

УДК 624.012.45

**ВИЗНАЧЕННЯ ФАКТОРІВ, ЩО ВПЛИВАЮТЬ  
НА УТВОРЕННЯ НОРМАЛЬНИХ ТРІЩИН  
У ЗАЛІЗОБЕТОННИХ КОНСТРУКЦІЯХ БУДІВЕЛЬ ТА СПОРУД АПК**

**І. А. ЯКОВЕНКО**, д.т.н., професор; **С. О. РИБАЛКО**, аспірант  
*Національний університет біоресурсів і природокористування України*  
*E-mail: [i2103@ukr.net](mailto:i2103@ukr.net); [rybalko.st@gmail.com](mailto:rybalko.st@gmail.com)*

Експериментальні дослідження [1, 2 та ін.] показують, що у процесі навантаження залізобетонної конструкції виникає не один (як це прийнято в більшості відомих методах розрахунку), а кілька рівнів тріщиноутворення, причому відстані між сусідніми тріщинами є параметром дискретним, а не функціональним [1].

У загальному випадку навантаження геометричних характеристик класів бетону, армування, при утворенні різних тріщин невідомими є як узагальнене тріщиноутворююче навантаження, так і координата точки появи першої тріщини.

Важливою особливістю напружено-деформованого стану залізобетонних конструкцій на стадії, що передує утворенню тріщин, є наявність непружних деформацій у розтягнутому бетоні  $\varepsilon_{ctk}$ .

Для успішного дослідження напружено-деформованого стану в околиці тріщин та його аналізу, починати вирішення поставленої проблеми доцільно з побудови повної класифікації тріщин, яка виявлена у залізобетонних конструкціях при проведенні експериментальних досліджень [3].

При всьому різноманітті існуючих моделей визначення ширини розкриття нормальних тріщин та відстані між ними у ЗБК АПК їх об'єднує загальна фундаментальна наукова ідея – саме процес тріщиноутворення найбільш повно відображає деформаційні властивості залізобетонного елемента. Тому відомі аналітичні моделі тріщиноутворення враховують наступні параметри: кількість арматури в перерізі елемента, її розрахунковий опір та модуль пружності, параметри розташування арматури в перерізі, механічні характеристики арматури та бетону.

Утворення тріщин є визначальною характеристикою в залізобетоні для оцінки ресурсу елемента. Так, наприклад, у багатьох наукових працях зазначається, що вичерпання несучої здатності пов'язано з шириною розкриття тріщин. Але, окрім силових факторів, тріщини можуть бути зумовлені умовами твердіння бетону (його усадкою) або силовими і деформаційними впливами (зовнішнім навантаженням, осіданням опор, зміною температури). Тріщини від силових і деформаційних впливів найчастіше з'являються у зонах розтягу елементів, рідше – у зонах стиску.

Тріщини в розтягнутому бетоні, непомітні для ока, з'являються навіть в бездоганно виконаних конструкціях. Їхня поява зв'язана з невеликими деформаціями розтягу бетону, який «не встигає» слідувати за значними подовженнями арматури при доволі високих робочих напруженнях.

Досвід будівництва і експлуатації споруд засвідчує [1], що ці тріщини не становлять небезпеки і не порушують загальної монолітності залізобетону.

Тріщини, які виникають у зонах стиску ЗБК звичайно вказують на невідповідність розмірів перерізів зусиллям стиснення. Вони є небезпечними для несучої спроможності ЗБК.

Тріщини знижують жорсткість конструкції. За наявності тріщин полегшується доступ вологи і агресивних газів до арматури.

У процесі утворення тріщин розрізняють **три етапи**: **виникнення тріщин**, коли вони можуть бути ще невидимими; **поява тріщин**, коли вони стають видимими неозброєним оком (ширина 0,02 – 0,03 мм), і **розкриття тріщин** до гранично можливої величини.

Для конструкцій із звичним вмістом арматури (до 1,5 – 2,0%) прийнято вважати, що поява тріщин збігається з їхнім виникненням, і тому можна говорити про два етапи процесу утворення тріщин – їхню появу і подальше розкриття.

Найповніше картина тріщиноутворення у бетоні розтягу проявляється у зоні чистого вигину, оскільки послідовність появи та розвитку тріщин в цій зоні не залежить від градієнта напруження.

Розглянемо деякі аналітичні залежності щодо визначення ширини розкриття тріщин у залізобетонних конструкціях за нормами провідних країн.

У нормах США АСІ 318-02 для оцінки ширини розкриття тріщини використовується формула:

$$w_k = \frac{3 \cdot a_r \cdot \varepsilon_m}{1 + 2 \cdot \frac{a_r - c_{min}}{h - x}}, \quad (1)$$

де  $a_r$  – відстань від поверхні захисного шару до центра найближчого стержня;  $x$  – висота стиснутої зони;  $h$  – загальна висота перерізу;  $c_{min}$  – мінімальна товщина захисного шару;  $\varepsilon_m$  – середня відносна деформація сталі в приведеному перерізі.

У контролі ширини розкриття тріщин залізобетонних конструкцій за нормами Єврокоду використовується наступна аналітична залежність:

$$w_k = s_{r,max} \cdot (\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm}), \quad (3)$$

де  $w_k$  – проектна ширина тріщини;  $s_{r,max}$  – максимальна відстань до тріщини;  $\varepsilon_{sm}$  – деформація від напруження в арматурі під комбінацією напруження, включаючи ефект накладених деформацій і беручи до уваги ефекти попереднього напруження; розглядається тільки додаткове напруження розтягу поза нульового напруження у бетоні;  $\varepsilon_{cm}$  – деформація від напруження в бетоні між тріщинами.

$$\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm} = \frac{\sigma_s - k_t \cdot \frac{f_{ct,eff}}{\rho_{p,eff}}}{E_s} \geq 0,6 \frac{\sigma_s}{E_s} \quad (4)$$

де  $\sigma_s$  – напруження в ненапруженій арматурі; для попередньо напружених елементів  $\sigma_s$  може бути,  $\sigma_s - \sigma_p$ ;  $\sigma_s$  – напруження для каркасної арматури і  $\sigma_p$  – для попередньо напруженої арматури;  $\alpha_0$  – відношення  $E_s/E_{cm}$ ;

$$\rho_{p,eff} = \frac{A_s + \zeta_1^2 \cdot A_p}{A_{c,eff}}, \quad (5)$$

де  $\rho_{p,eff}$  – ефективний коефіцієнт армування;  $A_{c,eff}$  – фактична площа розтягнутого бетону;  $k_t$  – фактор цементу, що залежить від тривалості навантаження;  $k_{ct} = 0,6$  для короткочасного навантаження;  $k_{ct} = 0,4$  для тривалого навантаження.

### Список використаних джерел

1. Бамбура А.М., Павліков А.М., Колчунов В.І. та ін. Практичний посібник із розрахунку залізобетонних конструкцій за діючими нормами України (ДБН В.2.6–98:2009) та новими моделями деформування, що розроблені на їхню заміну. К.: Толока, 2017. 627 с.

2. Яковенко І.А. Експериментальні дослідження міцності і тріщиностійкості у залізобетонних складених конструкціях. *Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди* : зб. наук. праць. Рівне, 2014. Вип. 28. С. 319–328.

3. Колчунов В.І., Яковенко І.А., Мар'єнков М.Г. Аналіз схем тріщин у залізобетонних конструкціях сейсмостійких будівель та їх урахування за нормами України та єврокоду 8 (рос. мов.). *Будівельні конструкції*. 2015. Вип. 82. С. 540-549. [http://nbuv.gov.ua/UJRN/buko\\_2015\\_82\\_61](http://nbuv.gov.ua/UJRN/buko_2015_82_61)

4. Yakovenko I.A., Dmytrenko Ye.A. Influence of reinforcement parameters on the width of crack opening in reinforced concrete structures. *Achievements of Ukraine and EU countries in technological innovations and invention* : coll. mon.. Riga : Baltija Publishing, 2022. P. 510–536. <https://doi.org/10.30525/978-9934-26-254-8-18>

**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.