

УДК 624.012.35:620.173

ЛІНЕАРИЗАЦІЯ ПАРАМЕТРІВ ПРОГІНІВ ЗГІНАЛЬНИХ ЗАЛІЗОБЕТОННИХ ЕЛЕМЕНТІВ НА ОСНОВІ РЕАЛЬНИХ ДІАГРАМ ДЕФОРМУВАННЯ МАТЕРІАЛІВ

ЛИНЕАРИЗАЦИЯ ПАРАМЕТРОВ ПРОГИБОВ ИЗГИБАЕМЫХ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ НА ОСНОВНИИ РЕАЛЬНЫХ ДИАГРАММ ДЕФОРМИРОВАНИЯ МАТЕРИАЛОВ

LINEARIZATION PARAMETERS DEFLECTION REINFORCED CONCRETE BEAMS BASED ON ACTUAL STRESS-STRAIN DIAGRAM MATERIALS

Кочкаръов Д.В., к.т.н., доц. (Національний університет водного господарства та природокористування, м. Рівне)

Кочкарёв Д.В., к.т.н., доц. (Национальный университет водного хозяйства и природопользования, г. Ровно)

Kochkarev D.V., candidate of technical sciences, associate professor (National university of water management and nature resources use, Rivne)

Розглянута методика визначення прогинів, в основу якої покладена лінеаризація параметрів жорсткості згинальних залізобетонних елементів. Наведено приклад розрахунку прогинів балки за представленою методикою.

Рассмотрена методика определения прогибов, в основе которой заложена линеаризация параметров жесткости изгибаемых железобетонных элементов. Приведено пример расчета прогибов балки по предлагаемой методике.

The method of determining the deflection, based on the linearization parameters bending stiffness of reinforced concrete elements. Examples of calculations of beam deflection by the proposed method.

Ключові слова:

Згинальні елементи, прогини, жорсткість.

Изгибаемые элементы, прогибы, жесткость.

Beams, deflections, stiffness

Стан питання та задачі дослідження. Лінеаризацію параметрів жорсткості перерізів залізобетонних елементів пропонували використовувати цілий ряд дослідників, серед яких варто виділити наступних [1, 2, 3, 4, 5 та інших]. Як правило, вона зводилась до того, що залежність момент-кривина описувалась ламаними лініями, а параметричні точки визначались певним формулами, у більшості випадків емпіричними. Це призводило до певних неточностей у розрахунках. Тому вдосконалення інженерної методики визначення прогинів залізобетонних елементів є доволі актуальною задачею.

Методика досліджень. Проведемо лінеаризацію формул методу розрахункових опорів [6, 7]. У зв'язку з тим, що в даному методі основною характеристикою виступає напруга в залізобетоні, будемо проводити лінеаризацію у координатах "сума крайових деформацій стиснутого бетону та розтягнутої арматури – напруга у залізобетоні".

Визначення прогинів відбувається за середньою кривою. Кривина в перерізі із тріщиною повинна додатково враховуватись у випадках суттєвого пошкодження захисного шару. Таким чином визначення прогинів буде відбуватися за середнім значенням кривин в перерізах між тріщинами та у перерізах з тріщинами. Прогини будемо визначати за експлуатаційних рівнів навантаження, коли досягнення межі текучості в розтягнутій арматурі не відбувається. Проілюструємо залежність сумарних деформацій стиснутого бетону та розтягнутої арматури від напруг у залізобетоні для різних процентів армування та класу бетону С16/20 (див. рис.1). Дані залежності побудовані за методикою [7].

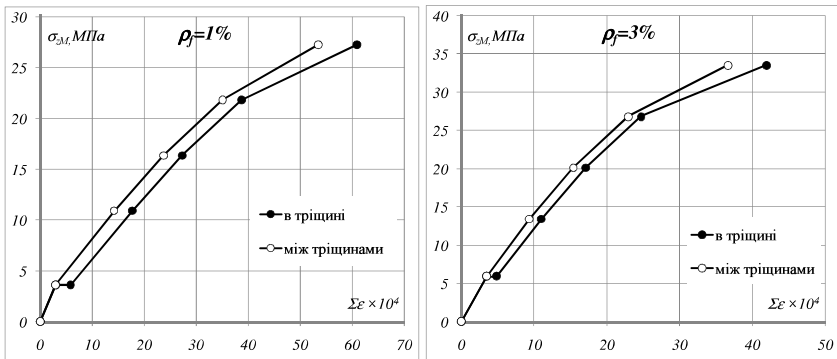
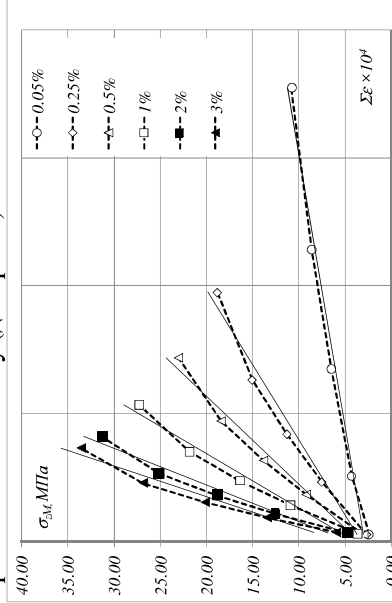


Рис.1. Залежність "сума крайових деформацій стиснутого бетону та розтягнутої арматури – напруга у залізобетоні" для перерізів згинальних залізобетонних елементів (С16/20)

Згідно з наведеними даними проглядаються три прямолінійні ділянки для кривини в перерізі з тріщиною: перша – від початку завантаження до моменту утворення тріщин; друга – характеризує процес утворення тріщин;

третя – від моменту утворення тріщин до руйнування. Аналогічна тенденція характерна і для інших класів бетону. Таким чином в загальному для апроксимації представлених графіків, необхідно розглядати три ділянки. Перша ділянка до утворення тріщин, друга – безпосередній процес їх утворення, третя після їх утворення. Така апроксимація в подальшому призведе до певної складності розрахунків, та громіздкості остаточних розрахункових формул. А тому, зважаючи на те, що визначення прогинів відбувається у межах 0.6-0.95 від руйнующого навантаження, приймемо деформування перерізів залізобетонних елементів лише за однією прямою, яка відповідає їх роботі після утворення тріщин. Такий підхід значно спростить розрахунок, але призведе до певних похибок в елементах, у яких момент утворення тріщин не значно відрізняється від моменту руйнування. Це притаманно елементам із малим процентом армування ($\leq 0,25\%$). Але згинальні елементи з таким процентом армування в практиці будівництва зустрічаються доволі рідко.

Підтвердимо дані твердження числовим експериментом. Для цього попередньо проведемо апроксимацію середніх значень розглянутих графіків стану перерізів залізобетонних елементів після утворення тріщин, прямими лініями. Коefіцієнти кореляції отриманих прямих знаходяться в межах 0.956-0.98, для класів різних класів бетону (див. рис.2).



$$\sigma_{zM} = a_i + b_i \sum \varepsilon, \quad (1)$$

де a_i , b_i – коефіцієнти, які залежать від класу бетону та процента армування.

Користуватися рівняннями у вигляді (1), за умови всіх різних коефіцієнтів для одного класу бетону, є доволі не зручним, хоча при цьому забезпечується найкраща збіжність. Тому пропонується прийняти сталість вільного коефіцієнта $a_i = a$ для певного класу бетону. В результаті отримаємо дещо менші коефіцієнти кореляції, але при цьому значно спростимо розрахунок. Тоді для отримання коефіцієнту a необхідно спочатку провести апроксимацію прямими лініями графіків стану в координатах " $\Sigma \varepsilon - \sigma_{zM}$ ". Це робиться методом найменших квадратів. Після чого необхідно визначити середнє значення вільного члену a , використовуючи дані всіх отриманих прямих. Далі встановлюється значення коефіцієнтів b_i для кожного проценту армування, за умови, що пряма апроксимації має значення вільного члену, яке відповідає визначеному раніше значенню a . Такі обчислення необхідно виконати по кожному класу бетону. Таким чином

$$\sigma_{zM} = a + b_i \sum \varepsilon, \quad (2)$$

де a – коефіцієнт, який залежить від класу бетону, b_i – коефіцієнт, який залежить від класу бетону та процента армування.

Остаточні коефіцієнти кореляції, як і передбачалось, виявилися дещо меншими за попередні. Таким чином отримані значення апроксимуючих прямих для всіх класів бетону та арматури. Вони приведені у табл.1.

Таблиця 1

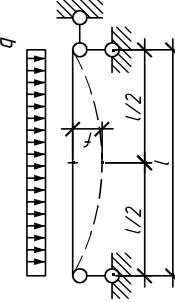
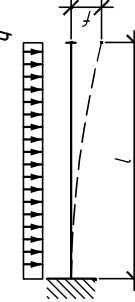
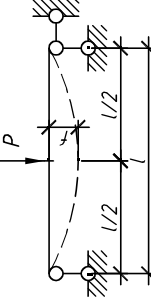
Параметри прямих для розрахунку прогинів залізобетонних згинальних елементів армованих арматурою А400, А500 в експлуатаційних стадіях

Клас бетону	а, МПа	Процент армування ρ_i									
		0.5-1.00		1.00-2.00		2.00-3.00		3.00			
		α	β	α	β	α	β				
С8/10	1.845	0.262	0.11	0.30	0.410	0.21	0.20	0.614	0.31	0.15	0.764
С12/15	2.116	0.301	0.12	0.37	0.484	0.23	0.26	0.741	0.37	0.19	0.929

Коефіцієнти b_i , 10^{-4} МПа

Формули визначення прогинів з урахуванням лінійності для найпоширених розповсюджених розрахункових схем представлені у табл. 2.

Таблиця 2
 Формули визначення прогинів у найбільш розповсюджених розрахункових схемах

№ п/п	Розрахункова схема балки	Формула визначення прогину
1		$f = \frac{5}{384} \frac{ql^4}{b_1 W_c d} - \frac{l^2}{8} \frac{a}{b_1 d}$
2		$f = \frac{1}{8} \frac{ql^4}{b_1 W_c d} - \frac{l^2}{2} \frac{a}{b_1 d}$
3		$f = \frac{1}{48} \frac{Pl^3}{b_1 W_c d} - \frac{l^2}{8} \frac{a}{b_1 d}$

Виконаємо порівняльні розрахунки визначення прогинів за різними методиками для балки із рівномірно розподіленим навантаженням. Для порівняння візьмемо дві методики. Перша ґрунтується на визначенні прогину за однією кривою в місці з найбільшим згинальним моментом. Після нескладних перетворень одержимо наступний вираз

$$\frac{f}{l} \frac{l}{\lambda} = \frac{l}{k_m} \sum \varepsilon. \quad (5)$$

Даний вираз дасть можливість провести порівняння результатів обчислення прогинів залежно від класу бетону та арматури, та незалежно від довжини та гнучкості елемента.

Друга методика, яка буде використана для порівняння, використовує ешору кривини по довжині елемента. Вона буде вважатися найбільш точною. Для отримання коректних результатів приймемо 20 ділянок. Запишемо вираз для даної методики

$$\frac{f}{l} \frac{l}{\lambda} = \int_0^l M_x \sum \varepsilon dx = \frac{l}{3n} \left[\frac{l}{m_0} + m_n \sum \varepsilon_n + 4 \left(m_1 \sum \varepsilon_1 + m_3 \sum \varepsilon_3 + \dots \right) + \right. \\ \left. + 2 \left(m_2 \sum \varepsilon_2 + m_4 \sum \varepsilon_4 + \dots + m_{n-2} \sum \varepsilon_{n-2} \right) \right]. \quad (6)$$

Приведемо до аналогічного вигляду формулу (4). Для цього виразимо зовнішнє рівномірно розподілене навантаження через максимальний згинаючий момент

$$f = \frac{5}{48} \frac{Ml^2}{b_1 W_c d} - \frac{l^2}{8} \frac{a}{b_1 d}. \quad (7)$$

В результаті складних перетворень та з урахуванням поняття "напруги у залізобетоні" отримаємо вираз аналогічний (5) для методики з урахуванням лінеаризації

$$\frac{f}{l} \frac{l}{\lambda} = \frac{5}{48} \frac{\sigma_{zM}}{b_1 W_c} - \frac{l}{8} \frac{a}{b_1}. \quad (8)$$

Порівняння виконаємо для процентів армування 0.05, 0.25, 0.5, 1.0, 2.0, 3.0 та класів бетону С16/20 за рівнів навантаження 0.6, 0.8 та 1.0 від напруг у залізобетоні. Порівняння відносних прогинів для класу бетону С16/20 наведено у табл.3.

0.05	0.6	6.07	4.78	7.03	0.79	1.16
	0.8	10.62	10.70	11.89	1.01	1.12
	1.0	16.43	16.62	18.49	1.01	1.13
0.25	0.6	4.13	4.26	4.38	1.03	1.06
	0.8	6.22	6.71	6.59	1.08	1.06
	1.0	9.20	9.15	10.15	0.99	1.10
0.5	0.6	3.16	3.36	3.31	1.06	1.05
	0.8	4.67	5.06	4.91	1.08	1.05
	1.0	6.82	6.77	7.47	0.99	1.09
1.0	0.6	2.39	2.60	2.47	1.09	1.04
	0.8	3.49	3.82	3.65	1.09	1.05
	1.0	5.09	5.04	5.57	0.99	1.09
2.0	0.6	1.81	2.04	1.86	1.13	1.03
	0.8	2.64	2.95	2.76	1.12	1.05
	1.0	3.90	3.85	4.29	0.99	1.10
3.0	0.6	1.56	1.81	1.60	1.16	1.03
	0.8	2.28	2.60	2.39	1.14	1.05
	1.0	3.43	3.39	3.81	0.99	1.11
				Середнє значення $x_{\text{ср}}$		
				Середнє квадратичне значення σ, %		
				Коефіцієнт варіації v, %		
				1.04		
				12.54		
				12.04		
				1.08		
				2.48		
				2.31		

Розв'язок.

1. Визначимо момент опору робочого перерізу

$$W_c = \frac{bd^2}{6} = \frac{40 \times 36^2}{6} = 8640 \text{ см}^3.$$

2. Визначимо процент армування

Висновки:

1. Аналізуючи проведені розрахунки, можна стверджувати, що даний метод має доволі актуальне значення для розрахунку згинальних залізобетонних елементів особливо із високоміцного бетону. До того ж отримати коефіцієнти a і b_i можна експериментальним шляхом. Також їх можна встановити за режимних навантажень, наприклад: тривалих, малопікових, ударних, температурних та інших.

2. Запропонована методика з використанням лінеаризації є простою, зручною у використанні та може бути рекомендована до широкого застосування.

1. Дорофеев, В.С. К построению линеаризованных диаграм деформирования изгибаемых железобетонных элементов / В.С. Дорофеев, А.В. Ковров, А.В. Ковтуненко, Н.К. Высочан // – Ресурсоэкономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди: зб. наук. праць. – Рівне : НУВГП, 2011. – Вип. 22. – С. 320 – 327. 2. Залесов А.С. и др. Расчет железобетонных конструкций по прочности, трещиностойкости и деформациям – М.: Стройиздат, 1988. – 320 с. 3. Исследование М.:Госстрой, 1962, - 204 с. 4. Макаренко Л. П., Фенко Г. А. Практический способ определения модуля упругости и упруго-пластических характеристик бетона при сжатии // Изв.вузов. Сер.Стр-во и архитектура – 1970. – №10. – С. 141–147.5. Бабич В.І. Жорсткість перерізів і кривина залізобетонних згинальних елементів з одниничною арматурою / Бабич В.І., Кочкарьов Д.В. // Коммунальное хозяйство городов. - 2011. - Вип.97. - С.35-43. 6. Кочкарьов, Д.В. Практичний розрахунок залізобетонних елементів на міцність за дії згинального моменту на базі ДБН В.2.6-98:2009 / Д.В. Кочкарьов, В.І. Бабич // Комунальне господарство міст – Харків:ХНАМГ, 2012. – Вип. 103. – С. 46 – 57. 7. Кочкарьов, Д.В Теорія і практика розрахунку залізобетонних згинальних елементів за граничними станами першої та другої груп на основі загальної деформаційної моделі / Кочкарьов Д.В., Бабич В.І. // Бетон и железобетон в Украине. – 2012. – № 3. –С.7-14.