

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](mailto: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.

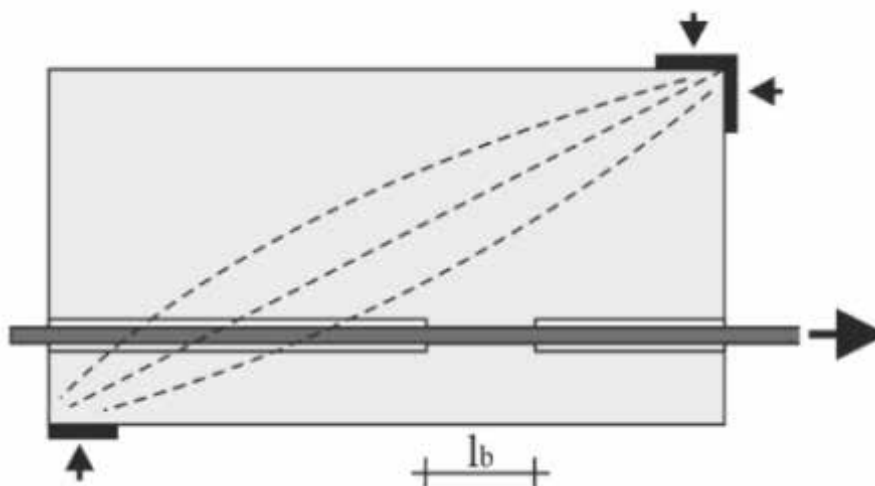


Рис. 1 Схема випробування зчеплення арматури з бетоном по методиці ASTM A944-10

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).

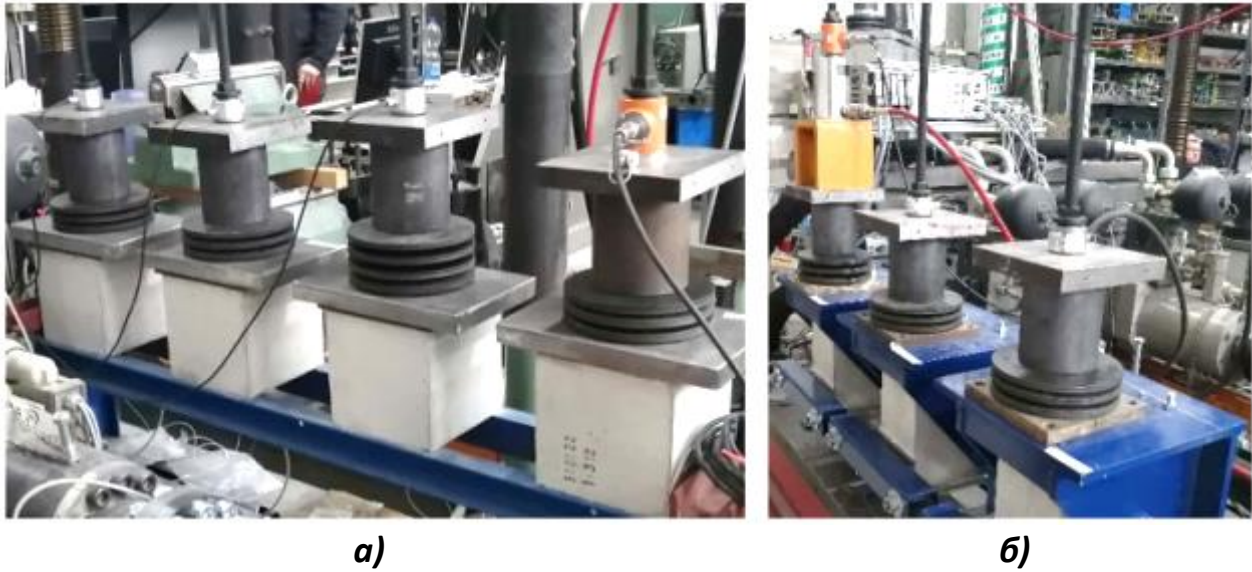


Рис. 2 Експериментальні установки для досліджень зчеплення арматури з бетоном при довготривалих навантаженнях [5]:

*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.

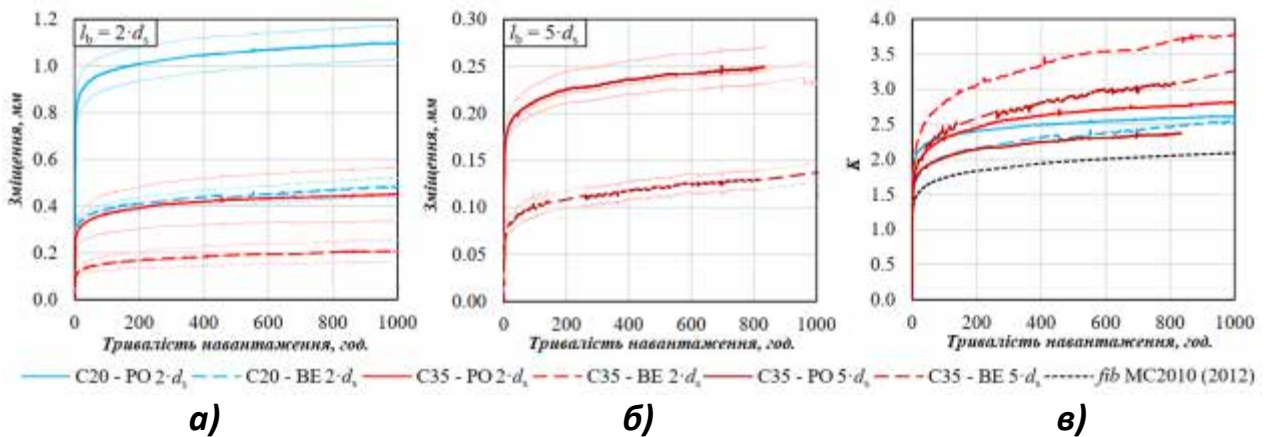


Рис. 3. Збільшення проковзування арматури при дії довготривалого навантаження для різних випробувань та класів бетону

(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 підпірних 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](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.

Proceeding 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.

## **ОРГАНІЗАЦІЙНИЙ КОМІТЕТ:**

- Ткачук В. А.** – ректор НУБіП України, голова організаційного комітету;  
**Тонха О. Л.** – проректор з наукової роботи та інноваційної діяльності НУБіП України, заступник голови організаційного комітету;  
**Ружило З. В.** – декан факультету конструювання та дизайну НУБіП України, заступник голови організаційного комітету;  
**Мельник В. І.** – доцент кафедри надійності техніки НУБіП України, секретар організаційного комітету;
- Члени організаційного комітету:**  
**Автухов А. К.** – завідувач кафедри сервісної інженерії та технології матеріалів в машинобудуванні імені О. І. Сідашенка ДБУ;  
**Адамчук В. В.** – директор «ІМА АПВ НААН», академік НААН;  
**Альмейда А.** – професор Політехнічного університету Браганси (Португальська Республіка);  
**Аулін В. В.** – професор кафедри експлуатації та ремонту машин ЦНТУ;  
**Арак М.** – директор Тартуського технічного коледжу м. Тарту (Естонська Республіка);  
**Банний О. О.** – заступник декана факультету конструювання та дизайну НУБіП України;  
**Бєлоєв Х.** – радник ректора Університету «Ангел Кънчев» в м. Русе, академік Болгарської АН (Республіка Болгарія);  
**Борак К. В.** – заступник директора ЖАТФК;  
**Братішко В. В.** – декан МТФ НУБіП України;  
**Будяй О. В.** – директор ТОВ «Манн+Хуммель Фільтрейшн Текнолоджі Україна»;  
**Булгаков В. М.** – завідувач кафедри механіки НУБіП України, академік НААН;  
**Василенко М. О.** – завідувач відділу «ІМА АПВ НААН»;  
**Васильковський О. М.** – завідувач кафедри сільсько-господарського машинобудування ЦНТУ;  
**Войтюк Д. Г.** – професор кафедри сільськогосподарських машин та системотехніки ім. акад. П.М. Василенка НУБіП України, член-кореспондент НААН;  
**Герук С. М.** – завідувач кафедри агроінженерії ЖАТФК;  
**Джеонг Ілля** – Голова представництва в Україні «HYUNDAI XITESOLUTION» (Республіка Корея);  
**Домейка Р.** – декан відділення Агроінженірингу, Університету Вітаутаса Великого (Литовська Республіка);  
**Захарчук О. В.** – завідувач відділу ННЦ «ІАЕ», член-кореспондент НААН;  
**Іванишин В. В.** – ректор ЗВО «Подільський ДУ», академік НААН;  
**Ковалишин С. Й.** – декан факультету механіки, енергетики та інформаційних технологій ЛНУП;  
**Коренко М.** – професор Інституту проєктування та інженерних технологій Словацького аграрного університету в м. Нітра (Словацька Республіка);

- Кувачов В. П.** – декан МТФ ТДАТУ імені Дмитра Моторного;
- Кульгавий В. Ф.** – генеральний директор ВГО «Українська асоціація аграрних інженерів»;
- Кюрчев С. В.** – ректор ТДАТУ імені Дмитра Моторного;
- Литовченко О. В.** – директор ВСП «Ніжинський ФК НУБіП України»;
- Ловейкін В. С.** – завідувач кафедри конструювання машин і обладнання НУБіП України;
- Лопатько К. Г.** – завідувач кафедри технології конструкційних матеріалів і матеріалознавства НУБіП України;
- Лукач В. С.** – директор ВП «Ніжинський агротехнічний інститут» НУБіП України;
- Мельник В. І.** – провідний науковий співробітник відділу науково-технічної інформації НДЧ НУБіП України;
- Мельник В. І.** – професор кафедри оптимізації технологічних систем в рослинництві ДБУ;
- Надикто В. Т.** – професор ТДАТУ імені Дмитра Моторного, член-кореспондент НААН;
- Науменко О. А.** – професор кафедри сервісної інженерії та технології матеріалів в машинобудуванні імені О. І. Сідашенка ДБУ;
- Новак Я.** – професор Університету природничих наук у Любліні (Республіка Польща);
- Новицький А. В.** – завідувач кафедри надійності техніки НУБіП України;
- Ольт Ю.** – професор Інженерного інституту Естонського університету наук про життя (Естонська Республіка);
- Паскуці С.** – професор Департаменту агроекологічних і територіальних наук (DISAAT) університету Альдо Моро в м. Барі (Італійська Республіка);
- Пилипака С. Ф.** – завідувач кафедри нарисної геометрії, комп'ютерної графіки та дизайну НУБіП України;
- Полянський П. М.** – завідувач кафедри загальнотехнічних дисциплін МНАУ;
- Пона Лукреція** – науковий дослідник Національного інституту досліджень і розробок машин і установок для сільського господарства та харчової промисловості (Румунія);
- Продеус О. В.** – керівник відділу збуту Манн+Хуммель GmbH;
- Роговський І. Л.** – завідувач кафедри технічного сервісу та інженерного менеджменту імені М. П. Момотенка НУБіП України;
- Ромасевич Ю. О.** – заступник декана факультету конструювання та дизайну НУБіП України;
- Ревенко Ю. І.** – доцент кафедри надійності техніки НУБіП України;
- Русінс А.** – директор Улброкського наукового центру Латвійського університету природничих наук і технологій (Латвійська Республіка);
- Саченко В. І.** – Голова Ради Асоціації «Укрмашибуд»;
- Савченко В. М.** – доцент кафедри агроінженерії та технічного сервісу ПНУ;
- Сайчук О. В.** – директор ХДФПК імені В. І. Вернадського;
- Сиволапов О. В.** – директор ТОВ «Індустрія техногруп»;

**Тін Ю Чен** - голова китайського офісу філії університету в Лінї (Китайська Народна Республіка);

**Фіндура П.** – проректор Словацького аграрного університету в м. Нітра (Словацька Республіка).

**Шарибура А. О.** – завідувач кафедри агроінженерії та технічного сервісу ім. О. Семковича ЛНУП;

**Яковенко І. А.** – завідувач кафедри будівництва НУБіП України.