



УДК 624.072.012

EXPERIMENTAL RESEARCH OF THE COMPRESSIVE STRENGTH OF CONCRETE STRUCTURAL REINFORCED WITH FIBER REINFORCED POLYMER BARS**ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ МІЦНОСТІ СТИСТУНИХ БЕТОННИХ ЕЛЕМЕНТІВ З КОМПОЗИТНОЮ СТЕРЖНЕВОЮ АРМАТУРОЮ**

Клюмов Ю.А. / Клімов Ю.А.

d.t.s., prof. / д.т.н., проф.

ORCID: 0000-0002-4275-7058

*Kyiv National University of Construction and Architecture,**Kyiv, Povitrenih sil of Ukraine ave., 31, 03680**Київський Національний університет будівництва і архітектури,**Київ, пр. Повітряних сил України, 31, 03680*

Анотація: В роботі наведені результати експериментальних досліджень міцності бетонних зразків з композитною склопластиковою і базальтопластиковою арматурою на осьовий стиск при різних значеннях коефіцієнту армування і міцності бетону. Встановлено, що руйнування зразків носить крихкий характер, і при коефіцієнтах поздовжнього армування в межах 0,02.. 0,023 і міцності бетону 16,5 МПа і 27,8 МПа збільшення міцності зразків на осьовий стиск склало 12,3...21,9%. При цьому розрахункові значення міцності композитної арматури на стиск при руйнуванні склали 0,327...0,350 від тимчасового опору композитної арматури. Останнє дозволяє розглядати можливість врахування роботи композитної арматури на стиск з призначенням відповідних значень опору при проектуванні конструкцій.

Ключові слова: композит, арматура, склопластик, базальтопластик, міцність, руйнування, стиск, напруження.

Вступ

У сучасній світовій будівельній практиці все більшого поширення набуває композитна неметалева арматура, однією з головних переваг якої є більш висока корозійна стійкість в порівнянні з традиційною сталевією арматурою.

Композитна неметалева арматура являє собою основний несучий стержень і зовнішній шар, що утворює періодичний профіль арматури. Несучий стержень створюється гладким профілем з тонких волокон скла, базальту або інших матеріалів діаметром 5... 20 мкм, який просочений сполучною термореактивною смолою (пластиком). Композитна арматура виробляється пултрузійним методом – шляхом протягування волокон, просочених сполучною речовиною, через формуючу матрицю або методом підтрузії – без використання матриці. Профіль періодичного поперечного перерізу формується шляхом вдавлювання об'язки обмотки в зовнішній формувальний шар або шляхом спірального намотування несучого стрижня об'язувальним джгутом. Тимчасовий опір композитної арматури, в залежності від типу волокон несучого стрижня – скла, базальту, вуглеця або арамід, складає 600... 4000 МПа, модуль пружності – 50..130 ГПа відносно подовження після розриву – 2,0..4,0 %, щільність – 1,40...2,80 т/м³. Арматура характеризується лінійною залежністю напруження-деформації і з крихким руйнуванням зразків при випробуваннях на розтяг.

Проведені до цього часу експериментальні дослідження у галузі композитної арматури включали в себе дослідження механічних характеристик



в тому числі їх зміни у часі, зчеплення арматури з бетоном, довговічності при експлуатації у різних середовищах, включаючи агресивні, міцності, жорсткості і тріщиностійкості бетонних конструкцій з композитною арматурою та інші.

Разом з тим, кількість експериментальних досліджень механічних характеристик композитної арматури при стиску є вельми обмеженою, в яких зокрема встановлено, що міцність композитної арматури на стиск значно менше її міцності на розтяг і може скласти від 10 до 50% відповідних значень, залежить виду волокна, його об'ємної долі, типу смоли, розмірів зразків і методу випробувань[3], руйнування зазвичай проходить в наслідок мікрівипучівання або перекручування волокон несучого стержня у межах матриці, також меншим на 15-20% є і модуль пружності при стиску у порівнянні з модулем пружності при розтягу [1, 2, 3].

У зв'язку з цим, при проектуванні конструкцій міцність композитної арматури на стиск не враховується взагалі [1, 2, 3, 4, 5], або приймаються її обмежені значення, як 100 МПа і 130 МПа, відповідно, для композитної арматури з міцністю на розтяг 600 МПа і 800 МПа [6].

В той же час, зважаючи на те, що для визначення міцності композитної арматури на стиск випробувались окремі зразки арматури з співвідношенням довжини до діаметру 1:1 або 1:2 і їх руйнування відбувалося внаслідок мікрівипучівання волокон несучого стержня у межах матриці, доцільно було б визначати міцність на стиск на зразках композитної арматури, розташованій у бетоні, який стримує поперечні деформації волокон (мікрівипучівання), що відповідає роботі арматури у реальних конструкціях.

Основний текст

Ця робота присвячена експериментальним дослідженням по визначенню міцності композитної арматури на стиск на підставі результатів випробувань бетонних зразків з арматурою на осьовий стиск. У якості варіюваних факторів приймалися міцність бетону на стиск і коефіцієнт поздовжнього армування.

У якості дослідних були прийняті бетонні зразки (призми) квадратного поперечного перерізу розмірами 100x100 мм і довжиною 400 мм.

Для поздовжнього армування дослідних зразків були використані сталеві арматурні стержні періодичного перерізу класу А500С діаметром 16 мм, стержні з склопластикової арматури діаметром 16 мм класу АСК600 і базальтопластикової арматури класу АБК 600 діаметром 12 мм [6, с. 9]. Коефіцієнт поздовжнього армування зразків складав 0,02-0,023.

Всього було випробувано 27 зразків, які були поділені на 2 серії (І і ІІ) в залежності від міцності бетону на стиск, відповідно, – 27,9 МПа і 16,5 МПа. В межах серії зразки з арматурою класу А500С, класу АСК 600 і АБК 600 позначалися літерами, відповідно «S», «G» і «B». Еталонні зразки (бетонні призми без поздовжнього армування) позначалися літерою «C».

Склад експериментальних досліджень наведений в таблиці 1, схеми випробування армування дослідних зразків - на рисунку. 1. У процесі випробувань фіксувалися руйнівне навантаження і вид руйнування зразків.

Зразки випробувались у віці 28 діб. Випробування проводилися на пресі П-125, який був обладнаний електронним динамометром. Зразки завантажували



безперервно зі швидкістю, що забезпечувала збільшення розрахункового напруження в зразках в межах $0,6 \pm 0,4$ МПа/с і доводили до повного руйнування. Час випробувань зразка до руйнування складав 4-7 хвилин.

Таблиця 1 - Склад експериментальних досліджень

Серія	Марка	Міцність бетону на стиск, МПа	Поздовжнє армування, A_f	Коефіцієнт поздовжнього армування, ρ_f	Кількість дослідних зразків, шт.
I	I-0	27,9	–	0	3
	I-S		Ø16 А500С	0,02	3
	I-G		Ø16 АСК600	0,02	6
	I-B		2Ø12 АБК600	0,023	6
II	II-0	16,5	–	0	3
	II-G		Ø16 АСК600	0,02	6

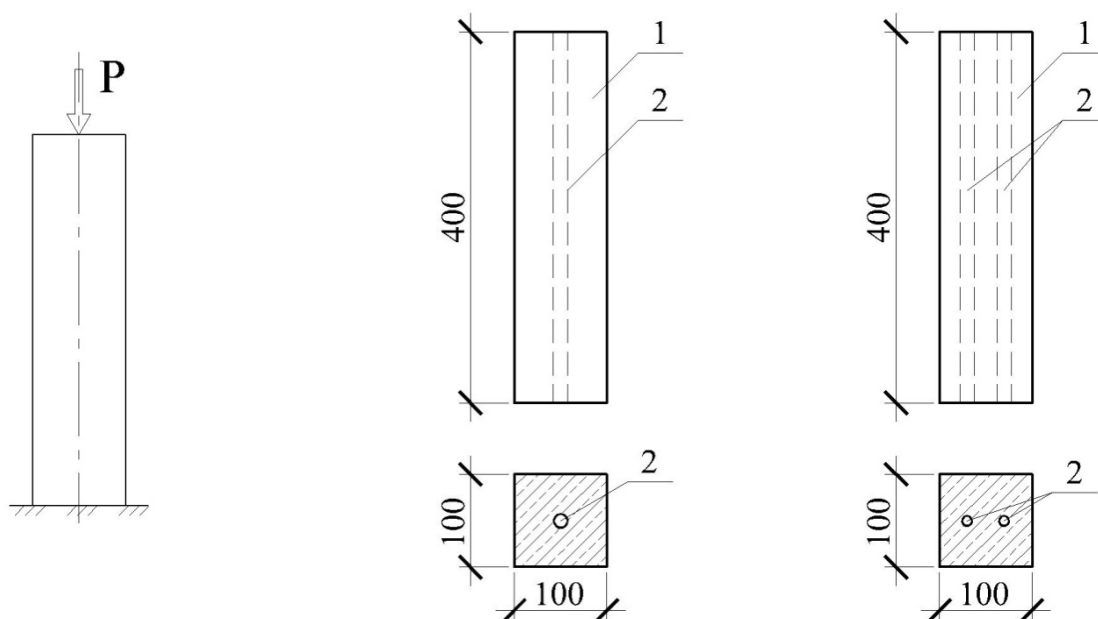


Рис. 1 - Схема випробувань (а) і конструкція дослідних зразків при розміщенні одного (б) і двох (в) стержнів арматури у поперечному перерізі; 1 – бетонна призма; 2 – стержень (стержні) композитної арматури

За результатами випробувань обчислювалися напруження у поздовжній арматурі на стадії руйнування зразка за умови сумісної роботи арматури і бетону на всіх етапах навантаження. Виходячи з цього, напруження в арматурі обчислювалися за формулою:

$$\sigma_{fc} = \frac{P_u - (A_c - A_{fc})f_c}{A_{fc}} \quad (1)$$

де σ_{fc} – напруження в арматурі;



P_u – руйнівне навантаження;

A_c – площа поперечного перерізу зразка;

A_{fc} – площа поперечного перерізу арматури зразка;

f_c – міцність бетону за результатами випробувань бетонних зразків (марки

I-0 і II-0, табл.1).

В результаті проведених досліджень встановлено, що руйнування зразків з композитною арматурою носить крихкий характер і не відрізняється від руйнування зразків з металевою арматурою. Результати експериментальних досліджень – руйнівне навантаження і розрахункові значення напружень в поздовжній арматурі дослідних зразків при руйнуванні, обчислені за формулою (1), наведені в таблиці 2.

Таблиця 2 - Результати експериментальних досліджень

Серія	Марка зразка	Руйнівне навантаження P_u , кН	Середнє значення руйнівного навантаження $P_{u,med}$, кН	Напруження в арматурі, σ_{fc} , МПа	Середнє значення напруження в арматурі $\sigma_{fc,med}$ МПа
1	2	3	4	5	6
I	I-0-1	304	278,6	—	—
	I-0-2	265			
	I-0-3	267			
	I-S-1	356	377,69	413,3	520,8
	I-S-2	384		549,9	
	I-S-3	393		598,7	
	I-G-1	312	312,29	194,0	195,7
	I-G-2	315		208,4	
	I-G-3	306		164,5	
	I-G-4	312		193,7	
	I-G-5	317		218,1	
	I-G-6	312		193,7	
	I-B-1	316	320,05	192,7	210,1
	I-B-2	339		296,8	
	I-B-3	316		192,7	
	I-B-4	314		184,0	
	I-B-5	315		188,3	
	I-B-6	320		212,2	
II	II-0-1	169	164,67	—	—
	II-0-2	168			
	II-0-3	157			



II-G-1	202		202,1	
II-G-2	201		197,2	
II-G-3	190	200,83	142,5	196,3
II-G-4	210		241,9	
II-G-5	210		241,9	
II-G-6	192		152,4	

Висновки

Узагальнення, систематизація і аналіз результатів проведених досліджень дозволяють зробити такі основні висновки.

Поздовжнє армування сталевую і композитною арматурою призводить до збільшення міцності бетонних елементів при центральному стиску. Так, поздовжнє армування сталевую арматурою класу А500С при відповідному коефіцієнті 0,02 призводить до збільшення міцності при центральному стиску на 35,6%.

В той же час, при решті рівних умов, армування композитною склопластиковою і базальтопластиковою арматурою з більшим класом міцності на розтяг - АСК600 і АСК600 призводить до значно меншого збільшення міцності при центральному стиску, відповідно на 12,3 % при коефіцієнті армування 0,02 і 14,9% при коефіцієнті армування 0,023 (табл.2, серія I). Зі зменшенням міцності бетону з 27,8 МПа до 16,5 МПа, як і очікувалось, відсоток збільшення міцності елементів при армуванні композитною арматурою збільшувався – у проведених дослідах з 12,3 % до 21,9% (табл.2, серія II).

Розрахункове значення напружень у сталевій арматурі при руйнування складало 520,8 МПа, що відповідало міцності арматури на стиск (розтяг).

Розрахункове значення напружень у композитній склопластиковій і базальтопластиковій арматурі на стадії руйнування складало 196,3...210,1 МПа, що відповідало 0,327...0,350 від тимчасового опору композитної арматури.

Таким чином, міцність композитної склопластикової і базальтопластикової арматури на стиск у бетонному масиві вище ніж при випробуванні окремих стрижнів, але все ж таки не перевищує 35% від тимчасового опору композитної арматури. На це значення, після проведення додаткових експериментальних досліджень і введення відповідного коефіцієнта надійності, у подальшому можна орієнтуватися при проектуванні конструкцій.

Література

1. ACI 440.1R-15 Guide for the Design and Construction of Structural Concrete Reinforced with Fiber Reinforced Polymer (FRP) Bars. // American Concrete Institute // - 2006. -83 p.
2. Reinforcing Concrete Structure with Fiber Reinforced Polymer. Design Manual № 3. // - ISIS Canada Research Network. – 15.5p.
3. FIB Bulletin 40: FRP reinforcement in RC structures. // - International Federation for Structural Concrete 2007. - 160 p.



4. CNR-DT 203/2006 Guide for the Design and Construction of Concrete Structures Reinforced with Fiber-Reinforced Polymer Bars. // -National Research Council, ROME – CNR June 2007. - 35 p.

5. ШНК 2.03-14-18 Бетонные конструкции с композитной полимерной арматурой. // - Министерство строительства республики Узбекистан, Ташкент, 2018.- 157 с.

6. ДСТУ - Н Б. В.2.6-155:2010 Настанова з проектування та виготовлення бетонних конструкцій з неметалевою композитною арматурою на основі базальто- і склоровінгу. // - Мінрегіонбуд України, Київ, 2012. – 28с.

Abstract. *Fiber reinforced polymer (FRB) bars, which is increasingly used in construction practice, has, first of all, a higher corrosion resistance compared to traditional reinforced steel bars. Experimental research carried out so far in the field of properties of (FRB) bars included the research of mechanical characteristics, including their changes over time, adhesion to concrete, durability during operation in various environments, including aggressive ones, strength, rigidity and crack resistance of concrete structures with (FRB) bars and others. At the same time, there is little research on the compressive strength of (FRB) bars in concrete structures.*

This paper presents the results of experimental studies of the axial compressive strength of concrete samples with glass-polymer and basalt-polymer (FRB) bars at different values of the reinforcement coefficient and concrete strength. It was found that the destruction of samples is fragile, and with longitudinal reinforcement coefficients within 0.02.. 0.023 and concrete strength of 16.5 MPa and 27.8 MPa, the increase in axial compressive strength is 12.3... 21,9%. At the same time, the calculated values of the compressive strength (FRB) bars at fracture were 0.327... 0.350 of the tensile strength, which allows us to consider the possibility of taking into account the compressive strength of (FRB) bars in the design of structures.

Key words: *polymer, fiber, reinforcement, bars, glass-polymer, basalt-polymer, strength, fracture, compression, stress.*