

Висновки. В результаті виконаних досліджень було отримано коефіцієнти теплопередачі сталевих панельних радіаторів при вільній та вимушеній конвекції в діапазоні зміни температури на вході в прилад 50–90 °С, витрати води 60–110 кг/год, швидкості повітря в конвективному каналі 0,5–2,5 м/с. За вимушеної конвекції коефіцієнт теплопередавання приладу залежно від різних умов збільшується на 11–14 %.

1. Пирков В.В. *Особливості проектування сучасних систем водяного опалення.* – К., 2003
2. Жуковський С.С., Лабай В.Й. *Системи енергопостачання і забезпечення мікроклімату будинків та споруд. Навч. посібник.* – Львів, 2000. 3. Богословский В.Н., Сканава А.Н. *Отопление.* – М., 1991.
4. *Визначення коефіцієнтів затікання води в нагрівальні прилади. Визначення коефіцієнтів теплопередачі нагрівальних приладів: Інструкції до лабораторних робіт з курсу “Опалення” для студентів спеціальності 7.091108 “Теплогазопостачання і вентиляція / Укл. В.С. Латик – Львів, 2003.*

УДК 666.965.2

І.В. Мельник, В.М. Сорохтей, О.Я. Ходзінський
Національний університет “Львівська політехніка”,

МІЦНІСТЬ І ДЕФОРМАТИВНІСТЬ БЕТОННИХ СТИСНУТИХ ЕЛЕМЕНТІВ, ПІДСИЛЕНИХ ТКАНИНАМИ З ВУГЛЕЦЕВИХ ВОЛОКОН

© Мельник І.В., Сорохтей В.М., Ходзінський О.Я., 2005

Подано результати експериментальних порівняльних досліджень бетонних кубів і призм, підсилених приклеюванням до їхніх поверхонь високоміцних тканин з вуглецевих волокон.

The results of experimental comparative researches of concrete cubes are given at the prisms and cubes of strengthened by gluing to their surfaces on the base of carbon fibres.

Мета досліджень. В практиці підсилення будівельних конструкцій все частіше використовують композитні матеріали на базі арамідних, скляних та вуглецевих волокон. Найбільше це стосується згинаних залізобетонних елементів: плит, балок, ригелів тощо. Набагато менше досліджені зміцнені композитами стиснуті бетонні елементи [1, 2, 3, 4], для підсилення яких традиційно використовують матеріало- і трудомісткі металеві та залізобетонні обойми і сорочки. Під час цих досліджень ставили за мету на підставі порівняльних випробувань непідсилених та підсилених кубів і призм виявити технологічність та ефективність їхнього підсилення композитними конструкційними матеріалами з вуглецевих волокон, приклеєних до бетонних поверхонь елементів високоміцним клеєм.

Описання експериментальних досліджень. За базові зразки було прийнято куби і призми стандартних розмірів, на яких визначають міцнісні і деформативні властивості бетону.

Куби з розміром ребра 10 см і призми розмірами 10×10×40 см виготовляли на Львівському заводі будівельних виробів. Для приготування бетонної суміші дослідних зразків використали портландцемент марки М500, щебінь фракції 5–20 мм і пісок середньої крупності. Щоб пришвидшити твердіння, здійснювали термічну обробку бетону за режимом 2–4–7–3 години.

Конструкція дослідних підсилених зразків призм і кубів подана на рис. 1 і рис. 2.

Для підсилення кубів і призм використовували клей СФК Sika Dur 30 і високоміцну тканину Sika Wrap з вуглецевих волокон (мати виробництва швейцарської фірми Sika) з такими характеристиками: розривна міцність 3500...3900 МПа, модуль пружності (230...240)×10⁴ МПа, товщина 0,13 мм. Перед приклеюванням тканини поверхні бетону репрофілювали і “знімали” кути наждачним каменем до катета 2...3 мм.

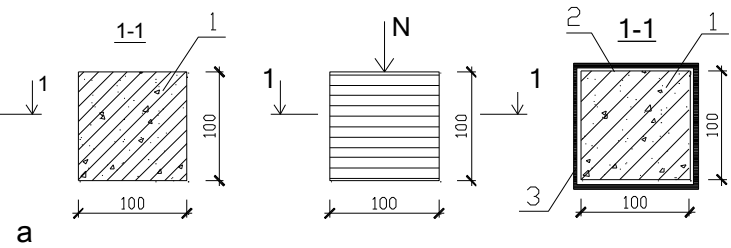


Рис. 1. Конструкція підсилених кубів:
1 – бетонний куб; 2 – клей CFK Sika Dur 30;
3 – тканина Sika Wrap

Всього було випробувано 6 кубів і 6 призм. Три куби для порівняння випробовували не підсилені (замарковані К-1, К-2, К-3), три (КВ-1, КВ-2, КВ-3) – після підсилення тканиною Sika Wrap. Волокна були направлені перпендикулярно до стискальної сили (рис. 1).

Три призми (Р-1, Р-2, Р-3) також випробовували не підсилені, три – після підсилення. Підсилені призми відрізнялися конструкцією підсилення: перша (РВ-1) була підсилена у середній частині на 1/3 висоти $h=40$ см, друга (РВ-2) – на висоту 2/3 h , третя (РВ-3) – на всю висоту. Як і в кубах, волокна тканини були спрямовані перпендикулярно до напрямку дії сили, створюючи ефект обойми (рис. 2).

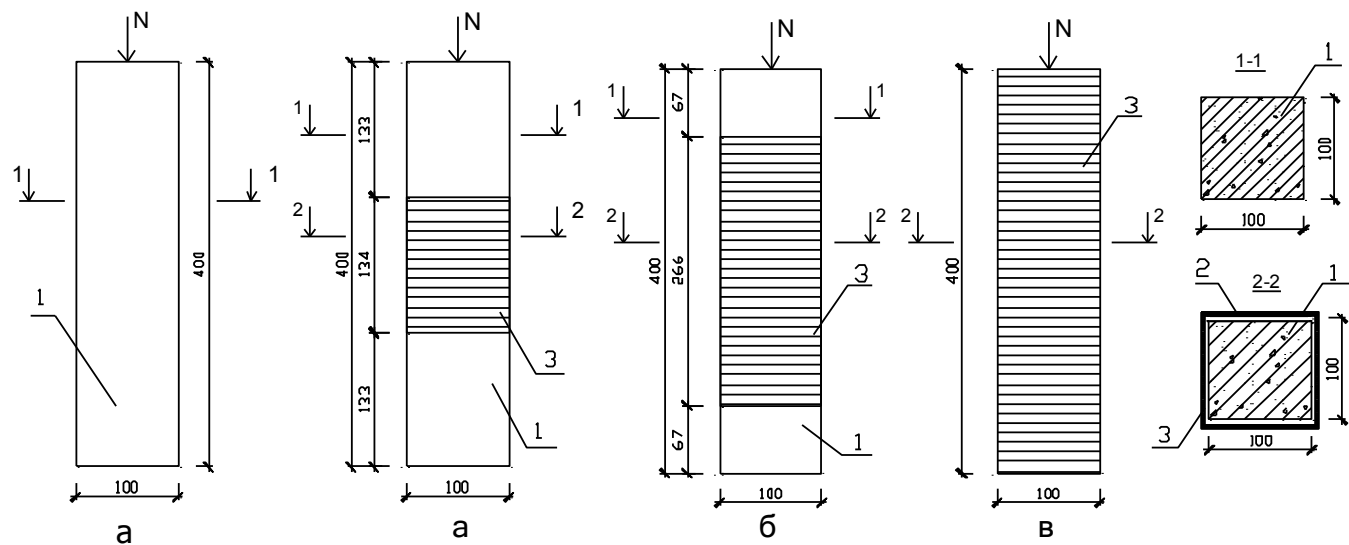


Рис. 2. Конструкція підсилених призм: а – марки РВ-1; б – марки РВ-2, в – марки РВ-3;
1 – бетонна призма; 2 – клей Sika Dur 30; 3 – тканина Sika Wrap

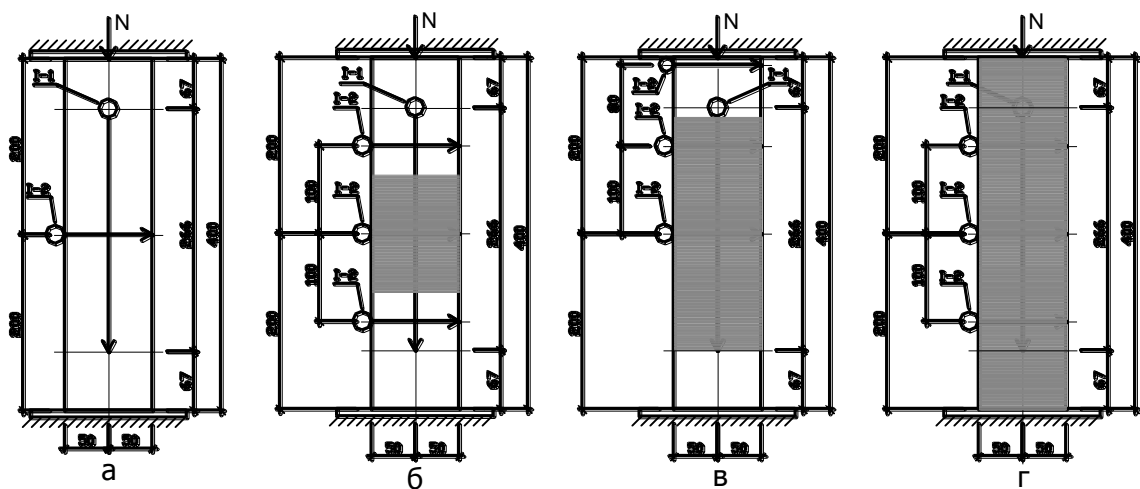


Рис. 3. Схема розташування приладів при випробуванні призм;
а – марок Р-1, Р-2, Р-3; б, в, г – відповідно марок РВ-1, РВ-2, РВ-3; I-1 – прилади для замірювання поздовжніх деформацій; I-2 – прилади для замірювання поперечних деформацій

Випробовування здійснювали на гідравлічному пресі П-125. Для замірювання поздовжніх і поперечних деформацій при випробуванні призм використовували індикатори годинникового типу з точністю 0,001 мм. Поперечні деформації в підсилених призмах заміряли не лише посередині, але і в інших перерізах по висоті призм як на підсилених, так і на непідсилених ділянках (рис. 3).

Результати досліджень. Характер руйнування непідсилених кубів був звичайним – з утворенням поздовжніх і діагональних тріщин. По-іншому руйнувалися підсилени куби. Вичерпання їхньої несучої здатності відбувалося внаслідок розриву частини композитних волокон на одній з граней кубів з подальшим розриванням інших волокон і одночасним дробленням бетону.

Результати випробувань кубів на міцність подані з табл. 1. Значення міцності трьох непідсилених кубів відрізнялися незначно і в середньому становили 20,68 МПа. Також були близькими міцності трьох підсилених кубів з середнім значенням 29,51 МПа. Із порівняння цих значень видно, що усереднена міцність підсилених кубів на 43% більша порівняно з непідсиленими кубами.

Таблиця 1

Результати випробовування кубів

Група	Зразок	Міцність, МПа	Середня міцність, МПа	Відношення R_{bw}^k/R_b^k
Непідсилені	К-1	20,45	$R_b^k=20,68$	1.43
	К-2	19,80		
	К-3	21,80		
Підсилені	KW-1	28,75	$R_{bw}^k=29,51$	
	KW-2	31,38		
	KW-3	28,40		

Характер руйнування непідсилених призм був звичайним, а підсилених залежав від довжини зони підсилення. Не повністю підсилені призми (PW-1 і PW-2) руйнувалися на вільних бетонних ділянках, а руйнування призми PW-3 почалося з розривання композитних волокон підсилення, що супроводжувалося характерним різким потріскуванням.

Ефект підсилення призм порівняно з кубами був менший і залежав від міри їхнього підсилення. Порівняно з непідсиленими призмами найменше зміцнення показала призма PW-1, підсилена у середній третині – 9,6%, найбільше (28%) – повністю обмотана призма PW-3 (табл.2). Ефект підсилення призм PW-2 був проміжним – 15%. Отже, довжина підсилення призм безпосередньо вплинула на міру їхнього підсилення.

Таблиця 2

Результати випробувань призм

Група	Зразок	Міцність, МПа	Середнє значення міцності, МПа	Відношення R_{bw}/R_b
Непідсилені	P-1	17,38	$R_b=16,54$	–
	P-2	15,25		
	P-3	17,0		
Підсилені	PW-1	$R_{bw}=18,13$	–	1,09
	PW-2	$R_{bw}=19,0$	–	1,15
	PW-3	$R_{bw}=21,25$	–	1,28

На відміну від міцності, вплив підсилення і його кількості по висоті на модуль пружності бетону призм був незначним. Криві наростання поздовжніх деформацій призм розташовані близько одна до одної без будь-якої закономірності, хоча і простежується незначна тенденція до збільшення модуля пружності підсилених призм порівняно з непідсиленими – на 5...9% при стискаючих напруженнях вищих рівнів 8...12 МПа (рис. 4).

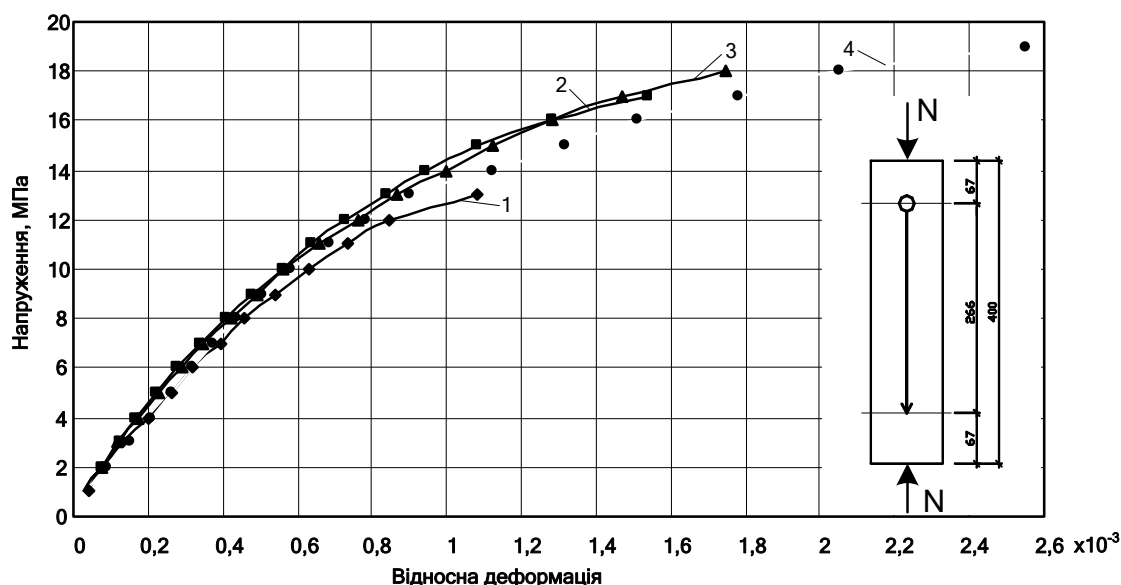


Рис. 4. Графіки залежності поздовжніх деформацій від напружень: 1 – усереднений призм P-1, P-2, P-3; 2 – призми PW-1; 3 – призми PW-2; 4 – призми PW-3

Як і треба було очікувати, поперечні деформації на підсилених ділянках призм порівняно з непідсиленими ділянками були меншими. Проте це почало проявлятися лише при високих рівнях навантаження – 61...74% від руйнівних. В призмі PW-1, підсиленій в середній частині на 1/3 висоті, до рівня напружень в бетоні $\sigma_b = 10$ МПа поперечні деформації на непідсилених і підсиленій ділянках наростали практично однаково. При подальшому збільшенні навантаження поперечні деформації на непідсилених ділянках почали стрімко зростати: при напруженнях $\sigma_b = 13$ МПа вони були більшими від деформацій на непідсилених ділянках в 1,6 ... 1,7 раза, при $\sigma_b = 15$ МПа – в 2,2...2,3 раза і надалі ця різниця зростала (рис. 5).

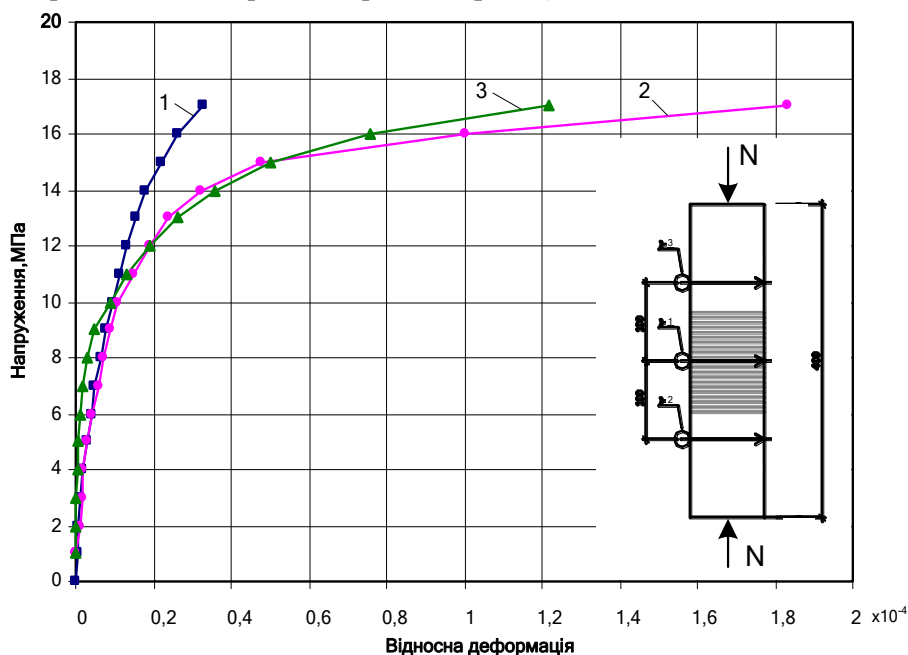


Рис. 5. Графік поперечних деформацій в призмі PW-1: 1 – в перерізі на рівні індикатора I-1; 2 – в перерізі на рівні індикатора I-2; 3 – в перерізі на рівні індикатора I-3

В призмі PW-2, підсилений на 2/3 висоти, поперечні деформації на неармованій ділянці різко почали зростати при осьовому стискальному напруженні в бетоні $\sigma_b > 14$ МПа. При подальшому завантаженні на цій ділянці почав розколюватися і дробитися бетон, що спричинило руйнування призми. Поперечні деформації на підсиленних ділянках наростали незначно і майже однаково, лише перед руйнуванням в перерізах, межуючи з непідсиленою ділянкою, деформації почали зростати (рис. 6).

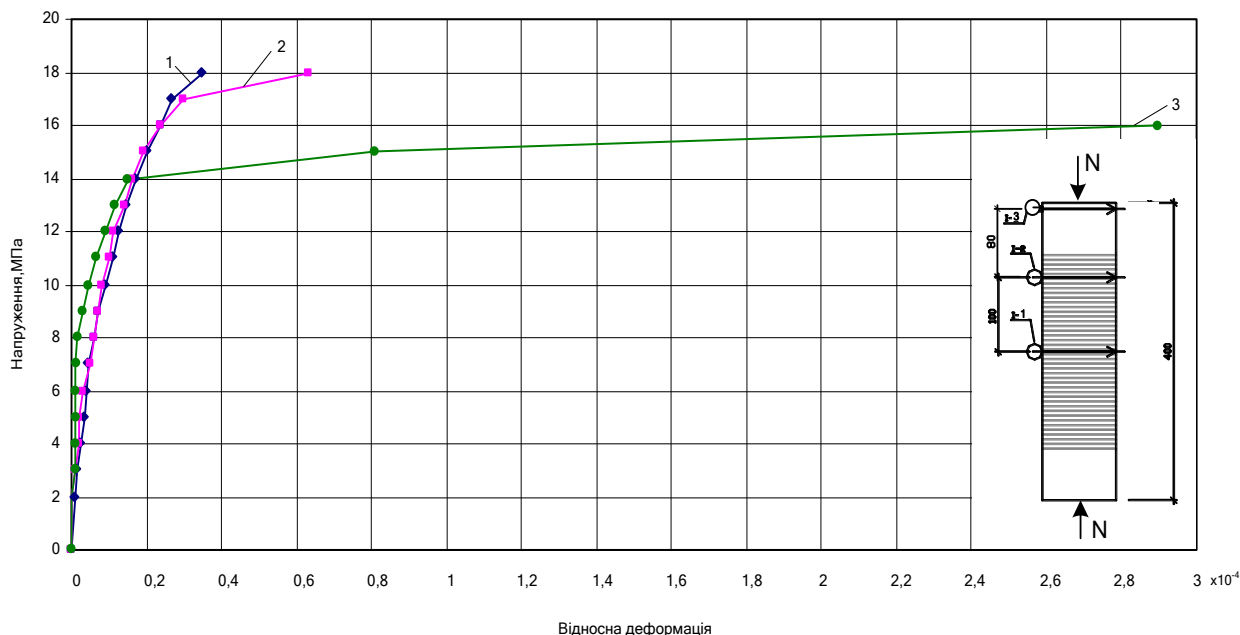


Рис. 6. Графік поперечних деформацій в призмі PW-2: 1 – у перерізі на рівні індикатора I-1; 2 – у перерізі на рівні індикатора I-2; 3 – у перерізі на рівні індикатора I-3

В повністю підсилений призмі PW-3 до напружень $\sigma_b = 15$ МПа (71% від руйнівного навантаження) поперечні деформації, заміряні посередині і на відстані $\frac{1}{4}$ від основ, наростали майже однаково. При $\sigma_b > 16$ МПа спостерігали стрімке наростання поперечних деформацій в перерізі, в якому згодом розірвалися волокна підсилюючої тканини (рис. 7).

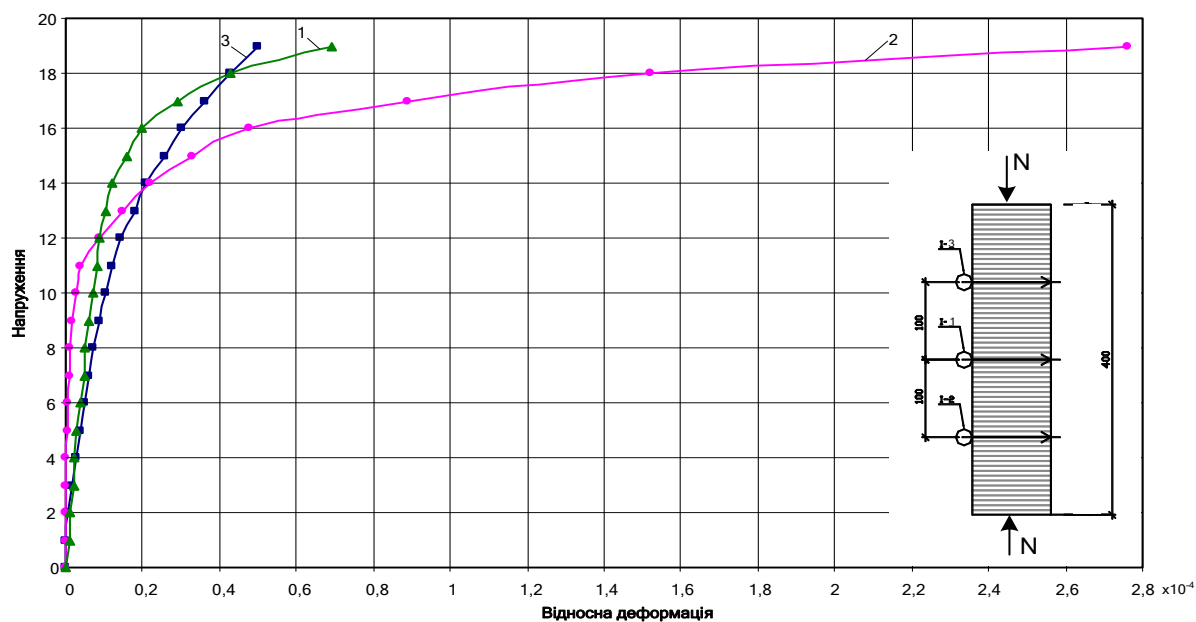


Рис. 7. Графік поперечних деформацій в призмі PW-3: 1 – у перерізі на рівні індикатора I-1; 2 – у перерізі на рівні індикатора I-2; 3 – у перерізі на рівні індикатора I-3

На рис. 8 подано графіки зміни коефіцієнта Пуассона μ (відношення поперечних деформацій до поздовжніх) залежно від стискальних напружень. Для визначення μ приймали усереднені значення поперечних деформацій, замірених посередині висоти трьох непідсилених і трьох підсилених призм, і поздовжні деформації, замірени в усіх призмах на базі $l=2/3H$ (H – висота призм). Із порівняння видно, що за рахунок ефекту обойми коефіцієнт μ менший в підсилених призмах, причому при збільшенні навантаження різниця зростає: так, при стискальних напруженнях $\sigma_b=6$ МПа вона становить 8,3%, а при напруженнях $\sigma_b=12$ МПа – 29,7%.

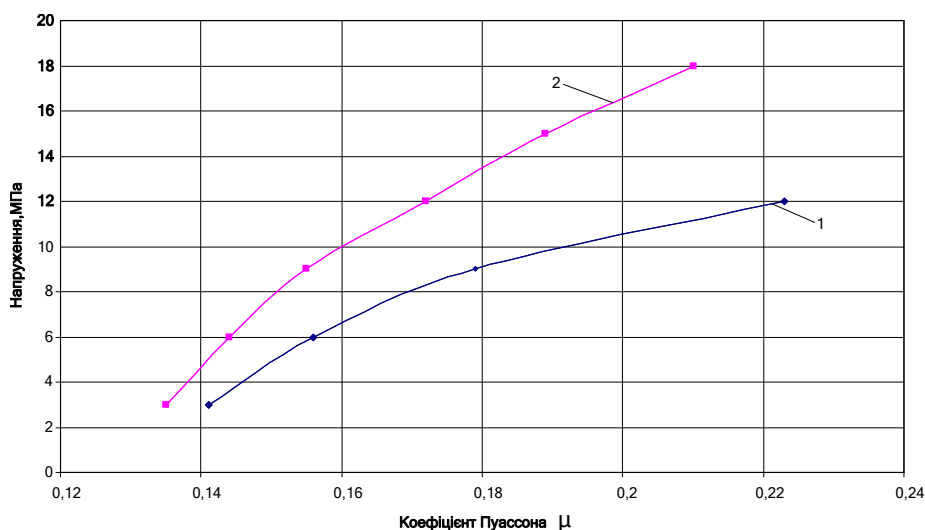


Рис. 8. Графіки залежності коефіцієнта Пуассона від напружень:

1 – середнє значення μ для призм P-1, P-2, P-3; 2 – середнє значення μ для призм PW-1, PW-2, PW-3

Висновки

1. Підсилення стиснутих бетонних елементів наклеюванням огортальних вуглецевих тканин є простим і ефективним способом збільшення їхньої міцності.
2. Кубова міцність бетону після підсилення тканиною з вуглецевих волокон збільшилась у середньому на 43%, призмova (залежно від довжини зони підсилення) – на 9 ÷ 28%.
3. Підсилення призм високоміцними вуглецевими волокнами практично не вплинуло на модуль пружності бетону у напрямку дії стискальної сили, але значно зменшило поперечні деформації за рахунок ефекту обойми.
4. Навіть дискретне (перерване) підсилення, хоча і менше порівняно з суцільним підсиленням, зміцнює стиснутий бетон. Таке підсилення можна використати в стиснутих зонах балкових залізобетонних елементів, коли повністю огорнути стиснутий бетон неможливо, наприклад, в місцях обпирання ребристих плит покриття.
5. Обойми з композитних матеріалів можна використати також для підсилення інших конструктивних стиснутих елементів, зокрема мурованих простінків, колон тощо.

1. Nanni A. and Bradford, N. M. (1995), *FRP jacketed concrete under uniaxial compression. Construction and Building Materials*, 9(2), 115–124. 2. Picher, F., Rochette, P. and Labossiere, P. (1996), *Confinement of concrete cylinders with CFRP. In Proceedings of 1 International Conferense on Composite Infrastructures, Tucson, Arizona, USA*, 829–841. 3. Matthys, S., Taerwe, L. And Audenaert, K. (1999), *Tests on axially loaded concrete columns confined by FRP sheet wrapping. In Proceedings of the 4th International Symposium on FRP for Reinforced Concrete Structures, Baltimore, USA*, 217–228. 4. Канюк В.М., Ониськів Б.М. Вплив середовища на міцність базальтопластика та його застосування для армування бетонів // *Збірник. Ресурсо-економічні матеріали конструкцій будівель та споруд.* – Рівне: РДТУ – 2003. – №9. – С. 246–269.