

УДК 624.012.25

**ЗЧЕПЛЕННЯ ВАЖКОГО БЕТОНУ З КОМПОЗИТНОЮ  
СКЛОПЛАСТИКОВОЮ АРМАТУРОЮ ПОКРИТОЮ  
ВОДОВІДШТОВХУВАЛЬНОЮ КОМПОЗИЦІЄЮ «СИЛОЛ®»**

**ADHESION OF HEAVY CONCRETE WITH COMPOSITE  
FIBERGLASS ARMATURE COVERED WITH WATER-  
REPELLENT COMPOSITION "SILOL®"**

Чапюк О.С., к.т.н, доц., Олех В.В., асп. (Луцький національний технічний університет, м. Луцьк), Орешкін Д.О., генеральний директор (ТОВ Технологічна Група «ЕКІПАЖ», м. Харків)

Chapiuk O, Ph.D., Assoc. Olech V, PhD student., (Lutsk National Technical University, Lutsk), Oreshkin D, CEO ("EKIPAGE" LLS, Kharkov)

Проведено детальний аналіз впливу водовідштовхувальної композиції «СИЛОЛ®» на зчеплення склопластикової арматури з бетоном класу С12/15 залежно від кількості покриття стержнів. Встановлено, що кожен шар значно збільшує зчеплення композитної арматури з бетоном.

A detailed analysis is carried out or affects the adhesion of the reinforcing rod with the concrete prism depending on the coating of the water-repellent composition SILOL®. The experimental results clutch composite fiberglass reinforcement of heavy concrete class C12 / 15.

Coating this material composite fiberglass reinforcement significantly increases its adhesion with the concrete. Specimens with embedment length of 10 d ( $l_{an}=160$  mm), which rods were coated with single-layer material SILOL® was 12.8% stronger, and with double-layer covering of 35.9% compared to samples in which the valve is not covered.

Ключова слова: композитна склопластиково арматура, зчеплення, важкий бетон, клас бетону С12/15, «СИЛОЛ®», водовідштовхувальна композиція, призмий метод, бетонна призма, поперечний переріз.

Key words: FRP-rebars, heavy concrete, concrete class C12/15, SILOL®, water repellent composition, prism method, couplings, concrete prism, cross-section

Для широкого застосування композитної арматури в будівництві необхідні цілеспрямовані експериментальні дослідження як міцності, жорсткості, тріщиностійкості і довговічності самих стержнів, так і спільної роботи з бетоном. В роботі досліджено вплив матеріалу «СІЛОЛ®» на довговічність стержнів та зчеплення з бетоном.

Для більш детального дослідження були виготовлені зразки з скловолокнистою композитною арматурою ЕКІВАР® діаметром номінальним 16 мм класу АКС 800 ТУ У В.2.7-25.2-21191464-024:2011, покритою одним чи двома шарами матеріалу «СІЛОЛ®» (рис. 1).



Рис. 1. Композитна склопластикова арматура діаметром 16 мм:  
о – не покрита композицією «СІЛОЛ®»;  
- – покрита в 1 шар композицією «СІЛОЛ®»  
х – покрита в 2 шари композицією «СІЛОЛ®»

«СІЛОЛ®» - рідка силосанова композиція, яка використовується для нанесення на поверхню дорожньо-будівельних конструкцій, просочення пористих матеріалів (бетон, залізобетон, композитна склопластикова арматура, цегла та ін.) з метою надання їм водовідштовхувальних властивостей і зниження водопоглинання. В результаті обробки вони набувають високу стійкість до дії води і розчинів солей, морозу і атмосферостійкість, довговічність. Витрата при дворазовому нанесенні: 200-250 мл / м<sup>2</sup>, в залежності від пористості матеріалу і бажаної глибини

просочення. Розчин не утворює поверхневого покриття, проникає на глибину 2 - 10 мм і перетворюється в еластичну смолу, яка надає водовідштовхувальні (гідрофобні) властивості пористих матеріалів.

Для дослідження обраний бетон класу С12/15, механічні характеристики якого були визначені шляхом випробовування бетонних кубів з розміром ребер 15см і призм з поперечним перерізом 15×15 см, висотою 60см, які виготовлялися одночасно з виготовленням основних зразків. Характеристики бетону класу С12/15: кубикова міцність у віці 28 діб –  $f_c = 19,19$  МПа; призмova міцність у віці 56 діб –  $f_{cd} = 14,37$  МПа.

Для ослідження впливу матеріалу «СІЛОЛ®» на зчеплення бетону з склопластиковою арматурою, покритою цим розчином, були виготовлені зразки у вигляді бетонних призм квадратного перерізу зі стороною 150 мм та 250 мм. Висота призм обиралась залежно від довжини анкерування стержнів і становила  $5d$ ,  $10d$  та  $15d$  ( $d$  – діаметр стержнів, в даному випадку  $d=16$ мм). Матеріалом «СІЛОЛ®» було покрито поверхню композитної склопластикової арматури суцільним рівномірним шаром. Час висихання при температурі  $+20^{\circ}\text{C}$  складає 120 хвилин. (рис. 2, а).

Арматурні стержні розташовувались в бетонних призмах таким чином, щоб їхні поздовжні осі співпадали. Виступаючі частини стержнів повинні були дозволяти з одного боку закріплюватись в захваті преса, а з другого (вільного) - вимірювати його переміщення відносно торця призм [1].

Дослідження зчеплення композитної арматури з бетоном були виконані шляхом висмикування стержня з бетонної призми в розривній гідравлічній машині [2]. Навантаження прикладалось до стержня ступенями в 1,0 кН. Під час навантажень вимірювали переміщення вільного кінця стержня відносно торця призми індикатором годинникового типу з ціною поділки 0,001 мм (рис. 2, б).

Для того, щоб уникнути пошкодження поверхні арматури в захваті преса, на вільний кінець стержня було приклеєно металеву трубку, яка скріплювалась зі стержнем за допомогою двохкомпонентної епоксидної смоли, та кварцового піску у співвідношенні 1:1 (рис. 3).



Рис. 2. Дослідні зразки – бетонні призми: а – загальний вигляд бетонних призм першої серії 12шт; б – загальний вигляд випробування бетонних призм



Рис. 3. Захист арматурного стержня від пошкодження в захваті преса

Дослідні зразки позначалися залежно від кількості покриття стержнів матеріалом «СІЛОЛ®» 1П-8/16-0, 1П-8/16-1, 1П-8/16-2 (число перед буквою „П” (призма) означає номер серії, друге число – довжина анкерування в мм ( $5d$ ,  $10d$ ,  $15d$ , де  $d$  – діаметр арматури, в даному дослідженні  $d=16$  мм), третє – діаметр арматури в мм), четверте – кількість шарів покриття стержнів матеріалом «СІЛОЛ®» (0-не покриті; 1 – один шар; 2 – два шари). Бетонні призми розмірами поперечного перерізу  $150 \times 150$  мм класу бетону С12/15. Граничне значення  $\delta_u = 0,2$  мм (рис. 4) було досягнуто при напруженнях в стержнях  $f_{yd} = 39,0$  МПа (1П-8/16-0); 46,3 МПа (1П-8/16-1) і 51,2 МПа (1П-8/16-2).

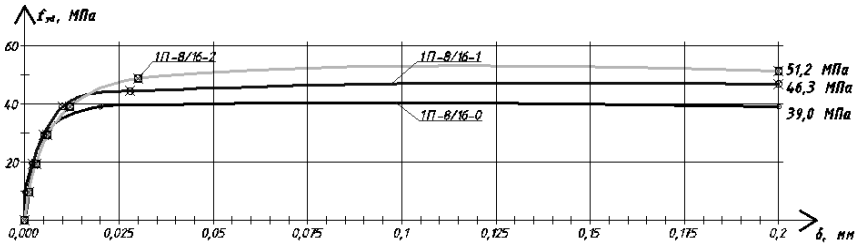


Рис. 4. Зміна проковзування  $\delta$  стержнів залежно від напруження  $f_{yd}$  (поперечного перерізу 150x150 мм, клас бетону С12/15): ○ – призми 1P-8/16-0; ☒ – 1P-8/16-1; ☒ – 1P-8/16-2;

Руйнування зразків з довжиною анкерування  $10d$  ( $l_{an} = 160$  мм, поперечного перерізу 150x150 мм, клас бетону С12/15) відбулося при напруженнях (рис. 5) в стержнях відповідно  $f_{yd} = 170,7$  МПа (1P-16/16-0); 175,6 МПа (1P-16/16-1) і 192,6 МПа (1P-16/16-2).

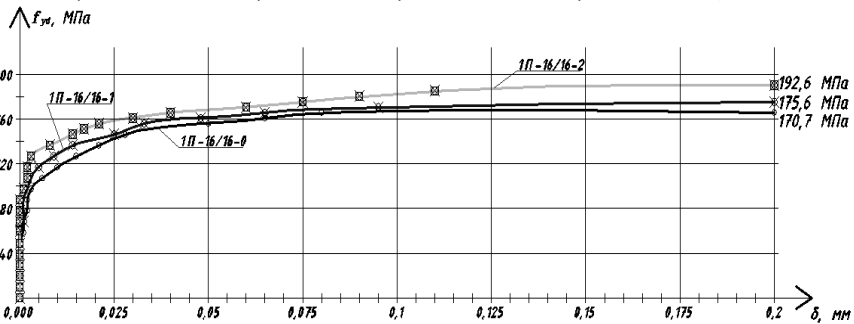


Рис. 5. Зміна проковзування  $\delta$  стержнів залежно від напруження  $f_{yd}$  (поперечного перерізу 150x150 мм, клас бетону С12/15): ○ – призми 1P-16/16-0; ☒ – 1P-16/16-1; ☒ – 1P-16/16-2;

Прокковзування вільного кінця стержнів на  $\delta_u = 0,2$  мм відносно бетону у зразках (рис. 6) з довжиною анкерування  $15d$  ( $l_{an} = 240$  мм, поперечного перерізу 150x150 мм, клас бетону С12/15), було досягнуто при напруженнях в стержнях відповідно  $f_{yd} = 292,6$  МПа (1P-24/16-0); 360,9 МПа (1P-24/16-1) і 375,5 МПа (1P-24/16-2).

Для дослідження впливу розмірів бетонної оболонки на величину руйнівного зусилля витягання (висмикування) арматурного стержня з бетону були виготовлені зразки з поперечним перерізом бетонних призм (рис. 7) 250x250 мм з довжиною анкерування  $10d$  ( $l_{an} = 160$  мм, клас бетону С12/15).

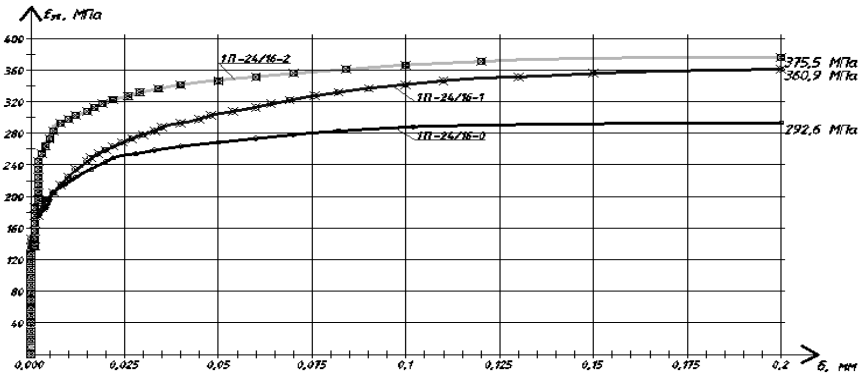


Рис. 6. Зміна проковзування  $\delta$  стержнів залежно від напруження  $f_{yd}$  (поперечного перерізу 150x150 мм, клас бетону С12/15): ○ – призми 1P-24/16-0; ☒ – 1P-24/16-1; ☐ – 1P-24/16-2;

Руйнування зразків відбулося при значно більших напруженнях в стержнях ніж в аналогічних зразках з поперечним перерізом бетонних призм 150x150 мм. Проковзування вільного кінця стержнів на  $\delta_u = 0,2$  мм відносно бетону у зразках 1P-16/16-0 було досягнуто при напруженнях  $f_{yd} = 190,2$  МПа; 1P-16/16-1 при  $f_{yd} = 214,6$  МПа і 258,5 МПа в зразках 1P-16/16-2

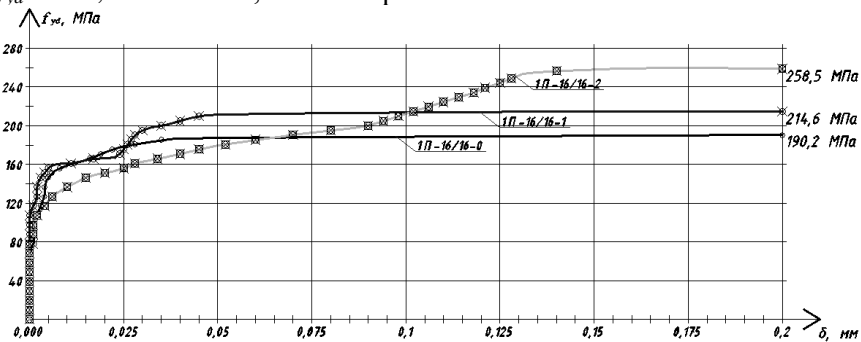


Рис. 7. Зміна проковзування  $\delta$  стержнів залежно від напруження  $f_{yd}$  (поперечного перерізу 250x250 мм, клас бетону С12/15): ○ – призми 1P-16/16-0; ☒ – 1P-16/16-1; ☐ – 1P-16/16-2;

Отже, кількість шарів покриття композитної склопластикової арматури матеріалом «СІЛОЛ®», збільшення довжини анкерування та розмірів поперечного перерізу бетонних призм збільшують граничне напруження зчеплення стержнів з бетоном.

За результатами випробувань для кожної групи зразків обчислювалися значення максимальних дотичних напружень зчеплення  $\tau_u$ , приймаючи їх постійними по довжині стержня, за формулою:

$$\tau_u = f_{yd} A_s / (\pi d l_{an}), \quad (1)$$

де  $f_{yd}$  – напруження в стержнях при  $\delta_u = 0,2$  мм;  
 $A_s, d$  – відповідно площа та діаметр стержнів;  
 $l_{an}$  – довжина анкерування стержнів в бетоні.

Максимальні дотичні напруження зчеплення (таблиця 1)  $\tau_u$  у зразках з довжиною анкерування  $l_{an} = 80$  мм, поперечним перерізом 150x150 мм, класом бетону С12/15 склали для: 1П-8/16-0  $\tau_u = 1,95$  МПа, 1П-8/16-1  $\tau_u = 2,32$  МПа та  $\tau_u = 2,56$  МПа для 1П-8/16-2. Різниця між значеннями дотичних напружень зчеплення зразків непокритих «СІЛОЛ®» та одноразово покритими складає 18,5%, а при непокритому та дворазовому покритті 31,3%.

У зразках довжиною анкерування  $l_{an} = 160$  мм, поперечним перерізом 150x150 мм, класом бетону С12/15 граничні дотичні напруження склали для: 1П-16/16-0  $\tau_u = 4,27$  МПа, 1П-16/16-1  $\tau_u = 4,39$  МПа та  $\tau_u = 4,82$  МПа – 1П-16/16-2. Різниця між значеннями дотичних напружень зразків непокритих «СІЛОЛ®» та одноразово покритими складає 2,8%, а при непокритому та дворазовому покритті 12,9%.

Зразки з довжиною анкерування  $l_{an} = 240$  мм, поперечним перерізом 150x150 мм, класом бетону С12/15 показали дещо інші значення дотичних напружень: для 1П-24/16-0  $\tau_u = 4,88$  МПа, 1П-24/16-1  $\tau_u = 6,02$  МПа та  $\tau_u = 6,26$  МПа 1П-24/16-2. Різниця між значеннями дотичних напружень зразків непокритих «СІЛОЛ®» та одноразово покритими складає 23,4%, а при непокритому та дворазовому покритті 28,3%.

У зразках з довжиною анкерування  $l_{an} = 160$  мм, поперечним перерізом 250x250 мм, класом бетону С12/15 склали для: 1П-16/16-0  $\tau_u = 4,76$  МПа, 1П-16/16-1  $\tau_u = 5,37$  МПа та  $\tau_u = 6,46$  МПа для 1П-16/16-2. Різниця між значеннями дотичних напружень зразків непокритих «СІЛОЛ®» та одноразово покритими складає 12,8%, а при непокритому та дворазовому покритті 35,7%.

При порівнянні значень дотичних напружень у дослідних зразках простежується закономірність, що зі збільшенням площі поперечного перерізу бетонних призми від 150x150 мм до 250x250 мм класу бетону С12/15 дотичні напруження в зразках теж збільшуються.

При поперечному перерізі 250x250 мм дотичні напруження в середньому на 22,6% більші від дотичних напружень, що виникли у дослідних зразках з поперечним перерізом 150x150мм.

Таблиця 1

Максимальні дотичні напруження зчеплення зразків

Довжина анкерування	Кількість шарів матеріалом «СІЛОЛ®»	Максимальні дотичні напруження зразків 150x150 мм	Максимальні дотичні напруження п/п зразків 250x250 мм
5d (80мм)	0	1,95	
	1	2,32	
	2	2,56	
10d (160мм)	0	4,27	4,78
	1	4,39	5,37
	2	4,87	6,48
15d (240мм)	0	4,88	
	1	6,01	
	2	6,28	

1. Покриття матеріалом «СІЛОЛ®» композитної склопластикової арматури значно збільшує зчеплення її з бетоном. Зразки з довжиною анкерування  $10 d$  ( $l_{an}=160$  мм), у яких стержні були покриті матеріалом «СІЛОЛ®» виявились на 12,8% міцніші, а при дворазовому покритті на 35,9% порівняно зі зразками, в яких арматура не покрита.

2. Збільшення довжини анкерування вдвічі з  $5d$  до  $10d$  призводить до збільшення дотичних напружень зчеплення в 2 рази, а при збільшенні довжини анкерування втричі з  $5d$  до  $15d$  в 2,55 рази.

3. Експериментально доведено, що збільшення поперечного перерізу бетонних призм призводить до збільшення граничних напружень зчеплення і складає для зразків з розмірами бетонних призм 150x150 мм та 250x250 мм 11,5%, при одноразовому покритті матеріалом «СІЛОЛ®» 22,3%, а при дворазовому покритті 34%.

1. Чапук О.С. Особливості зчеплення арматури серповидного профілю з бетоном : монографія / О. С. Чапук; Луц. нац. техн. ун-т. - Луцьк : РВВ ЛНТУ, 2012. - 164 с.

2. Холмянский М.М. Методика экспериментального исследования сцепления арматуры с бетоном / М.М. Холмянский // Методика лабораторных исследований деформаций и прочности бетона, арматуры и железобетонных конструкций. – М., 1963. – С. 138-147.