

ТЕМА : РОЗРАХУНОК ЕЛЕМЕНТІВ ЗАЛІЗОБЕТОННИХ КОНСТРУКЦІЙ ЗА ДЕФОРМАЦІЯМИ

Деформації (переміщення) залізобетонних елементів залежать від навантажень, розмірів і форми, матеріалу елемента, наявності тріщин у бетоні, величини попереднього обтиснення тощо. Мета розрахунку полягає в обмеженні прогинів конструкцій до таких границь, які не могли б порушити її експлуатаційні якості тобто

$$f \leq [f], \quad (2.97)$$

де f – прогин від розрахункових навантажень при $\gamma_f = 1$; $[f]$ – допустимий нормами проектування граничний прогин.

Так, наприклад, для перекриттів з пласкою стелею при прольотах $l < 6$ м $[f] = l / 200$; при $6 \leq l \leq 7,5$ м $[f] = 3$ см; при $l > 7,5$ м $[f] = l / 250$; для перекриттів з ребристою стелею при $l < 5$ м $[f] = l / 200$; при $5 \leq l \leq 10$ м $[f] = 2,5$ см; при $l > 10$ м $[f] = l / 400$; для підкранових балок при ручних кранах $[f] = l / 500$, при електричних $[f] = l / 600$.

При розрахунку за деформаціями всі навантаження приймають з коефіцієнтами надійності за навантаженням $\gamma_f = 1$, тобто рівним нормативним навантаженням. Тоді, коли прогини обмежені технологічними або конструктивними вимогами, в розрахунок вводять постійні, довготривалі та короткочасні навантаження, а коли естетичними вимогами, то в розрахунку короткочасні навантаження можна не враховувати.

Дослідження роботи залізобетонних елементів, що згинаються (наприклад балки) показують, що до утворення тріщин вона працює повним перерізом та жорсткість її дорівнює $E_b I_{red}$. Після утворення тріщин балка у середній частині розділена на блоки, пов'язані між собою в розтягнутій зоні – арматурою, а в стиснутій – бетоном. Жорсткість балки в середині прольоту зменшується. Норми рекомендують обчислювати прогини за кривизною, використовуючи методи будівельної механіки.

Кривизни і прогини елементів залізобетонних конструкцій без тріщин у розтягнутій зоні. Кривизни згинальних, позацентрово стиснутих і позацентрово розтягнутих елементів на ділянках, де не утворюються

нормальні тріщини, визначають за формулою

$$\frac{1}{r} = \frac{M\varphi_{b2}}{(\varphi_{b1}E_bI_{red})}, \quad (2.98)$$

де M – момент від тих навантажень, для яких визначається кривизна; φ_{b1} – коефіцієнт, що враховує вплив швидкотекучої повзучості (для важкого бетону $\varphi_{b1} = 0,85$); φ_{b2} – коефіцієнт, що враховує вплив довготривалого навантаження, при короткочасних навантаженнях $\varphi_{b2} = 1$, при постійних та довготривалих навантаженнях в залежності від виду бетону та вологості повітря $\varphi_{b2} = 2 \dots 4,5$.

До конструкцій, що працюють без тріщин в розтягнутій зоні, відносяться попередньо напружені конструкції. Розрахунковий прогин в цьому випадку буде складатися з прогинів від зусиль, що створюються попереднім натягом арматури, і від експлуатаційних навантажень – постійних, довготривалих і короткочасних

$$\frac{1}{r} = \left(\frac{1}{r}\right)_1 + \left(\frac{1}{r}\right)_2 - \left(\frac{1}{r}\right)_3 - \left(\frac{1}{r}\right)_4, \quad (2.99)$$

де $\left(\frac{1}{r}\right)_1$ і $\left(\frac{1}{r}\right)_2$ – кривизни відповідно від короткочасних навантажень і від постійних і довготривалих навантажень; $\left(\frac{1}{r}\right)_3$ – кривизна, зумовлена вигином елемента від короткочасної дії попереднього обтиснення бетону зусиллям P з врахуванням усіх втрат попереднього напруження; $\left(\frac{1}{r}\right)_4$ – кривизна, зумовлена вигином елемента від усадки та повзучості бетону, спричинених зусиллями обтиснення.

Повний прогин та повна кривизна елемента, що згинається, від зусиль обтиснення та зовнішнього навантаження наступні

$$f = f_1 + f_2 - f_3 - f_4; \quad (2.100)$$

$$\left(\frac{1}{r}\right) = \left(\frac{1}{r}\right)_1 + \left(\frac{1}{r}\right)_2 - \left(\frac{1}{r}\right)_3 - \left(\frac{1}{r}\right)_4. \quad (2.101)$$

Прогини, що входять до формули (2.100) для вільно обпертої однопролітної балки на двох опорах, завантаженої рівномірно розподіленим навантаженням, визначаються наступним чином

$$f_1 = \left(\frac{1}{r}\right)_1 \frac{5l^2}{48} = \frac{M_1 l^2}{9,6 \varphi_{b1} E_b I_{red}}; \quad (2.102)$$

$$f_2 = \left(\frac{1}{r}\right)_2 \frac{5l^2}{48} = \frac{M_2 l^2 \varphi_{b2}}{9,6 \varphi_{b1} E_b I_{red}}; \quad (2.103)$$

$$f_3 = \left(\frac{1}{r}\right)_3 \frac{l^2}{8} = \frac{P e_{op} l^2}{8 \varphi_{b1} E_b I_{red}}; \quad (2.104)$$

$$f_4 = \left(\frac{1}{r}\right)_4 \frac{l^2}{8} = \frac{(\varepsilon_b - \varepsilon'_b) l^2}{8 h_0}; \quad (2.105)$$

де M_1 – момент від короткочасної дії нормативного навантаження; M_2 – момент від постійного і тимчасового тривалого нормативного навантаження; e_{op} – ексцентриситет зусилля попереднього обтиснення P відносно центра мас приведенного перерізу; ε_b та ε'_b – відносні деформації бетону від усадки та повзучості бетону, зумовлені попереднім обтисненням відповідно на рівні центра мас розтягнутої подовжньої арматури та крайнього стиснутого волокна бетону: $\varepsilon_b = \frac{\sigma_s}{E_s}$, $\varepsilon'_b = \frac{\sigma'_s}{E_s}$; тут σ_s – сума втрат попереднього напруження від усадки та повзучості бетону ($\sigma_s, \sigma_8, \sigma_9$) для розтягнутої арматури; σ'_s – те ж саме для напруженої арматури, якщо б вона існувала на рівні крайнього стиснутого бетону.

Кривизни та прогини елементів залізобетонних конструкцій з тріщинами в розтягнутій зоні. Після утворення тріщин в розтягнутій зоні елемент, що згинається, буде розділений на окремі блоки, поєднані між собою розтягнутою арматурою і стиснутим бетоном. Напруження у бетоні розтягнутої зони біля тріщин дорівнюють нулю, а з віддаленням від них

внаслідок зчеплення бетону з арматурою будуть зростати і досягнуть максимуму на середині ділянки між тріщинами. Напруження в розтягнутій арматурі будуть найбільшими в перерізі з тріщиною, а з віддаленням від тріщини зменшуються. Роботу бетону на розтяг між тріщинами оцінюють коефіцієнтом ψ_s , що є співвідношенням:

$$\psi_s = \sigma_{s,m} / \sigma_s = \varepsilon_{s,m} / \varepsilon_s \leq 1, \quad (2.106)$$

де $\sigma_{s,m}$, $\varepsilon_{s,m}$ – відповідно середні напруження та деформації арматури; σ_s та ε_s – відповідно напруження та деформації в арматурі в перерізі з тріщиною.

Деформації бетону стиснутої зони також нерівномірні. Вони мають найбільшу величину над тріщинами та суттєво меншу в середині між тріщинами. Ступінь нерівномірності деформування стиснутого бетону характеризує коефіцієнт

$$\psi_b = \varepsilon_{b,m} / \varepsilon_b, \quad (2.107)$$

де $\varepsilon_{b,m}$ – середні відносні деформації біля крайньої грані стиснутого бетону на ділянці між тріщинами; ε_b – деформація бетону в перерізі з тріщиною.

Коефіцієнт ψ_b приймають рівним 0,9 для важких і легких бетонів класів В 7,5 та вище і 0,7 – для легких бетонів класів В 7,5 і нижче.

Кривизна елемента $1/r$ на ділянці між тріщинами визначається середніми деформаціями розтягнутої арматури $\varepsilon_{s,m}$ і крайнього стиснутого волокна бетону:

$$1/r = (\varepsilon_{s,m} + \varepsilon_{b,m}) / h_0. \quad (2.108)$$

Підставивши

$$\varepsilon_{s,m} = \psi_s \varepsilon_s = \psi_s \sigma_s / E_s \quad (2.109)$$

$$\varepsilon_{b,m} = \psi_b \varepsilon_b = \psi_b \sigma_b / E_b = \psi_b \sigma_s / (v E_b) \quad (2.110)$$

у вираз (2.108), отримаємо:

$$1/r = \psi_s \sigma_s / (E_s h_0) + \psi_b \sigma_s / (v E_b h_0), \quad (2.111)$$

де $E_{b,pl} = \nu E_b$ – модуль деформацій, ν – коефіцієнт, що враховує непружні деформації бетону. Він приймаються рівними 0,45 при короткочасній дії навантаження та 0,15 при тривалій його дії.

Напруження в арматурі та бетоні в перерізі з тріщиною (при прямокутній ешпори напруження в бетоні стиснутої зони) будуть дорівнювати:

$$\sigma_s = M/(A_s z); \sigma_b = M/(A_b z), \quad (2.112)$$

де z – плече внутрішньої пари сил; A_b – площа перерізу стиснутої зони бетону, для прямокутного перерізу $A_b = \sigma_b x_m$.

Середня кривизна елемента

$$\frac{1}{r} = \frac{M}{zh_0} \left(\frac{\psi_s}{E_s A_s} + \frac{\psi_b}{\nu E_b A_b} \right). \quad (2.113)$$

Якщо до елемента також прикладається подовжня стискаюча сила N_{tot} , то

$$\frac{1}{r} = \frac{M}{zh_0} \left(\frac{\psi_s}{E_s A_s} + \frac{\psi_b}{\nu E_b A_b} \right) - \frac{N_{tot} \psi_s}{E_s A_s h_0}, \quad (2.114)$$

де M – момент усіх сил, що діють в перерізі, відносно центра мас розтягнутої арматури.

Кривизна елемента з плином часу змінюється залежно від величини та тривалості навантаження. Повна кривизна елемента

$$\frac{1}{r} = \left(\frac{1}{r} \right)_1 + \left(\frac{1}{r} \right)_2 - \left(\frac{1}{r} \right)_3 - \left(\frac{1}{r} \right)_4, \quad (2.115)$$

де $\left(\frac{1}{r} \right)_1$ – кривизна від короткочасної дії всіх навантажень; $\left(\frac{1}{r} \right)_2$ – кривизна від короткочасної дії довготривалого навантаження; $\left(\frac{1}{r} \right)_3$ – кривизна від тривалої дії довготривалого навантаження; $\left(\frac{1}{r} \right)_4$ – кривизна від вигину елемента, зумовлена усадкою та повзучістю бетону від зусиль попереднього обтиснення.

Повний прогин залізобетонного елемента:

$$f = f_1 + f_2 - f_3 - f_4. \quad (2.116)$$