

## АНОТАЦІЯ

*Усенко Ю.О.* Напружено-деформований стан залізобетонних косо зігнутих балок таврового профілю (на основі повної діаграми деформування бетону). – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 192 – Будівництво та цивільна інженерія (19 «Архітектура і будівництво»). – Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка». – Полтава, 2022.

Дисертаційна робота присвячена дослідженню напружено-деформованого стану залізобетонних косо зігнутих балок таврового профілю на основі повної діаграми деформування бетону в залежності від рівня навантаження.

У розділі 1 «Аналіз впливу косоного згинання на роботу залізобетонних балок» проаналізовано питання щодо розповсюдження залізобетонних елементів таврового профілю, у яких виникає явище косоного деформування, причини виникнення косоного згинання в таких елементах та його вплив на конструкції. Проведений аналіз літературних та інших інформаційних джерел показав, що явище косоного згинання широко розповсюджене в елементах реальних існуючих будівель та споруд. Фактори, які його спричинюють, можуть мати як силовий, так і технологічний, конструктивний та експлуатаційний характер. Косе згинання спричинює зміни напружено-деформованого стану в залізобетонних елементах. Його вплив необхідно враховувати як при розрахунках за несучою здатністю, так і за придатністю до нормальної експлуатації. Бо навіть незначний вплив косоного згинання змінює характер деформування залізобетонного балкового елемента.

У розділі 2 «Засади моделювання напружено-деформованого стану в нормальних перерізах залізобетонних таврових балок при косому згинанні» викладено основні положення, необхідні для побудови моделей напружено-деформованого стану балкових елементів таврового профілю, що зазнають косоного згинання. Обґрунтовано вибір системи координат для теоретичних досліджень. Для опису напружено-деформованого стану згинального елемента

необхідно знати положення нейтральної лінії, яке характеризується певними параметрами. Проаналізовано процес формоутворення стиснутої зони перерізу із систематизацією за трьома групами. Виведено формули для визначення напружень у бетоні стиснутої зони.

У розділі 3 «Моделі напружено-деформованого стану в розрахунках балок таврового профілю, які зазнають косоного згинання» розроблено моделі напружено-деформованого стану залізобетонних балок таврового профілю з різними геометричними формами стиснутої зони бетону: трикутник (випадок 1.2), трапеція (випадок 1.1, 2.1, 3.1), трапеція (випадок 1.3, 2.3), п'ятикутник (випадок 1.4, 2.4, 3.4), п'ятикутник (випадок 2.2, 3.2), шестикутник (випадок 3.3). Для кожної моделі наведені вирази для обчислення рівнодійної стиснутої зони бетону та координат точки її прикладання. Представлено загальний підхід до визначення параметрів напружено-деформованого стану.

У розділі 4 «Методика експериментальних досліджень при косому згинанні залізобетонних таврових балок» описано хід підготовки та проведення досліджень зразків залізобетонних таврових балок для отримання експериментальних значень переміщень перерізу та характер утворення тріщин. Наведено креслення зразків, схеми розміщення приладів для вимірювання деформацій та методику проведення випробувань зразків таврових балок. Описано характер утворення тріщин у розтягнутій зоні перерізу та характер руйнування бетону стиснутої зони.

У розділі 5 «Практичне застосування та перевірка розробленої теорії описання напружено-деформованого стану на зразках таврових балок» наведені приклади розрахунку міцності таврових елементів з різними формами стиснутої зони та проаналізовано напружено-деформованого стан дослідних зразків таврових балок. Виконано порівняння параметрів, отриманих теоретичним та експериментальним шляхом.

*Ключові слова:* напружено-деформований стан, косе згинання, залізобетонні балки, повна діаграма деформування бетону, тавровий профіль.

## ANNOTATION

Usenko Yu. O. Stress-strain state of biaxial bent reinforced concrete T-section beams (based on a complete diagram of concrete deformation). – Qualifying scientific work on the rights of the manuscript.

The dissertation for the degree of Doctor of Philosophy (PhD) in specialty 192 Construction and Civil Engineering (19 Architecture and Construction). – National University «Yuri Kondratyuk Poltava Polytechnic». – Poltava, 2022.

The dissertation is devoted to the study of the stress-strain state of biaxial bended reinforced concrete T-section beams based on a complete diagram of concrete deformation depending on the load level.

In section 1 «Analysis of the biaxial bending impact on the work of reinforced concrete beams» the dissemination of reinforced concrete T-profile elements in which the phenomenon of biaxial deformation occurs, the causes of biaxial bending in such elements and its impact on structures are analyzed. As the literature and other information sources analysis shows, the phenomenon of biaxial bending is widespread among the elements of existing buildings and structures. The factors that cause it can be not only load but also technological, design and production nature. Biaxial bending causes changes of the stress-strain state in reinforced concrete elements. Its influence must be taken into account both in the calculations of the bearing capacity and suitability for normal work. Because even a small impact of biaxial bending changes the deformation nature of the reinforced concrete beam element.

In section 2 «Principles of the stress-strain state modeling in normal sections of reinforced concrete T-beams under biaxial bending» the basic principles which are necessary for the stress-strain modelling of reinforced concrete T-section beams under biaxial bending are given. The choice of coordinate system for theoretical research is substantiated. To describe the stress-strain state of the bending element, it is necessary to know the position of the neutral line, which is characterized by certain parameters. All possible cases of the neutral line position in the normal section of the reinforced concrete T-section beam with systematization into three groups are analysed. Formulas for determining the stresses in the compressed zone concrete are given.

In Section 3 «Models of stress-strain state in the calculations of T-beams, under biaxial bending» the models of stress-strain state of biaxial bent reinforced concrete T-

section beams with different geometric forms of the concrete compressed zone are shown: triangular (case 1.2), trapezoidal (case 1.1, 2.1, 3.1), trapezoidal (case 1.3, 2.3), pentagonal (case 1.4, 2.4, 3.4), pentagonal (case 2.2, 3.2), hexagonal (case 3.3). For each model the formulas of stress resultant  $N_c$  in the concrete compressed zone and its application coordinates  $x_{0,N_c}$  and  $y_{0,N_c}$  are given. A general approach to determining the parameters of the stress-strain state is presented.

In section 4 «Methods of experimental research of reinforced concrete T-beams under biaxial bending» the way of preparation and research of reinforced concrete T-beams samples is described to determine experimental values of cross-sectional displacements and crack formation features. The construction of experimental beams samples, placement schemes of devices for measuring deformations and methods of testing T-beams samples are given. The crack formation features in the stretched cross-sectional zone and the destruction features of the compressed concrete zone are described.

In section 5 «Practical implementation and verification of the developed theory of the stress-strain state description on the samples of T-beams» the stress-strain state of the T-beams samples is analyzed. Theoretical values of stress-strain state parameters are compared with the experimental data.

*Key words:* stress-strain state, biaxial bending, reinforced concrete beams, complete diagram of concrete deformation, T-profile.

## **СПИСОК ПУБЛІКАЦІЙ ЗДОБУВАЧА, У ЯКИХ НАВЕДЕНІ ОСНОВНІ НАУКОВІ РЕЗУЛЬТАТИ ДИСЕРТАЦІЇ**

**Публікації у виданнях, що включені до міжнародних наукометричних  
баз**

1. Pavlikov A. Highly constructed precast flat slab frame structural system of buildings and research of its slabs / A. Pavlikov, O. Harkava, Yu. Prykhodko B. Baryliak // Proceedings of the International fib Symposium on Conceptual Design of Structures, Madrid. – 2019. – Pp. 493 – 500.

[https://www.dropbox.com/s/h8w923upln0wutl/CDS19\\_proceedings.pdf](https://www.dropbox.com/s/h8w923upln0wutl/CDS19_proceedings.pdf). (Indexed in Scopus)

*Особистий внесок: Проаналізовано та викладено методику розрахунку міцності згинальних елементів сучасної конструктивної системи із використанням кінематичного способу методу граничної рівноваги для обґрунтування доцільності використання повної діаграми деформування бетону у складно завантажених конструкціях.*

2. Prykhodko Yu. The change of stress-strain state in biaxial bended reinforced concrete T-section beams depending on the load / Yu. Prykhodko, A. Pavlikov // Proceedings of the 13th fib International PhD Symposium in Civil Engineering, France. – 2020. – Pp. 230 – 236.

[https://phdsymp2020.sciencesconf.org/data/pages/Proceedings\\_phdsymp\\_2021.pdf](https://phdsymp2020.sciencesconf.org/data/pages/Proceedings_phdsymp_2021.pdf).

(Indexed in Scopus)

*Особистий внесок: Отримані з використанням нелінійної деформаційної моделі формули обчислення рівнодійної напружень у стиснутому бетоні та точки її прикладання. Для всіх форм стиснутої зони бетону кожної з трьох груп створено моделі напружено-деформованого стану, які дають змогу візуалізувати розподіл напружень у поперечному перерізі таврових балок та дозволяють з високою точністю визначити усі його параметри.*

3. Pavlikov A. Determination of the crack formation moment in expanded clay concrete members during their complex deformation / A. Pavlikov, O. Harkava, N. Pinchuk, Yu. Usenko, B. Baryliak // Proceedings of the fib Symposium 2021 «Concrete Structures: New Trends for Eco-Efficiency and Performance». – Lisbon, Portugal. – 2021. – Pp. 2125 – 2134.

<https://www.fib-international.org/publications/fib-proceedings/i-fib-i-symposium-in-lisbon,-portugal-2021-proceedings-em-pdf-em-detail.html>. (Indexed in Scopus)

*Особистий внесок: Проаналізовано причини виникнення косоного згинання та його розповсюдження в залізобетонних елементах. Наведено методикау обчислення відносних деформацій арматури та бетону. Виконано порівняння теоретичних та експериментальних значень відносних деформацій.*

#### **Публікації у наукових фахових виданнях України**

4. Павліков А. М. Розрахунок міцності на косо згинання залізобетонних елементів таврового профілю за спрощеною деформаційною моделлю / А. М. Павліков, О. В. Гарькава, Б. А. Бариляк, Ю. О. Приходько // Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди: зб. наук. пр. – Рівне: НУВГП, 2018. – Вип. 36. – С. 151 – 157.

<https://doi.org/10.31713/budres.v0i36.261>.

*Особистий внесок: З метою обґрунтування доцільності використання повної діаграми деформування бетону описано та проаналізовано спрощену методикау розрахунку міцності залізобетонних елементів таврового профілю, яка відповідає чинним нормативним документам, але не відображає напружено-деформований стан таких елементів в умовах експлуатації.*

5. Usenko Yu. Determination of the compressed zone shape of concrete in reinforced concrete T-section beams under biaxial bending / Yu. Usenko, A. Pavlikov // Academic journal. Industrial Machine Building, Civil Engineering. – 2021. – 2(57). – Pp. 20 – 25.

<https://doi.org/10.26906/znp.2021.57.2580>

*Особистий внесок: Викладено загальну методикау та наведено аналітичні залежності для визначення випадку положення нейтральної лінії у перерізах залізобетонних таврових балок, що зазнають косоного згинання.*

#### **Публікації в періодичних наукових виданнях інших держав**

6. Pavlikov A. M. Experimental and Theoretical Testing Results of Reinforced Concrete Columns under Biaxial Bending / A. M. Pavlikov, O. V. Harkava,

Yu. O. Prykhodko, B. A. Baryliak // International Journal of Engineering & Technology. – 2018. – 7 (4.8). – Pp. 145 – 151.

<https://dx.doi.org/10.14419/ijet.v7i4.8.27230>.

*Особистий внесок: Проаналізовано методику розрахунку залізобетонних елементів прямокутного профілю з різними формами стиснутої зони. Виконана оцінка ефективності використання даної методики шляхом порівняння експериментальних та теоретичних значень параметрів напружено-деформованого стану залізобетонних балкових елементів, що зазнають косоного згинання.*

### **Тези доповідей на наукових конференціях**

7. Pavlikov A. M. Experimental and Theoretical Testing Results of Reinforced Concrete Columns under Biaxial Bending / A. M. Pavlikov, O. V. Harkava, Yu. O. Prykhodko, B. A. Baryliak // Proceedings of I International Scientific and Practical Conference «Technology, engineering and Science». – 2018. – London: PoltNTU, 2018. – Pp. 13 – 15.

<https://dx.doi.org/10.14419/ijet.v7i4.8.27230>.

*Особистий внесок: Обґрунтовано доцільність використання нелінійної діаграми деформування бетону в дослідженнях напружено-деформованого стану залізобетонних елементів, що зазнають складного деформування.*

8. Павліков А. М. Розрахунок несучої здатності залізобетонних елементів таврового профілю, що працюють в умовах косоного згинання / А. М. Павліков, О. В. Гарькава, Б. А. Баріляк, Ю. О. Приходько // Сталезалізобетонні конструкції: дослідження, проектування, будівництво, експлуатація: зб. тез. – Полтава: ПолтНТУ, 2018. – Вип. 13. – С. 20 – 21.

*Особистий внесок: Обґрунтовано доцільність дослідження напружено-деформованого стану залізобетонних таврових балок, що зазнають косоного згинання.*

9. Павліков А. М. Модель напружено-деформованого стану в стадіях 1 та 1а / А. М. Павліков, Ю. О. Приходько // 71-а наукова конференція професорів,

викладачів, наукових працівників, аспірантів та студентів університету: зб. тез. – Полтава; Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка», 23 квітня 2019. – С. 266 – 267.

<https://nupp.edu.ua/event/71-nk-profesoriv-vikladachiv-naukovikh-pratsivnikiv-aspirantiv-ta-studentiv-universitetu.html>.

*Особистий внесок: Підтверджено доцільність дослідження напружено-деформованого стану залізобетонних таврових балок навіть при незначних рівнях їх завантаження.*

10. Павліков А. М. Зміна напружено-деформованого стану в залізобетонних косозігнутих балках таврового профілю при зміні навантаження / А. М. Павліков, Ю. О. Приходько // Проблеми надійності та довговічності інженерних споруд та будівель на залізничному транспорті: зб. тез. – Харків, Український державний університет залізничного транспорту, 2019. – С. 94 –95.

*Особистий внесок: Обгрунтовано необхідність дослідження параметрів напружено-деформованого стану залізобетонних таврових балок, що зазнають косоного згинання, навіть на початкових рівнях їх завантаження.*

11. Павліков А. М. Модель напружено-деформованого стану в стадіях I та Ia / А. М. Павліков, Ю. О. Приходько // II Міжнародна українсько-азербайджанська конференція «BUILDING INNOVATIONS – 2019», 23 – 24 травня 2019 р. – м. Полтава: Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка». – Рр. 163 – 165.

[https://nupp.edu.ua/uploads/files/0/events/conf/2019/230519/zbirnik\\_baku.pdf](https://nupp.edu.ua/uploads/files/0/events/conf/2019/230519/zbirnik_baku.pdf).

*Особистий внесок: Представлено моделі напружено-деформованого стану залізобетонних таврових балок, що зазнають косоного згинання, до моменту утворення першої тріщини.*

12. Павліков А. М. Напружено-деформований стан залізобетонних косо зігнутих балок таврового профілю залежно від зміни навантаження / А. М. Павліков, Ю. О. Приходько // 72-а наукова конференція професорів, викладачів, наукових працівників, аспірантів та студентів університету: зб. тез. – Полтава; Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка», 2020. – С. 374 – 375 .



<https://nupp.edu.ua/uploads/files/0/events/conf/2020/72-conf/tezi-1.pdf>.

*Особистий внесок: Представлено процес зміни напружено-деформованого стану моделюванням на основі нелінійної діаграми стану бетону.*

13. Павліков А. М. Моделювання напружено-деформованого стану залізобетонних косо зігнутих таврових балок / А. М. Павліков, Ю. О. Приходько // III Міжнародна українсько-азербайджанська конференція «BUILDING INNOVATIONS – 2020», 25 – 26 травня 2020 р. – м. Полтава: Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка». – Рр. 164 – 166. <https://nupp.edu.ua/uploads/files/0/events/conf/2020/build-inov-2020/materials.pdf>.

*Особистий внесок: Представлено моделі напружено-деформованого стану залізобетонної косо зігнутої таврової балки до та після утворення першої тріщини.*

14. Усенко Ю. О. Напружено-деформований стан залізобетонних косо зігнутих балок таврового профілю залежно від зміни навантаження / Ю. О. Усенко, А. М. Павліков // 73-я наукова конференція професорів, викладачів, наукових працівників, аспірантів та студентів університету: зб. тез. – Полтава; Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка», 2021. – С. 128 – 129.

<https://nupp.edu.ua/uploads/files/0/events/conf/2021/73-conf/zbirnik-voll.pdf>.

*Особистий внесок: Проаналізовано та описано процес зміни форм стиснутої зони залізобетонних таврових балок, що зазнають косоного згинання.*

15. Павліков А.М. Визначення форми стиснутої зони бетону залізобетонних косо зігнутих балок таврового профілю / А.М. Павліков, Ю.О. Усенко // 74-а наукова конференція професорів, викладачів, наукових працівників, аспірантів та студентів університету: зб. тез. – Полтава; Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка», 2022. – С. 103.

<https://nupp.edu.ua/uploads/files/0/events/conf/2022/74-conf/voll.pdf>.

*Особистий внесок: Описано методику визначення форми стиснутої зони в перерізах залізобетонних таврових балок, що зазнають косоного згинання.*