



АРХІТЕКТУРА, БУДІВНИЦТВО ТА ЦИВІЛЬНА ІНЖЕНЕРІЯ

УДК 624.012:539.384

<https://doi.org/10.31713/vt1202521>

Савицький В. В., к.т.н., доцент (Національний університет водного господарства та природокористування, м. Рівне, v.v.savickiy@nuwm.edu.ua)

ВИЗНАЧЕННЯ ПРОГИНІВ НЕРОЗРІЗНИХ ЗАЛІЗОБЕТОННИХ БАЛОК ПРИ ПОВТОРНИХ НАВАНТАЖЕННЯХ

Викладена методика визначення прогинів нерозрізних залізобетонних балок при повторних навантаженнях з урахуванням зміни пружно-пластичних характеристик бетону. Зазначено, що при визначенні прогинів необхідно врахувати зміну по довжині знаку згинального моменту, поперечної сили, кривизни осі балки та зміни модуля пружнопластичності бетону внаслідок повторних навантажень. Встановлено, що на ділянках, де згинальний момент не міняє знаку, допускається кривизну обчислювати для найбільш напруженого перерізу, а для інших перерізів цієї ділянки вважати її зміну пропорційно значенням згинальних моментів.

Ключові слова: бетон; арматура; прогин; нерозрізний; повторний.

Стан питання. Згідно з чинними нормами проєктування залізобетонних конструкцій повний прогин f згинальних елементів визначається за формулою [1, С. 67]

$$f = f_m + f_q = \int_0^l \overline{M}(x) \left(\frac{1}{r} \right) (x) dx + \int_0^l \overline{Q}(x) \gamma(x) dx, \quad (1)$$

де f_m – прогин, обумовлений деформаціями згину;

f_q – прогин, обумовлений деформаціями зсуву;

$\overline{M}(x)$ і $\overline{Q}(x)$ – згинальний момент і поперечна сила в перерізі x від дії одиничної сили, прикладеної в напрямку переміщення, яке визначається, по довжині прольоту в тому ж перерізі x ;

$\left(\frac{1}{r} \right) (x)$ – повна кривизна елемента в перерізі x від зовнішнього

навантаження;

$\gamma(x)$ – деформація зсуву, яка визначається за формулою:

$$\gamma(x) = \frac{1,5Q(x)\varphi_{b2}}{Gbh_0}\varphi_{crc}(x), \quad (2)$$

$Q(x)$ – поперечна сила в перерізі x від дії зовнішнього навантаження;

φ_{b2} – коефіцієнт, який враховує тривалу повзучість бетону (при короткочасній дії навантаження $\varphi_{b2} = 1,0$);

G – модуль зсуву бетону ($G=0,4 E_b$); E_b – початковий модуль пружності бетону; b, h_0 – ширина і робоча висота перерізу елемента;

$\varphi_{crc}(x)$ – коефіцієнт, який враховує вплив тріщин на деформації зсуву і визначається за формулою:

$$\varphi_{crc}(x) = \frac{3E_b I_{red}}{M(x)} \left(\frac{1}{r} \right) (x), \quad (3)$$

де I_{red} – момент інерції приведенного перерізу;

l – розрахунковий проліт балки.

Для згинальних елементів при $l/h \geq 10$ значення f_q можна не обчислювати, тобто приймати $f_q = 0$. Кривизну елементів на ділянках з тріщинами, обумовлену згином, для елементів без попереднього напружування арматури визначають за формулою:

$$\left(\frac{1}{r} \right) (x) = \frac{M(x)\psi_s(x)}{z(x)A_s E_s (h_0 - x)}, \quad (4)$$

де $z(x)$ – віддаль від центра ваги розтягнутої арматури до точки прикладання зусилля в стиснутій зоні бетону в перерізі з тріщиною;

A_s – площа розтягнутої арматури;

E_s – модуль пружності арматури;

x – висота стиснутої зони бетону в перерізах;

$\psi_s(x)$ – коефіцієнт, який враховує роботу розтягнутого бетону на ділянках з тріщинами.

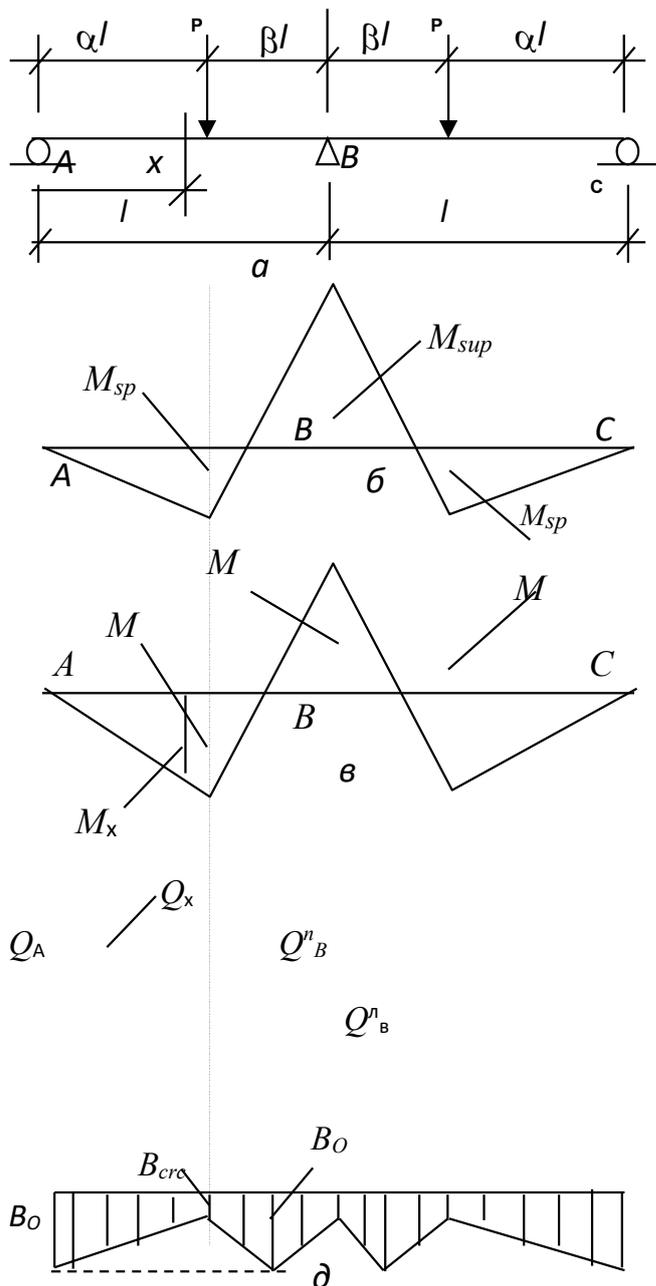
Для згинальних елементів постійного перерізу без попереднього напружування арматури на ділянках, де згинальний момент не міняє знаку, допускається кривизну обчислювати для найбільш напруженого перерізу, а для інших перерізів цієї ділянки вважати її зміну пропорційно значенням згинальних моментів.

Аналіз наведених вище формул показує, що вони справедливі при дії короткочасних або тривалих навантажень. Відомо, що більшість конструкцій експлуатується при дії повторних навантажень [2, С. 82; 3, С. 15], що не враховується чинними нормами. Крім того, повторні навантаження можуть впливати на зміну пружнопластичних

характеристик бетону, що також залишається поза увагою нормативних документів.

Метою роботи є удосконалення методики визначення прогинів нерозрізних балок при повторних короткочасних навантаженнях з урахуванням зміни модуля пружнопластичності бетону.

Визначення прогинів. При визначенні прогинів нерозрізних



балок при повторних навантаженнях необхідно врахувати зміну по довжині знаку згинального моменту, поперечної сили, кривизни осі балки та зміни модуля пружнопластичності бетону внаслідок повторних навантажень.

Норми рекомендують статично невизначені конструкції розраховувати з урахуванням перерозподілу зусиль. Для цього випадку за умови рівномірності опорних і пролітних перерізів моменти будуть однаковими, тобто $M = M_{sup} = M_{sp} = 0,155Pl$ (рис. 1, в). Ординати епюри поперечних сил будуть дорівнювати $Q_A = 0,275P$; $Q_B^n = 0,725P$ (рис. 1, г). Оскільки балка розглядається без попереднього напружування арматури, в її розтягнутих зонах будуть виникати тріщини,

Рис. 1. Розрахункова схема двопролітної нерозрізної балки (а), епюра моментів в пружній стадії (б), те саме – з урахуванням перерозподілу зусиль (в), поперечних сил (г), зміна жорсткості (д)

розкриття яких буде над опорою та під силами в прольотах. Певно в цих місцях буде мінімальна жорсткість перерізів B_{crc} , а в місцях, де $M = 0$, жорсткість буде максимальною B_0 (рис. 1, д).

Зміну жорсткості вздовж балки прийемо пропорційно діючим згинальним моментам (рис. 1, д). Жорсткість B_0 в перерізах, де $M = 0$, визначаємо за формулою

$$B_0 = E_b I_{red}, \quad (5)$$

де I_{red} – момент інерції приведенного перерізу.

Мінімальну жорсткість балки в перерізах, де діють максимальні моменти на i -му циклі навантаження, визначимо за формулою:

$$B_{crc,i}(x) = z_i(x) A_s E_s (h_0 - x_i(x)) \frac{1}{\psi_{si}(x)}, \quad (6)$$

де $B_{crc,i}$ – мінімальна жорсткість балки на i -му циклі навантаження;

$x_i(x)$, $z_i(x)$, $\psi_{si}(x)$ – те саме, що і у формулі (4), але на i -му циклі навантаження.

Для елементів прямокутного профілю значення $z_i(x)$ можна визначити за формулою [1, С. 39]

$$z_i(x) = h_0 - \frac{x_i(x)}{3}, \quad (7)$$

а висоту стиснутої зони бетону –

$$x_i(x) = \varphi_{\xi i}(x) h_0, \quad (8)$$

$$\text{де } \varphi_{\xi i}(x) = \beta_i(x) \left(\sqrt{1 + \frac{2}{\beta_i(x)}} - 1 \right); \quad (9)$$

$$\beta_i(x) = \alpha_i(x) \mu \frac{\psi_b \varphi_{b2}}{\psi_{si} \varphi_{b1}}; \quad (10)$$

$$\alpha_i(x) = \frac{E_s}{E_{b,cyc,i}}; \quad \mu = \frac{A_s}{(bh_0)}; \quad (11)$$

$E_{b,cyc,i}$ – модуль пружнопластичності бетону при повторних навантаженнях на i -му циклі;

φ_b – коефіцієнт, що враховує нерівномірність розподілення деформацій крайнього стиснутого волокна бетону на ділянках з тріщинами (для важкого бетону $\varphi_b = 0,9$).

Коефіцієнт $\psi_{si}(x)$ можна знайти за формулою:

$$\psi_{si}(x) = 1,25 - \varphi_{ls} \varphi_{mi}(x), \quad (12)$$



де $\varphi_{ls} = 1,0$ – при нетривалій дії навантаження для конструкцій зі стержневою арматурою [1, С. 75];

$$\varphi_{mi}(x) = \frac{R_{bt,ser} W_{pl}}{M_i(x)} \leq 1,0, \quad (13)$$

де $R_{br,ser}$ – нормативний опір бетону розтягання;

W_{pl} – момент опору приведенного перерізу для крайнього розтягнутого волокна з урахуванням непружних деформацій бетону (для прямокутних перерізів можна прийняти $W_{pl} = 1,75 \times W_{red}$, W_{red} – момент опору приведенного перерізу).

Значення модуля пружнопластичності бетону з урахуванням його зміни внаслідок дії повторних навантажень $E_{b,cyc,i}$ можна визначити за формулою, яка має вигляд, подібний як в роботі [4, С. 119],

$$E_{b,cyc,i} = E_{b,0,cyc,i} (1 - \lambda_{R,cyc,i} \eta_{cyc,i}), \quad (14)$$

де $E_{b,0,cyc,i}$ – модуль пружнопластичності бетону при $\sigma_{b,cyc} = 0$ на i -му циклі навантаження;

$\lambda_{R,cyc,i}$ – граничний коефіцієнт пластичності бетону;

$\eta_{cyc,i}$ – рівень навантаження на i -му циклі.

Виходячи з наведеного, прогин від деформації згину на i -му циклі повторних навантажень можна визначити за трансформованою формулою (1) у вигляді:

$$f_{mi} = \int_0^l \overline{M}(x) \left(\frac{M(x)}{B_{crc,i}(x)} \right) dx. \quad (15)$$

Для визначення прогинів від деформацій зсуву для випадку повторних навантажень формулу (2) можна трансформувати у вигляді:

$$\gamma_i(x) = \frac{1,5 Q_i(x) \varphi_{b2}}{G_{cyc,i} b h_0} * \frac{3 E_{b,cyc,i} I_{red}}{B_{crc,i}(x)}, \quad (16)$$

де $G_{cyc,i} = 0,4 E_{b,cyc,i}$;

$B_{crc,i}$ – визначається за формулою (6).

З урахуванням (16) прогин від деформацій зсуву для i -го циклу повного навантаження можна визначити за формулою:

$$f_{qi} = \int_0^l \overline{Q}(x) \gamma_i(x) dx. \quad (17)$$

Оскільки епюри $\overline{M}(x)$ і $\overline{Q}(x)$ від одиничного навантаження мають лінійний характер, то для обчислення інтегралів (15) і (17) можна використати метод Верещагіна А.Н., розбиваючи балку на ділянки, в межах яких жорсткість приймати середньою.

Висновки

1. Наведена удосконалена методика визначення прогинів нерозрізних балок від деформацій згину і зсуву враховує зміну пружнопластичних характеристик бетону внаслідок дії повторних навантажень.

2. Виведені формули можуть бути використані для визначення прогинів нерозрізних балок при дії повторних навантажень.

1. ДСТУ Б В.2.6-156:2010. Бетонні та залізобетонні конструкції з важкого бетону. Правила проектування. Київ : Мінрегіонбуд, 2011. 118 с.
2. Барашиков А. Я. Расчет железобетонных конструкций на действие длительных переменных нагрузок. Київ : Будівельник, 1977. 156 с.
3. Бабиш Є. М., Крусь Ю. О. Бетонні та залізобетонні елементи в умовах малоциклових навантажень. Рівне : РДТУ, 1999. 119 с.
4. Бабиш Є. М., Ільчук Н. І. Міцність і деформативність важкого бетону при малоцикловому стисненні. *Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди* : зб. наук. праць. Рівне : УДУВГП, 2003. Вип. 9. С. 116–123.

REFERENCES:

1. DSTU B V.2.6-156:2010. Betonni ta zalizobetonni konstruktsii z vazhoho betonu. Pravyla proektuvannia. Kyiv : Minrehionbud, 2011. 118 s.
 2. Barashykov A. Ya. Raschet zhelezobetonnykh konstruktsiyi na deistvye dlytelnykh peremennykh nahruzok. Kyiv : Budivelnyk, 1977. 156 s.
 3. Babych Ye. M., Krus Yu. O. Betonni ta zalizobetonni elementy v umovakh malotsyklovykh navantazhen. Rivne : RDTU, 1999. 119 s.
 4. Babych Ye. M., Ilchuk N. I. Mitsnist i deformatyvnist vazhkoho betonu pry malotsyklovomu stysnenni. *Resursoekonomni materialy, konstruktsii, budivli ta sporudy* : zb. nauk. prats. Rivne : UDUVHP, 2003. Vyp. 9. S. 116–123.
-



Savytskyi V. V., Candidate of Engineering (Ph.D.), Associate Professor
(National university of Water and Environmental Engineering, Rivne,
v.v.savickiy@nuwm.edu.ua)

DETERMINATION OF DEFLECTIONS OF CONTINUOUS REINFORCED CONCRETE BEAMS UNDER REPEATED LOADS

For bending elements of constant cross-section without prestressing of reinforcement in areas where the bending moment does not change sign, it is allowed to calculate the curvature for the most stressed section, and for other sections of this section to consider its change proportional to the value of the bending moments. It is known that most structures are operated under repeated loads, which is not taken into account by current standards. In addition, repeated loads can affect the change in the elastic-plastic characteristics of concrete, which is also ignored by regulatory documents. The aim of the work is to improve the method for determining the deflections of continuous beams under repeated short-term loads, taking into account the change in the elastic-plastic modulus of concrete. When determining the deflections of continuous beams under repeated loading, it is necessary to take into account the change in the sign of the bending moment, the transverse force, the curvature of the beam axis and the change in the elastic-plastic modulus of concrete due to repeated loading. Considered a two-span continuous beam of rectangular profile, loaded with concentrated forces, which are applied repeatedly. The standards recommend that statically indeterminate structures be designed taking into account the redistribution of forces. For this case, provided that the support and span sections are of equal strength, the moments will be the same. Since the beam is considered without pre-tensioning of the reinforcement, cracks will appear in its stretched zones, the maximum opening width of which will be above the support and under the forces in the spans. The presented improved method for determining the deflections of continuous beams from bending and shear deformations takes into account the change in the elastic-plastic characteristics of concrete due to repeated loading. The derived formulas can be used to determine the deflections of continuous beams under repeated loads.

***Keywords:* concrete; armature; deflection; indissoluble; repeated.**