

УДК 624.012.25: 539.319

**ВПЛИВ ЗАХИСНОГО ШАРУ НА ГРАНИЧНІ НАПРУЖЕННЯ ЗЧЕПЛЕННЯ АРМАТУРИ З ВИСОКОМІЦНИМ БЕТОНОМ**

**DEPTH OF THE CONCRETE COVER SUBSTANTIALLY AFFECTS THE MAXIMUM STRESSES OF THE BOND BETWEEN CONCRETE AND STEEL**

**Бабич Є.М., д. т. н, проф.,** ORCID ID: 0000-0003-1746-9991, **Філіпчук С.В. к.т.н., доц.,** ORCID ID: 0000-0002-4464-4620 (Національний університет водного господарства та природокористування, м. Рівне),

**Babych Y.M, Dr, Prof.,** ORCID ID: 0000-0003-1746-9991 **Filipchuk S.V. candidate of technical sciences, associate professor,** ORCID ID: 0000-0002-4464-4620 (National University of Water Management and Nature Resources Use, Rivne)

**Наведені результати експериментальних досліджень зчеплення арматури з високоміцним бетоном. Проведений аналіз впливу захисного шару на граничні напруження зчеплення арматури з бетоном.**

**The article gives the results of the experimental researches of the bond between steel and high strength concrete. The analysis of the impact of the concrete cover on the boundary stresses of the bond between steel and concrete was carried out. The analysis of regression equation structures shows the absence of the linear impact of the bar diameter on the boundary stresses of the bond  $f_b$ . The obtained mathematical model allows analyzing the impact of factors, that were investigated on the boundary stresses on the contact surface of steel and concrete. The analysis of the results of the experimental researches speaks that the depth of the concrete cover has a significant impact on the boundary bond stresses. The maximum bond occurs at the largest concrete cover, while the minimum bond being at the least. The longitudinal cracks were formed along the longitudinal actions of the bars as a result of the wedging moment of the transverse actions, located at the angle to the direction of pulling out the bars. It has been experimentally proved that the depth of the concrete cover substantially affects the maximum stresses of the bond between concrete and steel and the character of destructing prisms.**

**Ключові слова:**

Міцність, арматура, бетон, зчеплення.

Strength, armature, concrete, adhesion.

**Вступ.** Державні будівельні норми «Загальні принципи забезпечення надійності та конструктивної безпеки будівель, споруд, будівельних конструкцій та основ (ДБН В.1.2-142009) встановлюють жорсткі вимоги як до будівельних об'єктів взагалі, так і до будівельних конструкцій зокрема з питань забезпечення їхньої надійності впродовж встановленого терміну експлуатації. Надійність залізобетонних конструкцій залежить від анкерування арматури, під якою розуміється закріплення стержнів всередині бетону з метою сприймання ними повної величини зусиль. Анкерування арматури може здійснюватися силами зчеплення з бетоном по поверхні контакту або спеціальними анкерними пристроями. При використанні арматури періодичного профілю її анкерування забезпечується, в основному, силами зчеплення.

Надійність залізобетонних конструкцій залежить від анкерування арматури, під якою розуміється закріплення стержнів всередині бетону з метою сприймання ними повної величини зусиль. Анкерування арматури може здійснюватися силами зчеплення з бетоном по поверхні контакту або спеціальними анкерними пристроями. При використанні арматури періодичного профілю її анкерування забезпечується, в основному, силами зчеплення [1].

Зчеплення арматури з бетоном є важливою якістю залізобетону, яка визначає його несучу здатність, жорсткість та тріщиностійкість, залежить від великої кількості факторів: міцності бетону, виду і діаметра арматури, довжини зароблення стержнів у бетон, товщини захисного шару бетону, характеру навантаження, тривалих процесів, гранулометричного складу суміші, природи наповнювачів, умов твердіння, розташування стержнів при бетонуванні тощо. В зв'язку з цим надійність анкерування арматури в залізобетонних конструкціях також залежить від численних факторів, які визначають її зчеплення з бетоном. Із-за великої кількості впливових факторів задача вивчення зчеплення арматури з бетоном складна, але дуже актуальна.

На сьогодні значне розширення області використання залізобетонних конструкцій, особливо в фортифікаційних спорудах, потребує застосування високоміцних бетонів класів С70, С80 і вище [2,3]

**Методика досліджень.** Поряд з основними зразками виготовлялися кубики розміром 150×150×150 мм в кількості 6 штук для визначення кубикової міцності бетону у віці 28 діб і в період випробувань зразків, призми розміром 150×150×600 мм в кількості 6 штук для визначення призмової міцності бетону й початкового модуля пружності у віці 28 діб та під час випробувань зразків.

У віці 28 діб середня кубикова міцність для дослідного бетону склала відповідно  $f_{cm,cube} = 70,4$  МПа. Середня призмova міцність бетону для прийнятого класу бетону склала  $f_{cm,prism} = 58,8$  МПа [4].

В дослідах використовували арматуру класу А500С діаметром 12, 16 та 20 мм, яка найбільш поширено використовується для армування залізобетонних конструкцій. Індекс Рема для цих стержнів відповідно склав  $f_R = 0,070$ ;  $0,075$  та  $0,071$ , що відповідає середнім значенням, які забезпечують необхідне зчеплення з бетоном.

За результатами випробувань по три зразки – близнюки визначена міцність арматури на межі текучості, яка для стержнів діаметром 12, 16 та 20 мм відповідно склала  $f_y = 511,8$ ;  $566,8$  та  $595,2$  МПа, а міцність на розтяг -  $f_t = 605,5$ ;  $703,6$  і  $761,4$  МПа. Відносні деформації при напруженнях на межі текучості склали  $\varepsilon_{s0} = 262,5 \times 10^{-5}$ ;  $\varepsilon_{s0} = 272,5 \times 10^{-5}$  та  $\varepsilon_{s0} = 278,1 \times 10^{-5}$ . Всі механічні характеристики арматури відповідають класу А500С.

Основні дослідні зразки виготовляли у вигляді бетонних призм квадратного перерізу, сторони якого дорівнювали 15 см, а висота - запланованій довжині анкерування. Арматурні стержні розташовували в призмах таким чином, щоб їхні поздовжні осі співпадали, а виступаючі з призм частини стержнів дозволяли з одного боку закріплювати в захватах гідравлічного преса, а з другого (вільного) кінця стержнів – вимірювати їхні переміщення відносно торця призм (Рис 1).

В кожній точці плану виготовляли по три зразки – близнюки, а на основному рівні – шість зразків. Крім цього виготовляли бетонні зразки у вигляді стандартних кубів і призм для визначення міцнісних властивостей бетону при стиску, а також призм для визначення міцності бетону при розтяганні. Всього відповідно до плану було випробувано 18 основних зразки. Формування зразків здійснювали в дерев'яних формах, в які попередньо встановлювалися арматурні стержні.



Рис 1: Загальний вигляд випробування зразків

Дослідження зчеплення арматури з бетоном здійснювали шляхом витягування стержнів із бетонних призм з використанням спеціального реверсного пристрою в розривній гідравлічній машині УИМ–50. Витягування стержнів виконували ступенями, рівними  $\Delta F = (0,5 \dots 1,0)$  кН

За граничний стан зчеплення арматури з бетоном приймали зусилля в стержні  $F_{ui}$ , коли зміщення його вільного кінця відносно торця призми складало  $\delta_u = 0,1$  мм або відбувалося розколювання призми при  $\delta < 0,1$  мм.

В граничному стані визначалися максимальні середні по довжині дотичні напруження (напруження зчеплення) для кожного зразка за формулою

$$f_{bi} = F_{ui} / (\pi \cdot d \cdot l_b), \quad (1)$$

де  $f_{bi}$  - граничні середні по довжині напруження зчеплення  $i$ -го зразка по поверхні контакту стержня з бетоном;

$F_{ui}$  – руйнуюче зусилля  $i$ -го зразка в граничному стані;

$d$  – діаметр стержня;

$l_b$  – довжина заробки стержня в бетон (довжина анкерування стержня).

Граничні середні дотичні напруження, які виникають на поверхні контакту стержня з бетоном  $f_b$ , що визначалися за формулою (1), можна називати міцністю зчеплення арматури з бетоном. Критерієм міцності є зміщення торця стержня в бетоні на 0,1 мм і більше або розколювання бетону

**Аналіз впливу захисного шару на граничні напруження зчеплення арматури з бетоном.** Аналіз результатів експериментальних досліджень свідчить, що товщина захисного шару суттєво впливає на граничні напруження зчеплення. Так при захисному шарі  $c = 36$  мм (стержні розташовані по осі бетонної призми) для арматури  $d = 12$  мм максимальні напруження зчеплення склали  $f_b = 12,17$  МПа, а при  $c = 18$  ( $c = 1,5d$ ) і  $c = 12$  мм ( $c = 1,0d$ ) відповідно  $f_b = 10,39$  і  $9,86$  МПа. Аналогічне відносне зменшення напружень зчеплення спостерігається і в зразках з діаметром арматури 16 і 20 мм. Таким чином максимальне зчеплення спостерігалось при найбільшому захисному шарові, а мінімальне при найменшому (рис. 2).

Характер руйнування зразків також залежить від товщини захисного шару. При  $c = 3d$  руйнування відбувалося по трьом – чотирьом площинах з виходом тріщин на бокові поверхні, призма розділялася на окремі елементи. Проте в призмах із захисним шаром  $l_b = 10d$  спостерігалось висмикування стержня з утворенням поздовжніх тріщин в напрямку до всіх граней. При  $c = 1,5d$  тріщини розвивалися в межах захисного шару, а безпосередньо перед повним руйнуванням – в напрямку до бічних граней. В зразках, в яких  $c = 1d$ , руйнування відбувалося по площині, яка перетинала захисний шар. Треба зазначити, що поздовжні тріщини утворювалися вздовж поздовжніх виступів стержнів, внаслідок розклинювальної дії поперечних виступів, які розташовані під кутом до напрямку витягування стержнів (рис. 3).

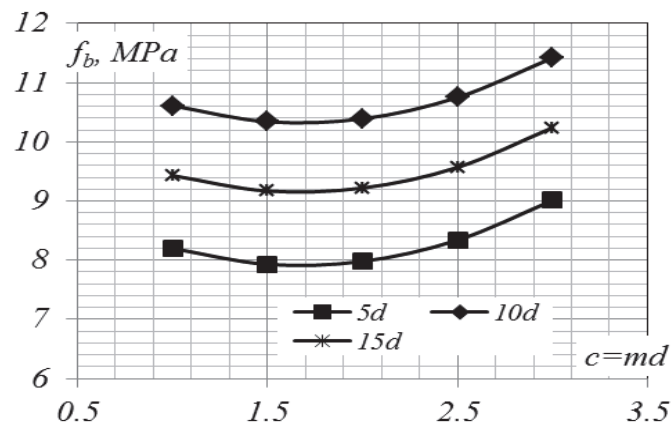
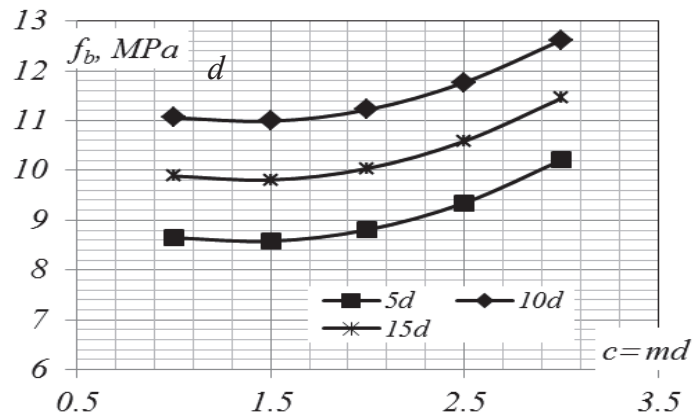
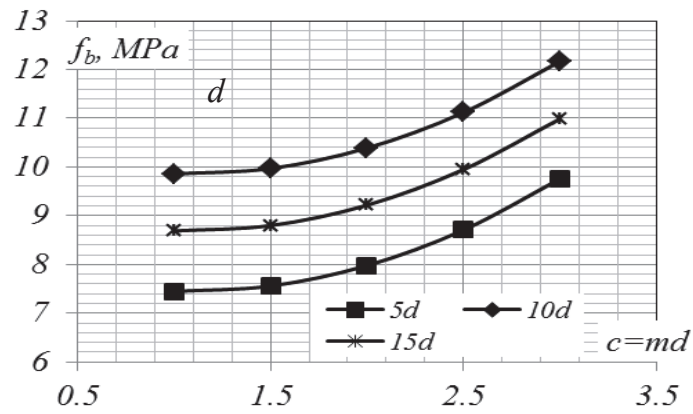
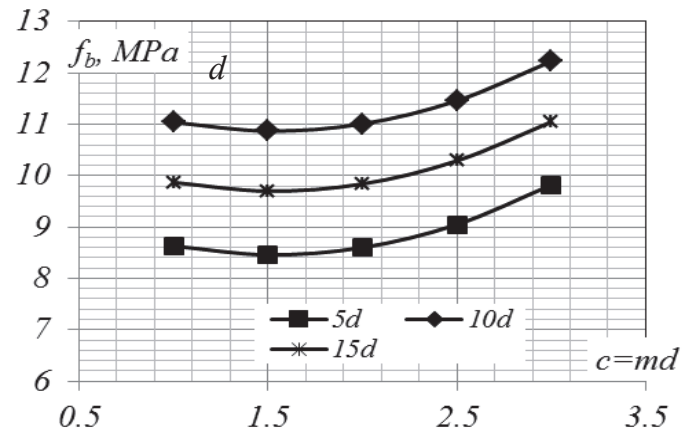


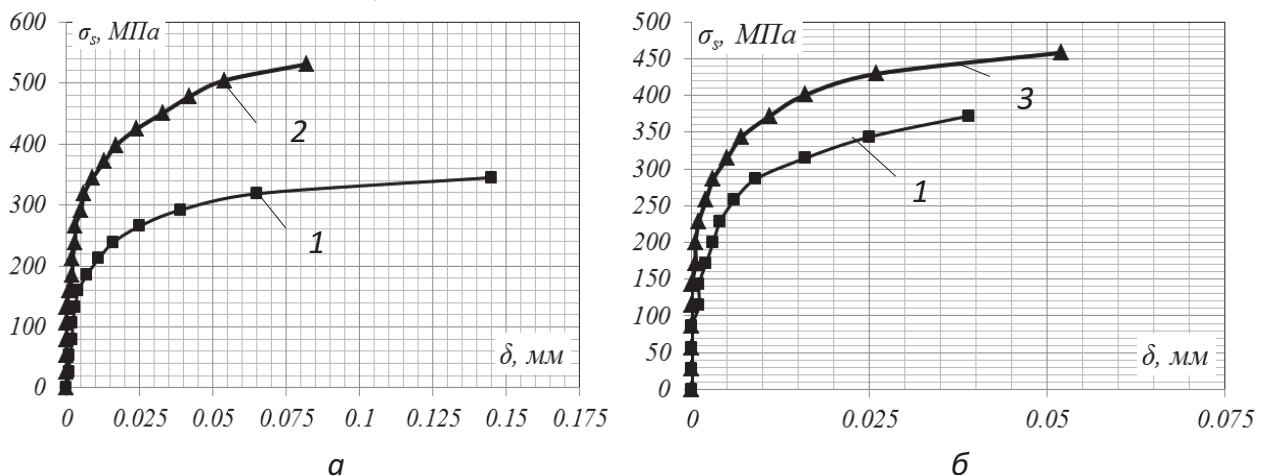
Рис. 2. Вплив величини захисного шару бетону на граничні напруження зчеплення по поверхні контакту з бетоном



Рис. 3. Характер руйнування зразків з діаметром стержнів 16 мм

**Вплив товщини захисного шару на проковзування стержнів.** В процесі випробувань вимірювалися зміщення вільного кінця стержнів, які теж в значній мірі залежать від товщини захисного шару і діаметра арматури (рис. 4). Наприклад, в зразках з діаметром арматури  $d = 12$  мм при  $l_b = 10d$  і  $c = 12$  ( $c = d$ ) приблизно до напружень  $\sigma_s = 75$  МПа зміщення вільного кінця не спостерігалось, а в зразках з  $c = 36$  ( $c = 2d$ ) – до  $\sigma_s = 160$  МПа. В зразках з діаметром стержнів 12 мм і  $c = 12$  граничний стан визначено за досягнення  $\delta_{\max} = 0,1$  мм, в усіх інших зразках відбулося крихке розколювання призми при  $\delta < 0,1$  мм.

В зразках з діаметром арматури  $d = 20$  мм при  $l_b = 10d$  і  $c = 12$  ( $c = d$ ) характер зміщення вільного кінця стержнів був приблизно такий ж самий, до напружень  $\sigma_s = 115$  МПа зміщення вільного кінця не спостерігалось, а в зразках з  $c = 36$  ( $c = 2d$ ) – до  $\sigma_s = 170$  МПа. Практично в усіх зразках граничний стан визначено за  $\delta < 0,1$  мм.



а – зразки  $d = 12$  мм; б – зразки  $d = 20$  мм; 1 –  $c = d$ ; 2 –  $c = 2d$ ; 3 –  $c = 3d$

Рис. 4. Залежність зміщення вільного кінця стержнів  $\delta$  від напружень в стержнях  $\sigma_s$

**Висновок.** Експериментально доведено, що товщина захисного шару суттєво впливає на максимальні напруження зчеплення арматури з бетоном та на характер руйнування призм.

1. Зчеплення з бетоном арматури серпоподібного профілю та її анкерування в згинальних залізобетонних елементах: Монографія / Є. М. Бабич, В. Є. Бабич, О. Є. Полянська .- Рівне: «Волинські обереги», 2017. – 160 с.

2. Дворкін Л.Й. Розв'язування будівельно-технологічних задач методами математичного планування експерименту / Л.Й. Дворкін, О.Л. Дворкін, В.В. Житковський. – Рівне: НУВГП, 2011. – 174 с.

3. Дворкін Л.Й., Бабич Є.М., Житковський В.В., Бордюженко О.М., Філіпчук С.В., Кочкар'ов Д.В., Ковалик І.В., Ковальчук Т.В., Скрипник М.М. Високоміцні швидкотверднучі бетони та фібро бетони – Рівне: НУВГП, 2017. 331 с.

4. [Механічні характеристики швидкотверднучих високоміцних бетонів.](#) / Є.М. Бабич, В.Є. Бабич, С.В. Філіпчук, Д.В. Кочкар'ов // Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди: Збірник наукових праць. – Рівне: НУВГП, 2016. – Випуск 32. – С. 114–120.

1. Zcheplyennya z betonom armatury serpopodibnogo profilyu ta її ankeruvannya v zghinal'nyh zalizobetonnyh elementah: Monografiya / E. M. Babich, V. E. Babich, O. E. Polyanovs'ka .- Rivne: «Volins'ki oberegi», 2017. – 160 s.

2. Dvorkin L.J. Rozv'yazuvannya budivel'no-tehnologichnyh zadach metodami matematichnogo planuvannya eksperimentu / L.J. Dvorkin, O.L. Dvorkin, V.V. ZHitkovs'kij. – Rivne: NUVGP, 2011. – 174 s.

3. Dvorkin L.J., Babich E.M., ZHitkovs'kij V.V., Bordyuzhenko O.M., Filipchuk S.V., Kochkar'ov D.V., Kovalik I.V., Koval'chuk T.V., Skripnik M.M. Visokomicni shvidkotverdnuchi betoni ta fibro betoni – Rivne: NUVGP, 2017. 331 s.

4. Mekhanichni harakteristiki shvidkotverdnuchih visokomicnyh betoniv. / Є.М. Бабич, В.Є. Бабич, С.В. Філіпчук, Д.В. Кочкар'ов // Resursoekonomni materialy, konstrukcii, budivli ta sporudi: Zbirnik naukovih prac'. – Rivne: NUVGP, 2016. – Vipusk 32. – S. 114–120.