

УДК 624.012.25:539.43

**ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ДОВЖИНИ АНКЕРУВАННЯ АРМАТУРИ
НА РОБОТУ ВУЗЛІВ МОНОЛІТНИХ ЗАЛІЗОБЕТОННИХ РАМ**

**ИССЛЕДОВАНИЯ ВЛИЯНИЯ ДЛИНЫ АНКЕРОВКИ АРМАТУРЫ НА
РОБОТУ УЗЛОВ МОНОЛИТНЫХ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ РАМ**

**INVESTIGATIONS OF THE CRESCENT PROFILE REINFORCING
STEEL ANCHORING AND ITS INFLUENCE ON THE MONOLITHIC
REINFORCED CONCRETE UNITS**

Бабич Є.М., д.т.н., проф. (Національний університет водного господарства та природокористування, м. Рівне), **Вавринюк Б.А., аспірант**, (Луцький національний технічний університет, м. Луцьк)

Бабич Е.М., д.т.н., проф. (Национальный университет водного хозяйства и природопользования, г. Ровно), **Ваврынюк Б.А., аспирант**, (Луцкий национальный технический университет, г. Луцк)

Eugen M. Babich, Doctor of Technical Sciences, professor, (National University of Water Management and Nature Conservation, Rivne), **Bogdan A. Vavrynyuk, PhD**, (Lutsk National Technical University)

Наведені результати експериментальних досліджень та встановлено вплив довжини анкерування арматури на міцність та характер руйнування залізобетонних монолітних вузлів.

Приведены результаты экспериментальных исследований и установлено влияние длины анкеровки арматуры на прочность и характер разрушения железобетонных монолитных узлов.

The research results were shown and the influence of the length of anchoring reinforcing steel on the strength and fracture behavior of the monolithic reinforced concrete units were established.

Ключові слова:

Залізобетонний монолітний вузол, анкерування арматури, міцність, характер руйнування.

Железобетонный монолитный узел, анкеровка арматуры, прочность, характер разрушения.

Reinforce-concrete monolithic knot, bar anchorage, durability, character of destruction.

Стан питання та мета дослідження. Вузлові деталі у монолітних залізобетонних конструкціях посідають одне з чільних місць у забезпеченні можливості зведення будь-якої монолітної залізобетонної будівлі і надійної та довговічної її експлуатації. Можливість влаштування залізобетонних вузлів забезпечує анкерування арматури у бетоні, яке стосовно монолітних вузлів вивчено недостатньо. Безпосередньо дослідження зчеплення арматури з бетоном на загальноприйнятих призмових зразках в останній час пошавились в зв'язку з застосуванням арматури серпоподібного профілю за ДСТУ 3760:2006 [1, 2, 3, 4]. В роботі [5] наводиться докладний аналіз роботи вузлів рам, але вплив довжини анкерування стержнів не розглядається.

Обсяг та методика експериментальних досліджень. Для проведення експериментальних досліджень було сконструйовано і виготовлено зразки у вигляді Т-подібних елементів з опорною площадкою посередині і консольними виступами по осі елемента (рис. 1). При прикладанні навантаження до консолей імітувався монолітний вузол, симетрично завантажений, який значною мірою відтворює вузлові деталі у реальних конструкціях. Поперечний переріз консолей прийнято 200×100 мм, а їхня довжина – по 500 мм.

Зразки виготовляли із бетону класу C35/40. Арматування основною робочою арматурою виконували стержнями діаметрами 12, 16 та 20 мм класу A500C згідно ДСТУ 3760:2006. Окрім армування основною робочою і поперечною арматурою, у верхній (розтягнутій) зоні опорної ділянки для сприйняття поздовжніх зусиль безпосередньо над опорою була встановлена додаткова арматура із дроту класу Вр-1.

Основна довжина анкерування стержнів приймалася рівною $l_{bn} = 5d, 10d$ та $15d$. За довжину анкерування вважали сумарну довжину прямолінійної і криволінійної ділянок стержня, які розташовані в тілі вузла, починаючи від нормального перерізу, який є продовженням грані опорної частини зразка.

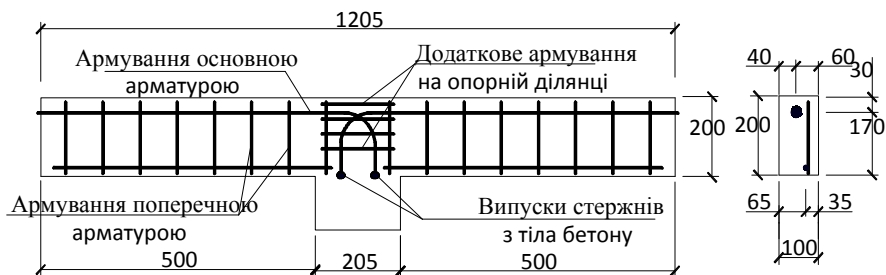


Рис. 1. Схема армування дослідних зразків

До торців стержнів, що обриваються у вузлах, перпендикулярно до площини зразків, приварювали коротуни, з таким розрахунком, щоб вони виходили за бокові поверхні зразків на 10 – 15 мм. Для того, щоб коротуни вільно переміщалися в бетоні при проковзуванні основних стержнів і не чинили будь – якого опору, їх ізолювали гумовою оболонкою.

Всього було виготовлено 20 зразків, які було розділено на 5 серій залежно від діаметру арматури, довжини анкерування і кількості циклів прикладання навантаження (табл. 1).

Таблиця 1

Характеристика дослідних зразків

Серія	Клас бетону	Діаметр арматури, мм	Довжина анкерування, l_{bn} , мм	Кількість циклів	К-сть зразків шт.	Марка зразків
1	С35/40	12	$5d$	1	2	С1/1
				20	2	С1/20
2	С35/40	12	$15d$	1	2	С2/1
				20	2	С2/20
3	С35/40	20	$5d$	1	2	С3/1
				20	2	С3/20
4	С35/40	20	$15d$	1	2	С4/1
				20	2	С4/20
5	С35/40	16	$10d$	1	1	С5/1
				10	3	С5/10

В кожній серії зразки випробовувалися як одноразовим навантаженням до руйнування, так і повторними навантаженнями до рівня приблизно 70% від руйнівного навантаження при одноразовому навантаженні зразків – близнюків. При випробуванні циклами зразки поетапно навантажувалися - розвантажувалися 19-ть разів, а на 20-му циклі навантажувалися до руйнування (в п'ятій серії на 10-му циклі). В процесі випробувань

вимірювалися деформації розтягання зразка біля опори на рівні основної арматури та зміщення торця стержня відносно бетону за допомогою індикаторів годинникового типу з ціною поділок 0,001 мм (рис. 2).

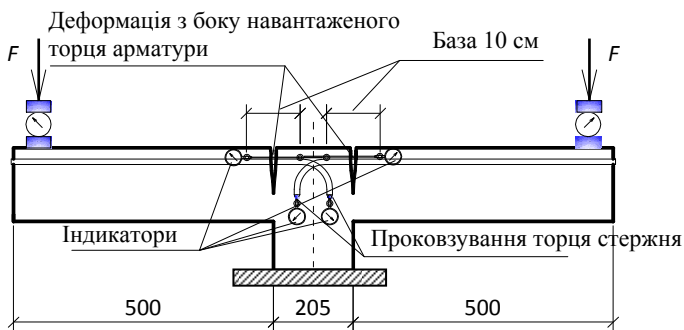


Рис. 2. Схема розташування вимірвальних приладів

Випробування виконували у гідравлічному пресі, в якому навантаження на зразки передавалися через металеві траверси. Для дублювання визначення величини навантаження додатково використовували динамометри (рис. 3).



Рис. 3. Загальний вигляд випробування дослідних зразків

Навантаження прикладалося ступенями, величина якого становила приблизно 10 % від очікуваного руйнівного. При повторних навантаженнях розвантажування також виконувалося ступенями.

Результати експериментальних досліджень. Експериментальні дослідження показали, що міцність і характер руйнування суттєво залежать від довжини анкерування стержнів (табл. 2), а проковзування вільного кінця стержнів на порядок менші, ніж проковзування прямолінійних стержнів у призмових зразках [3]. Це можна пояснити тим, що на опір витягуванню стержнів суттєво впливає криволінійна частина, яка обумовлює роботу бетону на зминання.

Таблиця 2

Результати експериментальних досліджень

Марка зразків	Руйнівне навантаж. F_u , кН	Напруж. в арматурі, σ_{su} , МПа	Дотичні напружен. τ_b , МПа	Проковзув. стержня, δ , мм	Деформац. розтяган. $\varepsilon_b \times 10^{-5}$
C1/1	6,12	153,6	7,68	0,004	56
C1/20	6,05	151,7	7,58	0,004	63
C2/1	13,45	348,9	5,81	0,027	132
C2/20	12,40	334,8	5,57	0,034	168
C3/1	13,00	127,4	6,37	0,008	147
C3/20	12,60	123,2	6,15	0,009	168
C4/1	21,50	216,6	3,61	0,039	305
C4/20	20,90	214,8	3,58	0,051	385
C5/1	10,25	154,2	3,85	0,006	91
C5/10	10,10	151,9	3,79	0,007	124

Для зразків марки C1/1, які мали діаметр стержнів 12 мм з довжиною анкерування, рівною $l_{an} = 5d$, руйнуюча сила складала $F_u = 6,12$ кН, а для зразків C2/1, в яких $l_{an} = 5d$, $F_u = 13,45$ кН, тобто, більше ніж в два рази. Це саме можна сказати і про зразки C3/1 та C4/1, в яких використовувалися стержні діаметром 20 мм (див. табл. 2). Після повторної дії навантаження в усіх зразках спостерігається зменшення міцності, але воно не перевищує 6 %.

При довжині анкерування стержнів $l_{an} = 5d$ руйнування відбувалося по нормальним перерізам, які по вертикалі співпадали з гранню опори (рис. 4,а), при цьому розрахункові напруження в арматурі становили тільки $\sigma_{su} = 153,6$ МПа, а усереднені дотичні напруження зчеплення - $\tau_b = 7,68$ МПа. Певно, що причиною руйнування стала недостатня довжина анкерування стержнів.

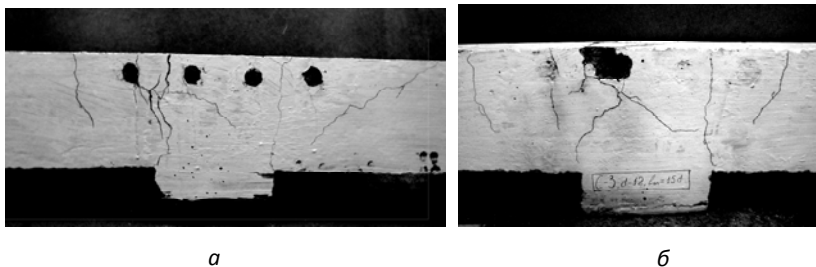


Рис. 4. Характер руйнування зразків:
а – С1/1 (діаметр стержня $d = 12$ мм, $l_{an} = 5d$); б – С2/1 ($d = 12$; $l_{an} = 15d$)

В зразках, де довжина анкерування складала $l_{an} = 15d$, руйнування по нормальних перерізах не відбувалося (рис. 4б). В цьому випадку виникали похилі тріщини, при цьому їхні нижні контури проходили нижче кінців арматурних стержнів.

Тобто, довжина анкерування у вузлах стержнів, рівна $l_{an} = 15d$, достатня для повного використання їх в роботі конструкцій.

В зразках С2/1 усереднені дотичні напруження перед руйнуванням склали $\tau_b = 5,81$ МПа, що майже на 25 % менше, ніж в зразках С1/1. Тобто, тут порушення зчеплення арматури з бетоном не відбувалося. Таке можна зазначити і відносно зразків С3/1 та С4/1.

В зразках п'ятої серії, в яких використовували стержні діаметром 16 мм з довжиною анкерування $l_{an} = 10d$, середні дотичні напруження зчеплення склали $\tau_b = 3,85$ МПа, що може також свідчити про достатню довжину анкетування, але для цього треба провести додаткові дослідження.

На перших ступенях навантаження спостерігається лінійне збільшення сумарних деформацій в при опорних зонах зразків, а після навантаження, 35 – 40 % від руйнівного лінійність порушується внаслідок утворення тріщин та пластичного деформування бетону.

Проковзування торців стержнів у місці їхнього обриву для зразків із довжиною анкерування $l_{an} = 5d$, відбувалося дуже слабо (рис. 5), і тільки при набутті критичних напружень на межі зчеплення арматури з бетоном,

спостерігалися деякі зміщення, після чого наступало крихке (раптове) руйнування зразків. У зразках із довжиною анкерування $l_{bn}=15d$, проковзування стержнів було більш помітним і пропорційним навантаженню, а, починаючи від величини навантаження $F \approx 0,40F_u$, набуло криволінійного характеру.

Висновки. 1. Експериментальні дослідження показали, що основна довжина анкерування арматури в монолітних вузлах залізобетонних елементів суттєво впливає на їхню міцність і характер руйнування. При збільшенні основної довжини анкерування стержнів від $5d$ до $15d$ міцність вузлів збільшується майже в два рази.

2. При довжині анкерування, рівній $l_{bn} = 5d$, руйнування вузла відбувається по нормальному перерізі, який є продовженням бокової грані опори, внаслідок недостатнього опору стержнів витяганню. При цьому міцність арматури значно не використовується.

3. Основна довжина анкерування, рівна $l_{bn} = 15d$, забезпечує надійне зчеплення арматури з бетоном і може бути рекомендована на даному етапі досліджень як мінімальна.

При інших значеннях довжини анкерування стержнів в бетоні необхідно виконати додаткові дослідження.

1. Шмуклер В.С. Каркасные системы облегченного типа /Шмуклер В.С., Климов Ю.А., Бурак Н.П. – Харьков: Золотые страницы, 2008. - 336 с.
2. Бабич Є.М. Напружено-деформаційний стан контакту з бетоном арматури серповидного профілю / Є.М. Бабич, Б.А. Вавринюк, О.С. Чапук // Ресурсоекономічні матеріали, конструкції, будівлі та споруди: Збірник наукових праць. – Рівне: НУВГП, 2009. Випуск 19. С.74-82.
3. Бабич Є.М. Зчеплення арматури класу А500С з бетоном різної міцності /Бабич Є.М., Чапук О.С.. / Механіка і фізика руйнування будівельних матеріалів та конструкцій: Збірник наукових праць.- Львів: Каменярь, 2009.- Випуск 8.- С. 132 – 139.
4. Бабич Е.М. Анкеровка в бетоне арматуры серповидного профиля // Бабич Е.М., Поляновская Е.Е., Чапук А.С./ Проблемы современного бетона и железобетона: Материалы Третьего международного симпозиума. – Минск: «Минсктиппроект», 2011. – Том 1.- С.37 – 45.
5. Барашиков А.Я. Вплив повторних навантажень на характер руйнування залізобетонних рам // А.Я. Барашиков, Ю.А. Клімов, Т.В. Скорук, Н.І. Ільчук / Ресурсоекономічні матеріали, конструкції, будівлі та споруди: Збірник наукових праць. – Рівне: НУВГП, 2009. - Випуск 18. -С. 137 – 145.