

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 1

ВИПРОБУВАННЯ ЗАЛІЗОБЕТОННОЇ БАЛКИ НА ПРОГИН З РУЙНУВАННЯМ ЗА НОРМАЛЬНИМ ПЕРЕРІЗОМ

Мета роботи - вивчити характерні стадії роботи елемента, що згинається, в процесі його навантаження; визначити тріщиностійкість і міцність нормальних перерізів балки, її прогини і ширину розкриття тріщин.

1.1 Характеристики балки

Згідно з вимогами розділу «Загальні положення» встановлюють характеристики балки. Результати заносять в таблиці. 1.1, 1.2 і наводять на рис. 1.1.

Таблиця 1.1 - Геометричні розміри і армування балки

Найменування	Позначки	Одиниці виміру	Значення
Висота перерізу балки	h	см	
Ширина перерізу балки	b	см	
Довжина балки	L	см	
Розрахунковий прольот балки	L_0	см	
Захисний шар бетону:			
в розтягнутій зоні	c	см	
в стиснутій зоні	c'	см	
Діаметр повздовжньої арматури:			
в розтягнутій зоні	d	мм	
в стиснутій зоні	d'	мм	
Відстань від грані бетону до рівнодійної зусиль в арматурі			
в розтягнутій зоні	a	см	
в стиснутій зоні	a'	см	
Робоча висота перерізу	h_0	см	
Площа поперечного перерізу повздовжньої арматури:			
в розтягнутій зоні	A_s	см ²	
в стиснутій зоні	A'_s	см ²	
Відсоток армування	μ	%	
$\mu = \frac{A_s}{bh_0} \cdot 100\%$			

Таблиця 1.2 - Характеристики бетону і арматури

Характеристика	Позначки	Числове значення, МПа
Міцність бетону:		
Середня кубова	R_m	
Призмона	R_{bm}	
Границя текучості арматури:		
розтягнутої $\sigma_y = R_s$	R_s	
стиснутої	R_{sc}	
Початковий модуль пружності бетону	E_b	
Модуль пружності арматури	E_s	

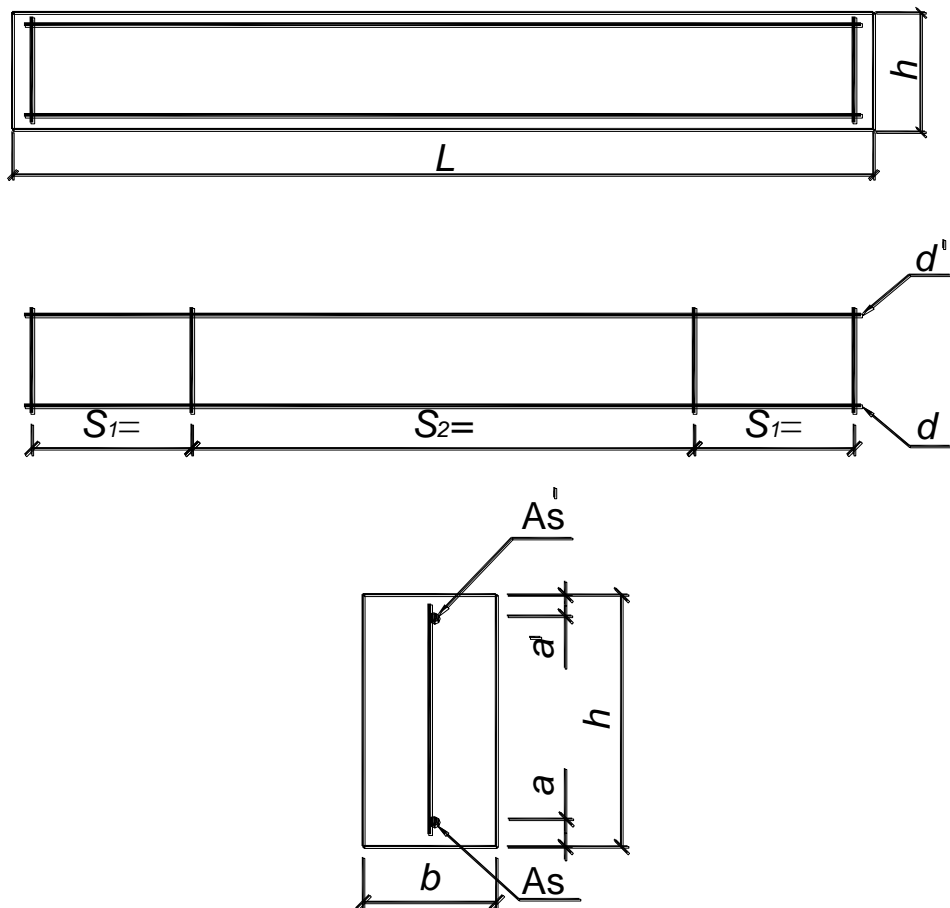


Рисунок 1.1 - Схема армування балки

1.2 Розрахунок дослідної балки

Переріз з подвійною арматурою

1.2.1 Розрахунок на міцність

Очікувана міцність балки за нормальним перерізом, тобто теоретичне значення згинального моменту, що сприймається перерізом безпосередньо перед руйнуванням

$$\dot{I}_{\dot{\epsilon}} = R_{bn} \cdot b \cdot x_r \cdot (h_0 - 0,5 \cdot x_r) + R_{sc} \cdot A'_s \cdot (h_0 + a'), \quad (1.1)$$

де

$x = \xi_r \cdot h_0$ - висота стиснутої зони бетону, см

$$\xi_r = \frac{\omega}{1 + \frac{\sigma_{s,R}}{400} \left(1 + \frac{\omega}{1,1}\right)} - \text{граничне значення відносної висоти стиснутої зони}$$

$\omega = 0,85 - 0,008R_{bn}$ - характеристика стиснутої зони бетону

Зусилля, що сприймається балкою перед руйнуванням

$$F_u = 2F_{u1}, \quad F_{u1} = \frac{3M_u}{l_0} \quad (1.2)$$

1.2.2 Розрахунок за утворенням тріщин

Момент внутрішніх зусиль в перерізі перед утворенням тріщин

$$M_{crc} = R_{bt_n} \left[b(h-x) \left(\frac{h-x}{2} - \frac{x}{6} \right) + 2\alpha A_s \left(h_0 - \frac{x}{3} \right) + 2\alpha A'_s \frac{x-a}{h-x} \left(\frac{x}{3} - a' \right) \right], \quad (1.3)$$

де

$x = \xi \cdot h_0$ - висота стиснутої зони бетону, см

$$\xi = 1 - \frac{bh - 2(1 - a'/h)\alpha A'_s}{2A_{red}} - \text{відносна висота стиснутої зони бетону}$$

$A_{red} = bh + \alpha(A_s + A'_s)$ - площа зведеного перерізу, см²

$\alpha = E_s / E_b$ - відношення модулів пружності матеріалів

Зусилля, що сприймається балкою перед утворенням тріщин

$$F_{crc} = 2F_{crc1}; \quad F_{crc1} = \frac{3M_{crc}}{l_0} \quad (1.4)$$

1.2.3 Визначення прогину балки

Прогин балки f визначаємо від дії згинального моменту $M_1 = \frac{F_1 l_0}{3}$

де $F_1 = F_u$ $F_u = 2F_{u1}$.

$$f = S \frac{1}{r} l_0^2,$$

(1.5)

де S – коефіцієнт що залежить від розрахункової схеми завантаження та виду навантаження (див. табл. 6.2 стор. 232 [5])

Кривизну розраховуємо за формулою

$$\frac{1}{r} = \frac{M_1}{h_0 Z} \left[\frac{\psi_s}{E_s A_s} + \frac{\psi_b}{\xi \nu E_b b h_0} \right]$$

(1.6)

для чого заздалегідь знаходимо:

$$\xi = \frac{1}{\beta + \frac{1+5(L+T)}{10\mu\alpha}} \quad ; \quad \alpha = E_s / E_b \quad ; \quad L = \frac{M_1}{b h_0^2 R_{b,ser}} \quad ; \quad T = \gamma' \left(1 - \frac{a'}{h_0} \right)$$

$$\gamma' = \frac{\alpha A'_s}{2\nu b h_0} \quad ; \quad Z = h_0 \left[1 - \frac{\frac{2a'}{h_0} \gamma' + \xi^2}{2(\gamma' + \xi)} \right] \text{ - плече внутрішньої пари зусиль}$$

$$\nu = 0,45 \quad ; \quad \psi_s = 1,25 - \varphi_l \cdot \varphi_m \quad ; \quad \varphi_m = \frac{M_{crc}}{M_1} \quad ; \quad 0,15 \leq \psi_s \leq 1$$

1.2.4 Визначення ширини розкриття тріщин, нормальних до продольної вісі елемента

$$\alpha_{crc} = \delta \varphi_l \eta \frac{\sigma_s}{E_s} 20(3,5 - 100\mu_s) \sqrt[3]{d}, \text{ мм}$$

(1.7)

де $\delta=1$, $\varphi_l=1$; η залежить від класу арматури; $\sigma_s = \frac{M_1}{A_s Z}$ - напруга в

арматурі; $\mu_s = A_s / b h$ - коефіцієнт армування перерізу

1.3 Проведення випробувань

Дослідну балку випробовують на поперечний прогин на лабораторній установці, для чого балку завантажують двома зосередженими силами, розташованими в третинах прольоту.

Установка складається з рами з двома опорами, на яких розміщують випробовувану балку. Розрахунковий проліт балки дорівнює відстані між опорами - 100 см. Вантаження балки проводять гідравлічним домкратом. Навантаження через траверсу і сталеву тяга передається на балку. Величину навантаження контролюють динамометром. Схема випробування балки і розташування вимірювальних приладів наведена на рис. 1.2.

В процесі випробування вимірюють прогин дослідної балки в місці дії найбільшого згинального моменту індикатором І-1 з точністю виміру до 0,01 мм; визначають деформації бетону в стиснутій і розтягнутій зонах балки індикаторами І-2, І-3 з точністю виміру до 0,001 мм, що встановлені в зоні чистого прогину балки на базі 15 см; ведуть спостереження за утворенням і розвитком тріщин.

Ширину розкриття тріщин і розвиток їх по висоті балки визначають пересувним мікроскопом МПБ-2 з ціною ділення шкали 0.05.0.1 мм.

1.4 Результати проведення випробувань балки

В процесі випробування за допомогою стаціонарно встановлених на балці і пересувних вимірювальних приладів вимірюють значення величин (таблиця. 1.4) і спостерігають за ними.

Таблиця 1.3 - Вимірювані величини і характеристики приладів

Найменування величини	Вимірювальні прилади	Ціна поділки, мм	База, см
Прогин балки	індикатор І-1	0,01	
Деформації бетону: в стиснутій зоні	індикатор І-2	0,001	15
в розтягнутій зоні	індикатор І-3	0,001	25
Момент виникнення тріщини та ширина її розкриття	мікроскоп Брінеля	0,05 0,1	
Навантаження	динамометр ДС-5	За тарифочним графіком	

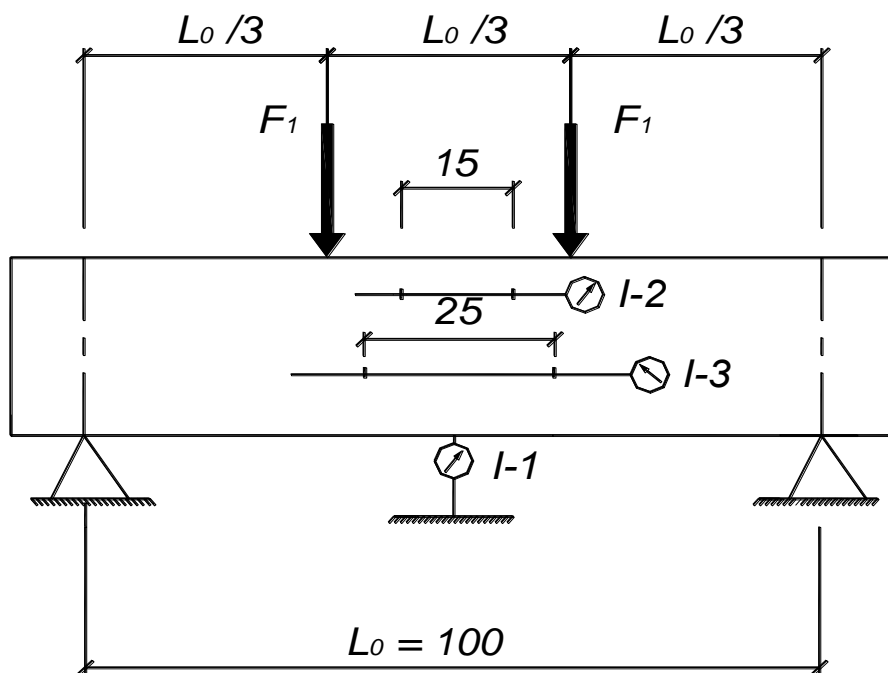


Рисунок 1.2 - Схема випробування балки і розміщення вимірювальних приладів

Таблиця 1.4 - Свідчення приладів при випробуванні балки

Номер ступеню завантаження	Покази динамометра	Навантаження F , кН	На бетоні		Прогин I-1	Ширина розкриття тріщин, мм			
			I-2	I-3		№ 1	№ 2	№ 3	№ 4
1									
2									
·									
·									
·									
10									

В процесі випробування складають карту тріщин (Рис. 1.3). Після руйнування балки описують характер випробування за схемами, наведеними в таблиці. 1.5 - 1.6, і будують графіки прогинів балки (Рис. 1.4), деформації бетону в стиснутій і розтягнутих зонах (Рис. 1.5).

Таблиця 1.5 - Обробка свідчень індикатора І-1, що вимірює прогин

Номер ступеню завантаження	Навантаження F , кН	Вимір r , мм	Різниця вимірів $\Delta r = \Delta f$, мм	Сумма різниць вимірів (прогин) $\sum \Delta f = f$, мм	Примітки
1					
2					
⋮					
10					

Таблиця 1.6 - Обробка свідчень індикаторів, встановлених на бетоні

Номер ступеню завантаження	Зона бетонування	Індикатори	Навантаження F , кН	Відлік r , мм	Різниця вимірів Δr , мм	Абсолютна деформація $\Delta l = \sum \Delta r$, мм	Відносна деформація $\epsilon_b = \frac{\Delta l}{l} \cdot 10^5$	Примітки
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	Стиснута	І-2 База $L = 15$ см						
2								
⋮								
⋮								
10								
1	Растягнута	І-3 База $L = 25$ см						
2								
⋮								
⋮								
10								

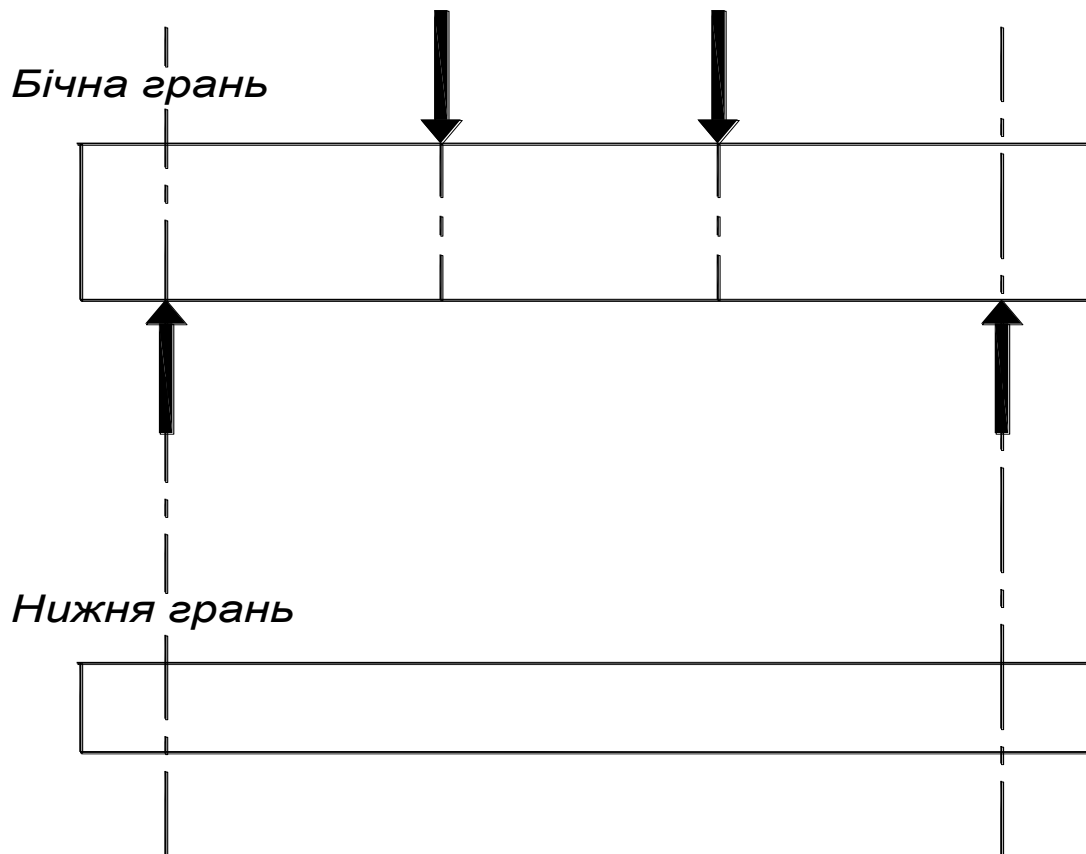


Рисунок 1.3 - Схема розміщення тріщин на гранях балки, їх розкриття і розвиток по висоті з вказівкою ступеню вантаження, при якому вони з'явилися

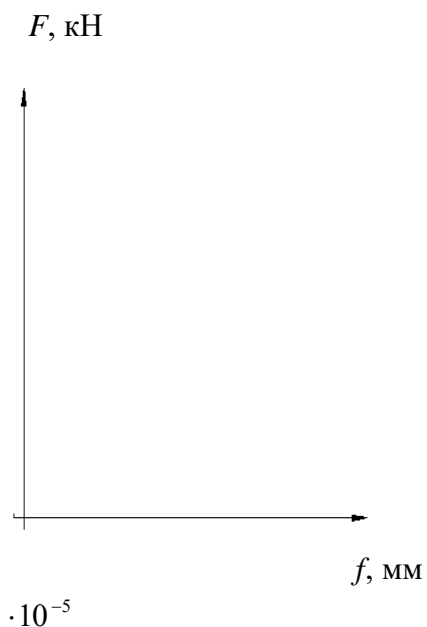


Рисунок 1.4 - Графік прогину

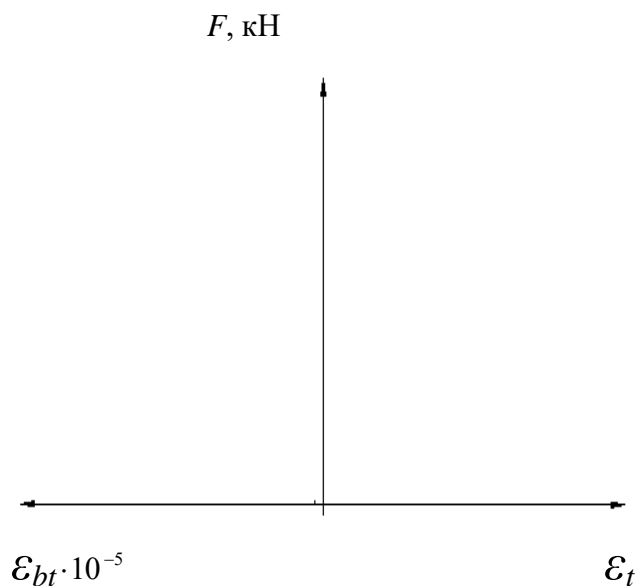


Рисунок 1.5 - Графік деформацій бетону

1.5 Порівняння результатів випробувань і розрахунку

Несуча здатність похилого перерізу за згинальним моментом %:

$$\frac{M_u^{\text{exp}} - M_u}{M_u} \cdot 100$$

(1.8)

Тріщиноутворення, %:

$$\frac{F_{crc}^{\text{exp}} - F_{crc}}{F_{crc}} \cdot 100$$

(1.9)

Ширина розкриття тріщин, %:

$$\frac{a_{crc}^{\text{exp}} - a_{crc}}{a_{crc}} \cdot 100$$

(1.10)

1.6 Питання до заліку по лабораторній роботі № 1

1. Визначити робочу висоту перерізу дослідної балки.
2. Визначити висоту стислої зони x в нормальному перерізі дослідної балки у стадії руйнування.
3. Розрахувати плече внутрішньої пари z в нормальному перерізі дослідної балки у стадії руйнування.
4. Яка стадія напружено-деформованого стану покладена в основу розрахунку залізобетонних елементів, що згинаються, по міцності; появі, розкриттю тріщин; деформаціям?
5. Як визначити міцність бетону на стискування і розтягування в дослідній балці?
6. Як визначити призмову міцність бетону для дослідної залізобетонної балки?
7. Як визначити початковий модуль пружності бетону E_b дослідної балки?
8. Із сталей якого класу виконана повздожня робоча арматура дослідної балки?
9. Визначити теоретичне руйнівне навантаження F_u дослідної балки при відомому максимальному згинальному моменті M_u .
10. Як визначити розрахункову кривизну дослідної балки при прийнятій методиці випробування?
11. Як визначити теоретичну ширину розкриття тріщин в дослідній балці при прийнятій методиці випробування?

12. Якими приладами вимірювали деформації повздожньої робочої арматури дослідної балки, деформації бетону в стиснутій і розтягнутій зонах?
13. Яким приладом вимірювали ширину розкриття тріщин, прогин дослідної балки?
14. Яким приладом і як визначали навантаження, що прикладене до балки?
15. На якій базі були встановлені прилади, що вимірюють деформації бетону в стиснутій зоні дослідної балки?
16. Яка схема розставлення приладів була прийнята при випробуванні дослідної балки?
17. Де слід чекати в дослідній балці появи тріщин, нормальних до осі елемента?
18. Характер тріщиноутворення в процесі навантаження балки.
19. Характер руйнування дослідної балки.
20. База приладу, яким вимірювали деформації бетону в стиснутій зоні дослідних балок, збільшена в 2 рази. Чи зміниться абсолютна деформація бетону Δl , а якщо зміниться, то як?
21. Як влаштована установка для випробування дослідних балок на прогин?
22. Як створювалося навантаження на балку?
23. Визначити по вимірних абсолютних деформаціях відносні деформації бетону.
24. Визначити навантаження, відповідне появі тріщин в нормальному перерізі дослідної балки, по графіках $\varepsilon_b = f(F)$; $\varepsilon'_b = f(F)$; $f = f(F)$.
25. Який вигляд мають графіки залежності ε_b ; ε'_b ; f дослідної балки від руйнівного навантаження?
26. Чому графік $\varepsilon_b f(F)$ не може бути використаний для визначення напруження в бетоні?
27. Чим пояснюється пізніша поява тріщин при випробуванні дослідної балки в порівнянні з теоретичним навантаженням тріщиноутворення?
28. Чим пояснюється перевищення дійсної несучої здатності дослідної балки $M_{u,exp}$ над теоретичною величиною M_u ?
29. Чим пояснюється відхилення дослідної величини прогину балки f_{exp} від теоретичного значення f ?
30. Як зміниться несуча здатність дослідної балки за нормальним перерізом, якщо збільшити площу перерізу подовжньої робочої арматури в 2 рази?
31. Як зміниться висота стиснутої зони бетону x в дослідній балці у стадії руйнування при збільшенні міцності бетону в 2 рази у порівнянні з розрахунковим значенням?
32. Як впливає міцність бетону на момент появи нормальних тріщин в дослідній балці?
33. Чим обумовлена мінливість дослідних значень несучої здатності балки від розрахункових і як вона враховувалась в роботі?