

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНО-ТЕОРЕТИЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ ВЗАЄМОДІЇ ГРУПОВИХ АНКЕРІВ З ОТОЧУЮЧИМ БЕТОНОМ ПІД ЧАС ЗСУВУ

© Салійчук Л.В., 2013

Описано результати випробувань закладних деталей з різними типами анкерів за дії зсувальної сили, а також теоретичне обґрунтування їхньої взаємодії з бетонною основою.

Ключові слова: анкери закладних деталей, зсувальна сила, бетонна основа, міцність, напружений стан.

The results of tests of embedded details with the different types of anchors at an action of shear force are described, and theoretical foundation of their interactions with concrete basis.

Key words: anchors of embedded details, shear force, concrete basis, durability, stress condition.

Вступ. Постановка питання

Гнучкі групові стрижневі анкери найчастіше застосовують у закладних деталях та вузлових з'єднаннях залізобетонних конструкцій [2, 5, 7, 9–14]. Переважно вони працюють на дію зсувальної сили і за напрямком орієнтації до неї можуть бути нормальними, відігнутими або комбінованими. Сама суть сумісної роботи групи таких анкерів та взаємодії з бетоном у зоні їх розташування полягає у взаємному силовому впливі анкерів, тиск від кожного з яких передається по контактній поверхні і розподіляється в оточуючому бетоні під певним кутом до вертикалі, що створює напружений стан у деякому конусоподібному масиві бетону. Залежно від діаметра і відстані між анкерами зони розповсюдження тиску (об'єми епюр напружень) від суміжних анкерів можуть перетинатись і сумуватись, внаслідок чого напруження у бетоні у цій зоні будуть більшими, ніж безпосередньо під анкерами, і перевищуватимуть міцність бетону на стиск, тобто окремі ділянки бетону між анкерами можуть бути перенапруженими і спричиняти місцеве руйнування бетону на цих ділянках.

Отже, напружений стан бетону у зоні взаємодії анкерів впливає на загальну міцність системи «анкери-бетон» за дії зсувальної сили. Однак особливості напружено-деформованого стану цієї зони вивчені недостатньо, теоретично обґрунтовані і експериментально досліджені рекомендації з його оцінки відсутні, що призводить до розрахунку зони взаємодії анкерів з бетоном за спрощеними розрахунковими моделями і емпіричними формулами, одержаними за результатами випробувань окремих типів анкерів у складі закладних деталей [2, 3, 5, 7, 13, 14]. Ці формули можна вважати справедливими лише для тих типів закладних деталей, які експериментально досліджувались.

Мета роботи – експериментально дослідити сумісну роботу групових гнучких стрижневих анкерів, нормально орієнтованих до пластин закладних деталей типу «подвійний столик» [2, 8–12] за дії зсувної сили та теоретичний аналіз умов сумісної роботи і напружено-деформованого стану бетону у зоні їх взаємодії.

Програма досліджень та конструкція експериментальних зразків, методика випробувань

Цільове спрямування досліджень полягало у порівняльних випробуваннях для експериментальної перевірки опірності поперечному навантаженню закладних деталей з різною кількістю

нормальних анкерів, а також в експериментальній перевірці можливих, прийнятих у розрахунках критеріїв настання граничного стану цих типів закладних деталей як за міцністю і деформативністю самих анкерів, так і робочою зоною оточуючого бетону. Програму і обсяг експериментальних досліджень, а також мету випробувань наведено в табл. 1.

Таблиця 1

Програма і обсяг експериментальних досліджень закладних деталей серій I, III, IV

Серія, шифр зразків	Тип закладних деталей	Кількість зразків	Мета випробувань
I-1, а,б	2; 2Ø20	2	Вивчення впливу кількості, розташування і площі арматури анкерів на їх несучу здатність у складі закладних деталей. Клас арматури анкерів А-III
I-2, а,б	3; 4Ø20	2	
I-3, а,б	5; 6Ø20	2	
I-4, а,б	7; 10Ø20	2	
III-1, а,б	1; 1Ø40	2	Вивчення впливу кількості анкерів за однакової площі їх поперечного перерізу на міцність і деформативність закладних деталей. Клас арматури анкерів А-III
III-2, а,б	2; 2Ø28	2	
III-3, а,б	3; 4Ø20	2	
III-4, а,б	4; 5Ø18	2	
III-5, а,б	6; 8Ø14	2	
IV-1, а,б	5; 6Ø10	2	Дослідження впливу площі арматури анкерів за однакової їх кількості на несучу здатність і деформативність закладних деталей. Клас арматури анкерів А-III
IV-2, а,б	5; 6Ø16	2	
IV-3, а,б	5; 6Ø20	2	
IV-4, а,б	5; 6Ø25	2	

Дослідні зразки серій I, III, IV являли собою відрізки колон перерізом 300×300 мм і були заввишки 1,0 м з розташованими на їх бокових гранях закладними деталями типу «подвійний столик» (рис. 1, а) з різними типами анкерів (рис. 1, б) згідно з програмою випробувань. Їх приварювали до пластин дуговим півавтоматичним зварюванням у середовищі вуглекислого газу в тавр у розсвердлені з роззенковкою отвори (рис. 1, в). Поздовжнє армування колон прийняте достатньо сильним (4Ø25 А-III), щоб руйнування проходило у зоні розташування закладних деталей. Арматурні каркаси дослідних зразків виготовляли зварними із встановленими закладними деталями і вкладали в опалубку у зібраному вигляді.

Для прикладення до пластин зсувних сил без ексцентриситетів, тобто для створення умов роботи закладних деталей на чистий зсув, пластини видовжували порівняно з потрібною для розміщення анкерів завдовжки 300 на 100 мм у кожен бік за бокові грані колон (рис. 1, а). Нормальні анкери усіх типів досліджуваних закладних деталей.

Кількість арматури анкерів закладних деталей оцінювали за умовним процентом армування:

$$\mu_{an} = A_{an} / A_{ab} \cdot 100 \%, \quad (1)$$

де A_{an} – сумарна площа перерізу арматури анкерів; A_{ab} – площа контакту пластини закладної деталі з бетоном.

Конструктивні характеристики дослідних зразків, закладних деталей та фізико-механічні характеристики матеріалів наведено у табл. 2.

Дослідні зразки випробовували за однією методикою на 500-тонному пресі 2ПГ-500 за симетричного навантаження зсувною силою Q_{sh} одночасно обох виступаючих консолей пластин закладних деталей (рис. 1, а) через спеціально розроблену систему силових траверс.

Навантаження прикладали ступенями, що дорівнювали 0,05–0,1 від передбачуваного руйнівного, з витримкою на кожному ступені 10–15 хв для знімання відліків за приладами. Контроль навантаження здійснювали за силовимірником преса та зразковим манометром,

додатково вмонтованим в його гідравлічну систему. За руйнівне навантаження приймали максимум, який відповідав початку падіння навантаження (зворотному руху стрілок) на силівмірювачі і зразковому манометрі.

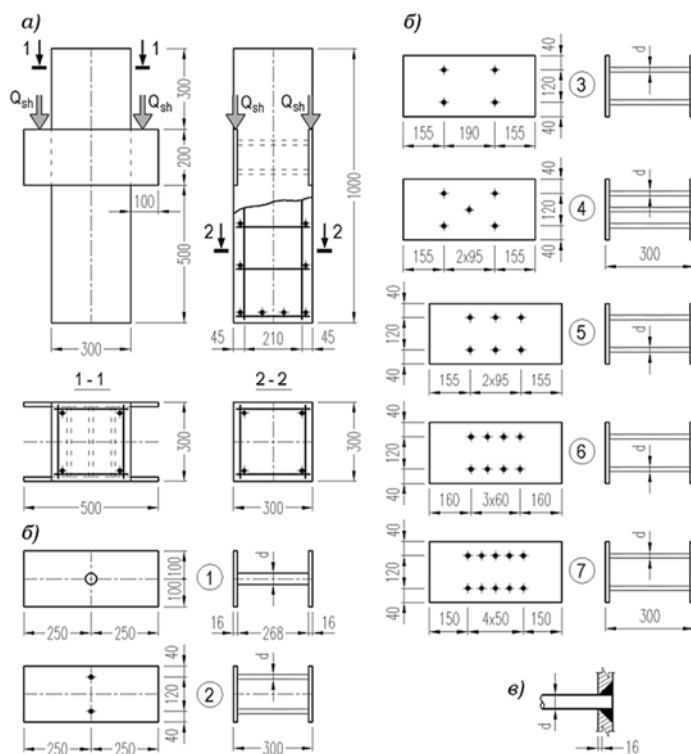


Рис. 1. Конструкція експериментальних зразків (а), типи досліджуваних закладних деталей (б), деталь приварювання анкера до пластини (в)

Таблиця 2

Характеристика дослідних зразків серій I, III, IV

Шифр зразків	Тип закладної деталі (рис. 1, б)	Характеристика анкерів			Фізико-механічні характеристики бетону			
		умовний процент армування	межа текучості σ_y , МПа	модуль пружності $E_s \times 10^5$, МПа	кубова міцність R_c , МПа	призмова міцність R_b , МПа	міцність на осьовий розтяг R_{bt} , МПа	початковий модуль пружності $E_b \times 10^4$, МПа
I-1	2	1,047	408,1	1,99	41,8	30,41	2,68	3,37
I-2	3	2,093						
I-3	5	3,137						
I-4	7	5,246						
III-1	1	2,092	388,5	2,0	41,0	28,25	2,63	3,13
III-2	2	2,053	394,4	1,99				
III-3	3	2,095	408,1	1,99	41,8	30,41	2,68	3,37
III-4	4	2,121	401,2	1,92				
III-5	6	2,050	415,9	1,95	41,0	28,25	2,63	3,13
IV-1	5	0,785	419,9	1,94	43,16	30,02	2,51	3,26
IV-2		2,011	414,9	1,92				
IV-3		3,142	408,1	1,99				
IV-4		4,909	400,2	2,00				

Вимірювали вертикальні переміщення пластин закладних деталей, а також поздовжні деформації бетону як нижче від пластини, так і вище від неї. Для вимірювання вертикальних переміщень пластин використовували індикатори годинникового типу з ціною поділки 0,001–0,002 мм, які встановлювали з обох боків зразка у трьох точках: по осі і по його бокових гранях. Поздовжні деформації бетону у зонах над і під пластинами закладних деталей вимірювали тензорезисторами з базою 50 мм, розташованими як по фасаду зразка, так і по його бокових гранях. Над пластиною розташовували один ряд, під пластиною – чотири ряди тензорезисторів.

Під час випробувань фіксували навантаження утворення тріщин у бетоні, руйнівне навантаження, а також встановлювали характер і причини руйнування. Тріщини, що виникли в процесі навантаження, фіксували на поверхні зразків.

Аналіз результатів випробувань закладних деталей з груповими нормальними анкерами за дії зсувної сили

Основні результати експериментів одержані у вигляді графіків «зсувна сила–вертикальне переміщення пластини закладної деталі», побудованих для кожної пари зразків-близнюків серій I, III, IV (рис. 2, а). До основних результатів належать також дані про розвиток деформацій бетону у зоні під пластиною закладних деталей. Вони характеризують взаємодію пластини і анкерів з оточуючим бетоном у процесі зсуву і дають уяву про ступінь включення його в роботу під нижнім ребром пластини закладної деталі.

Загальною ознакою графіків переміщень є не лінійність – незначна на початкових ступенях навантаження. За збільшення навантаження вона збільшується і на певній ділянці має найменший радіус кривизни. Наступна ділянка кривої характеризується інтенсивним наростанням переміщень за порівняно малого збільшення навантаження. У [2, 3, 14] на аналогічній кривій виділена точка, названа критичною Q_{cr} . Починаючи від неї, проходить інтенсивне наростання переміщень, а в арматурі анкерів спостерігається фіброва текучість. Після досягнення Q_{cr} анкери не втрачають несучої здатності, але в подальшому переміщення інтенсивно наростають, що призводить до збільшення податливості закладних деталей, а зверху між пластиною закладної деталі і контактною зоною бетону внаслідок її зміщення виникає тріщина з розкриттям перед руйнуванням до кількох міліметрів. На кривих рис. 2, а точку, яка відповідає критичній, знаходили графічно інтерполяцією між двома суміжними ступенями навантаження. Принцип її зрозумілий з рис. 2, а.

Аналіз графіків деформацій бетону (рис. 2, б) показує, що безпосередньо під нижнім ребром пластини закладної деталі бетон інтенсивно включається в роботу на стиск вже з перших ступенів навантаження. До певної величини навантаження деформації бетону наростають, після чого відбувається їх інтенсивне зменшення, після яких настає відколювання бетону під нижнім ребром закладної деталі. Причому навантаження, яке відповідає початку відколювання бетону (точці переламу графіків деформацій), фактично збігалось з критичною силою, знайденою за графіками «зсувна сила–вертикальне переміщення». Отже, у цих дослідах одержано новий, не відмічений у попередніх дослідках [2, 3, 14], результат про сумісну роботу анкерів і бетону під нижнім ребром пластини закладної деталі аж до досягнення критичної сили, що значно збільшує її величину.

За межами зони відколювання деформації бетону наростають до досягнення граничного навантаження на зразок, як у звичайному центрально-стисненому елементі.

За малої кількості гнучких анкерів (2–4 шт) (зразки I-1, I-2) руйнування закладних деталей настало від текучості арматури анкерів без будь-яких ознак руйнування зони бетону під ними.

Зразки III-1 і III-2 з закладними деталями з одним або двома анкерами великих діаметрів руйнувались майже крихко з одночасним утворенням і розвитком тріщин розколювання під анкерами і відколюванням бетону під нижньою гранню пластин закладних деталей до текучості арматури, тобто до досягнення критичної сили.

Інші зразки усіх серій із закладними деталями з більшою кількістю гнучких анкерів (4–10) руйнувались однаково від текучості арматури з одночасним відколюванням бетону під пластинами і його зминанням під анкерами.

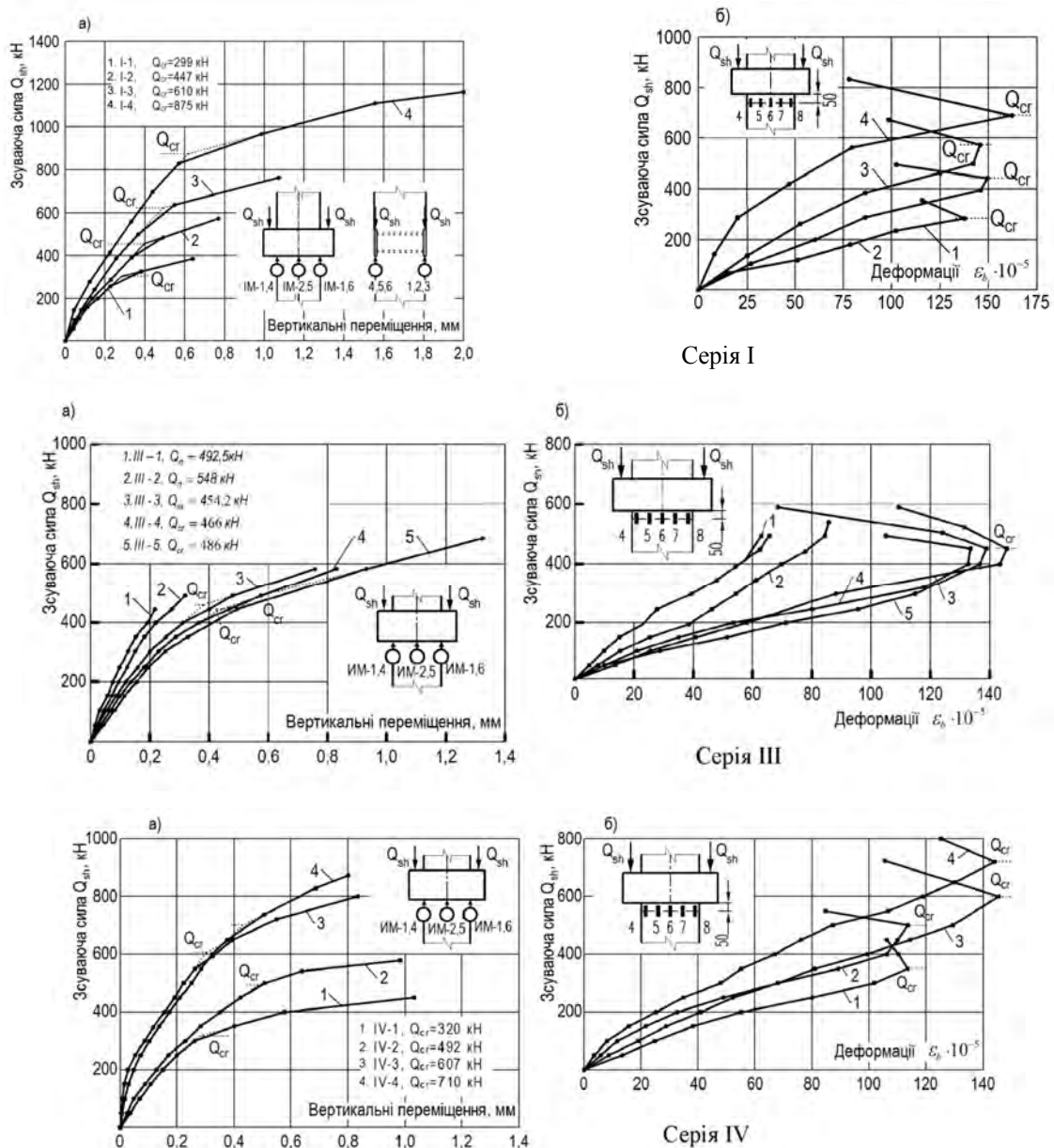


Рис. 2. Графіки деформацій зсуву пластин закладних деталей (а) і деформацій бетону у зоні відколювання (б) для зразків серій I, III, IV

Результати випробувань закладних деталей серій I, III, IV наведено у табл. 3, де подано значення експериментальних критичних сил і руйнівних навантажень для кожного випробуваного зразка і середні – за зразками-близнюками, а також відношення руйнівного навантаження до критичного та значення вертикальних переміщень (середні за зразками-близнюками) за критичного навантаження. Аналізуючи їх, потрібно насамперед відмітити, що як критичні, так і руйнівні навантаження залежать від площі арматури (процента армування) анкерів. За постійного процента армування (серія IV) і різної кількості анкерів руйнівне і критичне навантаження збільшується зі збільшенням їх кількості.

Як показали випробування закладних деталей серії III з постійним процентом армування, але різним діаметром і кількістю анкерів за однакової їх площі, руйнівне і критичне навантаження збільшується зі збільшенням їх кількості та зменшенням діаметра. Цей висновок підтверджують також і результати випробувань закладних деталей серії I, де на міцність і критичну силу також впливали два чинники – процент армування і зміна кількості анкерів.

Результати випробувань закладних деталей серій I, III, IV

Серія	Шифр зразка	Критичне навантаження, кН	Середнє критичне навант. Q_{cr} , кН	Руйнівне навантаження, кН	Середнє руйнівне навант. Q_u , кН	$\frac{Q_u}{Q_{cr}}$	Вертикальні переміщення за $Q_{sh}=Q_{cr}A$, мм
I	1a 1б	310,0 286,4	298,2	423,6 416,9	423,7	1,420	0,286
	2a 2б	480,7 427,7	454,2	625,4 694,5	660,0	1,452	0,398
	3a 3б	580,7 639,6	610,2	896,1 875,5	885,8	1,452	0,486
	4a 4б	891,7 858,4	875,0	1280,2 1287,1	1283,6	1,466	0,616
III	1a 1б	-	-	511,9 473,2	492,5	-	-
	2a 2б	-	-	571,4 524,8	548,1	-	-
	3a 3б	480,7 427,7	454,2	625,4 694,8	660,0	1,453	0,382
	4a 4б	456,2 456,2	466	666,6 7540,8	708,8	1,521	0,438
	5a 5б	467,0 506,2	486,6	791,7 750,5	771,1	1,584	0,487
IV	1a 1б	343,4 296,3	319,8	500,3 431,6	466,0	1,457	0,293
	2a 2б	508,2 426,8	492,5	673 665,6	669,3	1,359	0,472
	3a 3б	570,7 625,9	598,4	840,7 878,0	859,3	1,436	0,322
	4a 4б	728,0 692,6	710,3	1056,5 1070,3	1063,4	1,497	0,428

Цей висновок стає очевидним і зрозумілим, якщо звернутись до аналізу величини умовних стискаючих напружень у бетоні під анкерами, визначених за критичних і руйнівних навантажень в допущенні, що бетон на цій ділянці працює у пластичній стадії, а епюра напружень відпору бетону на стрижень є прямокутною, як це прийнято у [4] (табл. 4):

$$\sigma_{ba} = 2Q_{sh}/n_a db_l, \quad (2)$$

де Q_{sh} – зсувна руйнівна, або критична сила; n_a , d – число і діаметр анкерів; b_l – довжина анкера між пластинами.

З наведених у табл. 4 даних бачимо, що напруження різко збільшуються за малої кількості анкерів (особливо великих діаметрів) і залишаються приблизно однаковими для усіх закладних деталей, у яких анкери рівномірно розподілені по площі пластин і мають кількість, більшу від чотирьох. До таких закладних деталей насамперед слід зарахувати зразки серії IV, для яких за усіх процентів армування, незалежно від діаметра арматури напруження в бетоні під анкерами приблизно однакові. Це саме відноситься і до зразків серій I, III за кількості анкерів більше від чотирьох. Навпаки, за малої кількості анкерів напруження під ними збільшуються, і як за критичних, так і за руйнівних навантажень в кілька разів перевищують призмову міцність бетону.

Напруження відпору бетону на анкерний стрижень

Серія	Шифр зразка	Процент армування μ , %	Кількість анкерів $n \text{ } \varnothing d$	Призмova міцність бетону R_b , МПа	Напруження відпору, МПа		Відношення σ_b / R_b	
					Q_{cv}	Q_u	Q_{cv}	Q_u
I	1	1,047	2 \varnothing 20	30,41	55,62	79,04	1,83	2,60
	2	2,094	4 \varnothing 20	30,41	42,36	61,56	1,396	2,024
	3	3,137	6 \varnothing 20	30,41	37,93	55,08	1,247	1,811
	4	5,246	10 \varnothing 20	30,41	32,64	47,89	1,073	1,574
III	1	2,092	1 \varnothing 40	28,25	-	91,98	-	3,252
	2	2,052	2 \varnothing 28	28,25	-	73,04	-	2,585
	3	2,094	4 \varnothing 20	30,41	42,36	61,56	1,396	2,024
	4	2,12	5 \varnothing 18	28,25	38,63	58,77	1,367	2,08
	5	2,052	8 \varnothing 14	28,25	32,42	51,37	1,147	1,818
IV	1	0,785	6 \varnothing 10	30,02	39,77	57,96	1,324	1,93
	2	2,011	6 \varnothing 16	30,02	38,28	52,02	1,275	1,732
	3	3,142	6 \varnothing 20	30,02	37,21	53,43	1,239	1,779
	4	4,909	6 \varnothing 25	30,02	35,33	52,90	1,176	1,762

За величиною цих напружень можна оцінювати роботу як самих анкерів, так і бетону в зоні їх розташування. Чим менші напруження (реактивний тиск на анкер), тим менші зусилля у ньому виникають і тим пізніше напруження в анкері досягнуть межі текучості, тобто зсувна сила досягне критичного значення.

Отже, очевидним стає висновок про збільшення несучої здатності закладних деталей за збільшення кількості анкерів.

За малої кількості анкерів реактивний тиск бетону на них збільшується, що призводить до більш раннього настання фібрової текучості в арматурі, як це відбувається в зразках I-1, або ж до розколювання бетону під анкерами, що спостерігалось у зразках III-1 і III-2.

Теоретичний аналіз взаємодії з бетоном гнучких анкерів за групового розташування у закладних деталях

Для виведення залежностей, які описують взаємний вплив і умови взаємодії групи анкерів та напружений стан бетонної основи як пружного півпростору, з певними застереженнями використаний розв'язок відомої задачі А. Фламана (1892 р.), в якій розглядається розподіл напружень у лінійно-деформованому півпросторі під дією на його поверхні локального рівномірно розподіленого тиску (рис. 4).

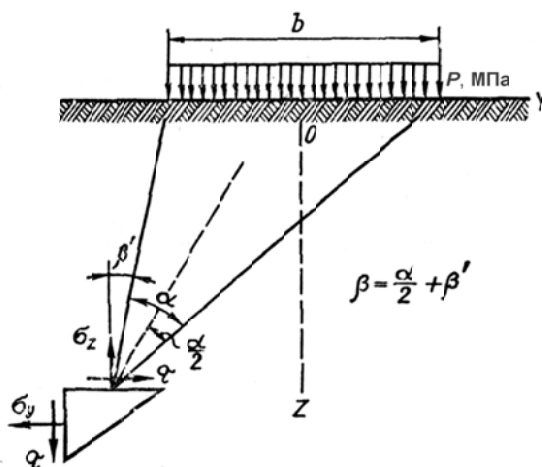


Рис. 4. Схема дії локального рівномірно розподіленого тиску в умовах плоскої задачі

Якщо кут від точки півпростору, в якій визначають напруження, до границь навантаження позначити через α («кут видимості»), то для визначення складових напружень будуть справедливими вирази:

$$\begin{aligned}\sigma_z &= (p/\pi)(\alpha + \sin\alpha \cdot \cos 2\beta); \\ \sigma_y &= (p/\pi)(\alpha - \sin\alpha \cdot \cos 2\beta); \\ \tau &= (p/\pi)(\sin\alpha; \sin 2\beta).\end{aligned}\quad (3)$$

Важлива властивість цієї плоскої задачі полягає у тому, що усі складові напружень σ_z , σ_y , τ в розглядуваній площині zOy не залежать від деформативних характеристик лінійно-деформованого півпростору (модуля деформації і коефіцієнта поперечних деформацій), тобто будуть справедливими для усіх тіл, для яких залежність між напруженнями і деформаціями може бути прийнята лінійною. Для бетону загалом закон Гука не дійсний. Тим не менше, як підтверджують експериментальні дослідження [1, 6], у певних межах за локального навантаження для бетону можна вважати справедливою лінійну залежність між напруженнями і загальними деформаціями, що підтверджують також і вищеписані дослідження закладних деталей, в яких майже лінійна залежність між зсувною силою і переміщенням спостерігається до досягнення критичної сили (рис. 2, а), яка прийнята за граничну під час розрахунку міцності анкерів закладних деталей за зсуву [4, 14].

Напружений стан системи «анкери–оточуючий бетон» наочно характеризує розподіл вертикальних напружень в бетоні σ_z по горизонтальних площинах для різної глибини z у межах активної зони бетону. Тому на рис. 5, як приклад, подані, розраховані за розв'язком задачі А. Фламана, епюри розподілу вертикальних напружень σ_z для суміжних анкерів $\varnothing 20$ мм закладної деталі №5 (рис. 1, б) за фактичної відстані між ними 95 мм ($4,75d$) (рис. 5, а) і для порівняння для анкерів такого ж діаметра за значно меншої відстані між ними – $2d$. Напруження у масиві бетону розраховані від зсувної критичної сили на закладну деталь $Q_{cr}=610$ кН, що на один анкер становить 101,7 кН і створює умовні стискаючі напруження безпосередньо під анкером $p=345$ МПа (для зовнішнього діаметра анкера 22 мм за врахування ребер періодичного профілю арматури). З рис. 5, а бачимо, що за фактичної відстані між анкерами $4,75d$ напруження в бетоні локалізуються у зоні, обмеженій відстанню $2d$, і взаємний вплив їх на напружений стан оточуючого бетону фактично відсутній, тобто кожен анкер працює окремо, а на глибині від поверхні прикладення тиску $z=5d$ напруження незначні і становлять лише 0,13 від початкових на площині прикладення тиску.

За відстаней між анкерами $2d$ (рис. 5, б) уже на глибині $1,5d$ напруження під анкерами і на ділянці між ними майже однакові, що свідчить про однорідний напружений стан бетонної основи і роботу анкерів як групових за їх взаємного впливу на оточуючий бетон.

Розв'язання прийнятої для аналізу задачі в пружній постановці також показує, що розподіл напружень під анкерами локалізуються у чітко визначеній області пружного півпростору (рис. 5, а), а напружено-деформований стан бетону у зоні їх розташування представляється кривими, які з'єднують точки рівних нормальних напружень σ_z (ізобари напружень), які істотно впливають на загальний напружено-деформований стан зони бетону під анкерами (рис. 5, в). Якщо обмежитись врахуванням нормальних стискаючих напружень $\sigma_z \geq (0,1-0,15)p$, то з рис. 5, в бачимо, що істотний їх вплив від вищерозташованих анкерів на нижчерозташований ряд фактично не позначається уже на відстані $5d$. По горизонтальних перерізах зони локальних напружень від одного анкера розповсюджується на зону $2d$, тобто для двох суміжних анкерів взаємний їх вплив на напружено-деформований стан бетону стає невідчутним за відстані між ними $4d$. Тому, якщо цілком закономірно припустити, що в стані граничної рівноваги (межі міцності системи «анкер-оточуючий бетон») у найнапруженіших зонах оточуючого бетону розвинуться пластичні деформації і викликаний ними перерозподіл напружень та їх вирівнювання по горизонтальних площинах у межах активної зони бетону, то під час проектування зсувостійких анкерів можна рекомендувати приймати оптимальну відстань між ними у межах $(2-4)d$. Під час проектування закладних деталей це зведе до мінімуму розміри пластин.

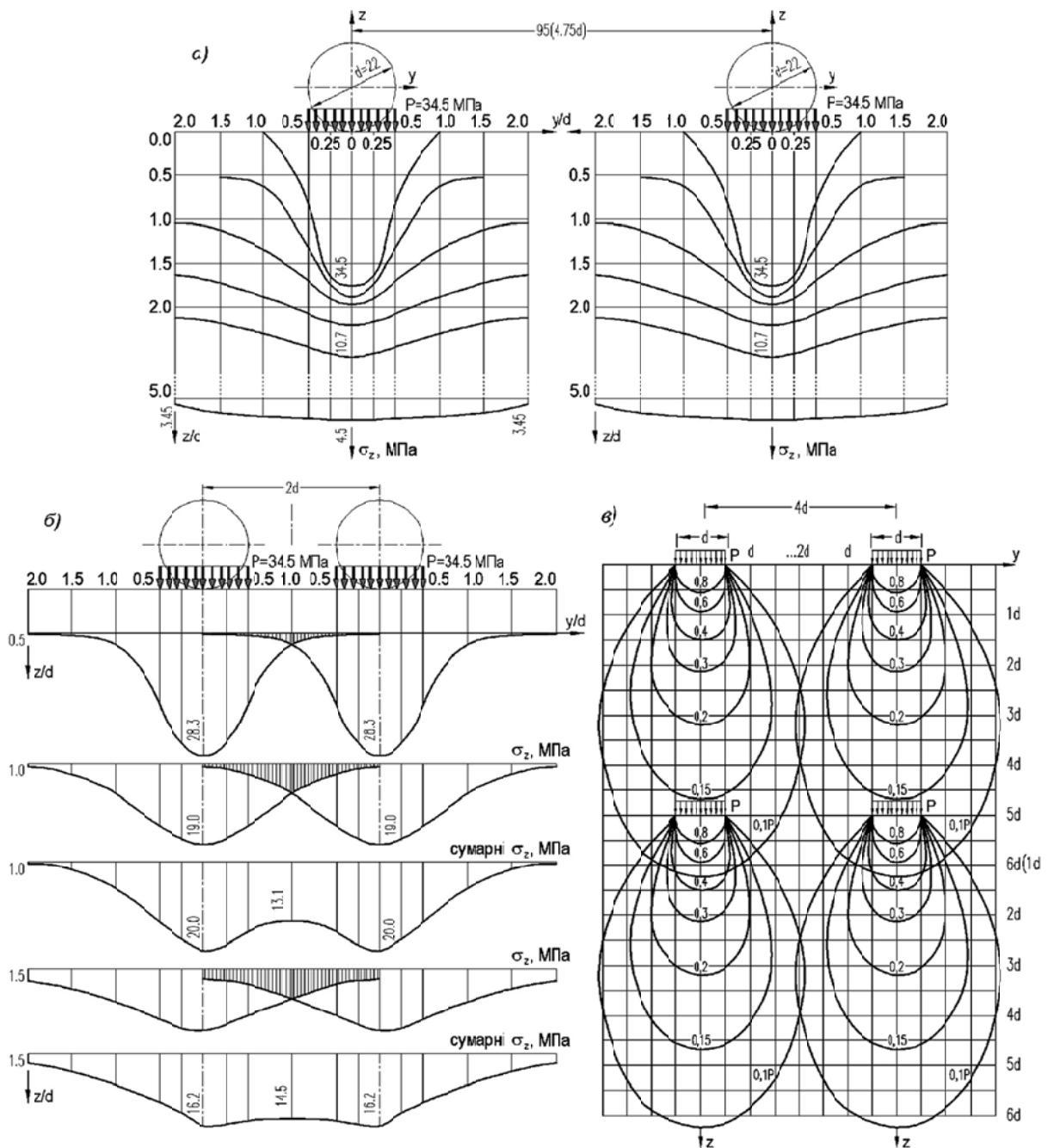


Рис. 5. Розподіл вертикальних напружень у бетоні для різної глибини z за відстані між анкерами $4,75d$ (а) і $2d$ (б) та ізобари рівних напружень σ_z – за відстані між анкерами $4d$ (в)

Висновки:

1. Несуча здатність групових анкерів закладних деталей за зсуву залежить від їх кількості, схеми розташування у межах пластини закладної деталі, діаметра і загальної площі перерізу, а також за певних умов і опору бетону на відколювання під пластину закладної деталі.

2. Теоретичний аналіз напруженого стану системи «анкери-оточуючий бетон» показав, що розподіл напружень у бетоні під анкерами локалізується у чітко визначеній області, розміри якої і визначають характер їх взаємодії, яка стає маловідчутною за відстані між анкерами $4d$. Тому під час проектування закладних деталей можна рекомендувати оптимальну відстань між ними у межах $(2...4)d$.

1. Венцявичюс В. О несущей способности бетонных элементов различной высоты при локальном сжатии / В. Венцявичюс, В. Кярас, И. Невера, Р. Пачеса // Сб. «Концентрация

деформаций микрообъектов, деталей, конструкций”. – Каунас: КПИ, 1974. – С. 42–49. 2. Катин Н.И. Работа закладных деталей при сдвиге и совместном действии сдвигающих сил и изгибающих моментов / Н.И. Катин, А.М. Стульчиков // Сб. НИИЖБ “Стыки сборных железобетонных конструкций”. – М.: Стройиздат, 1970. – С.118–161. 3. Катин Н.И. Критические нагрузки на закладные детали при сдвиге // Н.И. Катин, Б.А. Шитиков // Сб. “Сборные железобетонные конструкции из высокопрочного бетона”. – М.: НИИЖБ, 1976. – С. 142–148. 4. Климов Ю.А. Предельное состояние арматурного стержня в бетонном массиве при предельно-поперечном изгибе / Ю. А. Климов // XL *konf. nauk. KILÓW PAN I KN PZITB Problemy naukowo-badawcze budownictwa*. – Tom. 3: Konstrukcje betonowe. – Rzeszów–Krynica–Warszawa: Zakład malej poligrafij Politechn. Rzeszówskiej, 1994. – S. 65–92. 5. Кольнер ВМ. Работа арматурного стержня в бетоне при поперечном нагружении / ВМ. Кольнер, Ю.А. Тевелев // Сб. трудов ВНИИЖелезобетон. – М.: Стройиздат, 1967. – Вып.13. – С. 119–131. 6. Курылло А.С. Исследование напряженного состояния и прочности железобетонных элементов при смятии / А.С. Курылло, В.Г. Кваша // Сб. “Концентрация деформаций микрообъектов, деталей, конструкций”. – Каунас: КПИ, 1974. – С. 59–72. 7. Рекомендации по проектированию стальных закладных деталей для железобетонных конструкций / НИИЖБ. – М.: Стройиздат, 1984. – 87 с. 8. Салійчук Л.В. Вплив конструкції анкерів на опір зсуву закладних деталей залізобетонних конструкцій / Л.В. Салійчук // Зб. “Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди”. – Рівне: РДТУ, 1999. – Вип. 3. – С.252–255. 9. Салійчук Л.В. Взаємодія з бетоном анкерів закладних деталей в зоні їх розташування / Л.В. Салійчук // Зб. “Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди”. – Рівне: УДУВГП, 2003. – Вип. 9. – С.311–316. 10. Салійчук Л.В. Дослідження роботи гнучких анкерів в закладних деталях і з’єднаннях залізобетонних конструкцій. / Л.В. Салійчук // Вісник НУ “Львівська політехніка” “Теорія і практика будівництва”. – Львів: НУЛП, 2006. – 562. – С. 96–103. 11. Салійчук Л.В. Несуча здатність і деформативність закладних деталей з різними типами анкерів при зсуві / Л.В. Салійчук // Вісник наукових праць Одеської державної академії будівництва і архітектури. – Одеса: ОДАБА, 2010. – Вип. №39, Ч. 2. – С.226–234. 12. Салійчук Л.В. Вплив відігнутих анкерів на міцність і деформативність закладних деталей при зсуві і сумісній дії зсуваючої сили і згинального моменту / Л.В. Салійчук // Зб. “Ресурсоекономні матеріали конструкції будівлі та споруди”. – Рівне: НУВГП, 2013. – Вип. 25. – С.425–432. 13. Холмянский М.М. Закладные детали сборных железобетонных элементов / М.М. Холмянский. – М.: Стройиздат, 1968. – 208 с. 14. Шитиков Б.А. Экспериментальные исследования анкерных стержней в бетоне при действии поперечной нагрузки / Б.А. Шитиков // Сб. НИИЖБ “Совершенствование стыков железобетонных конструкций”. – М.: Стройиздат, 1987. – С. 23–30.