

ДОСЛІДЖЕННЯ, ПРОЕКТУВАННЯ ТА ЗАПРОВАДЖЕННЯ ЕФЕКТИВНИХ КОНСТРУКЦІЙ, БУДІВЕЛЬ ТА СПОРУД

УДК 624.012.45

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ЗАЛІЗОБЕТОННОЇ ПЕРЕХРЕСНО-СТРИЖНЕВОЇ СИСТЕМИ

EXPERIMENTAL RESEARCH OF REINFORCED CONCRETE CROSS- BAR SYSTEM

Азізов Т.Н., д.т.н., проф., Orcid [0000-0001-9621-9805] (Уманський державний педагогічний університет імені Павла Тичини); **Перейрас Роландо**, Orcid [0000-0001-7845-3382], (Одеська державна академія будівництва та архітектури)

Taliat Azizov, Doctor of Engineering, Professor, (Pavlo Tychyna Uman State Pedagogical University, Ukraine); **Pereiras Rolando**(Odessa State Academy of Civil Engineering and Architecture, Ukraine)

У статті наведені результати експериментальних досліджень перехресно-стрижневої залізобетонної системи. Показано, що в таких системах з'являються практично тільки нормальні тріщини, хоча присутні як згинальні, так і крутні моменти. Показано, що при врахуванні зміни і згинальної, і крутильної жорсткості елементів перехресно-стрижневої системи, теоретичні результати значно ближче до експериментальних ніж при врахуванні зміни тільки згинальних жорсткостей.

The calculation of reinforced concrete cross-rod systems is usually carried out without taking into account the change in torsional stiffness as a result of the formation of cracks. This leads to significant errors, especially when determining the deflections and angles of rotation of the elements of such a system. Calculations show that ignoring this factor can lead to significant errors (30-50%, in some cases - several times). However, there was no experimental confirmation of this fact. In some experimental studies, cross-bar reinforced concrete systems with two beams in each direction have been tested. But such a scheme does not fully reflect the possible options for cross-rod systems. In connection with the foregoing, this article presents the results of experimental studies of a cross-rod reinforced concrete system.

For experimental studies, a reinforced concrete cross-rod system was made with beams along the perimeter, with which secondary beams were rigidly connected. A total of five beams in one direction and five beams in the perpendicular direction. The dimensions of the fragment in terms of 2000x2000 mm. The support of the system was articulated at four corners. Point loads were applied at the intersections of the secondary beams.

It was found that both in the work area without cracks and in the work area with cracks, the graphs of these sections can be considered linear. But in two sections, the slope angles of these lines differ significantly. This confirms the hypothesis that after the formation of cracks, the stiffness abruptly decreases and then almost does not change until the reinforcement yields.

Experimental studies have shown that only normal cracks appear in cross-rod reinforced concrete systems. But at the same time there are both bending and torsional moments. Calculations show that when taking into account the change in both bending and torsional stiffness of the elements of the cross-rod system, the theoretical results are much closer to the experimental ones. And when only changes in bending stiffness are taken into account, the experimental results differ greatly from the theoretical ones.

Ключові слова: Перехресно-стрижнева система, крутильна жорсткість, тріщина, прогин.

Cross-rod system, torsional stiffness, crack, deflection.

Аналіз досліджень і постановка задачі. Перехресно-стрижневі системи часто зустрічаються у будівництві. Це перекриття будівель і споруд, навіси в торгівельних центрах, стрічкові фундаменти, фундаментні ростверки, мостові споруди тощо [1, 3, 11]. Крім того, в кесонних залізобетонних перекриттях також розташовані ребра в взаємно перпендикулярному напрямку і робота цих ребер схожа з роботою перехресно-стрижневої системи [2].

Розрахунок залізобетонних перехресно-стрижневих систем проводять зазвичай без врахування зміни крутильної жорсткості в результаті утворення тріщин [10]. Це призводить до суттєвих помилок, особливо при визначенні прогинів і кутів повороту елементів такої системи. В роботах [1, 5, 6] була показана важливість врахування зміни крутильної жорсткості елементів залізобетонних перекриттів в результаті утворення нормальних тріщин. Розрахунки показують, що ігнорування цього фактору може приводити до значних похибок (30-50%, в деяких випадках – в декілька разів) [7, 8]. Однак, експериментального підтвердження цього факту не було. В

експериментальних дослідженнях [6] було випробувано перехресно-стрижневу залізобетонну систему з двома балками в одному та двома балками в перпендикулярному напрямку, але в такій схемі з'являються малі крутні моменти. Крім того обпирання балок було шарнірним, а на практиці в перехресно-стрижневих залізобетонних системах часто існують балки по периметру перекриття. Тому виникає потреба проведення експериментальних досліджень залізобетонної перехресно-стрижневої системи для перевірки теоретичних положень про вплив зміни крутильної жорсткості на переміщення такої системи.

В зв'язку з вищесказаним, метою даної статті є висвітлення результатів експериментальних досліджень перехресно-стрижневої залізобетонної системи.

Викладення основного матеріалу.

Для експериментальних досліджень була виготовлена залізобетонна перехресно-стрижнева система з балками по периметру (переріз 70x300 мм), з якими жорстко з'єднані другорядні балки (переріз 70x120 мм). Розміри фрагменту в плані 2000x2000 мм. На рис. 1 показаний загальний вигляд випробуваного перехресно-стрижневої системи.

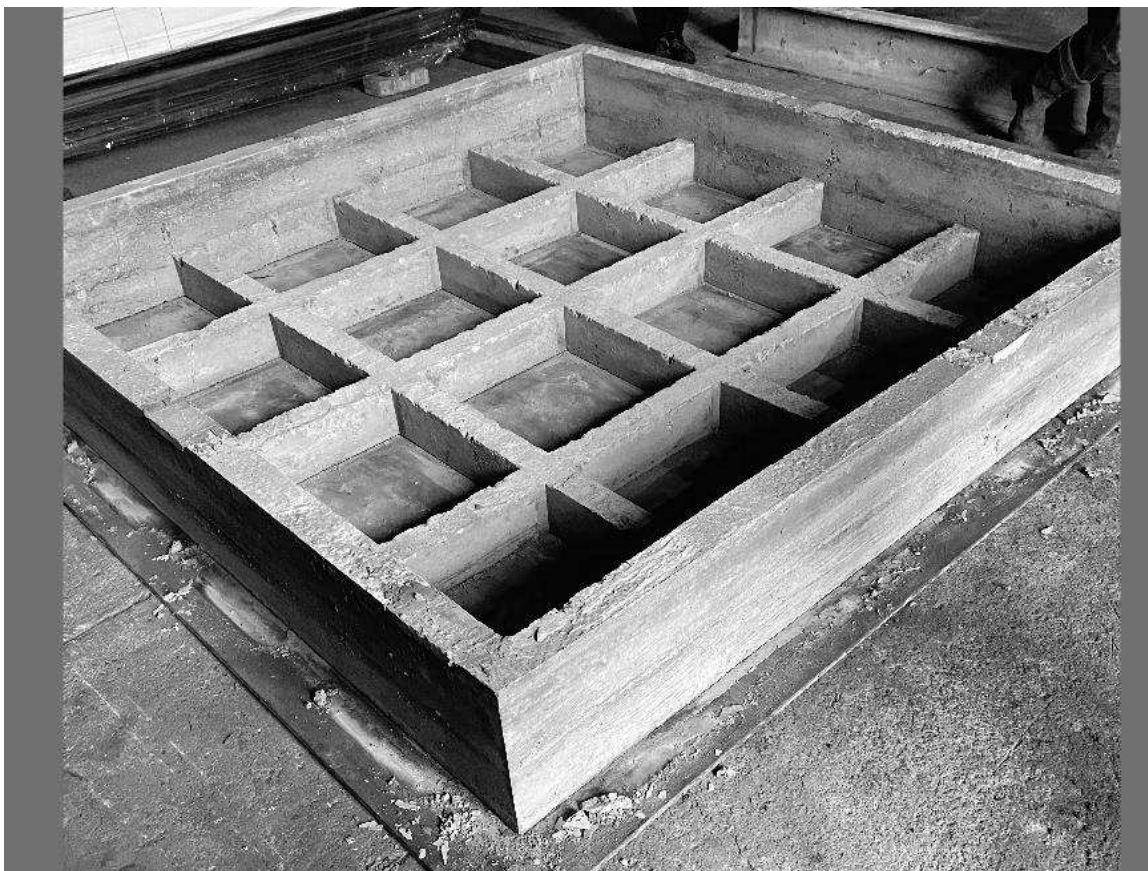
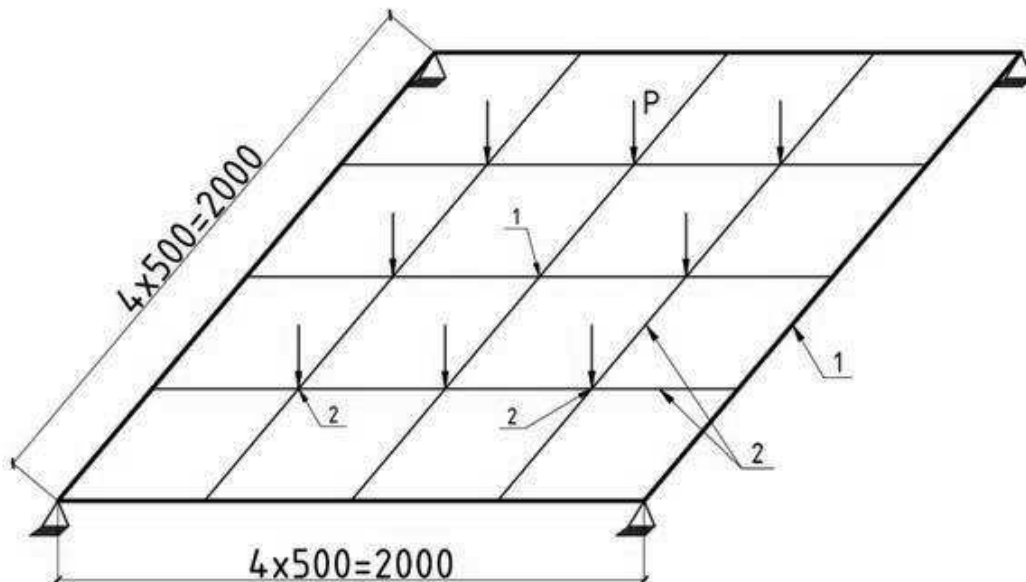


Рис. 1. Загальний вигляд перехресно-стрижневої системи

Обпирання системи було шарнірним в чотирьох кутах. Розміри і схема навантаження показані на рис. 2. Така схема навантаження була прийнята з міркувань укладення траверс для прикладення сил P . На рис. 3 показаний поперечний переріз зразка..

Переміщення вимірювалися за допомогою індикаторів годинникового типу, які були розташовані в центрі перехресно-стрижневої системи (точка 1 на рис. 2) та в крайніх кутових точках в місті перетину другорядних балок (точки 2 на рис. 2). Для врахування переміщення опор над кожною опорою також були встановлені індикатори годинникового типу.

Навантаження створювалося за допомогою гідравлічного домкрату з вимірюванням тиску зразковим манометром. Перед початком випробування було зроблено тарування домкрата. Навантаження прикладали по етапах, які не перевищували $1/10$ теоретичного максимального навантаження. На кожному кроці навантаження зразок витримували до стабілізації деформацій.



Активний Вісник

Рис. 2. Розміри і схема навантаження зразка. 1- головні (периметрові) балки перерізом 70x300 мм; 2 – другорядні балки перерізом 70x120 мм

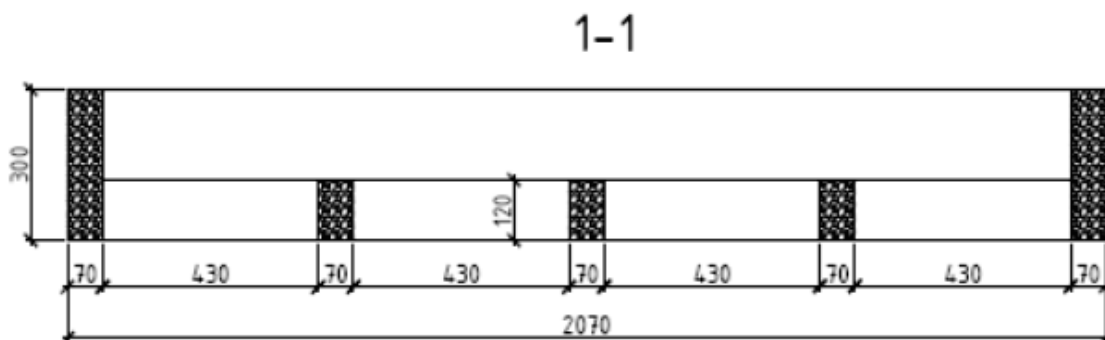


Рис. 3. Поперечний переріз зразка

На рис. 4 наведено графік «навантаження-прогин» для центральної точки (точки 1 на рис. 2), для кутової точки (точки 2 на рис. 2). Причому для точки 2 – це середнє значення між двома симетричними точками (див. рис. 2).

З рис. 4 можна бачити, що нелінійні деформації почалися між другим та третім етапами навантаження, тобто між роботою системи без тріщин і з тріщинами. Причому як на ділянці роботи без тріщин, так і на ділянці роботи з тріщинами графіки цих ділянок можна вважати лінійними (але на двох ділянках кути нахилу цих ліній суттєво відрізняються. Це підтверджує так звану гіпотезу лінійності жорсткості [4]. Тобто після утворення тріщин жорсткість стрибкоподібно зменшується і далі майже не змінюється до настання текучості арматури, що можна бачити по перегину графіка між останнім та передостаннім етапами навантаження.

Максимальне значення навантаження склало 6630 Н (на кожен вузол), що менше теоретичного. Це пов'язано з фактом відриву другорядних балок від головної в місті примикання, що показано на рис. 5.

Тому після відриву від головних балок обпирання другорядних балок перетворилося практично в шарнірне і згинальні моменти в прольоті різко збільшилися. Це пов'язано ще з схемою самої системи. Ширина перерізу головних балок складала 70 мм, що недостатньо для надійного закладення другорядних балок. Тому на останніх етапах перед руйнуванням переміщення не вимірювалися. Але до моменту відриву другорядних балок були отримані стабільні дані залежності між навантаженням і прогинами (див. рис. 4). Тому основна мета експерименту була досягнута.

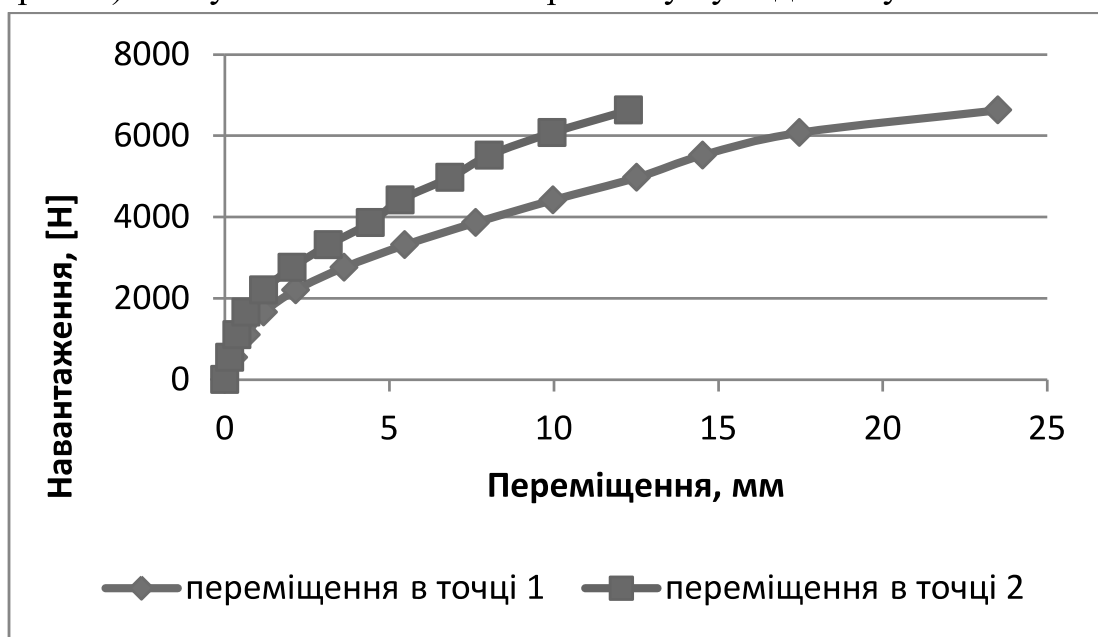


Рис. 4. Залежність «навантаження-прогин»



Рис. 5. Загальний вигляд тріщини відриву другорядних балок

Про наявність крутних моментів свідчать спіральні тріщини в крайніх другорядних балках (рис. 6).



Рис. 6. Загальний вигляд спіральної тріщини в крайній другорядній балці

Але це поодинокі тріщини тільки в крайніх другорядних балках в наслідок того, що балки не були армовані замкненими хомутами. В цілому ж в експерименті з'являлися лише нормальні тріщини. Але при цьому в системі присутні як згинальні, так і крутні моменти.

Розрахунки за методикою авторів [1, 8, 9] показали, що при врахуванні зміни лише згинальної жорсткості теоретичні переміщення виявилися значно

меншими ніж в розрахунках при врахуванні зміни і згинальної, і крутильної жорсткостей. Так, середня похибка при врахуванні зміни крутильної жорсткості не перевищує 20% (теоретичні значення менші за експериментальні), а при ігноруванні факту зміни крутильної жорсткості похибка складає 65% (також теоретичні значення менші за експериментальні). Цей факт підтверджує важливість врахування зміни крутильної жорсткості в результаті тріщиноутворення.

Висновки і перспективи досліджень. Експериментальними дослідженнями показано, що в перехресно-стрижневих залізобетонних системах з'являються практично виключно нормальні тріщини, хоча присутні як згинальні, так і крутні моменти. Розрахунки показують, що при врахуванні зміни не тільки згинальної, а й крутильної жорсткості елементів перехресно-стрижневої системи, теоретичні результати значно ближче до експериментальних ніж при врахуванні зміни тільки згинальних жорсткостей.

У подальшому передбачається проведення аналогічних експериментів з більш надійним закладенням другорядних балок в головні.

1. Азізов Т.Н., Перейрас Роландо Розрахунок залізобетонних перехресно-стрижневих систем з врахуванням тріщиноутворення // Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди. Вип. 41. – Рівне: Нац. ун-т водного господарства та природокористування, 2022. – С. 79-86.

.Azizov T.N., Pereiras Rolando Rozrakhunok zalizobetonnykh perekhresno-stryzhnevyykh system z vrakhuvanniam trishchynoutvorennia // Resursoekonomni materialy, konstruktсии, budivli ta sporudy. Vyp. 41. – Rivne: Nats. un-t vodnoho hospodarstva ta pryrodokorystuvannia, 2022. – S. 79-86.

2. Вахненко П.Ф. Залізобетонні конструкції. – Київ: Урожай, 1995. – 364 с.

Vakhnenko P.F. Zalizobetonni konstruktсии. – Kyiv: Urozhai, 1995. – 364 s.

3. Кваша В.Г., Іваннік І.Г. Просторовий розрахунок плитно-ребристих систем з врахуванням нелінійного розподілу жорсткості // Матеріали Українського міжгалузевого науково-практичного семінару „Сучасні проблеми проектування, будівництва та експлуатації штучних споруд на шляхах сполучення”. – Київ, 1998. – С. 104-107.

Kvasha V.H., Ivannik I.H. Prostorovyi rozrakhunok plytno-rebrystykh system z vrakhuvanniam neliniinoho rozpodilu zhorstkosti // Materialy Ukrainskoho mizhhaluzevoho naukovo-praktychnoho seminaru „Suchasni problemy proektuvannia, budivnytstva ta ekspluatatsii shtuchnykh sporud na shliakhakh spoluchennia”. – Kyiv, 1998. – S. 104-107.

4. Кочкар'єв Д.В. Нелінійний опір залізобетонних елементів і конструкцій силовим впливам. Рівне: О.Зень, 2015- 384 с.

Kochkarov D.V. Neliniinyi opir zalizobetonnykh elementiv i konstruktsii sylovym vplyvam. Rivne: O.Zen, 2015- 384 s.

5. Сур'янінов М.Г. Згин і кручення систем з перехресними зв'язками / М.Г. Сур'янінов, О.М. Чучмай, О.С. Шиляєв. // Міжвузівський збірник "НАУКОВІ НОТАТКИ", Луцьк. – 2017. – №58. – С. 295–300.

Surianinov M.H. Zghyn i kruchennia system z perekhresnymy zviazkamy / M.H. Surianinov, O.M. Chuchmai, O.S. Shylyiaiev. // Mizhvuzivskyi zbirnyk "NAUKOVI NOTATKY", Lutsk. – 2017. – №58. – S. 295–300.

6. Шиляєв О.С. Напружено-деформований стан залізобетонних перехресно-балкових систем. Дис... канд. Техн.. наук. 0523.02. – Одеса, 2020. – 207 с.

Shylyiaiev O.S. Napruzhenodeformovanyi stan zalizobetonnykh perekhresnobalkovykh system. Dis... kand. Tekhn.. nauk. 0523.02. – Odesa, 2020. – 207 s.

7. Яременко О.Ф. Несуча здатність та деформативність стержневих залізобетонних елементів в складному напруженому стані / О.Ф. Яременко, Ю.О. Школа. – Одеса: Одеської державної академії будівництва та архітектури, 2010. – 136 с.

Yaremenko O.F. Nesucha zdatnist ta deformatyvnyist sterzhnevyykh zalizobetonnykh elementiv v skladnomu napruzhenomu stani / O.F. Yaremenko, Yu.O. Shkola. – Odesa: Odeskoi derzhavnoi akademii budivnytstva ta arkhitektury, 2010. – 136 s.

8. Azizov T. Basis of calculation on torsion for reinforced concrete structures with normal cracks / T. Azizov, N. Jurkowska, D. Kochkarev // Concrete Innovations In Materials, Design And Structures. Fib Symposium 2019. Cracow 27-29 May 2019. Book of Abstracts. / T. Azizov, N. Jurkowska, D. Kochkarev. – Cracow: FIB, 2019. – С. 489–490.

9. Azizov T. The Problem of Considering of the Torsional Stiffness of Reinforced Concrete Elements While Designing Statically Indeterminate Systems / T. Azizov, N. Jurkowska. // Engineering Studies. – 2018. – №3. – С. 453–466.

10. EN 1992: Eurocode 2: Design of concrete structures – Part 1: General rules and rules for buildings. – Brussels, 2002. – 230 p.

11. James K. Wight, James G. MacGregor. Reinforced Concrete. Mechanics and Design. USA, 2009. – 1157 p.

James K. Wight, James G. MacGregor. Reinforced Concrete. Mechanics and Design. USA, 2009. – 1157 p.