуються у лівому проміжному розкосі зі сторони + X глобальної системи координат (рис. 2, а). Виходячи з цього очевидним є те, що перша втомна тріщина появляється саме в цьому вузлі. За аналізом параметрів НДС по поверхні пояса і розкосу виявлено, що зародження тріщини відбувається на початку зварного шва між поясом і розкосом зі сторони вертикальної осі ферми (рис. 2, а).

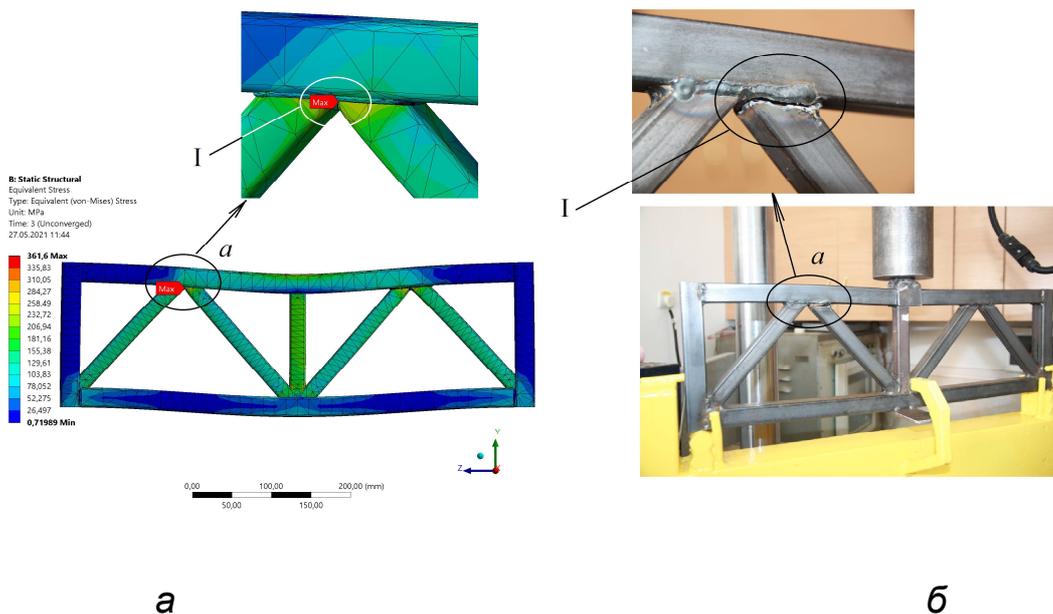


Рис. 2. Фізична модель зварної ферми
а – 3-d модель ; б – фізична модель

За результатами напівнатурного експерименту виявлено місце зародження втомної тріщини та період до моменту настання граничного стану (рис. 2, б).

Отримано показники втомної пошкодженості для СЕМ ферми з розмірами фізичної моделі зварної ферми (табл.1).

Таблиця 1

Показники втомного пошкодження фізичної моделі зварної ферми

Методи досліджень	Навантаження, кН		Коефіцієнт асиметрії циклу, г	Частота навантаження, ν Гц.	Кількість циклів	
	P_{max}	P_{min}			До появи втомної тріщини	До настання граничного стану
КМЕ	15	3	0,2	50	658354	987543
Напівнатурний експеримент	15	3	0,2	50	711681	906564

Виконано верифікацію отриманих результатів. Виявлено задовільний рівень співпадання показників періоду до зародження втомної тріщини 5,7 % та до настання граничного стану 8,7 %.

Виконано дослідження повномасштабної зварної ферми комп'ютерним моделюючим експериментом. При цьому параметри скінченно-елементної моделі взято з попереднього експерименту.

Враховуючи верифікацію попередніх результатів, це забезпечить високу достовірність отриманих показників. Виявлено, що максимальні напруження формуються в тому ж місці, що і в попередніх дослідженнях (рис. 3, а).

Визначено кількість циклів до моменту зародження втомної тріщини і до моменту настання граничного стану (табл. 2).

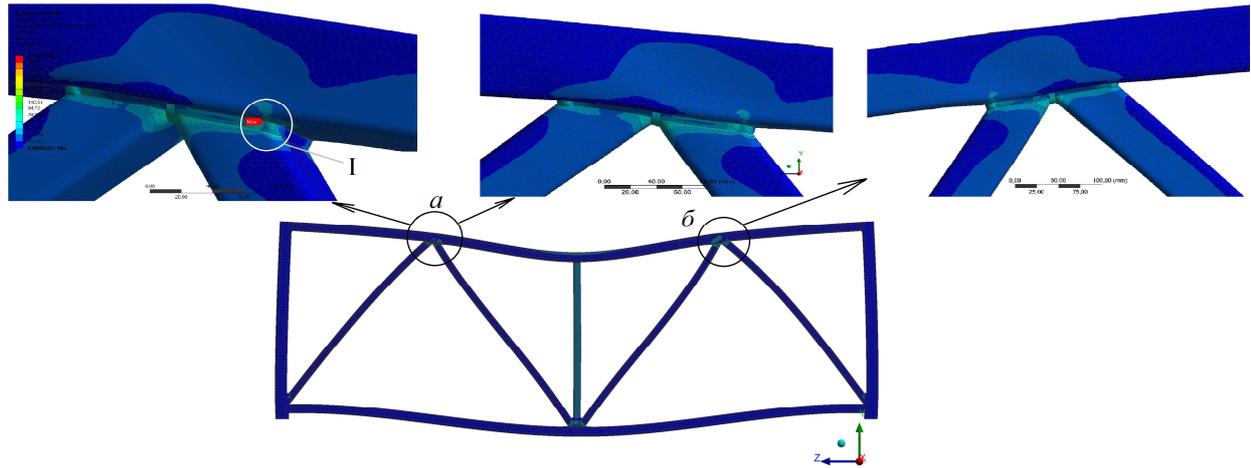


Рис. 3. Розподіл напружень зварної ферми

a – у лівому проміжному розкосі **б** –у правому проміжному розкосі

Таблиця 2

Показники втомного пошкодження повномасштабної ферми

Навантаження, кН		Коефіцієнт асиметрії циклу, r	Частота навантаження, ν Гц.	Кількість циклів	
				До появи втомної тріщини	До настання граничного стану
P_{\max}	P_{\min}				
50	10	0,2	0,1	439470	938940
40	10	0,25	0,1	968300	1542600
30	10	0,3	0,1	1671850	2943700
20	10	0,5	0,1	3357850	6695700

За результатами комп'ютерного моделюючого експерименту побудовано криву втомної чутливості (рис. 4) [7].

Крива втомної чутливості дає можливість визначити кількість циклів до настання граничного стану для досліджуваної ферми при різних значеннях навантаження. Такою інформацією можна скористатися як при проектуванні ферм, так і впродовж їх експлуатації.

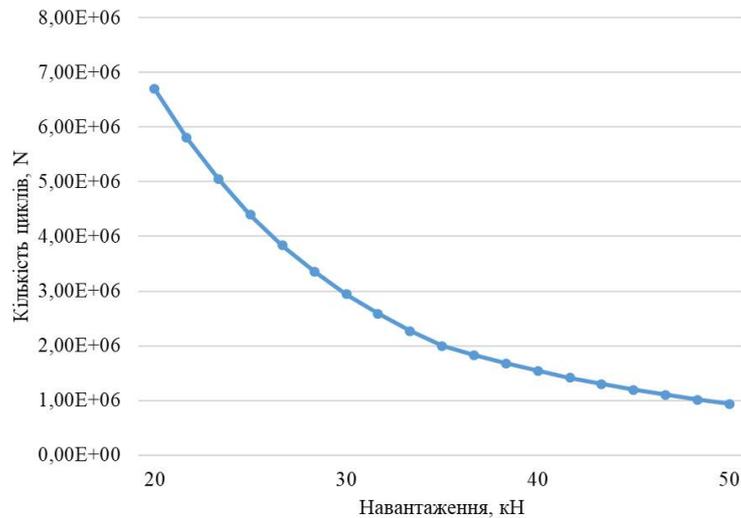


Рис. 4. Крива втомної чутливості

Висновки.

1. За результатами досліджень виявлено, що втомна тріщина, яка ініціює пошкодження конструкції впродовж експлуатації аж до її руйнування, зароджується в К-подібному вузлі на верхньому поясі ферми.

2. Отримано задовільне співпадання показників втомної пошкоджуваності ферми за результатами силового і комп'ютерного моделюючого експерименту на рівні 5,7...8,4%.

3. Довговічність конструкції визначено за співвідношенням параметрів силового впливу і часу експлуатації ферми, які зумовлюють поширення тріщини до настання граничного стану.

4. Отримані результати доцільно застосовувати як при проектуванні нових ферм, так і для попередження руйнування конструкцій, які знаходяться в експлуатації.

Література:

1. Fatigue life assessment of large scale T-jointed steel truss bridge components (2017). C. Shun Yao, C. Weizhen, M. Mohammad et al. Journal of Constructional Steel Research. №153. P. 499–509.

2. Шингера, Н.Я. (2012). Статистична модель для визначення залишкового ресурсу типової зварної ферми при циклічних навантаженнях: дис. канд. техн. наук: 01.05.02 – математичне моделювання та обчислювальні методи. Н.Я. Шингера. Тернопіль. 166 с.
3. Fatigue life evaluation of welded joints in steel bridge considering residual stress. (2019). C. Chuang, Z. Qinghua, B. Yi et al.. // Journal of Constructional Steel Research Volume. №153. P. 509–518.
4. Nussbaumer A. Size effects in the fatigue behavior of welded steel tubular bridge joints (2008). A. Nussbaumer, A. L. Costa Borges. Materialwissenschaft und Werkstofftechnik. №10. P. 740–748.
5. Schumacher, A. and Nussbaumer, A., (2006). Experimental study on the fatigue behavior of welded tubular k-joints for bridges. Engineering Structures and Designing Procedures Of The Tubular Truss Beams Welded Joints According With En 1993-1-8. Vol. 28, P. 745–755.
6. Ковальчук Я.О. (2017). Конструювання вузлів зварних ферм з використанням ПК ANSYS. Я. О.Ковальчук, Н.Я. Шингера, М.А.Басара //Вісник ТНТУ ім. Івана Пулюя. № 1(85). С. 47 –52.
7. ANSYS Inc. 2016, ANSYS 17.1 Help System. Canonsburg, Pennsylvania.

References:

1. Fatigue life assessment of large scale T-jointed steel truss bridge components (2017). C. Shunyao, C. Weizhen, M. Mohammad et al. Journal of Constructional Steel Research. №153. P. 499–509.
2. Shynhera N. Ya. (2012). Statystychna model dlia vyznachennia zalyshkovoho resursu typovoi zvarnoi fermy pry tsyklichnykh navantazhenniakh [Statistical model for determination of the residual resource of a typical weld-fabricated truss] at cyclic loading]: dys. kand.

tekhn. nauk [thesis. ph.d. Engineering Sciences]: 01.05.02. Ternopil. 166 p. [in Ukrainian]

3. Fatigue life evaluation of welded joints in steel bridge considering residual stress (2019). C. Chuang, Z. Qinghua, B. Yi et al.. // Journal of Constructional Steel Research Volume. №153. P. 509–518.

4. Nussbaumer A. Size effects in the fatigue behavior of welded steel tubular bridge joints (2008). A. Nussbaumer, A. L. Costa Borges. Materialwissenschaft und Werkstofftechnik. №10. P. 740–748.

5. Schumacher, A. and Nussbaumer, A., (2006). Experimental study on the fatigue behavior of welded tubular k-joints for bridges. Engineering Structures and Designing Procedures Of The Tubular Truss Beams Welded Joints According With En 1993-1-8. Vol. 28, P. 745–755.

6. Kovalchuk Ya. O., Shynhera N. Ya., Basara M. A. (2017). Konstruiuvannia vuzliv zvarnykh ferm z vykorystanniam PK ANSYS [Construction of welded truss nodes using ANSYS software complex]. Visnyk TNTU im. Ivana Puliuia. № 1 (85). P. 47–52. [in Ukrainian]

7. ANSYS Inc. 2016, ANSYS 17.1 Help System. Canonsburg, Pennsylvania.

Citation: M. Basara, Ya. Kovalchuk, N. Shynhera (2020). DURABILITY OF A WELDED TRUSS UNDER CYCLIC LOADS. Innovative Solutions in Modern Science. 5(41). doi: 10.26886/2414-634X.5(41)2020.11

Copyright: M. Basara, Ya. Kovalchuk, N. Shynhera ©. 2020. This is an openaccess article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (CC BY). The use, distribution or reproduction in other forums is permitted, provided the original author(s) or licensor are credited and that the original publication in this journal is cited, in accordance with accepted academic practice. No use, distribution or reproduction is permitted which does not comply with these terms.