

УДК 620.191.33

**Н. Шингера; Л. Щербак, докт. техн. наук***Тернопільський державний технічний університет імені Івана Пулюя***СТАТИСТИЧНА ОЦІНКА ПРОГНОЗОВАНОГО ЗАЛИШКОВОГО  
РЕСУРСУ ЗВАРНИХ КОНСТРУКЦІЙ**

*Ступінь пошкоджуваності типових зварних металоконструкцій залежить від поєднання конструктивних, технологічних і експлуатаційних факторів і визначає, в свою чергу, залишковий ресурс конструкції та її споживчу вартість. За результатами проектування, експлуатації і дослідження типових зварних металоконструкцій зроблено висновок, що найвищу збіжність прогнозованих і фактичних результатів дають методики на основі стохастичних моделей. В роботі розглядається статистичний підхід для визначення залишкового ресурсу типових зварних навантажених конструкцій. За основу взятий лог-нормальний закон умовної щільності розподілу ймовірностей часових термінів експлуатації. Використавши аналітичні залежності для цього закону розподілу, побудовано графічні залежності, за якими можна визначити залишковий ресурс експлуатації виробу. Результати роботи можуть бути використані як при розробці проектної документації типових зварних навантажених металоконструкцій, так і для визначення залишкової вартості зварних конструкцій, які експлуатуються.*

**N.Shynera, L.Scherbak****STATISTICAL ESTIMATION OF WELDED CONSTRUCTION  
PREDICTED REMAINING LIFE**

*Damageability rate for standard welded constructions depends on the combination of design, processing and operational factors and it determines remaining life and use value of a construction. On the basis of the results of design, operation and research on standard welded constructions there was made up the conclusion that the methods based on stochastic models give the highest coincidence between predicted and observed results. The statistical approach to remaining life of loaded standard welded constructions has been considered in the paper. The logarithmic normal law of conditional frequency distribution of operating time was assumed as a basis. Having applied the analytic dependences to the distribution law, the author has constructed dependence curves that can help to determine remaining life of a construction. The obtained results can be used both to develop project documentation for loaded standard welded constructions and to determine residual value of the welded constructions being in use.*

**Вступ**

Використання зварних з'єднань для отримання навантажених металоконструкцій вимагає великої відповідальності від проектувальників, технологів та експлуатаційників. Проблемним питанням для зварних навантажених металоконструкцій (будівельні ферми дахового перекриття, металоконструкції мостів, рамні металоконструкції транспортних засобів, тримкі балки підвісних конвеєрів, фермові конструкції підймальних кранів, опор ліній електропередач тощо) є суттєве розсіювання показників міцності, надійності та довговічності, зумовлене широким спектром факторів впливу на них. Тому для безаварійної роботи типових зварних навантажених металоконструкцій необхідно забезпечити високу якість проектування та виготовлення виробів, а також спрогнозувати період експлуатації до настання граничного стану (вичерпування ресурсу).

Класичні інженерні розрахунки навантажених зварних металоконструкцій є досить умовними [1]. Ускладнюючими чинниками для класичних методик розрахунку є статична невизначеність системи, широкий діапазон режимів робочих навантажень, вплив побічних факторів (температурні деформації, вітрові навантаження, корозійне пошкодження, аварійні перевантаження). Суттєвою перешкодою для отримання достовірних розрахункових результатів за класичними методиками є варіативність характеристик зварного шва і навколошовної ділянки (зони термічного впливу) [2].

На сучасному етапі дослідження конструктивних параметрів та робочого ресурсу типових навантажених зварних металоконструкцій провідними є роботи Баженова В.А., Дашенка О.Ф., Коломійця Л.В., Оробея В.Ф. [3,4]. Особливістю їх досліджень є використання методу граничних елементів. Такий підхід дає можливість за допомогою сучасної обчислювальної техніки розглядати різноманітні розрахункові схеми, режими навантаження, створюючи відповідні математичні моделі. Однак збіжність таких розрахунків з фактичними показниками зварних металоконструкцій не в повній мірі відповідає сучасним вимогам. Це пояснюється впливом багатьох випадкових чинників як технологічного, так і експлуатаційного характеру, які не враховуються при моделюванні на основі методу граничних елементів.

Реальна картина вичерпування ресурсу зварних навантажених металоконструкцій та досягнення ними граничного стану може бути отримана лише за результатами спостережень при експлуатації діючих об'єктів. Однак, враховуючи недопустимість руйнування для реальних об'єктів, вченими й інженерами виконано багато експериментальних досліджень як на натурних зразках, так і їх масштабних моделях за нормативними методиками [5]. Отримано значні об'єми експериментальних результатів, які дають можливість виконати їх статистичну обробку, побудувати графічні залежності і розробити стохастичні моделі. Важливі дослідження в цьому напрямку виконали R.L.Kashyap, A.Ramachandra Rao [6], Лейфер Л.А. [7, 8], Разживіна В.С. [8], Болотін В.В. [9], Anston Marson, Robley Winfrey, Jean C.Hempstead [10]. Отримані стохастичні моделі характеризують поведінку типових зварних навантажених металоконструкцій і можуть використовуватись в інженерних розрахунках для визначення їх конструктивних елементів, режимів навантажень та термінів експлуатації.

### Постановка задачі

При експлуатації зварної навантаженої конструкції в складових елементах та зварних з'єднаннях виникають напруження та накопичуються різного роду пошкодження. Природно, що чим довше експлуатувався об'єкт, тим більше пошкоджень накопичилося і тим меншим є його залишковий термін експлуатації до досягнення ним граничного стану.

У даній роботі об'єктом дослідження є зварна фермова конструкція опори магістральної лінії електропередач (ЛЕП) високої напруги (рис. 1).

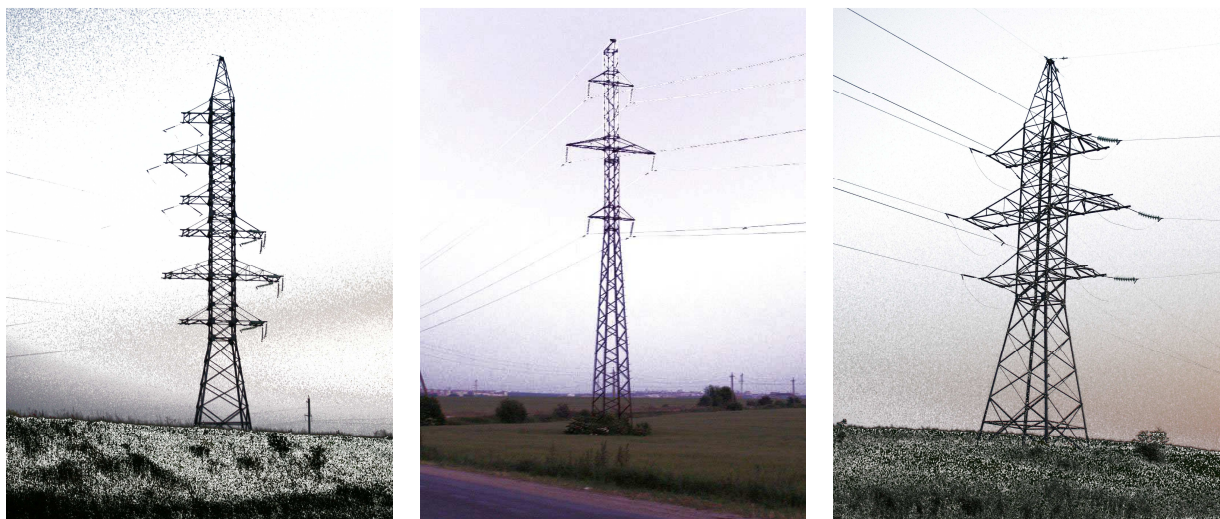


Рисунок 1 - Зварна фермова конструкція опори магістральної ЛЕП високої напруги

Особливістю конструкції є значні розміри, складний режим навантажень та висока відповідальність конструкції. Навантаження виникають від власної ваги, ваги

електроізоляторів, електропровідників, їх обледеніння взимку (статичні навантаження), від вітрових навантажень на конструкцію та провідники (циклічні навантаження), від температурних деформацій елементів конструкцій (внутрішні напруження) та провідників (циклічні навантаження), від ударів блискавки (динамічні навантаження). Крім того, на вичерпування ресурсу впливає інтенсивність атмосферної корозії як окремих елементів, так і зварних швів.

Метою роботи є збір, систематизація та статистичний аналіз виявлених закономірностей пошкоджуваності опор магістральних ЛЕП високої напруги під впливом експлуатаційних чинників з врахуванням максимальної кількості реальних критеріїв впливу (конструктивних, технологічних, кліматичних, аварійних, корозійних, втомних, деградаційних, кваліфікаційних, металургійних тощо). За результатами статистичного аналізу встановлюються параметри закономірностей пошкоджуваності об'єкту дослідження. Отримана інформація забезпечить можливість з високим рівнем достовірності прогнозувати залишковий ресурс роботи зварних фермових опор ЛЕП аж до настання граничного стану, а отже, максимально використати фактичний ресурс конструкції.

### Основні результати

На основі аналізу результатів наукових публікацій [6...10], включаючи класичні [11...13], можна обґрунтувати, що для зварних фермових конструкцій опор магістральних ЛЕП з врахуванням багатоспектровості навантажень залишковий строк служби визначається випадковою величиною, яка описується лог-нормальним законом розподілу [6]. Умовна щільність лог-нормального закону розподілу залишкового строку експлуатації, вираженого в умовних одиницях, за умови, що об'єкт дожив до віку  $\tau$ , визначається за залежністю (1) [6]:

$$f(t) = \begin{cases} \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma t}} e^{-\frac{(\lg t - \mu)^2}{2\sigma^2}}, & t > \frac{\tau}{\tau_n} \\ 0, & t \leq \frac{\tau}{\tau_n} \end{cases} \quad (1)$$

де  $\tau$  – час, впродовж якого конструкція експлуатувалася до проведення досліджень;

$\tau_n$  – нормативний строк служби об'єктів даного класу;

$t$  – безрозмірний аргумент умовної щільності розподілу.

Для подальших розрахунків і побудови графіків приймаємо, що коефіцієнт варіації  $\rho = 0,3$ , і допустимий рівень вибуття об'єктів з експлуатації до досягнення ними нормативного строку  $\alpha = 0,1$ . Введемо поняття *відносного віку об'єкта*  $v$  як безрозмірного коефіцієнта

$$v = \frac{\tau}{\tau_n}. \quad (2)$$

На підставі залежностей (1) та вказаних вище припущень отримано графічну залежність умовної щільності розподілу залишкового строку служби зварної фермової опори ЛЕП (рис. 2).

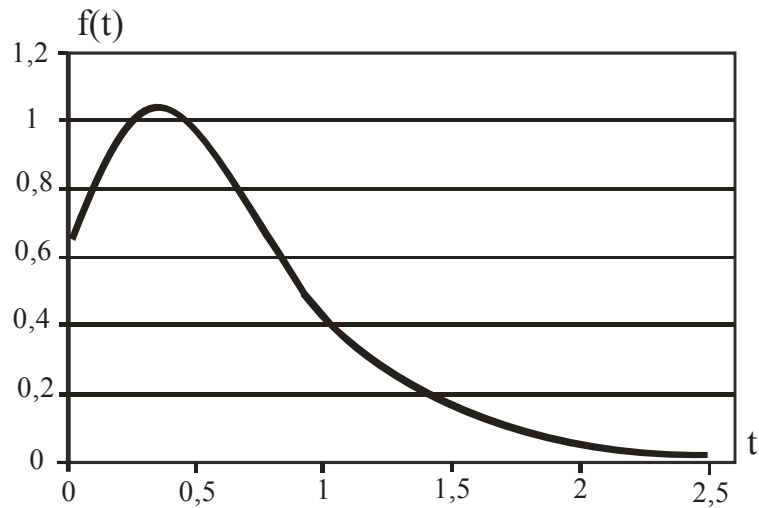


Рисунок 2 – Умовна щільність розподілу залишкового строку служби зварної фермової опори ЛЕП

Знаючи умовну щільність розподілу залишкового строку служби (1) за умови, що об'єкт експлуатувався впродовж часу  $\tau$ , можна визначити середнє значення залишкового строку служби  $T$  (у відносних одиницях):

$$T = \frac{\tau_z}{\tau_n} \quad (3)$$

де  $\tau_z$  – залишковий строк служби.

Для цього використовують графічну залежність середнього залишкового строку служби від фактичного строку експлуатації перед датою оцінки (рис. 3).

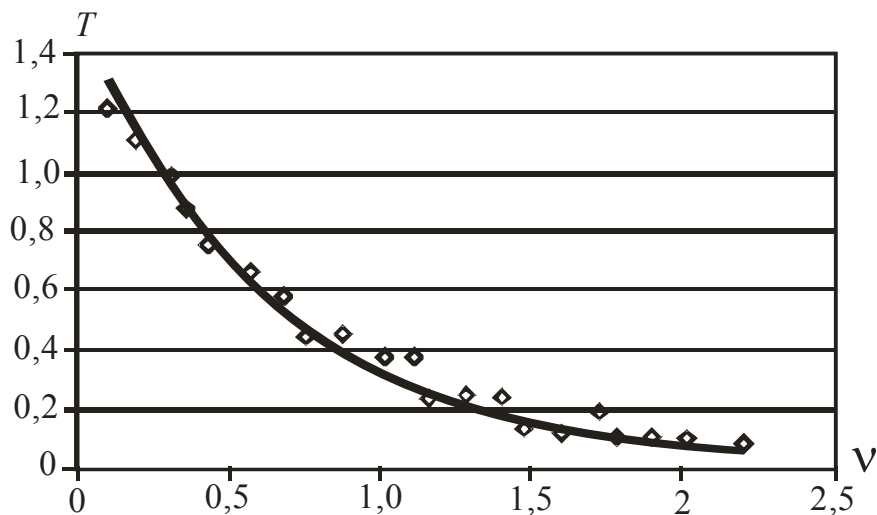


Рисунок 3 - Залежність середнього залишкового строку служби  $T$  від відносного віку конструкції  $v$

Цю залежність отримано шляхом статистичного моделювання випадкових величин, які генерувалися згідно з умовною щільністю розподілу (рис. 2) та апроксимацією отриманих результатів.

Отримані статистичні результати ілюструють імовірнісну природу довговічності навантажених зварних конструкцій і мають вищу збіжність з фактичними результатами в порівнянні з детермінованими моделями. Вони показують, що досягнення об'єктом нормативного строку не означає повного вичерпування ресурсу за умови експлуатації і обслуговування конструкції згідно з технічною документацією. З графіка видно динаміку наближення граничного стану впродовж експлуатації.

Отримані результати зручні для використання на практиці. Для прикладу оцінимо можливий строк подальшої експлуатації зварної фермової опори ЛЕП, яка використовується впродовж  $\tau = 24$  років. Нормативний термін експлуатації для виробів такого класу становить  $\tau_n = 30$  років. За залежністю (2) відносний вік об'єкту

$$v = \frac{\tau}{\tau_0} = \frac{24}{30} = 0,8.$$

З графіка на рис. 3 для  $v = 0,8$  визначаємо середнє відносне значення залишкового ресурсу  $T = 0,4$ . Отже, абсолютне значення залишкового строку служби становить

$$\tau_z = \tau_n \cdot T = 30 \cdot 0,4 = 12 \text{ років.}$$

### **Висновки**

В роботі отримано статистичні закономірності середнього залишкового строку служби  $T$  від фактичного строку експлуатації  $\tau$  для типових зварних фермових конструкцій опор ЛЕП, які працюють в умовах дії значної кількості і різних видів навантажень. Результати роботи можуть бути використані для аналізу технічного стану конструкцій, які знаходяться в експлуатації, оцінки їх прогнозованого залишкового ресурсу до настання граничного стану.

### **Література**

1. Металлические конструкции: Спец. курс/ Е.И.Беленя, Н.Н.Стрелецкий, Г.С.Ведеников и др. – М.: Стройиздат, 1982. – 472 с
2. Николаев Г.А., Куркин С.А., Винокуров В.А. Сварные конструкции. Прочность сварных соединений и деформации конструкций: Учеб. пособие. – М.: Высш. школа, 1992. – 272 с., ил.
3. Баженов В.А., Дашенко О.Ф., Коломієць Л.В., Оробей В.Ф. Будівельна механіка. Спеціальний курс: Застосування методу граничних елементів: Навчальний посібник. – Одеса: Астропринт, 2001. – 288 с.
4. В.А.Баженов, Е.З.Криксунов, А.В.Перельмутер, О.В.Шишов. Информатика. Інформаційні технології в будівництві. Системи автоматичного проектування: - К.: Каравела, 2004. – 360 с.
5. Экспериментальные методы исследования деформаций и напряжений: справочное пособие / Под ред. Б. С. Касаткина. — К.: Наукова думка, 1981. – 420 с.
6. Постороение динамических стохастических моделей по экспериментальным данным. Кашьяп Р.П., Рао А.П. Пер. с англ. –М.: Наука. Главная редакция физико-математической литературы, 1993. – 384с.
7. Лейфер Л.А. Методы прогнозирования остаточного ресурса машин и их программное обеспечение. – М.: Знание, 1988. — 60 с.
8. Лейфер Л.А., Разживина В.С., Вероятностное описание характеристик усталости на основе распределения Кептейна. В кн.: Точность и надежность механических систем. Исследование деградации машин. Рига, 1988. — С.73- 91
9. Болотин В.В., Прогнозирование ресурса машин и конструкций. – М.: Машиностроение, 1984. – 312 с.
10. Anston Marson, Robley Winfrey, Jean C.Hempstead. Engineering Valuation and Depreciation. Iowa State University Press, 1982.
11. ГОСТ 27. 002-89 Надежность в технике. Основные понятия. Термины и определения. Москва: Госстандарт СССР, 1989. – 48 с.
12. Решетов Д.Н., Иванов А.С., Фадеев В.З. Надежность машин. - М.: Высшая школа, 1988. - 238 с.
13. Надежность и эффективность в технике. Справочник в 10 томах.-М.: Машиностроение, 1987. – 351с.

*Одержано 21.05.2008 р.*