

УДК 624.012.25: 539.319

ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ ДОСЛІДЖЕНЬ ЗЧЕПЛЕННЯ АРМАТУРИ З БЕТОНОМ РІЗНИМИ МЕТОДАМИ ВИПРОБУВАННЯ

COMPARATIVE ANALYSIS OF RESEARCH OF ADHESION OF REINFORCEMENT WITH CONCRETE BY DIFFERENT TEST METHODS

Філіпчук С.В. к. т. н., доц., ORCIDID: 0000-0002-4464-4620,
Поляновська О.Є. к.т.н., доц., ORCIDID: 0000-0003-2811-2429
(Національний університет водного господарства та природокористування, м. Рівне),

Filipchuk S.V. candidate of technical sciences, associate professor, ORCID ID: 0000-0002-4464-4620, **Polianovska O. Ye.**, candidate of technical sciences, associate professor, ORCID ID: 0000-0003-2811-2429 (National University of Water Management and Nature Resources Use, Rivne)

Проведений аналіз досліджень зчеплення арматури з бетоном як звичайної міцності так і високоміцних бетонів дає змогу говорити про достовірність як математичного моделювання так і отриманих експериментальних даних. Міцність бетону суттєво впливає на метод визначення напружень зчеплення і збільшується зі збільшенням класу бетону.

The essence of system analysis to solve adhesion problems is to represent a set of connections between stresses on the contact surface of concrete and reinforcement depending on many determining factors (concrete class, rod diameter, anchoring length, nature of the load, long processes, etc.). System analysis involves mathematical modeling, which allows to quantify the nature and degree of influence of individual factors on the coupling stress, and also, their cooperation.

The strength of adhesion of reinforcement to concrete is evaluated by the resistance of pulling or pressing the reinforcing rods hammered into the concrete. While pressing the reinforcing rod into the concrete, the strength of adhesion is higher than when pulling it out, because of the resistance of the surrounding layer of concrete to the transverse expansion of the compressed rod.

The obtained final regression equations can be considered as mathematical models for determining the ultimate adhesion stresses on the contact surface of concrete and reinforcement. The difference between the experimental values

and the theoretical values obtained using mathematical models was 1.2% and 4.5%. This allows us to talk about the reliability of both mathematical modeling and experimental data.

The strength of concrete significantly affects on the method of determining adhesion stresses and get higher with increasing class of concrete. The ratio of adhesion stresses when pressing the reinforcing rod to the adhesion stresses when pulling out the reinforcing rod, respectively, was: for samples of concrete class C25 - 1.2, and for concrete class C70 - 1.8.

Ключові слова: бетон, зчеплення арматури з бетоном, напруження, міцність. Concrete, adhesion of reinforcement with concrete, stress, strength.

Вступ. Зчеплення арматури з бетоном та її анкерування - закріплення кінців стержнів в бетоні - суттєво впливає на надійність залізобетонних конструкцій. Анкерування арматури періодичного профілю всередині бетону в основному забезпечується силами зчеплення, які залежать від багатьох факторів, а тому і надійність анкерування арматури залежить також від багатьох факторів. Вивчення їхнього впливу на зчеплення – задача надзвичайно складна, адже воно вимагає системного підходу. Це спричинило те, що до цього часу в практиці проектування залізобетонних конструкцій немає достатньо загальних і добре обґрунтованих способів розрахунку зчеплення і анкерування арматури. Тому наразі дослідження цих питань також є дуже актуальними.

Сутність системного аналізу до вирішення задач зчеплення полягає в уявленні сукупності зв'язків між напруженнями по поверхні контакту бетону і арматури залежно від багатьох визначальних факторів (клас бетону, діаметр стержнів, довжина анкерування, характер навантаження, тривалих процесів тощо). Системний аналіз передбачає математичне моделювання, що дозволяє кількісно визначити характер і ступінь впливу окремих факторів на напруження зчеплення, а також їхню взаємодію.

Міцність зчеплення арматури з бетоном оцінюють опором висмикування або вдавлювання арматурних стрижнів, забитих у бетоні (рис. 1).

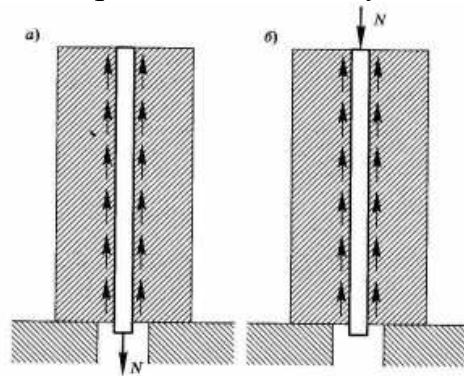


Рис. 1. Схеми випробувань на порушення зчеплення арматури з бетоном: а – на висмикування; б - на вдавлювання

При висмикуванні стержня з бетону зусилля з арматури на бетон передаються через дотичні напруження зчеплення, які, як показали дослідження, розподіляються по довжині стержня нерівномірно [1]. Найбільші значення τ_{max} діють на деякій відстані від торця і не залежать від довжини закладення стержня в бетоні.

При вдавлюванні арматурного стержня в бетон міцність зчеплення більша, ніж при його висмикуванні, внаслідок опору навколишнього шару бетону поперечному розширенню стержня, що стискається. Проте на скільки ця різниця відрізняється відомо досить мало.

Результати досліджень та їх аналіз. Було проведено аналіз трьох експериментальних досліджень визначення напружень зчеплення арматури з бетоном. Так в роботі [2] був проведений експеримент за допомогою математичного моделювання, при цьому за фактори впливу (незалежні змінні) прийнято: x_1 – діаметр стержнів; x_2 – призмova міцність бетону; x_3 – довжина анкерування стержня (довжина заробки стержнів в бетон). Для діаметрів стержнів на основному рівні планування (0) прийнятий діаметр 16 мм, а на нижньому (-1) та верхньому (+1) рівнях – відповідно 12 і 20 мм (крок варіювання рівний 4 мм). Такі діаметри стержнів найбільш розповсюджені для армування залізобетонних конструкцій. Довжина заробки стержнів в бетон на основному рівні (0) прийнята $10d$, а другої серії – $7,5d$ (інтервал варіювання відповідно $5d$ и $2,5d$).

Другий фактор – міцність бетону важко керований, оскільки забезпечити однаковий інтервал варіювання на трьох рівнях практично не можливо. В плані передбачалося використати бетони класів С16/20, С20/25 та С25/30, які представлялися у вигляді середньої призмovoї міцності. В результаті в дослідах було отримано міцність на основному рівні $f_{cm,prism} = 26,1$ МПа, на нижньому – 21,1 (-5,0), на верхньому – 30,8 (+4,7). В середньому інтервал варіювання склав 4,85 МПа, за якого відхилення нижнього і верхнього рівнів від основного не перевищує 0,58 %, що знаходиться в межах точності виконання експерименту і впливу на побудову математичної моделі не мало.

Кінцево рівняння регресії, яке можна вважати як математичну модель для визначення граничних напружень зчеплення на поверхні контакту бетону і арматури, за результатами досліджень отримали у такому вигляді:

$$f_b = 7,11 + 1,24x_2 + 1,40x_3 - 0,15x_1^2 - 0,19x_2^2 - 0,96x_3^2 - 0,52x_1x_2, \quad (1)$$

В роботі [3, 4] також був проведений експеримент для визначення напружень зчеплення арматури з бетоном за допомогою методів математичного моделювання. В цьому випадку дослідження проводилися для високоміцних бетонів класу С70 для якого у віці 28 діб середня кубикова міцність склала $f_{cm,cube} = 70,4$ МПа. Середня призмova міцність бетону для прийнятого класу бетону склала $f_{cm,prism} = 58,8$ МПа.

В планованому експерименті за фактори впливу (незалежні змінні) прийнято: x_1 – діаметр стержнів; x_2 – довжина анкерування стержня (довжина заробки стержнів в бетон); x_3 – товщина захисного шару бетону.

Всі фактори мають високий ступінь управління, що дає можливість вибирати заданий рівень варіювання. Для діаметрів стержнів на основному рівні планування (0) прийнятий діаметр 16 мм, а на нижньому (-1) та верхньому (+1) рівнях - відповідно 12 і 20 мм (крок варіювання рівний 4 мм).

В нормах проектування залізобетонних конструкцій передбачається приймати довжину анкерування стержнів не меншою $10d$. Можливо в конструкціях і з високоміцного бетону ця довжина може складати меншу величину, тому в експерименті на основному рівні прийнята довжина заробки стержнів в бетон, рівною $10d$, а інтервал варіювання – $5d$. В експерименті на нижньому рівні товщина захисного шару прийнята мінімальною, рівною $1d$, а інтервал варіювання також $1d$.

В результаті було отримано рівняння регресії:

$$f_b = 11,22 + 0,62x_2 + 0,78x_3 - 0,83x_1^2 - 1,79x_2^2 + 0,62x_3^2 - 0,37x_1x_3, \quad (2)$$

Дані два 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. Під час навантаження вимірювали проковзування вільного кінця стержня відносно торця призми індикаторами годинникового типу з ціною поділки 0,001 мм, які кріпили до торця призми спеціальними держачками. На кожній ступені навантаження робилася витримка на протязі 5 хвилин з метою стабілізації напруженого стану та зняття показників по індикатору (рис. 2).

За граничний стан зчеплення арматури з бетоном приймали зусилля в стержні F_u , 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

$$f_{bi} = F_{ui} / (\pi d l_b), \quad (3)$$

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).

В останніх дослідженнях було здійснене випробування бетонних зразків за двома вище наведеними схемами за дії статичного навантаження (рис. 3). Частина зразків була випробувана на висмикування, а інша на вдавлювання. Потім була встановлена різниця напружень за цими двома схемами.



Рис. 2. Загальний вигляд випробування зразків у силевій установці та вигляд зразка після руйнування

Для проведення випробувань було забетоновано дві серії зразків. Перша серія виготовлялася з бетону класу С25, а друга С70. Для кожної серії було виготовлено по 6 зразків з розмірами 100×100×100 мм. Арматура використовувалася діаметром 10 мм класу А500С, що в комплексі з розміром зразків з бетону забезпечило довжину анкерування 10*d*. Також для кожної серії виготовлялися кубики розміром 100×100×100 мм в кількості 6 штук для

визначення кубикової міцності бетону у віці 28 днів і в період випробувань основних зразків. У віці 28 днів середня кубикова міцність склала відповідно $f_{cm,cube} = 70,1$ МПа для бетону класу С70 та $f_{cm,cube} = 27,5$ МПа для бетону класу С25.

В першій частині статичних випробувань дослідження проводилося шляхом висмикування арматурних стежнів з бетону. Для цього була використана установка, що зображена на рис. 2.

Середні значення напружень зчеплення для зразків з бетону класу С25 склали $f_{bm} = 6,85$ МПа, а для бетону класу С70 - $f_{bm} = 10,81$ МПа. При підстановці в рівняння (1) характеристик з нашого експерименту було отримане значення напружень зчеплення, що склало $f_{bm} = 6,77$ МПа. При використанні ж математичної моделі, що була представлена в [2] було отримане значення напружень зчеплення, яке відповідно склало $f_{bm} =$

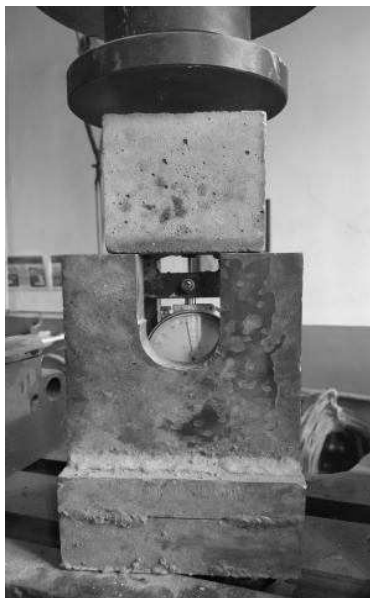


Рис. 3. Загальний вигляд випробування зразків на

11,32 МПа. Тобто різниця між експериментальними значеннями та

теоретичними значеннями отриманими за допомогою математичних моделей відповідно склали 1,2% та 4,5%. Це дає змогу говорити про достовірність як математичного моделювання так і отриманих експериментальних даних.

Друга частина статичних випробувань полягала в визначенні напружень зчеплення методом продавлювання арматури в бетоні. Для цього була розроблена установка, що складалася з металевих пластин зварених у формі куба в середині якого була зроблена ніша для встановлення індикатора для зняття відліків (рис. 3). В результаті досліджень були отримані наступні результати: середні значення напружень зчеплення для зразків з бетону класу С25 склали $f_{bm} = 8,12$ МПа, а для бетону класу С70 - $f_{bm} = 20,38$ МПа. Тобто відношення напружень зчеплення при вдавлюванні арматурного стержня до напружень зчеплення при висмикуванні арматурного стержня відповідно склало: для зразків з бетону класу С25 – 1,2, а для бетону класу С70 – 1,8. Таким чином можна стверджувати, що міцність бетону суттєво впливає на метод визначення напружень зчеплення і збільшується зі збільшенням класу бетону.

Висновки.1. Проведений аналіз досліджень зчеплення арматури з бетоном як звичайної міцності так і високоміцних бетонів дає змогу говорити про достовірність як математичного моделювання так і отриманих експериментальних даних.

2. Міцність бетону суттєво впливає на метод визначення напружень зчеплення і збільшується зі збільшенням класу бетону. Відношення напружень зчеплення при вдавлюванні арматурного стержня до напружень зчеплення при висмикуванні арматурного стержня відповідно склало: для зразків з бетону класу С25 – 1,2, а для бетону класу С70 – 1,8.

1. Холмянский М.М. Контакт арматуры с бетоном / М.М. Холмянский. – М.:Стройиздат, 1981. – 184 с.

Kholmianskyi M.M. Kontakt armatury s betonom / M.M. Kholmianskyi. – М.:Stroiizdat, 1981. – 184 s.

2. Бабич Є.М., Бабич В.Є., Поляновська О.Є.. Зчеплення з бетоном арматури серпоподібного профілю та її анкерування в згинальних залізобетонних елементах – Монографія. – Рівне: НУВГП, 2017. – 159 с.

Babych Ye.M., Babych V.Ie., Polianovska O.Ie.. Zchepлення z betonom armatury serpopodibnoho profilu ta yii ankeruvannya v zghynalnykh zalizobetonnykh elementakh – Monohrafiia. – Rivne: NUVHP, 2017. – 159 s.

3. Babych, Y., Filipchuk, S., Fenko, O., “Mathematical modeling of the resistance of pulling out steel bars from high strength concrete,” International Journal of Engineering and Technology (UAE), vol. 7 (3.2), pp. 516-521, May 2018.

4. Бабич Є.М., Філіпчук С.В.. Математичне моделювання опору витягання арматурних стержнів з високоміцного бетону. Збірник наукових праць за результатами I Міжнародної азербайжансько – української конференції “BUILDING INNOVATIONS” – Баку, 2018. – С. 111 –113.

Babych Ye.M., Filipchuk C.V.. Matematyчне modeliuвання oporu vytyahannya armaturnykh sterzhniv z vysokomitsnoho betonu. Zbirnyk naukovykh prats za rezultatamy I Mizhnarodnoi azerbaizhansko – ukrainskoi konferentsii “BUILDING INNOVATIONS” – Baku, 2018. – S. 111 –113.