

КОНТАКТ ПІНОБЕТОНУ З АРМАТУРОЮ: ВИВЧЕННЯ ЯВИЩА, ЙОГО МОДЕЛЮВАННЯ ТА СТАДІЙНІСТЬ РОБОТИ В ЗОНІ ЗЧЕПЛЕННЯ

© Верба В.Б., Демчина Б.Г., 2008

Наведено числові та аналітичні результати лабораторних експериментальних досліджень зчеплення арматури з пінобетоном. Запропоновано нові коефіцієнти для оцінки міцності зчеплення та стадійність роботи зони зчеплення арматури та пінобетону. Подано рекомендації щодо вдосконалення замірів деформування зони контакту.

This article is devoted to numeric and analytical results of laboratory experimental tests of adherence between foam concrete and reinforcing steel. There are proposed new coefficients for estimation of adherence strength and stages of bonding zone work. In conclusion there is given recommendation about improvement of deformation measuring.

Постановка проблеми. Незважаючи на теплоізолювальні властивості армованого пінобетону, його використання як повноцінного конструкційного матеріалу досить проблематичне. Поряд з браком дослідних даних та конструктивних розробок існує і об'єктивна причина обмеженого його застосування: необхідне зчеплення часто перевищує його експериментальні значення, призводячи до локального пошкодження пінобетону в зоні зчеплення й істотних переміщень арматурної сталі відносно нього.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Активне вивчення пінобетону проводилося в середині ХХ століття як радянськими, так і зарубіжними вченими. Армowanими конструкціями із пінобетону займалися такі радянські науковці, як П.А. Теслер, Є.Н. Добринін, В.А. Пінскер [1], К.М. Мілейковська, Н.І. Левін, В.В. Макаричев [2] та інші.

Мета та задачі досліджень. Сьогодні модернізувалися як технологія отримання пінобетону, так і самі норми проектування. Тому авторами було започатковано нові експериментальні дослідження зчеплення пінобетону з арматурою, про методику та хід яких пропонуємо ознайомитися з попередніх публікацій [4,5].

Результати експериментальних досліджень. Для опрацювання емпіричних даних, отриманих експериментальним шляхом, було складено табл. 1, в якій систематизовано результати усіх проведених нами досліджень зчеплення арматури з пінобетоном. З метою впорядкування даних запропоновано таку методику маркування дослідних зразків (рис. 1).

Оперуючи результатами проведених експериментальних досліджень та визначеними міцнісними характеристиками пінобетону (табл. 1), було вирішено зупинитися на формулі Ю.Л. Ізотова [3], моделюючи закон зчеплення у вигляді:

$$\overline{t}_{an} = (a - b \frac{l_{an}}{d}) f_{cm, cube}, \quad (1)$$

де a і b – емпіричні коефіцієнти, l_{an} – довжина анкерування арматурного стрижня в призмі пінобетону, d – номінальний діаметр арматури, $f_{cm, cube}$ – кубикова міцність пінобетону.

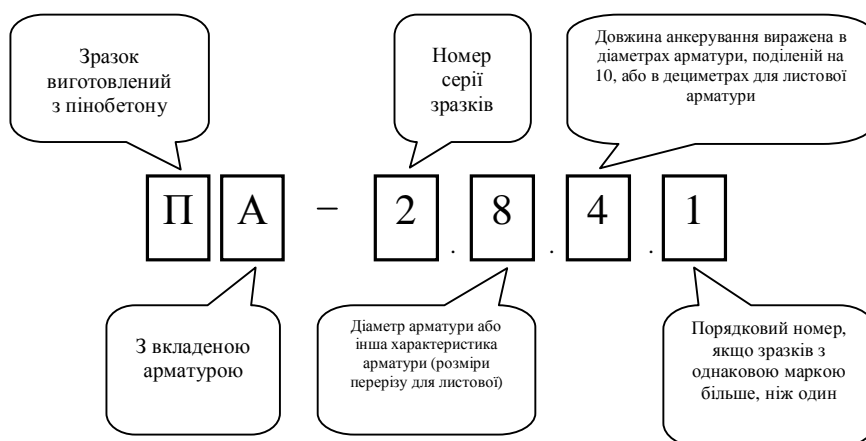


Рис. 1. Методика маркування дослідних зразків

Таблиця 1

Характеристики пінобетону та усереднені по довжині контактні напруження в масиві пінобетону на межі зчеплення з арматурою

№ з/п	Марка зразка	Діаметр арматури, мм	Відношення l_{an}/d	Густина пінобетону, кг/м ³	Середня кубикова міцність пінобетону, $f_{cm,cube}$, МПа	Максимальна висмикуюча сила F_u , кН	Максимальні усереднені контактні напруження зчеплення, $\overline{f_{an}}$, МПа
1	ПА-1.8.2.1	8	20	0.905	1.600	3.38	0.841
2	ПА-1.8.2.2	8	20	0.905	1.600	3.4	0.846
3	ПА-1.8.3.1	8	30	0.905	1.600	3.75	0.622
4	ПА-1.8.3.2	8	30	0.905	1.600	3.8	0.630
5	ПА-1.8.2.3	8	20	0.905	1.600	0.7	0.174
6	ПА-1.8.2.4	8	20	0.905	1.600	0.2	0.050
7	ПА-1.10.2.1	10	20	1.071	1.359	2.6	0.414
8	ПА-1.10.2.2	10	20	1.071	1.359	3.08	0.490
9	ПА-1.10.3.1	10	30	1.071	1.359	3.72	0.395
10	ПА-1.10.3.2	10	30	1.071	1.359	3.64	0.386
11	ПА-1.10.2.3	10	20	1.071	1.359	4	0.637
12	ПА-1.10.2.4	10	20	1.071	1.359	2.4	0.382
13	ПА-1.10.3.3	10	30	1.071	1.359	2.6	0.276
14	ПА-1.10.3.4	10	30	1.071	1.359	5.1	0.541
15	ПА-2.7.2.1	7	22	0.837	0.862	0.673	0.199
16	ПА-2.7.2.2	7	22	0.837	0.862	0.578	0.171
17	ПА-2.4.4.1	4	38	0.837	0.862	0.383	0.201
18	ПА-2.3.10.1	3	98	0.839	0.867	0.531	0.192
19	ПА-2.3.10.2	3	98	0.839	0.867	0.537	0.194
20	ПА-2.4.7,5.1	4	74	0.839	0.867	0.47	0.126
21	ПА-2.4.7,5.2	4	74	0.839	0.867	0.654	0.176
22	ПА-3.8.1.2	8	10	0.833	0.850	0.273	0.136
23	ПА-3.8.4.1	8	38.75	1.035	1.378	3.335	0.428
24	ПА-3.10.1.1	10	10	1.002	1.294	1.193	0.380
25	ПА-3.10.1.2	10	10	0.821	0.820	0.73	0.232
26	ПА-3.10.4.1	10	40	0.986	1.253	4.905	0.390
27	ПА-3.10.4.2	10	40	0.771	0.684	2.354	0.187

Здійснена спроба визначити емпіричні коефіцієнти для двох досліджуваних випадків:

- 1) для випадку зчеплення арматури періодичного профілю з пінобетоном;
- 2) для випадку зчеплення гладкої арматури з пінобетоном.

Оскільки під час експериментів не було змоги вимірювати напруження в бетоні чи в арматурі по довжині анкерування, то в нашому випадку за отриманими формулами оцінюватимуться лише середні дотичні напруження, які виникають на поверхні контакту арматури з пінобетоном в момент руйнування зчеплення (тобто $\overline{t_{an}} \rightarrow \overline{f_{an}}$).

Для знаходження невідомих коефіцієнтів a та b ми використали програмний комплекс Origin 6.1 та за допомогою нелінійного наближення отримали такі результати:

1) для арматури періодичного профілю (діаметром 8 та 10 мм, клас А-III) формула з визначеними коефіцієнтами набула вигляду:

$$\overline{f_{an}} = (0.293 + 0.00135 \frac{l_{an}}{d}) f_{cm, cube}; \quad (2)$$

2) для випадку зчеплення гладкої арматури (діаметром 3 і 4 мм класу Вр-I та 7 мм класу В-II) з пінобетоном отримано таку розрахункову формулу:

$$\overline{f_{an}} = (0.214 - 0.00018 \frac{l_{an}}{d}) f_{cm, cube}. \quad (3)$$

У табл. 2 подані відомості про міцність зчеплення арматури з пінобетоном у відносних одиницях вимірювання, наведених у частках від нормованих міцнісних характеристик пінобетону та арматурної сталі відповідно. Авторами пропонується оцінювати величину зчеплення за допомогою двох коефіцієнтів: u_b , що дорівнює відношенню усереднених дотичних напружень, які виникають на поверхні контакту арматури з пінобетоном у момент руйнування зчеплення, до кубикової міцності пінобетону ($u_b = \overline{f_{an}} : f_{cm, cube}$) та u_s , що дорівнює відношенню напружень в арматурі s_s при максимальному висмикуючому навантаженні F_u до розрахункового опору арматури R_s ($u_s = s_s : R_s$). Ці коефіцієнти наведено у табл. 2.

Таблиця 2

Силові характеристики зчеплення арматури періодичного профілю з пінобетоном

Значення коефіцієнтів при довжині анкерування:		Пінобетон класу							
		В 0.5		В 0.75		В 1		В 0.75	
		Клас і діаметр арматури							
		А-III Ø 10	А-III Ø 8	А-III Ø 10	А-III Ø 8	А-III Ø 10	Вр-I Ø 3	Вр-I Ø 4	В-II Ø 7
l=10d	u_b	-	0.16	0.283	-	0.294			
	u_s	-	0.016	0.025	-	0.042			
l=20d	u_b	-	-	-	0.527	0.336	-	-	0.215
	u_s	-	-	-	0.189	0.099	-	-	0.016
l=30d	u_b	-	-	-	0.391	0.287			
	u_s	-	-	-	0.211	0.128			
l=40d	u_b	0.273	-	-	0.311	0.311	-	0.233	-
	u_s	0.082	-	-	0.187	0.171	-	0.082	-
l=75d	u_b	-	-	-	-	-	-	0.174	-
	u_s	-	-	-	-	-	-	0.121	-
l=100d	u_b	-	-	-	-	-	0.223	-	-
	u_s	-	-	-	-	-	0.201	-	-

За допомогою аналізу даних, наведених у табл. 2, простежується тенденція, що кращим зчепленням у відносних одиницях характеризуються зразки з меншим поперечним перерізом арматури. Зчеплення стрижнів великих діаметрів з пінобетоном не забезпечує повного використання їх міцності. Подібна рекомендація міститься також у нормах проектування залізобетонних конструкцій, що обмежує максимальний діаметр арматури на рівні 16 мм у конструкціях з пінобетону [6, п. 5.17]. Саме тому в майбутніх дослідженнях буде вивчатися зчеплення з пінобетоном арматури малих діаметрів (до 10 мм).

Для уточнення отриманих формул та доповнення табл. 2 необхідні додаткові дослідження. Результатом таких досліджень буде отримання більш статистично обґрунтованих величин коефіцієнтів для формул (2) і (3). У "технічній теорії зчеплення", ґрунтовно розробленій та втіленій у чинних нормах [6], найуніверсальнішим вважають так званий "нормальний закон зчеплення":

$$t_{an} = B \frac{\ln(1 + ag)}{1 + ag}, \quad (4)$$

де a і B – параметри зчеплення, що залежать від міцності бетону та профілізації арматури, а g – зміщення стрижня відносно тіла пінобетону, основна феноменологічна характеристика явища зчеплення.

При цьому увагу приділяють вимірюванню зміщень арматурного стрижня не лише в неавантаженому перерізі, що проводилося авторами, а за всією довжиною контакту. Також варто детально вивчити процес наростання взаємних зміщень арматури та пінобетону після руйнування контактної шару, що не вдавалося через значну інерційність дослідних установок. Особливо важливими такі заміри видаються у світлі необхідності розроблення рекомендацій з розрахунку згідно з Єврокодом 2 та проекту нових норм з проектування бетонних та залізобетонних конструкцій, де на перший план виходить проблема стабільності роботи та деформативності зони зчеплення.

Стадійність роботи зони зчеплення. Як показують результати досліджень, проведених авторами та їх попередниками [1–5], із поступовим підвищенням навантаження, що прикладається до арматурного стрижня дослідного зразка, в зоні контакту пінобетону та арматури можна виділити 4 характерні стадії роботи контактної шару [4] пінобетону.

На 1-й стадії контактний шар чинить пружний опір; деформації пінобетону пружні і практично повністю зникають після зняття навантаження.

На 2-й стадії поряд з пружними деформаціями спостерігаються і значні залишкові деформації, що особливо помітно біля перерізу, що навантажується. Ці зміни характеру напружено-деформованого стану чітко відбиваються на графіку (рис. 2, між т. А та т. Б). Близько до кінця 2-ї стадії починається руйнування контактної шару пінобетону, що оточує арматурний стрижень.

На 3-й стадії опір навантаженню забезпечується лише за рахунок тертя стрижня до стінок каналу, заповненого зруйнованим пінобетоном. Однак у багатьох випадках цей опір ще дуже високий і в окремих випадках дає змогу підвищити навантаження на зразок (див. рис. 2, між т. В і т. Г).

На 4-й стадії відбувається руйнування зразка разом з падінням навантаження. Стрижень з пінобетону поступово витягується (у випадку використання розривної машини) або висмикується раптово (при використанні важок).

Логічно зробити висновок, що експлуатаційні навантаження повинні відповідати 1-й та 2-й стадіям, при яких цілісність контактної шару ще не порушена. Для гладкої арматури можна включати в роботу і 3-ю стадію. Перехід від однієї стадії роботи до іншої необхідно розглядати як свого роду два граничні стани:

- перехід від пружно-пластичного опору до початку ковзання і зчеплення за рахунок тертя при навантаженні F_n ;
- руйнування зв'язку пінобетону зі стрижнем за всією довжиною контакту (межа міцності зчеплення $\overline{f_{an}}$) при навантаженні F_u .

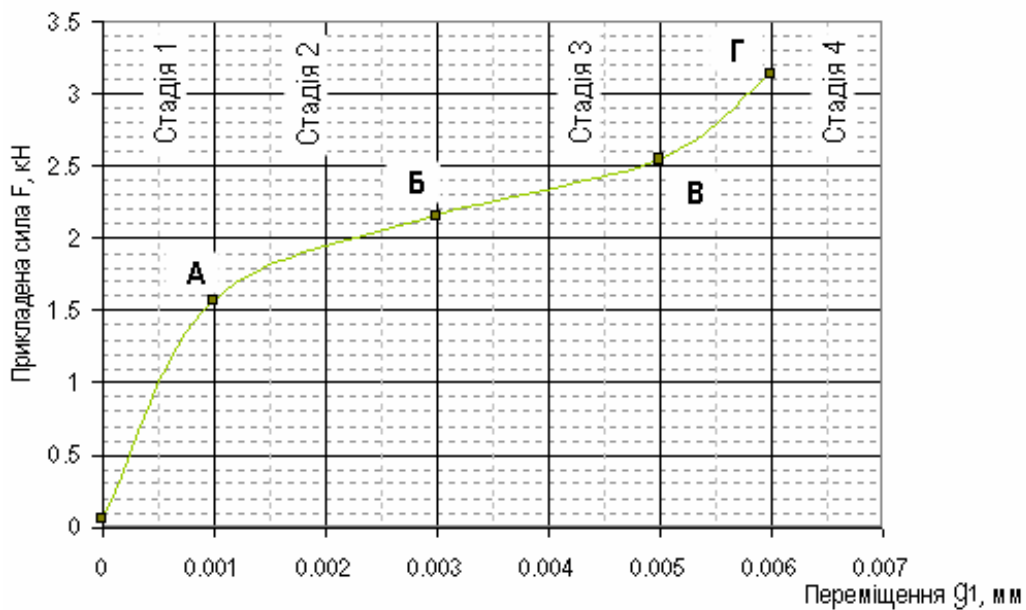


Рис. 2. Діаграма висмикування арматури у зразка марки ПА-3.8.4.1

Перехід до ковзання (т. Б на рис. 2), коли зв'язок між навантаженням і зміщенням стрижня знову набуває лінійного характеру, однозначно позначається на напружено-деформованому стані зони контакту. Але визначити напружено-деформований стан у зоні контакту складно. Пов'язано це передусім з тим, що ця зона закрита для візуального спостереження масивом пінобетону. Монтаж якихось вимірювальних пристроїв в товщу пінобетону, безперечно, змінить його структуру, а отже, і достовірність отриманих даних.

Однак про стан зони контакту можна судити на основі непрямих даних.

Так, відомо [4, с. 38–39], що кожній з наведених стадії відповідає характерний графік розподілу деформацій видовження e_x за довжиною стрижня. Побудувавши криву e_x , можна отримати величини, необхідні для оцінки зчеплення.

Але тут ми можемо стикнутися з ще однією проблемою. Для побудови потрібної діаграми необхідно наклеїти тензодавачі за довжиною стрижня. Класично це робиться в прорізі арматури, але оскільки нами передбачається використання малих діаметрів арматури, то при діаметрі 6–8 мм це виконати складно, а при діаметрах 3–5 мм це взагалі видається неможливим.

Ця проблема змушує зосередити нашу увагу на наступних етапах дослідження – зчеплення пінобетону з листовою гладкою арматурою. Вимірювання деформацій такого армування не здається складним завданням. Діаграму деформацій e_x для круглого перерізу арматури (а отже, і відомості про поведінку пінобетону контактної шару) можна буде побудувати, скориставшись дослідженнями комбінованого перерізу, який складатиметься з круглої і плоскої частин, але вимірювання деформації якого буде проводитися на плоскій його частині.

Висновки. Запропоновану стадійність та поділ на граничні стани можна взяти за основу під час розроблення методики розрахунку на міцність та деформативність зчеплення арматури з пінобетоном.

На основі аналізу результатів проведених експериментальних досліджень зчеплення пінобетону з арматурою автори вводять два коефіцієнти u_b та u_s , за допомогою яких пропонують оцінювати міцність зчеплення. Ці коефіцієнти по суті вказують на величину використання міцності пінобетону та арматури в процесі зчеплення між ними.

1. Проектирование конструкций из ячеистых бетонов. Ч. 2: Материалы к краткосрочному семинару (22 по 24 апреля) / Под ред. В.А. Пинскера. – Л., 1968. – 197 с. – С. 46–49, 58–62. 2. Левин Н.И., Макаричев В.В., Милейковская К.М. Примеры расчета конструкций из ячеистых бетонов. – М:

Стройиздат, 1967. – 185 с. 3. Сцепление арматуры с бетоном. Краткое изложение сообщений на конференции по проблеме сцепления арматуры с бетоном (25–27 июня 1968 г.) / Под ред. А.А. Оатула. – Челябинск, 1968. – 115 с. 4. Демчина Б.Г., Верба В.Б., Демчина Х.Б. Експериментальні дослідження зчеплення арматури з пінобетоном // Вісн. Нац. ун-ту “Львівська політехніка”. – 2005. – № 545. – С. 41–45. 5. Верба В. Дослідження зчеплення гладкої арматури з пінобетоном шляхом висмикування // Геодезія, архітектура та будівництво: Матеріали 1-ї конференції молодих науковців ГАС-2007. – 2007. – 50 с. – С. 41–43. 6. СНиП 2.03.01-84*. Бетонные и железобетонные конструкции. – М.: ЦИТП Госстроя СССР, 1989. – 80 с.

УДК 697.329

О.Т. Возняк, О.С. Дацько, С.П. Шаповал
Національний університет “Львівська політехніка”,
кафедра теплогазопостачання і вентиляція,
кафедра техногенно-екологічної безпеки

ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ВИКОРИСТАННЯ СОНЯЧНОЇ ЕНЕРГІЇ В ЦІЛОРІЧНИХ ГЕЛІОСИСТЕМАХ

© Возняк О. Т., Дацько О. С., Шаповал С. П., 2008

Наведено результати досліджень надходження сонячної радіації на геліоколектори. Встановлено залежність між кількістю дискретних орієнтацій сонячного колектора і ефективністю роботи системи. Наведено результати експериментальних досліджень стаціонарної та чотирьох змінних орієнтацій колектора на Сонце.

In this article the results of investigations incomings solar radiation on solar collectors. It was defined dependense between discrete orientation amount of solar collector and efficiency of system work. The results of experimental researches of constant and four variable orientations of collector on a Sun are present.

Постановка проблеми. Системи сонячного теплопостачання є однією з найперспективніших тем у геліоенергетиці. Незважаючи на велику різноманітність геліосистем, практично у всіх з них обов'язковою є наявність трьох основних елементів: енергосприймаючого вузла (сонячних колекторів), енергопереносного середовища (теплоносія) і енергоспоживчого вузла (приладів гарячого водопостачання, опалення тощо). Також може додаватись акумулятор тепла та додаткове джерело енергії. Від правильного та узгодженого функціонування вказаних вузлів у комплексі і кожного зокрема залежить повнота використання променевої енергії, що надходить від сонця.

Максимального енергопоглинання поверхні прийняття сонячного колектора, що відповідає найвищому значенню коефіцієнта корисної дії і найповнішому використанню сонячної енергії, досягають шляхом надання поверхні положення, перпендикулярного до падаючих променів.

Дискретна переорієнтація колектора дає значний вигравш отриманої енергії порівняно з енергією, що надійшла б від стаціонарного колектора. Проте невідомо, скільки разів на день потрібно повертати колектори, щоб затрати на переорієнтацію були мінімальними, а отримана кількість енергії максимальною.

Отже, стоїть завдання знаходження простого і економічного способу орієнтації сонячних колекторів, при якому можна було би отримати максимально можливу кількість сонячної енергії.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Багато робіт [1–3] присвячено знаходженню оптимальних кутів нахилу колектора до горизонту і азимута повороту, при яких надійде найбільше енергії сонячного випромінювання. Всі однозначно стверджують, що від колекторів, які змінюють кути положення кожного місяця, надходить до 40 % більше енергії, ніж від фіксовано встановлених [2].