

УДК 624.045.12

ЗМІНА ПАРАМЕТРІВ ЗЧЕПЛЕННЯ АРМАТУРИ З БЕТОНОМ ПРИ ДІЇ ДОВГОТРИВАЛИХ НАВАНТАЖЕНЬ

Є. А. ДМИТРЕНКО, доцент; Д. О. ДЕНИСЕНКО, аспірант
Національний університет біоресурсів і природокористування України
E-mail: dmytrenko_yevhen@nubip.edu.ua

Зчеплення арматурних стержнів із бетоном відіграє ключову роль у забезпеченні несучої здатності та довговічності залізобетонних конструкцій [1]. В умовах довготривалого навантаження відбувається зміна напружено-деформованого стану в зоні контакту арматури з бетоном [2], що може спричиняти зміну міцності зчеплення та сприяти розвитку тріщин через процеси повзучості [3] та усадки залізобетону [4].

Одним із основних методів оцінки параметрів зчеплення є *beam-end test* (методика ASTM A944-10), який дозволяє визначити реальний розподіл напружень уздовж арматурного стержня в бетоні [5]. Методика передбачає створення навантаження на кінцеву частину балочного зразка із поперечним армуванням та фіксованою довжиною контакту l_b (рис. 1). Даний вид випробувань точніше відтворює реальні умови роботи арматури в залізобетонних елементах у порівнянні з класичним *pull-out test* (методика RILEM), оскільки виключає арковий ефект та стискальні напруження, які передаються від опор в зону зчеплення арматури з бетоном.

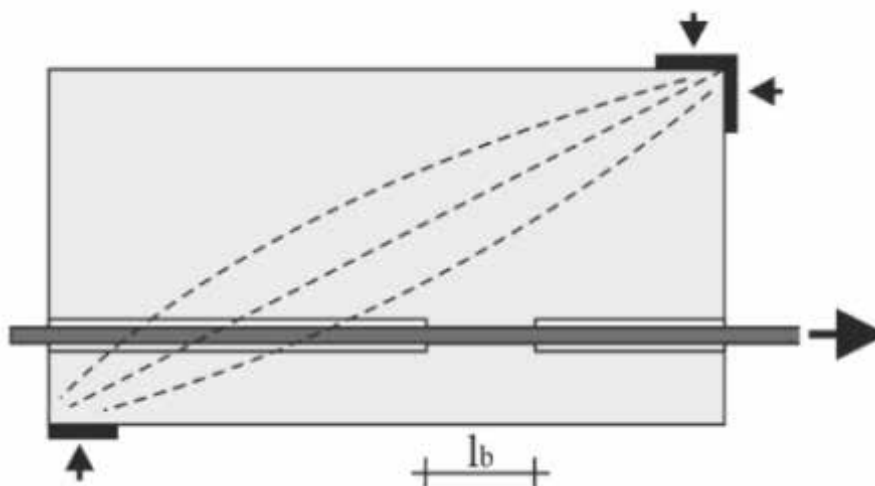


Рис. 1 Схема випробування зчеплення арматури з бетоном по методиці ASTM A944-10

Розподілене волоконно-оптичне зондування (**DOFS**) використовується для точного вимірювання напружень уздовж арматурного стержня у реальному часі. Волоконно-оптичні сенсори, інтегровані у бетон, дозволяють проводити безперервний моніторинг деформацій з точністю до 1 мм. Ця технологія є перспективною для досліджень довготривалих змін зчеплення, оскільки забезпечує високу роздільну здатність при вимірюванні розподілу напружень та їхньої еволюції з часом.

Для аналізу зміни параметрів зчеплення арматури з бетоном при дії довготривалих навантажень взяті за основу деякі результати експериментальних досліджень, проведені у Дрезденському технічному університеті М. Кошеманном та М. Курбахом [5].

У процесі дослідження варіювалися:

- довжина зони анкерування арматури в бетоні (від 1 до 10 діаметрів арматури);
- різні класи бетону (C20/25, C35/45, C50/60);
- методики експериментальних досліджень зчеплення: на висмикування (pull-out) та балочне випробування (beam-end);
- тривалість випробувань під постійним навантаженням - 1000-2000 годин.

Арматура – класу BSt 500B, діаметром 16 мм.

Для безперервного вимірювання деформацій застосовувалися оптоволоконні датчики. Експериментальні установки, які застосовувалися в дослідженнях представлені на рис. 2.

В ході досліджень з'ясувалося, що міцність зчеплення арматури з бетоном зростає зі збільшенням міцності бетону, а при довжині анкерування $5 \cdot d_s$ спостерігається нерівномірний розподіл напружень зчеплення. Після 1000 годин навантаження було зафіксовано збільшення проковзування в 2,5–3,7 рази (рис. 3).

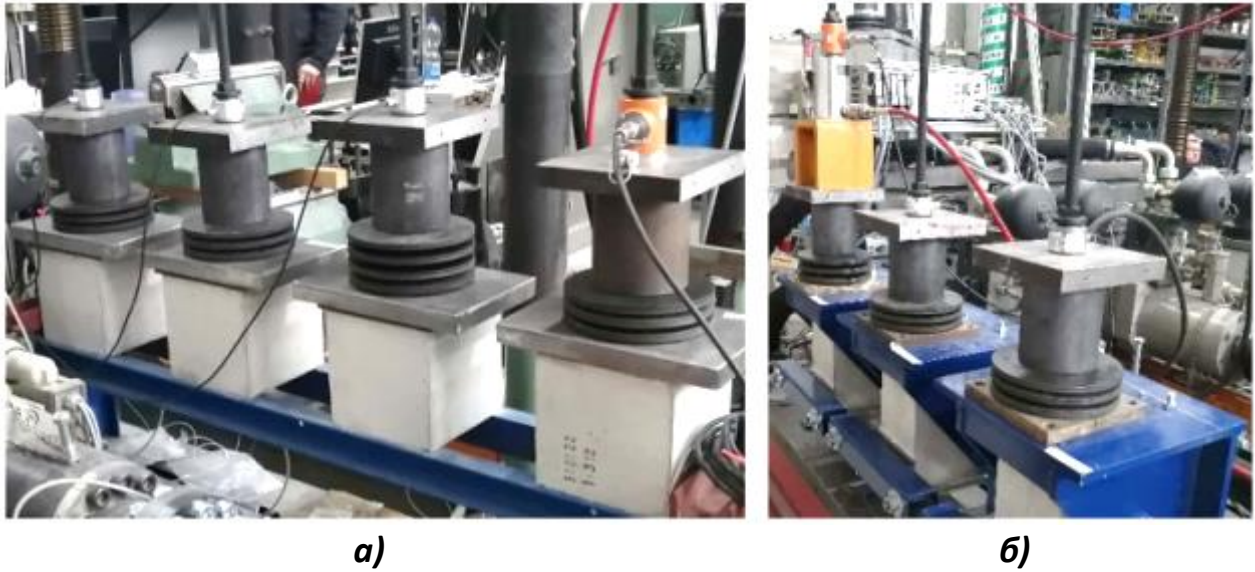


Рис. 2 Експериментальні установки для досліджень зчеплення арматури з бетоном при довготривалих навантаженнях [5]:

а – для випробувань на висмикування; *б* – для балочних випробувань

У випробуваннях на висмикування проковзування виявилось вдвічі більшим, ніж у балочних зразках. Також було зафіксовано збільшення ширини розкриття тріщин на 20% під тривалим навантаженням.

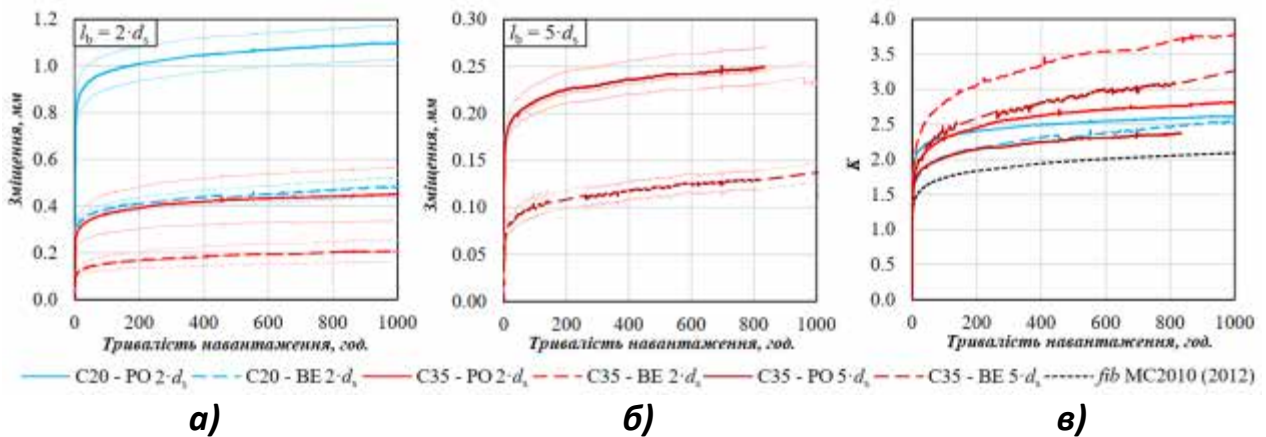


Рис. 3. Збільшення проковзування арматури при дії довготривалого навантаження для різних випробувань та класів бетону

(PO – висмикування, BE - балочне) [5]:

а – при довжині зчеплення $l_b = 2 \cdot d_s$; *б* – при довжині зчеплення $l_b = 5 \cdot d_s$; *в* – коефіцієнт збільшення проковзування

Висновки. Таким чином, розглянута проблематика є особливо актуальною для об'єктів із тривалим терміном експлуатації (зокрема, для об'єктів критичної інфраструктури – енергетичних підприємств, лікарень, урядових будівель, АЕС, сховищ радіоактивних відходів, тощо), а їх результати проведених досліджень є важливими для проектування та оцінки довговічності

залізобетонних конструкцій і можуть бути використані для уточнення діючих нормативних документів.

Однак, слід зазначити, що дані дослідження мали певні обмеження, зокрема:

- була розглянута обмежена кількість типів бетону;
- випробування проводились лише з одним діаметром арматури (16 мм);
- відносно короткий період спостереження (до 2000 годин);
- не враховані всі можливі фактори впливу (температура, вологість тощо).

У зв'язку із цим, дослідження за даною тематикою мають подальші перспективи через дослідження інших типів бетону та діаметрів арматури, збільшення тривалості спостережень і додатковий аналіз даних з оптоволоконних датчиків.

Список використаних джерел

1. Бакулін Є.А., Бакуліна В.М., Костира Н.О. Методи розрахунку підпирних стін. *Науковий Вісник НУБіП. Серія Техніка та Енергетика*. 2017. Вип. 262. С. 72–87. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/nvnau_tech_2017_262_9

2. Yakovenko I., Bakulin Y. & Bakulina V. (2020) Classification methods of civil buildings reconstruction. *Theoretical and scientific foundations of engineering* : coll. mon. Boston: Primedia eLaunch, 2020. 180 p., pp. 70–96. <https://doi.org/10.46299/isg.2020.MONO.TECH.II>

3. Колчунов В.І., Яковенко І.А., Дмитренко Є.А. Методика експериментальних досліджень зчеплення арматур из бетоном при висмикуванні (стисненні) арматурного стрижня з бетону (у бетон) з урахуванням низхідної гілки деформування (рос. мов.). *Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди* : зб. наук. праць. 2016. Вип. 33. С. 162–173.

4. Dmytrenko Ye.A., Genzerskiy Yu.V., Yakovenko I.A., Bakulin Ye.A. (2023). Strength Calculation of Normal Cross-Sections of Reinforced Concrete Structures at Flat Bending by the Wood-Armer Method in SP "LIRA SAPR". *AIP Conference Proceedings*. 2678, 020006. Issue 1. 9 p. <https://doi.org/10.1063/5.0118680>

5. Koschemann M., Curbach M. (2022) Bond behaviour and crack propagation of reinforced concrete under long-term loading. In: Jivkov A., Miura N., Panesar D., Weihe St. (eds.) *26th International Conference on Structural Mechanics in Reactor Technology*. Div. I. 10 p. <https://www.lib.ncsu.edu/resolver/1840.20/40309>

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ І
ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ
ІНСТИТУТ МЕХАНІКИ ТА АВТОМАТИКИ АПВ НААН
ДЕРЖАВНИЙ БІОТЕХНОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**



***ЗБІРНИК
ТЕЗ ДОПОВІДЕЙ***

***XII Міжнародної науково-технічної конференції з нагоди
118-ї річниці від дня народження
доктора технічних наук, професора,
віцепрезидента УАСГН
КРАМАРОВА
Володимира Савовича
(1906-1987)***

«КРАМАРОВСЬКІ ЧИТАННЯ»

***20-21 лютого 2025 року
м. Київ***

MINISTRY OF EDUCATION AND SCIENCE OF UKRAINE
NATIONAL UNIVERSITY OF LIFE AND ENVIRONMENTAL
SCIENCES OF UKRAINE
INSTITUTE OF MECHANICS AND AUTOMATICS OF
AGROINDUSTRIAL PRODUCTION OF THE NATIONAL
ACADEMY OF AGRARIAN SCIENCES OF UKRAINE STATE
BIOTECHNOLOGICAL UNIVERSITY



PROCEEDINGS

*XII International Scientific and Technical Conference dedicated
to the 118th anniversary of the birth of
Doctor of Technical Sciences, Professor,
Vice President of the UAAS
KRAMAROV
Volodymyr Savovych
(1906-1987)*

«KRAMAROV'S READINGS»

*February 20-21, 2025
Kyiv*

УДК 631.17+62-52-631.3

Збірник тез доповідей XII Міжнародної науково-технічної конференції «Крамаровські читання» з нагоди 118-ї річниці від дня народження доктора технічних наук, професора, віцепрезидента УАСГН Крамарова Володимира Савовича (1906-1987) 20-21 лют. 2025 р., м. Київ / МОН України, Національний університет біоресурсів і природокористування України. К.: Видавничий центр НУБіП України, 2025. 662 с.

Proceedings of the XII International Scientific and Technical Conference dedicated to the 118th anniversary of the birth of Doctor of Technical Sciences, Professor, Vice President of the UAAS Kramarov Volodymyr Savovych (1906–1987), February 20–21, 2025, Kyiv / MES of Ukraine, National University of Life And Environmental Sciences of Ukraine. Kyiv: Publishing center of NULES of Ukraine, 2025. 662 p.

В збірнику представлені тези доповідей науково-педагогічних працівників, наукових співробітників, аспірантів та студентів НУБіП України, провідних вітчизняних і закордонних вищих навчальних закладів та наукових установ, в яких розглядаються завершені етапи розробок.

The Proceedings presents abstracts of reports of scientific and pedagogical workers, research staff, graduate students and students of the NULES of Ukraine, leading domestic and foreign higher educational institutions and scientific institutions, in which completed stages of development are considered.