

УДК 624.012.25

**ДОСЛІДЖЕННЯ ЗЧЕПЛЕННЯ АРМАТУРИ З БЕТОНОМ ЗАЛЕЖНО  
ВІД ТОВЩИНИ ЗАХИСНОГО ШАРУ**

**ИССЛЕДОВАНИЕ СЦЕПЛЕНИЯ АРМАТУРЫ С БЕТОНОМ В  
ЗАВИСИМОСТИ ОТ ТОЛЩИНЫ ЗАЩИТНОГО СЛОЯ**

**THE RESEARCH OF THE REINFORCEMENT ADHESION WITH  
CONCRETE DEPENDING ON THE THICKNESS OF THE PROTECTIVE  
LAYER**

**Бабич В.Є., к.т.н., доцент, Поляновська О.Є., аспірант, Демчук П. В.,  
магістр** (Національний університет водного господарства та  
природокористування, м. Рівне)

**Бабич В.Е., к.т.н., доцент, Поляновская Е.Е., аспирант, Демчук П.В. ..,  
магистр** (Национальный университет водного хозяйства и  
природопользования, г. Ровно)

**Babich V.Ye., candidate of technical sciences, Polianovska O.Ye., post-  
graduate, Demchuk P.V., master student** (National university of water  
management and nature resources use, Rivne)

Висвітлені нові результати дослідження впливу захисного шару бетону на граничні значення напружень зчеплення арматури з бетоном. Показано, що при захисному шарі бетону, рівному діаметру стержня, напруження зчеплення до 20 % менші порівняно з визначеними на стандартних зразках (захисний шар більше трьох діаметрів).

Приведены новые результаты исследований влияния толщины защитного слоя бетона на предельные напряжения сцепления арматуры с бетоном. Установлено, что при защитном слое бетона, равном диаметру стержня, напряжения сцепления до 20 % меньше по сравнению с полученными на стандартных образцах (защитный слой больше трех диаметров).

New research results of the influence of the concrete protective layer on the extreme meaning of adhesion tension of reinforcement with concrete are presented. It is shown that with concrete protective layer, that equals diameter of reinforcement, tension adhesion are lower on 20 per cent in comparison with tension, that were fixed on standard models (the protective layer is more than three diameters).

**Ключові слова:**

Бетон, арматура, захисний шар, напруження зчеплення.

Бетон, арматура, захисний шар, напруження зчеплення, анкерівка.

Concrete, reinforcement, protective layer, tension adhesion.

**Стан питання та задачі досліджень.** Зчеплення арматури с бетоном визначає необхідну довжину анкерування стержнів для забезпечення надійної їхньої спільної роботи. На величину граничних напружень зчеплення впливають багато факторів, основним з яких є міцність бетону, діаметр стержнів, довжина анкерування, а також товщина захисного шару бетону. В нормах проектування залізобетонних конструкцій встановлюється мінімальний захисний шар бетону, який повинен повністю забезпечити зчеплення стержнів з бетоном і приймається з умов  $c_{\min} \geq c_{\min,b} = d$  і  $c_{\min} \geq 10$  мм, де  $c_{\min,b}$  – мінімальний захисний шар з умов зчеплення, а  $d$  – діаметр стержнів [1].

Для передачі зусиль зчеплення з арматури на бетон необхідна базова довжина заанкерення стержнів  $l_{b,rqd}$ , яка, згідно з [2], залежить від розрахункового значення граничних напружень зчеплення  $f_{bd}$ . Значення  $f_{bd}$  визначається опосередкованим шляхом залежно від розрахункового значення міцності бетону на розтяг  $f_{ctd}$ . Таким чином, довжина анкерування визначається за основним параметром  $f_{bd}$ , який не підтверджений експериментально та визначається в [2] досить наближено. Також експериментально не доведено, що величини захисного шару бетону  $c_{\min,b}$  достатня для повної передачі зусиль зчеплення.

В роботі [3] наведені дані про визначення напружень зчеплення арматури з бетоном на стандартних зразках, які уявляють собою бетонні оболонки у вигляді призм з центрально розташованим стержнем, який витягувався (виривався) з бетону. Авторами робіт [4, 5] запропоновані математичні моделі для визначення граничних напружень зчеплення залежно від діаметра стержнів, класу бетону, довжину анкерування та кількості повторних навантажень. В усіх цих дослідях відстані від поверхні арматури до найближчої поверхні бетону в 3 ... 4 рази перевищували діаметр стержнів, що відрізняється від рекомендованої товщини захисного шару в реальних конструкціях.

В роботі [6] наведені результати перших експериментальних досліджень впливу товщини захисного шару бетону на граничні напруження зчеплення його з арматурою. В дослідях випробувано 30 призмових зразків, виготовлених з бетону, який мав кубову міцність у віці 28 діб рівною  $f_{cm,cube,28} = 22,2$  МПа, а на початок випробувань зразків (84 доби) -  $f_{cm,cube,84} = 27,3$  МПа (призмova міцність  $f_{cm,prism} = 18,4$  МПа). Арматура приймалася діаметром 12 мм ( $f_u = 670,2$  МПа) та діаметром 20мм ( $f_u = 676,3$  МПа). Довжина анкерування для всіх зразків приймалася рівною  $l_b=10d$ . Результати досліджень показали, що товщина захисного шару бетону суттєво впливає на

граничні напруження зчеплення з ним арматури та на характер руйнування оточуючого бетону. В роботі показано, що при  $c = d$  фактичні граничні напруження зчеплення приблизно на 20% менші, ніж значення, отримані, при випробування стандартних зразків ( $c > 3d$ ). В цій же роботі зазначено, що для визначення коефіцієнта умов роботи належить продовжити дослідження за різної міцності бетону. Новим дослідженням цього питання присвячена ця стаття, а саме, дослідженню впливу товщини захисного шару бетону за класом вищим, ніж в роботі [6], на граничні напруження зчеплення.

**Дослідні зразки та матеріали для їх виготовлення.** Випробувані 30 основних зразків у вигляді бетонних призм з заробленими в них арматурними стержнями, які розташовувалися паралельно поздовжній осі на різній віддалі від зовнішньої поверхні бетону (рис. 1 і 2). Призми мали поперечний переріз  $100 \times 100$  і  $150 \times 150$  мм, в яких розташовувалися стержні діаметром відповідно  $d = 12$  і  $20$  мм. Довжина призм (довжина анкерування стержнів) приймалася рівною  $l_b = 10d$ , тобто  $120$  і  $200$  мм. Виготовляли по три зразки-близнюки. Прийняте наступне позначення зразків: буква «П» - призма; наступна цифра – діаметр стержня в мм; після дефіса – товщина захисного шару в мм; наступна цифра – номер зразка - близнюка. Наприклад, позначення П20-30-2 означає, що зразок у вигляді призми з стержнем діаметром  $20$  мм має захисний шар  $30$  мм ( $1,5d$ ) та порядковий номер в зразках-близнюках «2».

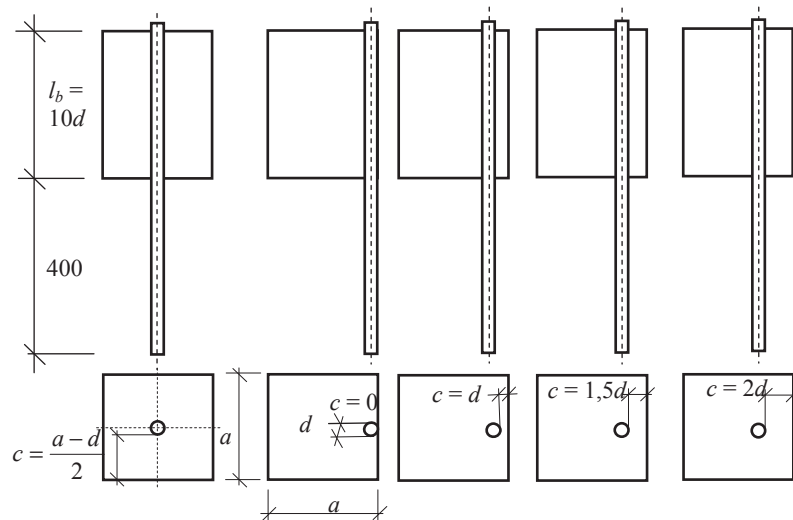


Рис. 1. Конструктивні схеми дослідних зразків ( $a = 100$  і  $150$ )

Поряд з основними зразками виготовляли кубики з розміром ребра  $150$  мм (9 зразків), та призми розміром  $150 \times 150 \times 600$  (6 зразків) та  $100 \times 100 \times 400$  мм (4 зразки). Куби і перші призми використовувалися для визначення міцнісних

характеристик бетону при стисканні, другі призми, які були оснащені спеціальними анкерами, - при розтяганні. Всі зразки виготовляли з одного замісу бетонної суміші в металевій опалубці, ущільнення здійснювали на віброплощині на протязі 30 сек.



Рис. 3. Загальний вигляд дослідних зразків

У віці 28 діб кубикова міцність бетону склала  $f_{cm,cube,28} = 28,0$ , а на початку випробування основних зразків (60 діб) -  $f_{cm,cube,60} = 32,4$  МПа. Призмova міцність (міцність на осьовий стиск) на початок випробувань основних зразків склала  $f_{cm,prism} = 21,2$ , а на осьовий розтяг -  $f_{ctm} = 1,82$  МПа. Стержні діаметром 20 мм мали межу текучості  $f_y = 5752$ , а діаметром 12 мм -  $f_y = 4951$  МПа (арматуру можна віднести до класу A500C). Всі середні значення механічних характеристик матеріалів отримані за результатами випробувань трьох зразків-близнюків, а мінливість показників не перевищує 6 %. Порівняно з дослідями [6] в даних дослідях бетон має вищу міцність і його можна віднести до класу C20/25.

Дослідження опору витягуванню стержнів з бетону виконувалося в розривній машині з використанням спеціального пристрою (рис. 2). Докладно методику випробувань висвітлено в роботах [3, 4, 5, 6].

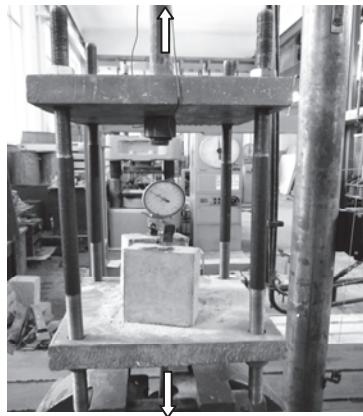


Рис. 3. Загальний вигляд випробування зразків у розривній машині з використанням спеціального реверсного пристрою (зразок)

**Аналіз граничних напружень зчеплення  $f_{bd}$ .** За граничний стан зчеплення приймали, коли зміщення вільного (не навантаженого) торця стержня відносно торця бетонної призми складало  $\delta_{\max} = 0,1$  мм, або відбулося висмикування стержня з бетону. Практично в усіх зразках зі стержнями діаметром 12 мм спостерігалось їхнє витягування, і тільки в зразку П12-24-2 зміщення стержня досягло 0,1 мм. В зразках зі стержнями діаметром 20 мм спостерігалось як їхнє висмикування, так і зміщення торця, які досягали або перевищували 0,1 мм.

За встановленими критеріями в усіх зразках визначена руйнуюча сила, за значенням якої в граничному стані знайдені напруження в стержнях та напруження зчеплення (табл. 1). Треба зазначити достатню однорідність отриманих результатів, відхилення від середніх значень по зразкам – близькокам знаходилися в межах 0,88 ... 1,08, а мінливість по всім зразкам склала 5,7 %. Це може слугувати підтвердженням достовірності отриманих експериментальних даних.

Досліди засвідчили, що характер руйнування зразків суттєво залежить від товщини захисного шару бетону (рис. 4). При розташуванні стержнів по осі

Таблиця 1

Значення напружень в стержнях та граничні напруження зчеплення арматури з бетоном

Марка зразків	Напруження в арматурі, $\sigma_s$ , МПа	Напруження зчеплення, $f_{bd}$ , МПа	Марка зразків	Напруження в арматурі, $\sigma_s$ , МПа	Напруження зчеплення, $f_{bd}$ , МПа
П12-00	171,1	4,54	П20-00	97,7	2,44
П12-12	283,2	7,52	П20-20	267,5	6,69
П12-18	300,9	7,99	П20-30	286,6	7,17
П12-24	318,6	8,45	П20-40	306,5	7,66
П12-44	347,8	9,23	П20-65	310,5	7,76

Примітка. Результати наведені як середні по трьом зразкам - близькокам.

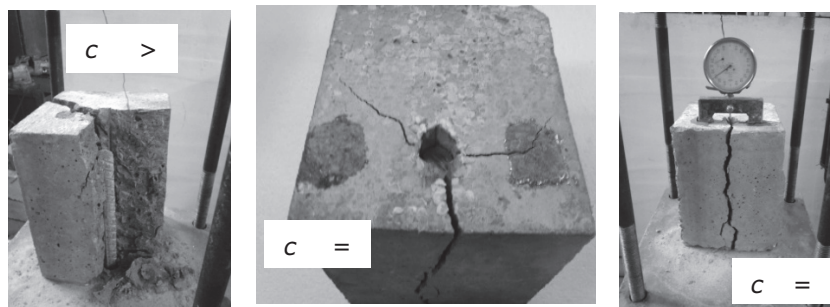


Рис. 4. Характер руйнування зразків за різної товщини захисного шару бетону  $c$

зразків ( $c > 3d$  з усіх боків) руйнування відбувалося по трьом – чотирьом площинам з виходом тріщин на бокові поверхні, призма розділялася на окремі елементи. При захисному шарі, рівному  $c = 2d$  (з інших боків  $c > 3d$ ), руйнування відбувалося по площині, яка повністю перетинала захисний шар, а в інших напрямках також виникали руйнівні площі, але тріщини на інші поверхні не виходили. В зразках, в яких  $c = 1d$ , руйнування відбувалося по площині, яка перетинала захисний шар (див. рис. 4).

В зразках з діаметром стержнів 12 мм при захисному шарі  $c = 44$  мм ( $c > 3d$ , стержні розташовані по осі бетонної призми) максимальні напруження зчеплення склали  $l_{bd} = 9,23$  МПа, а при  $c = 18$  ( $c = 1,5d$ ) і  $c = 12$  мм ( $c = 1,0d$ ) відповідно  $\tau_u = 7,99$  і  $1,52$  МПа. За відсутності захисного шару  $l_{bd} = 4,54$  МПа. Аналогічне зменшення граничних напружень зчеплення спостерігається і в зразках зі стержнями діаметром 20 мм (див. табл. 1).

Оцінити вплив товщини захисного шару на граничні напруження зчеплення бетону з арматурою можна шляхом аналізу графіків, представлених на рис. 5, де показана зміна відношення  $l_{bd,c} / l_{bd0}$ , де  $l_{bd,c}$  – напруження зчеплення для конкретного захисного шару бетону,  $l_{bd0}$  – напруження зчеплення для захисного шару  $c > 3d$  (стержні розташовані по осі бетонних призм).

В зразках з діаметром стержнів 12 мм при захисному шарі  $c = d$  відношення  $l_{bd,c} / l_{bd0} = 0,81$ , а в зразках з діаметром стержнів 20 мм -  $l_{bd,c} / l_{bd0} = 0,86$ . При товщині захисного шару  $c = 1,5d$  ці відношення відповідно склали 0,86 і 0,9 (рис. 4). Такі приблизно відношення були отримані в роботі [6] для бетону класу C16/20. Треба відмітити, що за відсутності захисного шару ( $c = 0$ ) максимальні напруження зчеплення складають приблизно 30 – 50% від напружень зчеплення при  $c > 3d$ . В дослідях [6] ці величини були дещо більшими.

На рис. 6 наведена залежність  $l_{bd,c} / l_{bd0}$  за середніми результати експериментальних досліджень, отриманих в роботі [6], та результатами, наведеними в цій статті. Відношення  $l_{bd,c} / l_{bd0}$  при  $c = 1,0d$ ,  $1,5d$  та  $2,0d$  відповідно склали 0,82; 0,89 та 0,93. Таким чином, за мінімального захисного шару бетону  $c = d$ , що вимагається в нормах проектування, фактичні граничні напруження зчеплення менші, ніж вони визначаються експериментально на загально прийнятих зразках, з розташуванням стержнів по осям бетонних призм.

Таким чином, за мінімального захисного шару бетону  $c = d$ , що вимагається в нормах проектування, фактичні напруження зчеплення менші, ніж вони визначаються експериментально на загально прийнятих зразках, з розташуванням стержнів по осям бетонних призм при  $c > 3d$ . Це необхідно враховувати в розрахунках довжини анкерування арматури, коли граничні значення напружень зчеплення приймаються за експериментальними даними. Особливо це стосується стержнів, які в згинальних елементах обриваються в прольотах за епюром матеріалів.

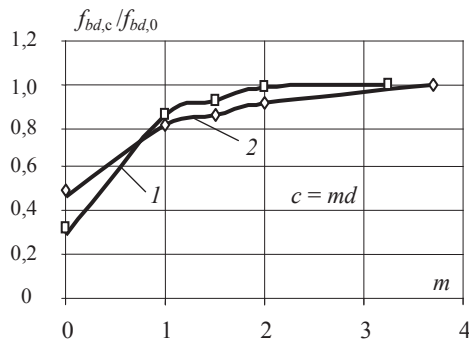


Рис. 5. Залежність граничних напружень зчеплення  $f_{bd}$  від товщини захисного шару бетону  $c = md$  (1 -  $d = 20$  мм; 2 -  $d = 12$  мм)

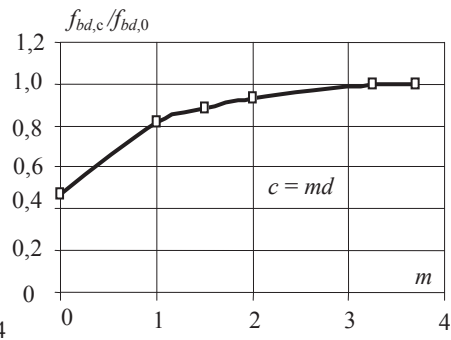


Рис. 6. Залежність граничних напружень зчеплення  $f_{bd}$  від товщини захисного шару бетону  $c = md$  з урахуванням дослідів [6]

**Висновки.** 1. Нові експериментальні дані підтверджують, що захисний шар бетону суттєво впливає на характер руйнування зразків та значення граничних напружень зчеплення арматури з бетоном.

2. Порівняння результатів дослідження зразків з бетону класів С16/20 і С20/25 не виявили впливу на залежність граничних напружень зчеплення від товщини захисного шару бетону.

3. При захисному шарі бетону, рівному  $c = d$ , граничні напруження зчеплення знижуються майже на 20 % порівняно з їхніми значеннями при  $c > 3d$ , що необхідно враховувати при розрахунках анкерування арматури.

1. ДБН В.2.6-98:2009. Бетонні та залізобетонні конструкції. Основні положення. – Київ: Мінрегіонбуд України, 2011. – 71 с. 2. ДСТУ Б В.2.6-156:2010. Бетонні та залізобетонні конструкції з важкого бетону. Правила проектування. – Київ: Мінрегіонбуд України, 2010. – 166 с. 3. Бабич Е.М. Анкерівка в бетоне арматури серповидного профіля // Бабич Е.М., Поляновська Е.Е., Чапук А.С./ Проблемы современного бетона и железобетона: Материалы Третьего международного симпозиума. – Минск: «Минсктипроект», 2011. – Том 1.- С.37 – 45. 4. Бабич Е.М. Математична модель напруження зчеплення арматури з бетоном // Е.М. Бабич, О.Є. Поляновська / Вісник Одеської державної академії будівництва та архітектури. – Одеса: Зовнішрекламсервіс, 2012. – Випуск 47. – Частина 1. – С. 28 – 33. 5. Кундрат М.М. Опір арматурних стержнів мало цикловому витяганню з бетону // М.М. Кундрат, О.П. Борисюк, О.Є. Поляновська, Т.П. Мейта / Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди: Збірник наукових праць. - Рівне: НУВГП, 2013. – Випуск 27. – С. 120 – 126. 6. Бабич В.Є. Вплив товщини захисного шару на зчеплення арматури з бетоном // В.Є. Бабич, О.Є. Поляновська, П.М. Онопрійчук / Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди: Збірник наукових праць. - Рівне: НУВГП, 2012. – Випуск 23. – С. 88 – 93.