

УДК 624.012:624.046

ТОЧНІСТЬ І НАДІЙНІСТЬ РОЗРАХУНКОВОГО АПАРАТУ  
ЗА ДСТУ Б В.2.6-156:2010

Д.т.н., с.н.с. *Бамбура А.М.*, інж. *Дорогова О.В.*

Державне Підприємство „Державний науково-дослідний інститут  
будівельних конструкцій”,  
м. Київ

Оцінку точності (достовірності) розробленого апарату [1,2], який покладено в основу розрахункових формул за першою групою граничних станів національного нормативного документу ДСТУ Б В.2.6-156:2010, виконано на основі співставлення несучої здатності та кривизни дослідних зразків з підрахованими за формулами розрахункового апарату та аналізу отриманих даних статистичними методами. Як правило, таке співставлення виконується для кожного дослідного зразка окремо, а про достовірність методики розрахунку судять за величинами статистичного середнього  $\bar{X}$  коефіцієнта

$$K_M = \frac{M_{th}}{M_{ex}}, K_N = \frac{N_{th}}{N_{ex}}, K_K = \frac{N_{th}}{N_{ex}}$$
 середнього квадратичного

відхилення  $\sigma$ , та коефіцієнта варіації  $C_v$  вказаної величини. Для такого співставлення можна використати тільки результати експериментальних досліджень, в яких наявні всі необхідні для цього дані, в тому числі і про параметри діаграми “ $f_c$  -  $\varepsilon_c$ ” бетону та арматури. На жаль, більшість експериментальних досліджень, які виконані за традиційними методиками, не мають в повному обсязі зазначених даних. Тому для оцінки точності розрахункового апарату використано експериментальні дані авторів даної публікації та данні робіт [3, 4, 5, 6]. У цих роботах розглянуто вплив на несучу здатність та деформативність різних факторів, в тому числі: одноразового навантаження до руйнування звичайних балок при чотириточковому згині; небагаторазового навантаження високого рівня; поздовжнього градієнта напружень, нерозрізності балок, що зазнають переміщень однієї з опор; особливостей роботи балок, що лежать на пружній основі; тривалого навантаження високого рівня, позацентрового стиснення тощо. Всього було розглянуто понад 148 елементів. З точки зору статистики така кількість цілком достатня для того, щоб зробити обґрунтовані висновки, оскільки, як відомо, при вибірці випадкових величин, більшій за 60 елементів, значення параметрів нормального розподілу випадкової величини будуть наблизятись до значень параметрів генеральної вибірки. Оскільки об'єм публікації обмежений, а таблиця результатів розрахунку за запропонованою методикою і результати співставлення з експериментальними даними є громіздкою, то вона не приводиться.

Результати статистичної обробки величини  $K$ , співставлення дослідних даних та підрахунків за розробленим апаратом наведені в таблицях 1 та 2.

Аналіз наведених даних показує, що розрахунковий апарат досить добре відображає процес який моделюється. Так, математичне середнє відношення

$K_{M,N}$  становить 0,98 при коефіцієнті варіації всього 5,9%, а відношення  $K_k = 0,969$  при  $C_v = 6,6\%$ . Okрім того, розрахунковий апарат забезпечує і досить високу точність визначення несучої здатності – вірогідність помилки, яка перевищує 15% становить всього 1%.

Таблиця 1

*Статистики розрахункового апарату*

Кількість дослідних зразків	Статистичні параметри розподілу					
	$K_{M,N}$			$K_k$		
	$\bar{X}$	$\sigma$	$C_v$	$\bar{X}$	$\sigma$	$C_v$
148	0.985	0.058	0.059	0.969	0.064	0.066

Таблиця 2

*Забезпеченість точності розрахункового апарату*

Забезпеченість точності у відсотках (%), при величині похибки в (%)							
$K_{M,N}$				$K_k$			
$\pm 5$	$\pm 10$	$\pm 15$	$\pm 20$	$\pm 5$	$\pm 10$	$\pm 15$	$\pm 20$
53	94	99	99.95	57	89	97.6	99.36

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-N” або “M-f” з розрахунковими. Якості прикладу на рис. 1 наведено співставлення діаграм “M-N” для прямокутного залізобетонного перерізу при одноразовому навантаженні.

Як видно з рисунка, розроблений апарат досить добре відображає процес процес який моделюється, як якісно, так і кількісно.

Оцінка надійності визначення несучої здатності, як правило, виконують на основі статистичної обробки співвідношення підрахованої несучої здатності елементів з застосуванням розрахункових значень міцнісних та деформативних характеристик матеріалів до відповідних експериментальних даних. При цьому загальнозвизнано, що в техніці, в тому числі і в будівництві, достатнім вважається, якщо підрахована таким чином несуча здатність буде відрізнятись у менший бік від дослідної на  $3\sigma$ .

Оскільки розрахунковий апарат має досить високу точність, то з метою оцінки надійності при розширеному діапазоні зміни основних факторів з урахуванням зроблених пропозицій щодо нормування параметрів діаграм

бетону та арматури [7] поставимо спеціальний числовий експеримент. В рамках його будемо використовувати співвідношення підрахованої несучої здатності елементів з використанням розрахункових та середньодослідних значень міцністних та деформативних характеристик матеріалів.

В рамках вказаного експерименту змінними були такі фактори:

- форма перерізу – прямокутна та двотаврова, кругова;
- тип армування – один та два шари армування;
- міцність бетону – B20, B30, B40, B50, B60;
- відсоток армування – 1%, 2%, 3% та 4%;
- тип напруженого-деформованого стану – згин та позацентровий стиск;
- ексцентриситет прикладення навантаження – випадкова величина на грани ядра перерізу та на грани перерізу.

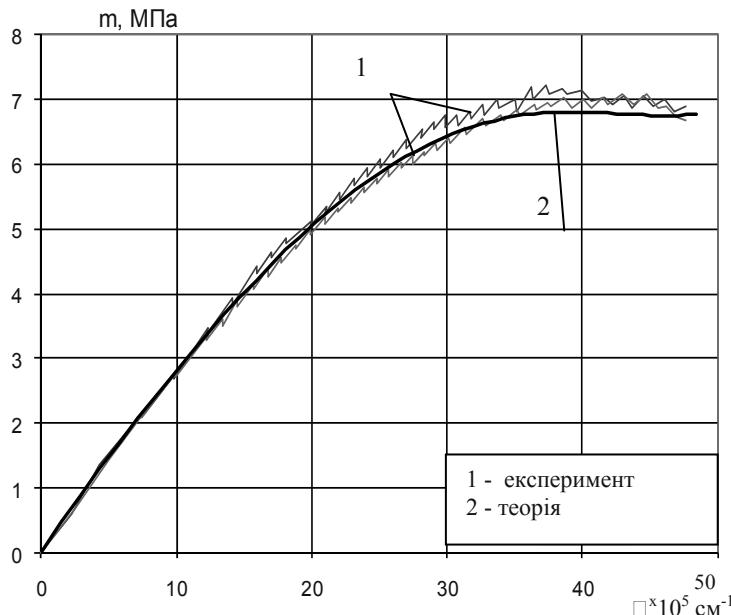


Рис. 1. Діаграми “ $M - \Delta$ ” для прямокутного перерізу, при одноразовому короткочасному навантаженні

Всього було використано понад 160 варіантів поєднань зазначених факторів. Результати статистичної обробки величини  $K_{M\Delta}$ , співставлення підрахунків несучої здатності за середньодослідними та розрахунковими

значеннями параметрів діаграм деформування бетону та арматури наведено в табл. 3.

Аналіз результатів розрахунків показує, що більшість (близько 60%) позацентрово стиснутих та тільки третина згинних елементів втрачає несучу здатність внаслідок руйнування стиснутого бетону (досягнення граничних деформацій  $\varepsilon_{cu}$ ), близько 30% позацентрово стиснутих та згинних елементів втрачає несучу здатність внаслідок втрати стійкості (порушення рівноваги між внутрішніми та зовнішніми зусиллями), і тільки близько 10% елементів втрачає несучу здатність внаслідок досягнення напружень в розтягнутій арматурі текучості. При цьому співвідношення величин  $K_{M,N}$  в першому випадку знаходиться в інтервалі 1,53...1,67, в другому випадку – в інтервалі 1,3...1,5 і при руйнуванні внаслідок текучості арматури – в інтервалі 1,3...1,4. Okрім того, в процесі аналізу виявлений цікавий факт, який полягає в тому, що зустрічаються випадки, коли реальна конструкція з середньодослідними параметрами діаграм бетону та арматури втрачає несучу здатність внаслідок текучості арматури, а при розрахункових значеннях названих параметрів втрата несучої здатності відбувається внаслідок руйнування стиснутого бетону. Таким чином, реальний запас несучої здатності залізобетонних елементів залежно від виду її втрати знаходиться в межах від 1,3 до 1,67. Ця обставина повинна бути врахована при складанні нормативних документів щодо контролю якості залізобетонних конструкцій.

Виходячи із сказаного, на перший погляд, необхідно і оцінку надійності конструкцій виконувати з розбивкою на види руйнування, що, як відомо, і має місце в чинних нормах з контролю якості залізобетонних конструкцій. Враховуючи різноманіття поєднань типів втрати несучої здатності реальних конструкцій при їх розрахунку, та труднощі, які виникають при визначенні типу втрати несучої здатності, оцінку надійності виконамо на основі усереднених даних, не розбиваючи їх на типи. При цьому, якщо використовувати дані табл. 3, то неважко бачити, що надійність розрахункового апарату складає біля 0,999, що значно перевищує необхідну величину 0,99865.

### Таблиця 3

Статистики результату співставлення підрахунків несучої здатності

Кількість дослідних зразків	Статистичні параметри розподілу		
	$K_{M,N}$		
	$\bar{X}$	$\sigma$	$C_v$
160	0,72	0,041	0,057

Таким чином, можна зробити висновок, що розроблений розрахунковий апарат і запропонований підхід до нормування параметрів діаграм

деформування бетону та арматури забезпечують необхідну надійність залізобетонних конструкцій і застосування його в національному нормативному документі ДСТУ Б В.2.6-156:2010, для визначення несучої здатності і стійкості залізобетонних конструкцій, дозволить забезпечити вимоги щодо надійності будівель і споруд.

### ВИКОРИСТАНА ЛІТЕРАТУРА

1. Бамбура А.Н., Гурковский А.Б. К построению деформационной теории железобетона стержневых систем на экспериментальной основе //Будівельні конструкції. К.:НДІБК, 2003. – № 59. – С. 121 – 130.
2. Бамбура Андрій, Гурківський Олександр, Безбожна Маріанна, Дорогова Олена Деформаційна модель та алгоритм визначення напруженодеформованого стану розрахункового перерізу залізобетонних елементів// Строительство, материаловедение, машиностроение: Сб. научн. трудов. Вып. №50. – Днепропетровск., ПГАСА, 2009. – С. 19-25.
3. Бамбура А.Н., Безбожная М.С. Результаты экспериментальных исследований связи «напряжения – деформации» при длительном действии нагрузки // Перша Всеукр. наук.-техн. конф. «Науково-практичні проблеми сучасного залізобетону» – К.: НДІБК, 1996. – С. 43-44.
4. Чайка В.П. Исследование напряженного состояния бетона сжатой зоны изгибаемых железобетонных элементов аналитическим методом. Диссертация канд. техн. наук – Киев. 1977. С-168.
5. Чеканович М.Г. Несуща здатність залізобетонних елементів, обтиснених шляхом натягу арматури на свіжкоукладену суміш// Автореферат на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук – Київ. 1993. С-18.
6. Зедгенидзе В.А., Половец В.И. О длительной несущей способности изгибаемых элементов // Бетон и железобетон. – 1977. – №4.
7. Бамбура А.М. Експериментальні основи прикладної деформаційної теорії залізобетону// Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук – Київ. 2005. С. 295-304.