



Doi: <https://doi.org/10.33644/2313-6679-2-2024-4>

УДК 624.012.41/46.006



БАМБУРА А.М.

Доктор техн. наук, професор, завідувач відділу ДП «Державний науково-дослідний інститут будівельних конструкцій», м. Київ, Україна, e-mail: abambura@gmail.com тел.: +38(044) 249-37-44, ORCID: 0000-0003-1402-3345



ДОРОГОВА О.В.

Канд. техн. наук, старший науковий співробітник ДП «Державний науково-дослідний інститут будівельних конструкцій», м. Київ, Україна, e-mail: dorogova@ukr.net тел.: +38(044) 249-37-75, ORCID: 0000-0002-7838-6383



САЗОНОВА І.Р.

Інженер, старший науковий співробітник ДП «Державний науково-дослідний інститут будівельних конструкцій», м. Київ, Україна, e-mail: rostislavovna@gmail.com тел.: +38(044) 249-38-88, ORCID: 0000-0002-8226-3589



ЖУРАВСЬКИЙ О.Д.

Доктор техн. наук, професор, завідувач кафедри залізобетонних та кам'яних конструкцій Київського національного університету будівництва і архітектури, м. Київ, Україна, e-mail: azhur@ua.fm, тел.: +38(067)508-60-64 ORCID: 0000-0001-7065-3312

НАДІЙНІСТЬ РОЗРАХУНКУ ГНУЧКИХ ЗАЛІЗОБЕТОННИХ ЕЛЕМЕНТІВ ДОВІЛЬНО ЗАКРІПЛЕНИХ НА ОПОРАХ ЗА МЕТОДОМ «РЕАЛЬНОЇ КРИВИЗНИ»

АНОТАЦІЯ

Визначення несучої здатності гнучких довільно закріплених на опорах звичайних, попередньо напружених (в тому числі трубобетонних) елементів з урахуванням ефектів другого порядку чинними будівельними нормами України не регламентовано. Для матеріалів, у яких діаграма роботи є криволінійною, втрата стійкості може реалізуватись як для короткого позакентровано стиснутого залізобетонного елемента, так і для елемента, що згинається. Окрім того відомо, що попереднє напруження арматури суттєво впливає на збільшення несучої здатності гнучких елементів, але в діючих нормативних документах відсутня інформація про те, чи є можливість в розрахунку

врахувати попереднє напруження арматури.

Указане впливає на точність визначення критичної сили і, відповідно, на надійність гнучких позакентровано стиснутих залізобетонних елементів і будівель у цілому. Авторами запропонований метод «реальної кривизни», який базується на фізично обґрунтованих передумовах, оперує достатньо простими аналітичними залежностями і дозволяє визначити несучу здатність гнучких елементів прямокутного, круглого, кільцевого, двотаврового і трубобетонного перерізів з урахуванням попереднього напруження арматури практично без обмежень щодо розрахункової довжини, розмірів перерізу, ступеню армування, міцності бетону тощо.



В даній статті виконана оцінка точності і надійності розрахункового апарату за методом «реальної кривизни» гнучких позacentровано стиснутих довільно закріплених по кінцях залізобетонних елементів. Для оцінки точності і надійності виконано співставлення несучої здатності 76 гнучких залізобетонних елементів визначеної на основі використання середньодослідних та розрахункових значень міцнісних і деформативних характеристик матеріалів. Для співставлення були використані результати експериментальних досліджень різних авторів. У вказаних експериментах в широкому діапазоні змінювались: гнучкість, міцність бетону і арматури, відсоток армування, геометрія перерізів. Виконано співставлення з результатами розрахунку за Єврокодом 2. Показано, що розрахунковий апарат достатньо добре відображає процес, що моделюється, і має достатньо високу точність і необхідну надійність.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: залізобетон, труботетон, позacentровий стиск, кривизна, деформаційний метод, гнучкість, розрахункова довжина, метод «реальної кривизни».

RELIABILITY OF CALCULATION OF FLEXIBLE REINFORCED CONCRETE ELEMENTS ARBITRALLY FIXED TO SUPPORTS USING THE “REAL CURVATURE” METHOD

ABSTRACT

The determination of the load-bearing capacity of flexible prestressed (including guncrete) elements arbitrarily fixed to supports, taking into account secondary effects, is not regulated by the current building codes of Ukraine. For materials in which the work diagram is curvilinear, loss of stability can occur both for a short eccentrically compressed reinforced concrete element and for a bending element. In addition, it is known that the prestressing of reinforcement significantly affects the increase in the load-bearing capacity of flexible elements, but the current regulatory documents do not contain information about whether it is possible to take into account the prestressing of the reinforcement in the calculation.

This affects the accuracy of determining the critical force and, accordingly, the reliability of flexible eccentrically compressed reinforced concrete elements and buildings in general. We proposed “real curvature” method, based on physically substantiated premises, operates with fairly simple analytical dependencies and allows us to determine the load-bearing capacity of flexible elements of rectangular, round, ring, I-beam and guncrete sections, taking into account prestressing reinforcement with virtually no limitations in calculated length, cross-section, degree of reinforcement, concrete strength, etc.

The article evaluates the accuracy and reliability of the calculation apparatus using the “real curvature” method of flexible eccentrically compressed reinforced concrete

elements arbitrarily fixed at the ends. To assess the accuracy and reliability, a comparison was made of the load-bearing capacity of 76 flexible reinforced concrete elements, determined based on the use of average experimental and calculated values of the strength and deformation characteristics of the materials. For comparison, the results of experimental studies by different authors were used. In these experiments, the following changes were varied over a wide range: flexibility, strength of concrete and reinforcement, percentage of reinforcement, and section geometry. A comparison was made with the results of calculations according to Eurocode 2. It was shown that the calculation apparatus fairly well reflects the simulated process, which has a sufficiently high accuracy and the necessary reliability.

KEYWORDS: reinforced concrete, tube-reinforced concrete, eccentric compression, curvature, deformation method, flexibility, calculated length, “real curvature” method.

ВСТУП

Визначення несучої здатності гнучких довільно закріплених на опорах звичайних, попередньо напружених (в тому числі труботетонних) елементів з урахуванням ефектів другого порядку чинними будівельними нормами України не регламентовано [1, 2].

В Єврокодi 2 [3, 4] для визначення несучої здатності гнучких залізобетонних елементів з урахуванням ефектів другого порядку рекомендується метод номінальної кривизни. Такий підхід має цілий ряд недоліків. Втрата стійкості реальних гнучких елементів відбувається при значно менших значеннях кривизни розрахункового перерізу, ніж номінальна кривизна і, відповідно, критична сила може бути значно більшою. Окрім того, в Єврокодi 2 прийнято (формула 5.10), що для бетонів міцністю нижче класу C50/65 граничні деформації стиску однакові і складають $\epsilon_{cu}=350\times 10^{-5}$. Останнє означає, що номінальна кривизна не залежить від міцності бетону -- це суперечить фізичній природі явища. На низку подібних неув'язок автори статті звертали увагу делегатів на Симпозіумах FIB в Будапешті (2005 р.) та в Амстердамі [5, 6].

ПОСТАНОВКА ЗАВДАННЯ

Метою даної роботи є оцінка точності визначення несучої здатності за методом «реальної кривизни» з розробкою в подальшому рекомендацій щодо розрахунку реальних конструкцій на основі використання розрахункових значень матеріалів та відповідних коефіцієнтів надійності.

ОСНОВНИЙ МАТЕРІАЛ І РЕЗУЛЬТАТИ

Загальновідомо, що для матеріалів, у яких діаграма роботи є криволінійною, втрата стійкості (порушення рівноваги між зовнішніми впливами та



внутрішніми зусиллями) може реалізуватись і для короткого позацентрово стиснутого залізобетонного елемента [7] та навіть для елемента, що згинається [8]. Відсутня інформація про можливість врахування в розрахунках попереднього напруження арматури, хоча відомо, що воно суттєво впливає на збільшення несучої здатності гнучких елементів. Указане впливає на точність визначення критичної сили і, відповідно, на надійність гнучких позацентрово стиснутих залізобетонних елементів і будівель у цілому. Авторами запропонований метод «реальної кривизни» [9, 10], який не має вказаних вище недоліків. Запропонований метод базується на фізично обґрунтованих передумовах і оперує достатньо простими аналітичними залежностями і дозволяє визначати несучу здатність гнучких елементів прямокутного, круглого, кільцевого, двотаврового і трубобетонного перерізів з урахуванням попереднього напруження арматури практично без обмежень щодо розрахункової довжини, розмірів перерізу, ступеню армування, міцності бетону тощо.

ІНТЕРПРЕТАЦІЯ РЕЗУЛЬТАТІВ

Оцінка точності та надійності запропонованого розрахункового апарату визначалась за методикою, що наведена в роботі [11]. Таку оцінку точності (достовірності) та надійності запропонованого розрахункового апарату, як правило, виконують на основі співставлення несучої здатності дослідних зразків, підрахованих за залежностями розрахункового апарату, та подальшого аналізу отриманих даних з відповідним аналізом за статистичними методами. Як правило, таке співставлення виконується для кожного дослідного зразка окремо, а достовірність методики розрахунку оцінюють за величинами: $K_e = N_i / N_{ei}$, середньої величини співвідношення, стандартного відхилення s_K та коефіцієнта варіації V_K даного масиву. Для такого співставлення можна використати результати експериментальних досліджень, в яких наявні всі необхідні для цього дані, в тому числі і параметри діаграми « $\sigma_c - \varepsilon_c$ » бетону та арматури. На жаль, більшість експериментальних досліджень, які виконані за традиційними методиками, не мають в повному обсязі зазначених даних. Тому, для оцінки точності та надійності розрахункового апарату використано експериментальні дані авторів [12 ÷ 16]. У цих роботах розглянуто вплив на несучу здатність та деформативність гнучких залізобетонних елементів різних факторів, а саме: гнучкість, початковий ексцентриситет прикладання сили, форма перерізу (прямокутник, кільце, кільцевий трубобетонний переріз), міцність бетону призм (від 22 МПа до 79,2 МПа), відсоток армування, комбінації жорсткості закріплення елементів по кінцям. В даній роботі було розглянуто 76 експериментальних зразків. Така кількість зразків цілком достатня для того, щоб зробити обґрунтовані висновки, оскільки при вибірці випадкових величин, більший за 30 елементів, значення параметрів нор-

мального розподілу випадкової величини будуть наближатись до значень параметрів генеральної вибірки.

У табл. 1 наведено основні параметри випробуваних зразків гнучких залізобетонних елементів та результати співставлення експериментальної критичної сили з результатами критичної сили, вирахованої з використанням середньодослідних характеристик матеріалів та характеристик матеріалів, призначених за класами бетону, арматури та металевої труби відповідно до вимог державних будівельних норм.

Результати статистичного аналізу величини $K_{e,i}$, співставлення дослідних даних та підрахунків за розробленим апаратом наведені в табл. 2 і 3.

Аналіз наведених даних показує, що розрахунковий апарат досить добре відображає модельований процес. Так, математичне середнє відношення $K_e = N_i / N_{ei}$ становить 0,988 при коефіцієнті варіації 0,115. Окрім того, розрахунковий апарат забезпечує досить високу точність визначення несучої здатності – імовірність помилки, яка перевищує 20 % і становить всього 4 %.

Оцінювання надійності визначення несучої здатності, як правило, виконують на основі статистичного оброблення співвідношення підрахованої несучої здатності елементів із застосуванням розрахункових та середньодослідних значень міцнісних та деформативних характеристик матеріалів. В будівництві достатнім вважається відхилення у меншій бік від середньо дослідного значення на 3std .

Наведені дані табл. 2 і 4 свідчать, що квантіль дорівнює 3,08 і, відповідно, надійність розрахункового апарату складає 0,9990.

Таким чином, можна зробити висновок, що розроблений розрахунковий апарат, який базується на деформаційному методі розрахунку залізобетонних конструкцій [2, 5, 17], для визначення критичної сили для гнучких елементів методом «реальної кривизни» [9] забезпечує необхідну надійність гнучких позацентрово стиснутих залізобетонних елементів при зміні в широкому діапазоні міцності матеріалів, відсотка армування, жорсткості опор, гнучкості, форми та типу перерізу.

Вище наведено статистичні дані щодо кількісної оцінки точності запропонованого розрахункового апарату. Про якісну збіжність розрахунків з експериментальними даними можна судити за порівнянням експериментальних діаграм стану залізобетонного елемента «M-F» з розрахунковими. Як приклад, на рис. 1 наведено порівняння діаграм «M-F» для експериментальних зразків з високоміцного бетону при двох ексцентриситетах прикладання сили з розрахунковими.

Як видно з рис. 1, запропонована методика достатньо добре описує процес навантаження зразків.

Для порівняння визначення критичної сили за запропонованим методом і за європейськими нормами EC 2-1-1 і DIN 1045-1 було виконано розра-



Таблиця 1 – Основні параметри випробуваних зразків гнучких залізобетонних елементів

№	Шифр дослідного зразка	Схема розкріплення, приведена довжини l_0 , мм	Есцентриситет, мм	N_{ei} , кН	N_{ti} , кН	N_{ti}/N_{ei}	$N_{d,UK}$, кН	$N_{ti}/N_{d,UK}$	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	
1	4 ₁ -I _и -1		3,5	119.56	126,8	1,06	92,30	0,73	
2	4 ₁ -I _и -2			110.85		1,14			
3	4 ₁ -I _и -3			114.77		1,11			
4	4 ₁ -I _е -1		10	10	67.62	82,3	1,22	60,33	0,73
5	4 ₁ -I _е -2				69.58		1,18		
6	4 ₁ -I _е -3								
7	4 ₁ -II _и -1		3,5	156.8	181,1	1,15	116,3	0,64	
8	4 ₁ -II _и -2								
9	4 ₁ -II _и -3			137.2		1,32			
10	4 ₁ -II _е -1		10	10	111.72	120,8	1,08	68,53	0,56
11	4 ₁ -II _е -2				105.84		1,14		
12	4 ₁ -II _е -3				96.04		1,26		
13	4 ₁ -III _и -1		3,5	198.16	207,16	1,05	129,9	0,63	
14	4 ₁ -III _и -2			199.92		1,04			
15	4 ₁ -III _и -3			196		1,05			
16	4 ₁ -III _е -1		10	10	161.7	152,5	0,97	80,52	0,53
17	4 ₁ -III _е -2				157.78		0,97		
18	4 ₁ -III _е -3				153.86		0,99		
19	4 ₂ -IV _и -1		3,5	142.1	172,9	1,22	132,17	0,76	
20	4 ₂ -IV _и -2			137.2		1,27			
21	4 ₂ -IV _и -3			138.18		1,26			
22	4 ₂ -IV _е -1		10	10	117.6	119,07	1,01	83,95	0,49
23	4 ₂ -IV _е -2				118.58		1,00		
24	4 ₂ -IV _е -3				137.2		0,87		
25	4 ₂ -V _и -1		3,5	196	207,0	1,06	142,85	0,69	
26	4 ₂ -V _и -2			205.8		1,01			
27	4 ₂ -V _и -3			210.7		0,98			
28	4 ₂ -V _е -1		10	10	161.7	137,3	0,85	93,76	0,68
29	4 ₂ -V _е -2				164.64		0,83		
30	4 ₂ -V _е -3				183.26		0,75		



Продовження таблиці 1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	
31	8 ₁ -I _{II} -1		3,5	127.4	125.0	0.98	121,5	54,4	
32	8 ₁ -I _{II} -2			123.48		1.01			
33	8 ₁ -I _{II} -3			145.04		0.86			
34	8 ₁ -I _e -1		10	10	73.5	80.6	1.10	67,3	0,83
35	8 ₁ -I _e -2				62.72		1.28		
36	8 ₁ -I _e -3				74.48		1.08		
37	8 ₁ -II _{II} -1		3,5	206.78	228.3	1.10	156,8	0,69	
38	8 ₁ -II _{II} -2			192.08		1.19			
39	8 ₁ -II _{II} -3			-					
40	8 ₁ -II _e -1		10	10	133.28	112.0	0.84	88,9	0,79
41	8 ₁ -II _e -2				139.16		0.80		
42	8 ₁ -II _e -3				142.1		0.79		
43	8 ₁ -III _{II} -1		3,5	283.22	271.0	0.96	173,5	0,64	
44	8 ₁ -III _{II} -2			244.02		1.11			
45	8 ₁ -III _{II} -3			247.94		1.09			
46	8 ₁ -III _e -1		10	10	160.72	153.0	0.95	99,5	0,65
47	8 ₁ -III _e -2				172.48		0.89		
48	8 ₁ -III _e -3				176.4		0.87		
49	8 ₂ -IV _{II} -1		3,5	299.88	295.0	0.98	195,9	0,66	
50	8 ₂ -IV _{II} -2			285.18		1.03			
51	8 ₂ -IV _{II} -3			300.86		0.98			
5++-	8 ₂ -IV _e -1		10	10	233.24	189.0	0.81	99,3	0,53
53	8 ₂ -IV _e -2				238.14		0.80		
54	8 ₂ -IV _e -3				246.96		0.77		
55	8 ₂ -V _{II} -1		3,5	410.6	329.2	0.80	216,0	0,66	
56	8 ₂ -V _{II} -2			392		0.84			
57	8 ₂ -V _{II} -3			392		0.84			



Продовження таблиці 1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	
58	К-1		2,5	352,0	372,8	1,06	206,5	0,55	
59				342,5		1,09			
60				320,1		1,16			
61	К-2		10	227,3	190,0	0,84	112,7	0,59	
62				215,1		0,88			
63	К-3		15	128,5	160,3	128,5	0,81	75	0,58
64					145,1		0,89		
65					128,7		1,00		
66	К-4		20	102,7	97,4	102,7	1,05	55,7	0,54
67					98,8		1,04		
68		112,6			0,91				
69	ТБЦ-11-22	10000	130	790	670	0,85	519	0,60	
70	ТБЦ-21-22	5000		1180	1156	0,98	731	0,61	
71	ТБЦ-31-21	3500		1390	1357	0,98	830	0,61	
72	ТБЦ-41-21	1500		1580	1492	0,94	902	0,57	
73	ТБЦ-12-22	10000	156	980	695	0,71	725,5	0,74	
74	ТБЦ-22-22	5000		1270	1203	0,95	924,5	0,77	
75	ТБЦ-32-22	3500		1490	1357	0,91	1000	0,73	
76	ТБЦ-42-22	1500		1780	1494	0,84	1043	0,7	

Таблиця 2 – Статистики величини $K_{te,i} = N_{ti} / N_{ei}$

Кількість дослідних зразків	Статистичні параметри розподілу		
	m_{te}	s_{te}	V_{te}
72	0.988	0.114	0.115

Таблиця 3 – Забезпеченість точності розрахункового апарату

Забезпеченість точності у відсотках, (%)			
Відхилення	± 10	± 15	± 20
Імовірність	0,80	0,90	0,96



Таблиця 4 – Статистики величини $K_{td,i} = N_i / N_{d,UK}$

Кількість дослідних зразків	Статистичні параметри розподілу		
	m_{te}	s_{te}	V_{te}
31	0.646	0.072	0.111

Таблиця 5 – Порівняння критичної сили за запропонованим методом та ЕС 2-1-1, DIN 1045-1

λ	25	31	38	52	59	73	75
Відхилення, %	0,1	2,4	5,7	8,8	9	13,7	13,4

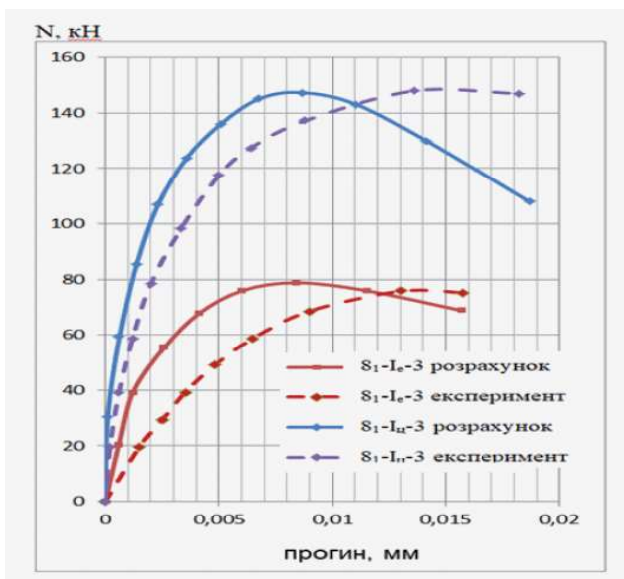


Рисунок 1 – Результати співставлення розрахунків з експериментальними даними

хунки елемента квадратного перерізу 200 x 200 мм при міцності бетону $f_{cd} = 19,8$ МПа і арматури $f_y = 435$ МПа при різних значеннях гнучкості та кількості армування. Результати цього порівняння наведено в табл. 5. При збільшенні гнучкості точність рішення за ЕС 2-1-1 і DIN 1045-1 знижується і на границі номограм досягає 13,7 %.

ВИСНОВКИ

Виконані дослідження дозволяють зробити висновки, що запропонований метод «реальної кривизни» дає можливість визначати критичну силу для гнучких залізобетонних позациентрово стиснутих елементів прямокутного, кругового, кільцевого, двотаврового і трубобетонного перерізів з урахуванням попереднього напруження арматури практично без обмежень щодо розрахункової довжини, розмірів перерізу, ступеню армування, міцності бетону тощо з необхідною надійністю при достатньо високій точності і може бути використаним в будівельних нормах.

БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

- ДБН В.2.6-98:2009. Бетонні та залізобетонні конструкції. Основні положення. Київ: Мінрегіонбуд України, 2011. 71 с.
- ДСТУ Б В.2.6-156:2010. Бетонні та залізобетонні конструкції з важкого бетону. Правила проектування. Київ: «Укрархбудінфори», 2011. 118 с.
- EN 1992-1-1. Єврокод 2. Проектування залізобетонних конструкцій. Частина 1-1. Загальні правила і правила для споруд. Київ: ДП «УкрНДНЦ», 2022.
- Bambura, A., Gurkivskiy, O., Bezbozhna, M., Khavkin, O. To assessment of bearing capacity and deformability of the reinforced concrete structures on the basis of material deformation real diagrams and deformation approach. Keep Concrete Attractive: Proceedings of the 11th Symposium. Budapest, 2005. P. 742–747
- Kryvosheyev, P., Bambura, A., Slyusarenko, Y. Problems on harmonization of Ukraine and EU normative bases in the area of concrete structures. Tailor Made Concrete Structures: New Solutions for our Society: Proceedings of the International FIB Symposium. Stuttgart, 2008. 135 p.
- Бамбура А.М. Про втрату стійкості позациентрово стиснутих елементів з пружно-пластичного матеріалу. Механіка і фізика руйнування будівельних матеріалів та конструкцій: зб. наук. праць. Львів: Каменяр, 2002. № 5. С. 213-218
- Бачинский В.Я. О потере устойчивости деформирования изгибаемого бруса. Київ: Будівельник, 1982. № 35. С. 51-55.
- А.Н. Бамбура, О.В. Дорогова, І.Р. Сазонова, В.М. Богдан Розрахунок позациентрово стиснутих гнучких залізобетонних елементів за методом «реальної кривизни». Наука та будівництво. 2018. № 3. С. 10-20.
- Бамбура А.М., Сазонова І.Р., Дорогова О.В., Войцехівський О.В. Проектування залізобетонних конструкцій. Посібник. Київ:



Майстер книга, 2018.

10. Бачинский В.Я., Бамбура А.Н. Исследования точности и надёжности расчёта гибких нешарнирно опертых железобетонных стержней по методике НИИСК. Исследование надёжности железобетонных конструкций. 1976. № 3. С. 79-83.
11. Бамбура А.Н. Экспериментальные исследования кратковременной устойчивости гибких железобетонных стержней с различными схемами опирания концов. Расчёт и испытания строительных конструкций: Сб. трудов, 1976. С. 144-155.
12. Бамбура А.Н. Методика экспериментальных исследований устойчивости гибких железобетонных стоек с различными схемами опирания концов. Расчёт и испытания строительных конструкций: сб. трудов, 1976. С. 124-129.
13. Бамбура А.Н. Исследование кратковременной устойчивости сжатых железобетонных элементов при нешарнирном закреплении на концах. Київ: НДІБК, 1978.
14. Гічко В.В. Експериментальні дослідження залізобетонних гнучких стійок із високоміцного бетону. Будівництво в сейсмічних районах України: міжвід. наук.-техн. зб. наук. праць, 2010, № 73, С. 555-561.
15. Ефименко В.И. Несущая способность центрифугированных трубобетонных элементов. Сталезалізобетонні конструкції: дослідження, проектування, будівництво, експлуатація. 2002. № 5. С. 46-52.
16. Бамбура А.Н., Гурковский А.Б. (2003). К построению деформационной теории железобетона стержневых систем на экспериментальной основе. Будівельні конструкції: міжвід. наук.-техн. зб., 2003, № 59, С. 121-130.

REFERENCES

1. DBN V.2.6-98:2009. (2011). Concrete and reinforced concrete structures. Basic provisions. Kyiv: Ministry of Regional Development of Ukraine.
2. DSTU B V.2.6-156:2010. (2011). Concrete and reinforced concrete structures made of heavy concrete. Design rules. Kyiv: "Ukrarkhbudinform".
3. EN 1992-1-1. (2022). Eurocode 2. Design of concrete structures. Part 1-1. General rules and rules for buildings. Kyiv: DP "UkrNDNC".
4. Bambura, A., Gurkivskiy, O., Bezbozhna, M., & Khavkin, O. (2005). To assessment of bearing capacity and deformability of the reinforced concrete structures on the basis of material deformation real diagrams and deformation approach. In Keep concrete attractive: Proceedings of the fip Symposium (pp. 742–747). Budapest.

5. Kryvosheyev, P., Bambura, A., & Slyusarenko, Y. (2008). Problems on harmonization of Ukraine and EU normative bases in the area of concrete structures. In Tailor made concrete structures: New solutions for our society: Proceedings of the International FIB Symposium (p. 135). Stuttgart.
6. Bambura, A. M. (2002). On the loss of stability of eccentrically compressed elements made of elastic-plastic material. Mechanics and Physics of Destruction of Building Materials and Structures, (5), 213-218. Lviv: Kameniar.
7. Bachinsky, V. Ya. (1982). On the loss of stability of a deforming beam. Budivelnik, (35), 51-55.
8. Bambura, A. N., Dorohova, O. V., Sazonova, I. R., & Bogdan V. M. (2018). Calculation of eccentrically compressed flexible reinforced concrete elements by the method of "real curvature". Science and Construction, (3), 10-20.
9. Bambura, A. M., Sazonova, I. R., Dorogova, O. V., & Voytsekhivskiy, O. V. (2018). Design of reinforced concrete structures. Manual. Kyiv: Mayster Knyha.
10. Bachinsky, V. Ya., & Bambura, A. N. (1976). Research on the accuracy and reliability of calculating flexible reinforced concrete bars according to the methodology of NIISK. Reliability Research of Reinforced Concrete Structures, (3), 79-83.
11. Bambura, A. N. (1976). Experimental research on the short-term stability of flexible reinforced concrete bars with different end support schemes. In Calculation and Testing of Building Structures: Collection of Works.
12. Bambura, A. N. (1976). Methodology of experimental research on the stability of flexible reinforced concrete columns with different end support schemes. In Calculation and Testing of Building Structures: Collection of Works.
13. Bambura, A. N. (1978). Investigation of short-term stability of compressed reinforced concrete elements with non-jointed end supports. Kyiv: NIISK.
14. Hichko, V. V. (2010). Experimental research of high-strength concrete flexible reinforced concrete columns. Construction in Seismic Areas of Ukraine: Interdepartmental Scientific and Technical Collection of Scientific Papers, (73), 555-561.
15. Yefimenko, V. I. (2002). Bearing capacity of centrifuged reinforced concrete pipe elements. Steel-reinforced concrete structures: Research, design, construction, operation, (5), 46-52.
16. Bambura, A. N., & Gurkovskiy, A. B. (2003). On the development of the deformation theory of reinforced concrete column systems based on experimental data. Interdepartmental Scientific and Technical Collection of Building Structures, (59), 121-130.

Стаття надійшла до редакції 30.04.2024