

# ПІДВИЩЕННЯ РЕСУРСУ ЕКСПЛУАТАЦІЇ ЗВАРНИХ БУДІВЕЛЬНИХ КОНСТРУКЦІЙ: ВИКЛИКИ, МОЖЛИВОСТІ ТА ІНЖЕНЕРНІ РІШЕННЯ

Дніпровський державний технічний університет

## Анотація

*У дослідженні розглянуто актуальну проблему відновлення та продовження ресурсу експлуатації зварних будівельних конструкцій, що зазнали фізичного та морального зношення, особливо в умовах обмеженого фінансування на нове будівництво. Основна увага приділена розробці комплексного підходу до оцінювання технічного стану та залишкової міцності зварних вузлів після дії несприятливих зовнішніх чинників. Застосовано поєднання експериментальних випробувань, чисельного моделювання, аналізу нормативної бази та методів неруйнівного контролю. Встановлено ефективність локального підсилення зварних з'єднань за допомогою композитів на основі вуглеволокна (CFRP), що дозволяє підвищити залишкову несучу здатність до 50 %. Запропоновано методику комплексної оцінки ресурсу конструкцій із урахуванням кумулятивної втоми, локальної пластичної деформації та старіння металу. Наукова новизна полягає у синтезі традиційних інженерних підходів із сучасними матеріалами для оперативного відновлення конструкцій у реальних умовах. Практична значущість результатів полягає в їх придатності для широкого впровадження в діяльність організацій, що займаються технічним обслуговуванням та реконструкцією об'єктів інфраструктури.*

**Ключові слова:** зварні конструкції, залишковий ресурс, підсилення, пошкодження, композити CFRP

У зв'язку зі значним фізичним та моральним зношенням інфраструктурних об'єктів, зокрема зварних будівельних конструкцій, виникає нагальна потреба у відновленні та продовженні ресурсу їх експлуатації. В умовах обмежених ресурсів на нове будівництво особливо актуальним є застосування сучасних підходів до оцінювання технічного стану, підвищення міцності та забезпечення надійності зварних з'єднань після дії несприятливих зовнішніх чинників. Ця тематика є своєчасною, оскільки ефективне використання залишкового ресурсу конструкцій може суттєво зменшити витрати на реконструкцію та підвищити стійкість об'єктів до повторних навантажень.

У сучасних умовах основною проблемою є обмежена ефективність існуючих методів діагностики та оцінювання залишкового ресурсу зварних конструкцій, які зазнали дії надзвичайних зовнішніх навантажень, зокрема теплових, вібраційних, механічних тощо. Крім того, більшість традиційних технологій ремонту передбачають проведення складних робіт у стаціонарних умовах, що не завжди є прийнятним для оперативного відновлення конструкцій у реальних експлуатаційних умовах.

Метою цього дослідження є розробка комплексного підходу до оцінювання залишкової міцності та ресурсу експлуатації зварних будівельних конструкцій, які зазнали пошкоджень, із застосуванням сучасних методів діагностики та матеріалів для локального підсилення.

Для досягнення поставленої мети було застосовано поєднання кількох методів дослідження. Зокрема, проводилися лабораторні випробування зразків зварних з'єднань із моделями типових експлуатаційних пошкоджень. Було здійснено чисельне моделювання напружено-деформованого стану зварних вузлів із використанням програмного забезпечення MSC Nastran та Abaqus, що дозволило оцінити граничні стани конструкцій. Також було проаналізовано нормативно-технічну документацію [1,2] та світовий досвід [3,4], а також використано методи неруйнівного контролю (ультразвукова дефектоскопія, візуальний та магнітопорошковий контроль).

У результаті сформульовано критерії визначення допустимого рівня пошкоджень у зварних вузлах із урахуванням типу навантаження та властивостей матеріалу. Встановлено, що

застосування армувальних композитів на основі вуглеволокна (CFRP) для локального підсилення дозволяє підвищити залишкову несучу здатність зварного вузла в середньому на 35...50%, залежно від конфігурації та характеру пошкодження. Запропоновано технологію використання мобільних систем оцінки пошкоджень на базі візуальної діагностики та тестів на жорсткість і залишкову деформацію. Також розроблено методику оцінювання ресурсу з урахуванням кумулятивної втоми, локальної пластичної деформації та ступеня металевого старіння.

Наукова новизна роботи полягає у поєднанні традиційних інженерних підходів із сучасними матеріалами, зокрема композитами CFRP, для локального підсилення зварних з'єднань після експлуатаційних пошкоджень. Запропоновано нову методику комплексного оцінювання ресурсу, яка враховує вплив як квазістатичних, так і динамічних навантажень, що дозволяє більш точно прогнозувати залишкову міцність конструкцій.

Практична значущість дослідження полягає в можливості впровадження запропонованих рішень у діяльність будівельно-монтажних організацій та підприємств, відповідальних за технічне обслуговування й відновлення об'єктів інфраструктури. Розроблені підходи не потребують високоспеціалізованого обладнання, можуть реалізовуватися в умовах обмежених ресурсів та дозволяють скоротити час на проведення відновлювальних робіт.

Таким чином, дослідження підтверджує, що підвищення ресурсу зварних будівельних конструкцій є досяжним шляхом впровадження сучасних методів діагностики, чисельного моделювання та використання композитних матеріалів для локального підсилення. Отримані результати можуть бути адаптовані до різних типів конструкцій та мають потенціал для широкого практичного застосування в програмах модернізації та реконструкції.

#### СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. ДСТУ-Н Б В.2.6-212:2016. Настанова з оцінювання технічного стану зварних будівельних конструкцій будівель і споруд.
2. ISO 15614-1:2017. Specification and qualification of welding procedures for metallic materials – Welding procedure test – Part 1: Arc and gas welding of steels.
3. Fatemi, A., & Yang, L. (1998). Cumulative fatigue damage and life prediction theories: a survey of the state of the art for homogeneous materials. *International Journal of Fatigue*, 20(1), 9–34. [https://doi.org/10.1016/S0142-1123\(97\)00081-9](https://doi.org/10.1016/S0142-1123(97)00081-9).
4. Wang B, Zhong S, Lee TL, Fancey KS, Mi J. Non-destructive Testing and Evaluation of Composite Materials/Structures: A Current Review. *Achievements in Mechanical Engineering*. 2014;12(4). doi: 10.1177/1687814020913761.

Макаренко Микола Вікторович, аспірант, Дніпровський державний технічний університет, м. Кам'янське,

Шевцов Віктор Борисович, аспірант, Дніпровський державний технічний університет, м. Кам'янське,

Носов Денис Геннадійович, к.т.н., доцент, Дніпровський державний технічний університет, м. Кам'янське, nosov\_dstu@ukr.net

#### INCREASING THE EXPLOITATION RESOURCE OF WELDED BUILDING STRUCTURES: CHALLENGES, OPPORTUNITIES AND ENGINEERING SOLUTIONS

##### **Abstract**

The study addresses the pressing issue of restoring and extending the service life of welded building structures that have undergone physical and functional deterioration, particularly in the context of limited funding for new construction. The main focus is on developing a comprehensive approach to assessing the technical condition and residual strength of welded joints after exposure to adverse external factors. A combination of experimental testing, numerical modeling, analysis of regulatory frameworks, and non-destructive testing methods was employed. The effectiveness of local reinforcement of welded connections using carbon fiber reinforced polymer (CFRP) composites was established, demonstrating an increase in residual load-bearing capacity of up to 50%. A methodology for the comprehensive assessment of structural resource is proposed, considering cumulative fatigue,

local plastic deformation, and metal aging. The scientific novelty lies in the synthesis of traditional engineering approaches with modern materials for the rapid rehabilitation of structures in real-world conditions. The practical significance of the results lies in their suitability for widespread implementation in the activities of organizations involved in the maintenance and reconstruction of infrastructure facilities.

**Keywords:** welded structures, residual life, reinforcement, damage, CFRP composites.

Makarenko Mykola, postgraduate student, Dniprovsky State Technical University, Kamianske,  
Shevtsov Viktor, postgraduate student, Dniprovsky State Technical University, Kamianske,  
Nosov Denis, Ph.D., Associate Professor, Dniprovsky State Technical University, Kamianske,  
nosov\_dstu@ukr.net