

ВПЛИВ АРМУВАННЯ ПІНОБЕТОННИХ ЗРАЗКІВ ПЛИТ НА ЇХ НЕСУЧУ ЗДАТНІСТЬ ПРИ ПРОДАВЛЮВАННІ

Коваль П.М.

Державний дорожній науково-дослідний інститут ім. М.П. Шульгіна

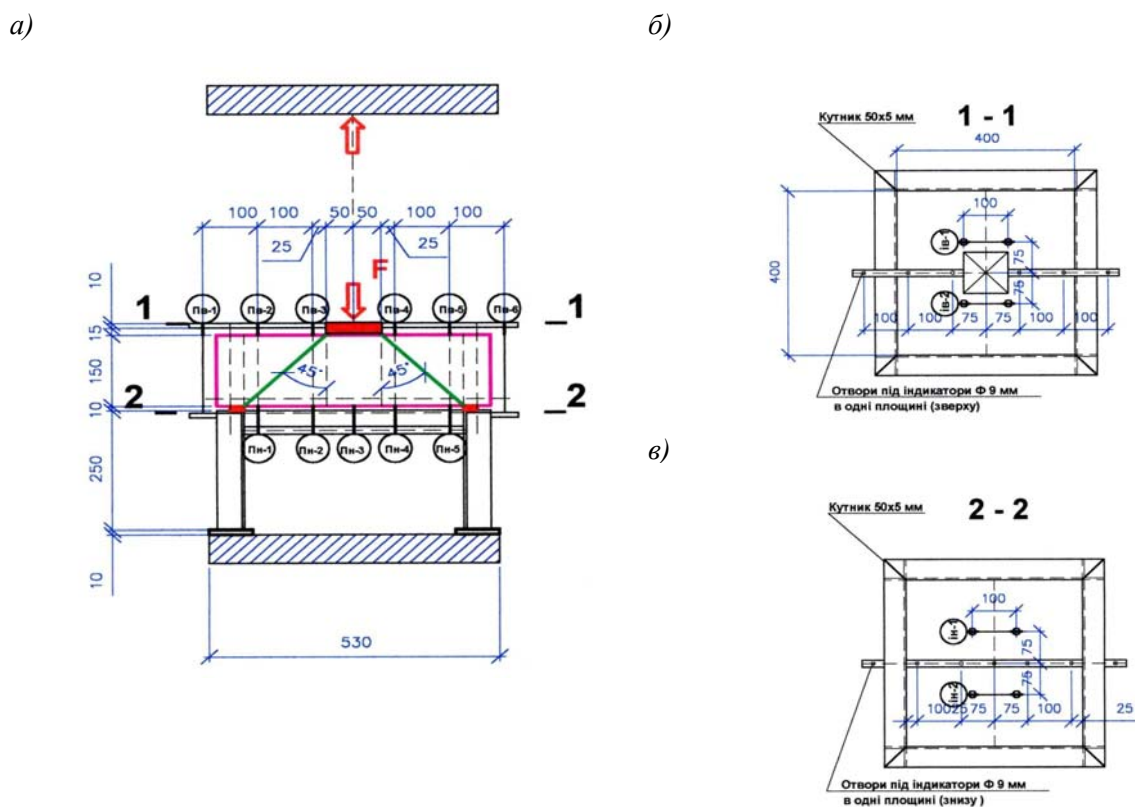
Демчина Х.Б.

Гладишев Г.М.

Національний університет "Львівська політехніка"

У лабораторії кафедри "Будівельні конструкції та мости" НУ "Львівська політехніка" у 2007 році були проведені експериментальні дослідження пінобетонних армованих і неармованих зразків плит з різним армуванням на продавлювання. Для дослідних зразків використовувався пінобетон виготовлений методом неавтоклавної формування, на українському цементі ПЦ-400 та польському цементі РС-32,5 з використанням піноутворювачів фірми "BAUCHEMI". Проектна марка пінобетону РВ 800±1000.

Для даних випробувань було розроблено методику експериментальних досліджень на продавлювання пінобетонних плитних взірців та виготовлена спеціальна установка (рис. 1).



- а) розміщення індикаторів для заміру вертикальних переміщень: вдавлення штамп у стиснутій зоні; прогинів у розтягнутій зоні;
 б) розміщення мікроіндикаторів для заміру деформацій у стиснутій зоні;
 в) розміщення мікроіндикаторів для заміру деформацій у розтягнутій зоні

Рис. 1. Схема експериментальної установки для випробування на продавлювання

Відповідно до планів досліджень всі зразки експериментальних плит були прийняті з однаковими геометричними розмірами 500x500x150 мм та поділені на чотири підсерії в залежності від характеру їх армування:

- 1 підсерія представлена чотирма неармованими плитами марок П-1, П-2, П-3, П-4;
- 2 підсерія представлена трьома плитами марок П-5, П-6, П-7 відповідно армованими сітками з комітками 50 x 50 мм з арматурного дроту $\varnothing 4\text{Вр-I}$ у нижній, верхній, у нижній та верхній зонах поперечного перерізу плит з віддальми від верхньої та нижньої граней по 18 мм;
- 3 підсерія представлена двома плитами марки П-8, П-9 відповідно армованими двома стільниковими сітками (чарункою 15x30 мм) у нижній зоні поперечного перерізу з віддаллю від нижньої грані по 18 мм;
- 4 підсерія представлена одною плитою марки П-10, яка армована кільцем діаметром 466,5 мм з поперечним перерізом 60x0,55 мм у нижній зоні поперечного перерізу з віддаллю від нижньої грані до центру 30 мм.

Після проведення експериментальних досліджень пінобетонних армованих і неармованих зразків виконали аналіз характеру руйнування пінобетонних плит [1]. Цей аналіз показав, що армування плит суттєво впливає на характер їх руйнування.

Руйнування плит 1 підсерії відбулося внаслідок збільшення деформацій на розтяг пінобетону на нижній грані плити та утворення похилих тріщин від продавлювання бетону.

Руйнування плит 2 підсерії: П-5, П-6, П-7 відбулося внаслідок збільшення деформацій розтягнутої арматури нижньої сітки та утворення похилих тріщин від продавлювання бетону.

Руйнування плит 3 та 4 під серій, так само як і у 2 підсерії, проходили внаслідок збільшення деформацій розтягнутої зони з утворенням похилих тріщин від продавлювання бетону і на останніх етапах навантаження супроводжувалося значними приростами деформацій розтягнутої арматури, стиснутого бетону у центральній частині прольоту, утворенням концентричних та радіальних тріщин у нижній зоні плити.

Результати досліджень на стиск пінобетонних кубів, забетонованих одночасно зі зразками експериментальних плит, наведено у табл.1. Виконана статистична обробка міцнісних характеристик пінобетону, з якого сформовано експериментальні плити, показала, що коефіцієнт варіації U коливається в межах замірів міцнісних характеристик по кожному зразку між $U = 0,9\% \div 15,6\%$, що вказує на значне коливання його міцності в деяких зразках, і ці значення коефіцієнтів варіацій коливаються навколо нормативного значення $U = 13,5\%$ – за рекомендаціями [2], що вказує на недостатній контроль якості пінобетону при виготовленні зразків в лабораторії.

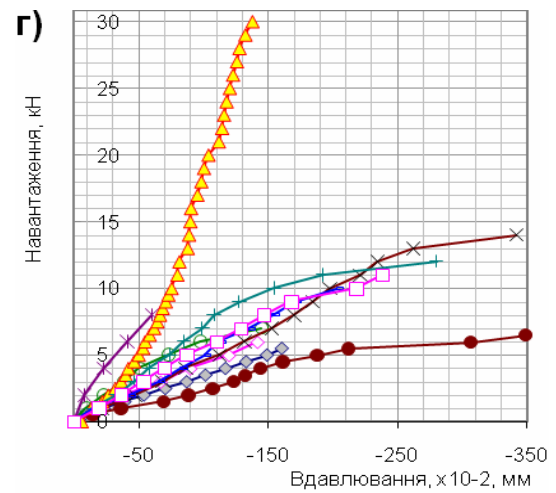
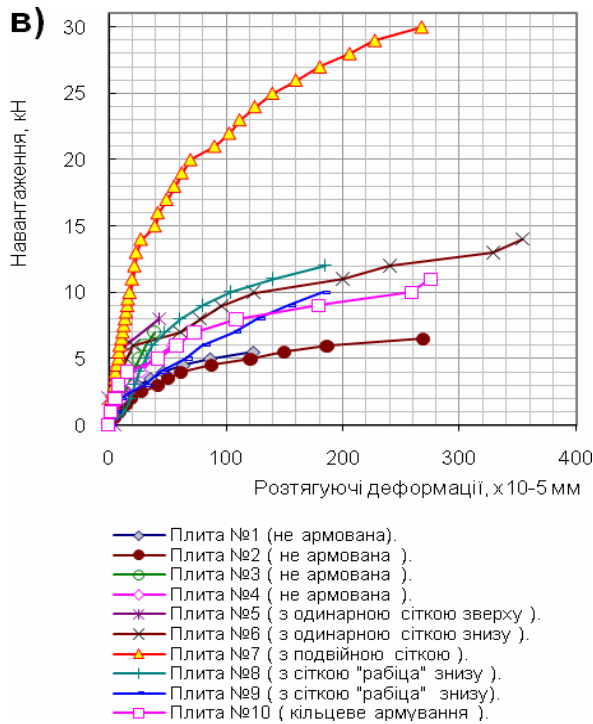
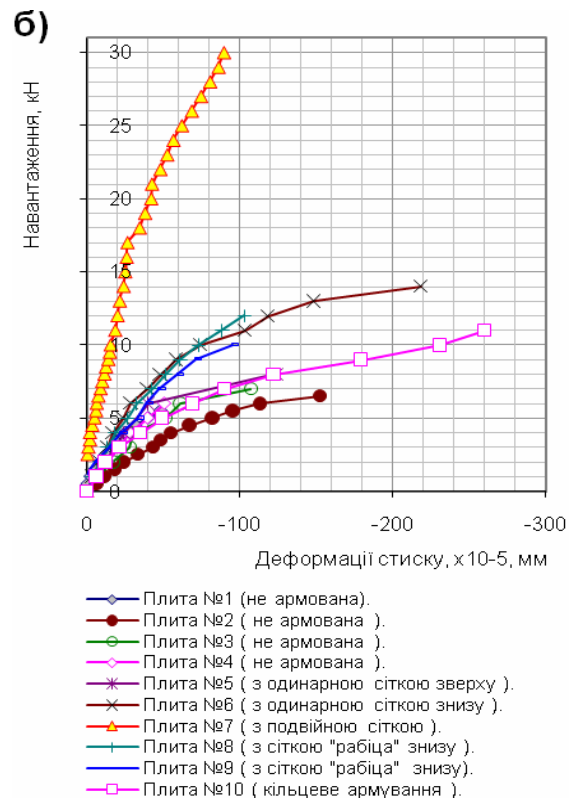
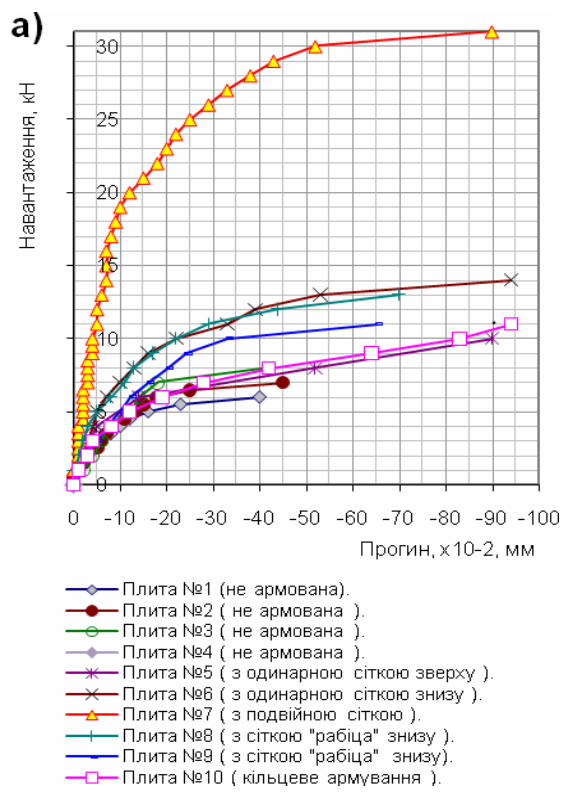
Виходячи із статистичної обробки фактичних міцнісних характеристик пінобетону плит, можна засвідчити, що по експериментальних плитах (табл. 1) клас “В” пінобетону коливається від $V_{0,25}$ до $V_{1,5}$, що вказує на значне коливання його міцності по окремих зразках і на недостатній контроль якості складових пінобетону при виготовленні експериментальних конструкцій. Цей факт дещо ускладнив загальну обробку дослідних даних.

Таблиця 1 – Міцність пінобетонних кубиків

Марка плити	Розміри кубиків, мм			G	Fu	Ri	Rm	σ	V	Rm,ser	B	Rbt.i	Rbt.m
	a	b	h	г	кг	кПа	кПа	кПа	-	кПа	МПа	кПа	кПа
П-1	101	96	100	795	450	455	453,7	47,0	0,104	376,6	0,375	29,6	29,5
	103	101	100	860	530	500						31,5	
	94	97	109	-	370	406						27,4	
П-2	98	90	92	580	230	256	285,3	26,4	0,092	242,1	0,250	20,2	21,7
	94	89	96	540	250	293						22,1	
	99	100	96	640	310	307						22,8	
П-3	96	100	92	1000	1590	1625	1613	96,8	0,060	1454	1,500	69,1	68,7
	96	93	94	997	1550	1703						71,3	
	102	98	100	-	1510	1511						65,8	
П-4	97	98	98	772	460	475	495,0	20,5	0,041	461,4	0,450	30,4	31,3
	100	97	95	745	510	516						32,2	
	98	97	99	-	470	494						31,2	
П-5	97	103	88	550	340	334	370,7	36,0	0,097	311,6	0,300	24,1	25,8
	100	93	93	680	480	406						27,4	
	103	98	106	740	280	372						25,9	
П-6	98	94	90	620	375	399	420,7	40,2	0,095	354,8	0,350	27,1	28,1
	97	91	95	695	510	467						30,1	
	93	92	94	550	345	396						27,0	
П-7	100	97	97	710	520	526	557,0	31,5	0,057	505,3	0,500	32,6	33,8
	102	98	102	840	600	589						35,1	
	96	93	94	-		556						33,8	
П-9	97	96	94	582	540	569	574,3	5,0	0,009	566,1	0,550	34,3	34,5
	100	105	95	650	620	579						34,7	
				-		575						34,6	
П-10	107	97	98	630	490	463	556,3	86,6	0,156	414,4	0,400	29,9	33,8
	90	95	100	610	640	634						36,9	
				-		572						34,5	

Обробка результатів експериментальних досліджень пінобетонних плит показала чіткі залежності прогинів, деформацій пінобетону на стиснутій та розтягнутій гранях, характер деформацій пінобетону при вдавлюванні штампів від поетапного збільшення навантажень.

Ці експериментальні залежності наведено на рис.2.



а) прогини експериментальних зразків; б) деформації на стиснутій грані; в) деформації на розтягнутій грані; г) вдавлювання штамп у пінобетон на стиснутій грані плит.

Рис. 2. Експериментальні залежності

Несна здатність та характер руйнування експериментальних плит при постійній схемі їх випробування залежали, у першу чергу від міцності пінобетону на розтяг, а в другу чергу – від проценту і характеру армування плит.

Для розрахунку плит на продавлювання була використано формулу, наведену у "Рекомендаціях по проектуванню бетонних і залізобетонних конструкцій до СНиП 2.03.01-84* [2].

$$F \leq \alpha \times R_{bt} \times U_m \times \frac{h_0}{0,71}, \quad (1)$$

де: F – сила продавлювання;

α – експериментальний коефіцієнт, визначений нами для пінобетонних дослідних плит – 0,80;

U_m – середнє арифметичне значення периметрів верхньої та нижньої граней піраміди продавлювання, яка утворюється при продавлюванні в межах робочої висоти перерізу плити. Кут нахилу бічних граней піраміди продавлювання прийнятий 45°;

R_{bt} – міцність пінобетону на розтяг, яку визначали за формулою Фере;

h_0 – висота робочої зони; число 0,71 = tg 45°.

Порівняння відносних експериментальних та теоретичних значень несної здатності пінобетонних плит за рекомендаціями [2] та за формулою апроксимації (2) на рис. 3, для оцінки впливу процента та характеру армування плит наведено у табл. 2.

Таблиця 2 – Порівняння експериментальних та теоретичних значень несної здатності плит

№ плити	h	h ₀	F _{u.ex} p	R _m	R _{bt}	U _m	$\frac{U_m \cdot h}{0,71}$	$\frac{U_m \cdot h_0}{0,71}$	α	μ	F _u teor	F _u /F _u teor	F _u /F _u teor за формулою (2) рис. 3	Порівняння
	см	см	кН	кН/м ²	кН/м ²	см	м	м	-	%	кН	-	-	-
П-1	14,5		5,0	450	29,4	98,0	0,200	-	0,80	0,0	4,70	1,06	1,00	1,06
П-2	15,2		5,8	450	29,4	100,8	0,216	-	0,80	0,0	5,07	1,14	1,00	1,14
П-3	14,7		5,6	557	33,8	98,8	0,205	-	0,80	0,0	5,54	1,01	1,00	1,01
П-4	14,7	10,0	5,9	599	35,5	98,8	0,205	-	0,80	0,0	5,81	1,01	1,00	1,01
П-5	14,5	1,8	5,6	370	25,8	98,0	0,200	-	0,80	0,0	4,13	1,36	1,00	1,36
П-6	14,3	12,5	9,5	495	31,3	97,2	-	0,171	0,80	0,20	4,28	2,22	2,13	1,04
П-7	14,4	12,6	28,0	1610	68,7	97,6	-	0,173	0,80	0,35	9,52	2,94	2,97	0,99
П-8	14,6	12,8	9,5	557	33,8	98,4	-	0,177	0,80	0,18	4,80	1,98	2,01	0,98
П-9	14,7	12,9	9,0	557	33,8	98,8	-	0,180	0,80	0,18	4,86	1,85	2,01	0,92
П-10	14,5	11,5	5,2	290	21,9	98,0	-	0,159	0,80	0,12	2,78	1,87	1,65	1,14
													Сеп.=	1,07
													σ =	0,12
													V =	0,12

Вплив процента армування експериментальних пінобетонних плит на відносні значення фактичної несної здатності до теоретичної з великою імовірністю описується лінійною залежністю (2), яку наведено на рис. 3.

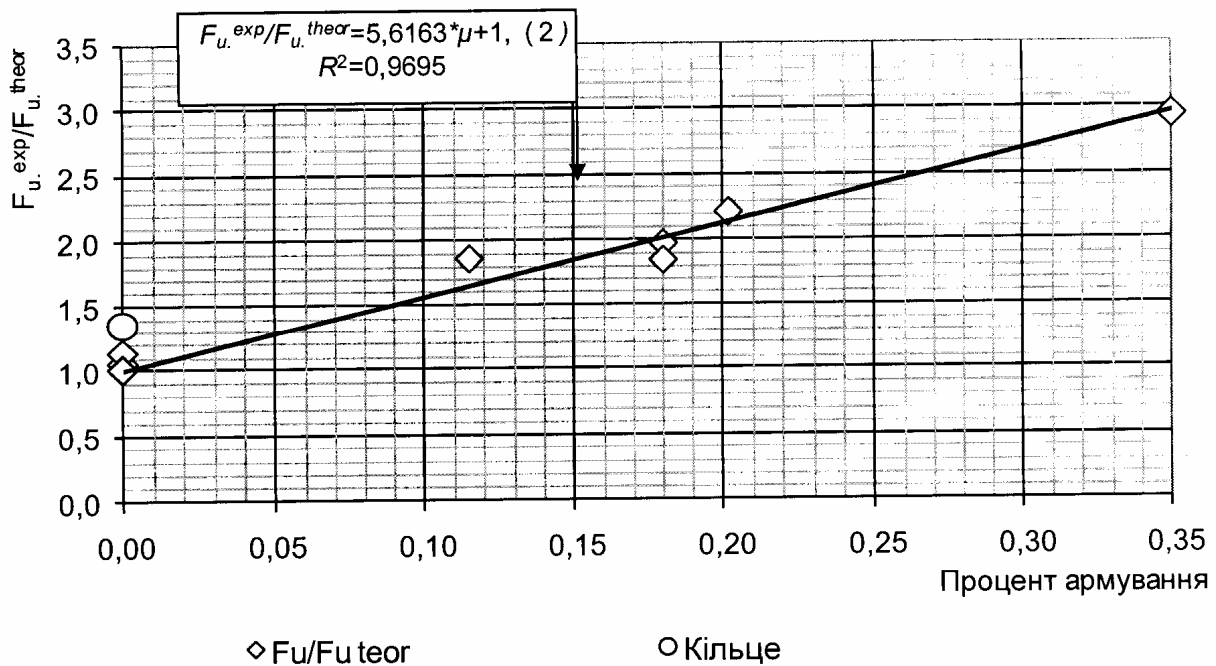


Рис. 3. Вплив процента армування експериментальних плит на відносні значення фактичної несної здатності до теоретичної

У першому наближенні рекомендуємо для визначення впливу міцності пінобетону і розтяг та процента армування на несну здатність пінобетонних плит на продавлення користуватися формулою:

$$F \leq \left(\alpha \times R_{bt} \times U_m \times \frac{h_0}{0,71} \right) \times (5,6163 \times \mu + 1), \quad (3)$$

яка за даними табл. 2 дає середнє значення збігу 1,07 при порівнянні експериментальних та теоретичних значень несних здатностей пінобетонних плит на продавлення, при коефіцієнті варіацій $U = 12\%$ та діапазоні коливань $0,92 \div 1,14$. За винятком плити П-5, несна здатність якої підвищилася на 36% у порівнянні з неармованими плитами. Це виникло очевидно через значне збільшення ділянки прикладання зосередженого навантаження за рахунок армування верхньої зони плити і збільшення її жорсткості на згин.

Висновки

1. Проведений аналіз даних випробувань на продавлювання десяти пінобетонних плит чотирьох підсерій показав, що зміна виду армування та його розташування по вертикальній осі перерізу плит суттєво впливають на їх несну здатність.
2. Аналіз існуючих нормативних документів показав відсутність методики розрахунку несної здатності при продавлюванні згинаних пінобетонних плитних елементів в залежності від зміни виду армування та його розташування по вертикальній осі перерізу плит.
3. При різних рівнях розташування додаткових сіток найвищу несну здатність на продавлювання має плита П-7, яка, за рахунок збільшення армування у 2 рази у порівнянні з плитою П-6 має збільшу у $28/9,5=2,95$ рази несну здатність. При розташуванні сітки у верхній стиснутій частині плити П-5 вона має меншу у $9,5/5,6=1,7$ рази несну здатність ніж плита П-6, в якій сітка розташована у нижній розтягнутій зоні плити.
4. Використання формули Фере для оцінки міцності пінобетону на розтяг дало можливість порівняти несучі здатності експериментальних пінобетонних плит, середня кубкова міцність яких коливалася від 450 кПа до 1610 кПа.
5. Порівняння експериментальної несної здатності F_u^{exp} та розрахункової F_u^{theor*} , обчислених за апроксимаційною залежністю (3), показало, що середнє значення $F_u^{exp} / F_u^{theor*} = 1,07$ (діапазон коливань $0,92 \div 1,14$) при середньоквадратичному відхиленні $\sigma=0,12$ та коефіцієнті варіації $U = 12 \%$. Це вказує на високу кореляційну залежність між експериментальними та теоретичними значеннями за формулою (3), що підтверджує достовірність експериментальних даних.
6. Величина продавлювання штамп у при фіксованому навантаженні $F_i=5$ кН у неармованих плитах П-1, П-2, П-3, П-4 з пінобетону у $130/32,5 = 4$ рази більші, ніж у плити П-5 з верхньою сіткою.
7. Несна здатність плит ідентична характеру зміни процента їх поздовжнього армування та міцності пінобетону на розтяг.
8. Збільшення в межах плит процента поздовжнього армування при однакових навантаженнях зменшує граничні деформації бетону на їх стиснутій грані.
9. В нормативних документах занижується фактична несна здатність $N_{u,theor}$ експериментальних армованих пінобетонних плит, в залежності від процентів їх поздовжнього армування у порівнянні з неармованими плитами в $1,01 \div 2,94$ рази (табл. 2).

Література

1. Коваль П.М., Демчина Х.Б., Гладішев Г.М. Вплив виду армування пінобетонних плит на характер руйнування при продавлюванні. //Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди: Зб. наук. пр. – Рівне, 2008.
2. Рекомендації по проектуванню бетонних і залізобетонних конструкцій до СНиП 2.03.01-84*.