

В І Д Г У К
офіційного опонента на дисертаційну роботу
Мальованої Олени Олександрівни
на тему: «Міцність елементів із високоміцного бетону при зрізі»,
представленої на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук
за спеціальністю 05. 23. 01 - Будівельні конструкції, будівлі та споруди

Представлена дисертаційна робота складається з анотації (українською та англійською мовами), вступу, чотирьох розділів, загальних висновків, списку використаних джерел із 158 найменувань та двох додатків. Робота викладена на 160 сторінках, у тому числі 111 сторінок основного тексту, який ілюструється 82 рисунками та містить 18 таблиць. Структура та обсяг дисертації задовольняють вимогам, що висуваються до кандидатських дисертацій.

Актуальність вибраної теми. Сучасна будівельна наука забезпечує використання залізобетонних конструкцій з широким діапазоном заданих експлуатаційних якостей: високої міцності, жорсткості, тріщиностійкості, хімічної та корозійної стійкості тощо. Використання бетонів високої міцності в сполученні з арматурою та сучасними технологіями сприяє збереженню провідної ролі бетону і залізобетону в різноманітних областях будівництва, що вимагає постійного удосконалення методів проектування залізобетонних конструкцій.

Розглядаючи залізобетонні конструкції, на сьогодні ще невизначена чітка межа між звичайним і високоміцним бетоном. На думку О. Я. Берга можна розглядати дві точки зору: за першою високоміцним можна вважати бетон, межа міцності якого вища за межу міцності використаного для його виготовлення цементу; за другою – бетони, міцність яких перевищує міцність бетонів, встановлених чинними документами. Такий розподіл можна вважати чисто умовним, адже вони не розкривають різниці характеру роботи в конструкціях таких бетонів.

Європейські норми EN 206-1 встановлюють класи за міцністю на стиск високоміцних в діапазоні C55/67...C100/115, конструкції з яких застосовуються все ширше. Наприклад, в Норвегії їх частка в загальному об'ємі становить більш ніж 10%. До найбільш ефективних різновидів високоміцних бетонів, які все в більших об'ємах виробляються в США і Європейських країнах є так звані високо функціональні бетони (Хай Перфоманс Конкріб), які мають міцність на стиск у віці 2 доби 30...50 МПа, 28 діб - 60...150 МПа.

В нашій країні на даний час виробництво бетонів даного виду в достатній мірі не організовано. Впровадження їх в практику потребує рішення ряду технологічних та наукових задач і зокрема: - визначення можливості застосування цементів, що виготовляють вітчизняні заводи, а також найбільш поширених видів заповнювачів; визначення найбільш ефективних хімічних добавок; встановлення особливостей роботи конструкцій з цих бетонів та

методів їх розрахунків. З огляду на це вибрана тема дослідження роботи конструкцій з високоміцних бетонів є актуальною.

Важливим питанням є удосконалення методів розрахунку залізобетонних конструкцій з високоміцних бетонів, особливо це відноситься до конструкцій, які працюють на зріз та зсув. Ще не встановлені в нормативних документах обґрунтовані розрахункові опори бетону зсуву і зрізу, що є також актуальним.

В дисертаційній роботі авторка поставила за мету досліджень «врахування специфіки роботи та вдосконалення розрахунку міцності бетонних і залізобетонних елементів із високоміцного бетону, котрі руйнуються шляхом зрізу». Відповідно до мети сформульована низка задач для їх вирішення, серед яких перевірка можливості застосування варіаційного методу в теорії пластичності бетону для розрахунку міцності бетонних і залізобетонних елементів із високоміцного бетону при зрізі та розробка пропозицій щодо вдосконалення методики розрахунку згинальних залізобетонних елементів на дію поперечних сил.

Дослідження виконувалися відповідно до наукової програми Національного університету імені Юрія Кондратюка «Розробка інженерних методів розрахунку міцності бетонних і залізобетонних елементів при складних і неоднорідних напружено-деформованих станах на основі непружних дилатаційних моделей деформування бетону» (номер державної реєстрації 0193U009184) та «Дослідження і розроблення інженерних методів розрахунку опору руйнуванню й деформуванню бетонних і залізобетонних, кам'яних та армокам'яних елементів, що зазнають неоднорідний напружено-деформований стан при різному характері впливів і середовища» (0117U003248). В цілому можна вважати, що тематика досліджень відповідає пріоритетним напрямкам в частині впровадження ресурсозберігаючих технологій, визначених в Законі України «Про пріоритетні напрямки інноваційної діяльності в Україні» на 2011 – 2021 роки (стаття 4).

Короткий аналіз основного змісту дисертації. *В першому розділі* дисертації висвітлені область застосування, властивості та аналіз теоретичних і експериментальних досліджень опору високоміцного бетону та залізобетону зсув, а також вказані переваги та недоліки високоміцного бетону, наведено короткий огляд історії виникнення та розвитку високоміцного бетону. Авторка звертає увагу на основні вимоги, які ставляться до високоміцних бетонів, основними з яких є: високий клас за міцністю на стиск (не нижче С35/45) з максимально низькою об'ємною масою; висока технологічність; швидкий набір міцності; висока довговічність бетону на стійкість до різних впливів корозії. Вказується, що високоміцні бетони можна отримувати двома способами: з використанням високомарочних цементів і ретельним підбором складових; з комплексним використанням суперпластифікаторів і мікрокремнезему.

Значний обсяг розділу присвячений аналізу результатів дослідження високоміцного бетону та залізобетону на зріз на прикладах залізобетонних

балок, при цьому розглядаються дослідження вчених різних зарубіжних країн (таблиця 1.2). Доцільно було б в розділі навести аналіз дослідів вітчизняних вчених (д. т. н., проф. Клімов Ю. А., д. т. н., проф. Дорофєєв В. С. та інші). Також наводиться аналіз існуючих методів розрахунку бетонних і залізобетонних елементів на зріз. Розглядається методи ДБН В.2.6-98:2009 та Eurocod -2, а також докладно аналізується варіаційний метод теорії пластичності бетону, який розроблений В Полтавському національному університеті імені Юрія Кондратюка.

Аналіз розглянутих матеріалів дозволив авторці сформулювати обґрунтовані висновки, на основі яких визначена мета та задачі дисертаційної роботи.

За змістом першого розділу можна висловити деякі зауваження, які доцільно розглядати як пропозиції для врахування при подальших дослідженнях.

В переліку вимог до високоміцних бетонів зазначається, що їх міцнісні характеристики повинні бути не меншими, ніж бетону класу С35/45, тобто, бетони вищі за класом можна називати високоміцними. В тексті критерії для визначення цієї межі між класами бетону не аналізувалися, а їх необхідно знати. В наш час з удосконаленими технологіями отримання бетонів з високими якостям критерії О. Я. Берга втратили доцільність. Певно тут треба застосовувати характеристики бетонів, які відрізняють характер роботи бетонів в конструкціях. За результатами останніх досліджень механічного стану бетонів різних міцності при стисканні. виявилось, що в бетонах класів С40/50 і вище при стисканні з постійними швидкостями змінами напружень або деформацій спостерігається практично лінійна залежність між напруженнями і деформаціями, низхідна вітка на діаграмі деформування відсутня, а руйнування має раптовий крихкий характер.

При випробуваннях бетонів класу С 30/35 і нижче в процесі навантаження спостерігається проявлення пластичних деформацій, діаграма деформування має криволінійний характер з наявністю низхідної вітки. В бетонах класів С32/40 і С35/45 спостерігається діаграма деформування, що займає проміжне положення між наведеними вище, при цьому в бетоні класу С35/45 діаграма ближче відповідає прямолінійній. Таким чином, прийнята межа між звичайним і високоміцним бетоном може визначатися його механічним станом при стисканні. За цією характеристикою бетони класу С40/50 і вище без застережень відносяться до високоміцних.

В тексті розділу використовується термін «міцність на зріз», адже в науковій літературі і в нормативних документах розрізняють при роботі конструкцій на поперечну силу «міцність на зріз» і «міцність на зсув». При роботі конструктивних елементів на зріз по поверхні руйнування виникають тільки дотичні напруження, в цьому випадку розглядають чистий зріз, який в залізобетонних елементах практично не зустрічається. В залізобетонних балках

розглядають опір по похилим перерізам на зсув (рідше сколювання). В цьому випадку по поверхні руйнування виникають крім дотичних напружень нормальні напруження.

Методика проведення експериментальних досліджень висвітлені в *другому розділі*. Напружено-деформований сан стиснутої зони бетону над похилою тріщиною вивчався шляхом випробування моделей у вигляді зрізаних бетонних клинів. Описані конструкції клинів, матеріали для виготовлення бетону, схема випробування та розташування вимірювальних приладів. Докладно описана методика дослідження опору бетону зріз на зразках, конструкція яких була запропонована О. О. Гвоздевим. Також докладно описані зразки у вигляді залізобетонних шпонок, на яких вивчався їх опір зсуву, при цьому вивчався вплив класу бетону та способу розташування поперечної арматури на характер руйнування та граничне навантаження на зразки.

Особлива увага в роботі надана розробці методики дослідження міцності залізобетонних балок прямокутного перерізу в похилих перерізах. випробувалися балки довжиною 1500 мм з поперечним перерізом 120×180 мм. Балки армовані каркасами з поздовжніми стержнями класу А400С, а поперечна діаметром 6 мм класу В500 з кроком 200 мм. Треба відзначити, що крок поперечних стержнів перевищує максимально допустимий, встановлений правилами проектування, але обґрунтування прийнятого кроку поперечних стержнів в розділі не наводиться.

Всього виготовлено і випробувано 28 зразків, 11 з яких залізобетонні балки. Бетони за своїми механічними характеристиками відносяться до високоміцних.

В цілому конструкції прийнятих зразків та розроблена методика їх випробувань заперечень не викликають, але недостатньо описаний спосіб прикладання навантаження до зразків О. О. Гвоздева (рис. 2.8), як це зроблено для зразків у вигляді зрізаних бетонних клинів (рис. 2.6)., а також при випробуванні зразків О. О. Гвоздева бажано було б вздовж поверхні зрізу встановити механічні зсувоміри. Це дало б змогу побудувати діаграми механічного стану бетону при зрізі, які до цього часу в теорії залізобетону практично відсутні.

В третьому розділі наведений докладний аналіз результатів експериментальних досліджень всіх зразків. Встановлено, що руйнуванню зрізаних бетонних клинів притаманний крихкий характер, а в граничному стані не спостерігалось утворення мікротріщин. Встановлено два випадки руйнування, процес якого докладно описаний. Для всіх зразків побудовані графіки залежності деформацій бетону від рівня прикладеного навантаження, які дають можливість представити характер роботи бетону під час навантаження зразків.

За результатами випробувань зразків О. О. Гвоздева в роботі проаналізовані розвиток відносних деформацій стиску та розтягу в окремих локальних зонах зразків, внаслідок чого авторка робить висновок про підтвердження існування у

зразках локальних зон пластичності, в яких зафіксовано розвиток значних деформацій.

Аналіз результатів дослідження цих зразків можна продовжити. Тензорезистори, наклеєні в середині зразків в горизонтальному напрямку (№ 6) фіксували незначні поперечні деформації, а це свідчить про те, що нормальні напруження практично відсутні і, як наслідок, руйнування зразка відбувалося від чистого зрізу і граничні дотичні напруження можна підрахувати при замірній площі руйнування (табл. 3.4). Як що це зробити, то можна за результатами випробувань чотирьох зразків отримати середнє граничне дотичне напруження зрізу, яке виявилось рівним 8,89 МПа. Для даного бетону таке напруження в 2,8 рази більше від середньої міцності на розтяг. В науковій літературі прийнято, що для звичайного бетону таке перевищення досягає 2. Можливо отриманий результат притаманний високоміцним бетонам.

Проаналізовані результати дослідження міцності залізобетонних балок по похилим перерізам. В дослідах виявлено, що перші похилі тріщини утворювалися при навантаженнях приблизно рівних 50 відсотків від руйнівного, яке відбувалося зовні крихко від зсуву стиснутої зони бетону над небезпечною похилою тріщиною, а напруження в поперечній арматурі досягали межі текучості. Побудовані графіки деформування бетону в стиснутій зоні бетону та арматури. В цілому характер руйнування досліджуваних балок принципово не відрізняється від характеру руйнування згинальних елементів із бетонів середньої міцності.

Четвертий розділ дисертації присвячений теоретичним дослідженням міцності при зсуві бетонних і залізобетонних елементів, робота яких досліджувалася експериментально. Розширено застосування для розрахунку міцності бетонної призми варіаційний метод в теорії пластичності бетону. Представлена кінематична можлива схема руйнування елемента, в якій поверхня руйнування розділяє його на дві абсолютно жорсткі частини, що здійснюють рух з деякими швидкостями в стадії руйнування. Прийнято, що призма руйнується по похилій до вертикалі площадки під кутом 30 – 40 градусів. Виходячи з цих передбачень отримана формула для визначення критичної навантаження на призму. Порівняння теоретичних значень граничного навантаження з експериментальними не наводиться.

При визначенні міцності зрізаних бетонних клинів розглянуто два можливих випадків руйнування, що зустрічаються в дослідах: перший реалізується біля граней прямого клину; те саме біля граней тупого кута. Для обох схем прийняті відповідні кінематичні можливі схеми руйнування. Для обох випадків на основі варіаційного методу отримані граничних навантажень на зразки. Виконано порівняння теоретичних та експериментальних даних, які показали задовільну їх збіжність.

Основний обсяг теоретичних досліджень приділено залізобетонним балкам. Тут , в основному, виконано науковий пошук по удосконаленню методики розрахунку міцності похилих перерізів балок. Треба зазначити, що такий

розрахунок і на цей час має значні недоліки порівняно з методами розрахунків, наприклад, по нормальним перерізом. В чинних нормах методика розрахунку міцності похилих перерізів балок запозичена з європейських стандартів і до цього часу повністю не адаптована до вітчизняних наукових положень.

Основний принцип вимог до розрахунку похилих перерізів полягає в тому, що опір поперечній силі повинен забезпечуватись бетоном стиснутої зони. Якщо бетон стиснутої зони не забезпечує сприйняття поперечної сили, то за розрахунком поперечну силу повинна сприймати тільки поперечна арматура. Такий принцип дозволяє уникнути «крихкого» руйнування залізобетонних конструкцій по похилим перерізам. Із зазначеного випливає, що розрахунок похилих перерізів виконується в дві стадії. На першій стадії визначається, чи достатньо опору бетону стисненої зони для сприйняття поперечної сили. У випадку, коли опору стиснутої зони недостатньо, виконується розрахунок за другою стадією, в результаті чого розраховується поперечне армування, здатне сприйняти всю поперечну силу. В другому випадку розглядається фермова модель роботи балки по похилим перерізам.

Виходячи з наведених принципів, авторка роботи виконала дослідження по удосконаленню методів розрахунку міцності по похилим перерізам. Для ефективного використання механічних характеристик бетону і арматури, запропоновано дотримуватися умови рівності між міцністю похилого перерізу, визначеної по стиснутому бетону, та міцністю, визначеною за поперечною арматурою. Також встановлено значення коефіцієнта поперечного армування перерізу, при перевищенні якого арматура використовується не ефективно.

Порівнюючи різні методи розрахунку міцності похилих перерізів авторка роботи прийшла до висновку, що для конструкцій з високоміцного бетону при реально існуючих коефіцієнтах поперечного армування доцільно розраховувати за дисковою моделлю з урахуванням окремих параметрів нормативних документів.

Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків і рекомендацій, їх достовірність. Достовірність отриманих результатів забезпечується:

- використанням апробованих зразків бетонних і залізобетонних елементів для дослідження міцності бетонних і залізобетонних елементів (зразки Гвоздева, зрізаних бетонних клинів, шпонок, залізобетонних балок);
- результатами експериментальних досліджень, виконаних на сучасному рівні;
- використанням відомих основних положень теорії залізобетону та теорії пластичності бетону;
- задовільною збіжністю теоретичних значень міцності бетонних і залізобетонних елементів з експериментальними даними.

Новизна роботи та її значення для науки. Новизна результатів роботи полягає в наступному:

отримані нові експериментальні дані про характер руйнування та граничні

навантаження на бетонні і залізобетонні зразки з високоміцного бетону при зрізі та зсуві, які використані автором при удосконаленні методів розрахунку на поперечну силу і можуть бути підставою подальшого розвитку теорії залізобетону щодо опору бетонних і залізобетонних елементів зсуву;

доведено, що для розрахунків опору високоміцного бетону поперечним силам може бути використаний варіаційний метод в теорії пластичності бетону;

розроблені пропозиції до удосконалення методу розрахунку міцності згинальних залізобетонних елементів з високоміцного бетону по похилим перерізам при дії поперечної сили.

Практичне значення роботи:

- використання запропонованих методів розрахунку міцності похилих перерізів залізобетонних згинальних елементів сприятимуть розширенню області використання високоміцних бетонів в будівництві;
- надані рекомендації щодо розмежування методів розрахунку міцності згинальних елементів по похилим перерізам;
- результати досліджень впроваджені при оцінці міцності згинальних залізобетонних елементів в зв'язку з реконструкцією або капітальним ремонтом окремих будівель (додається дві довідки);
- окремі положення роботи можуть бути направлені в директивні органи для їх врахування при перевиданні нормативних документів.

Повнота викладу основних положень в опублікованих працях. Основні положення дисертаційної роботи опубліковані в 16-ти опублікованих працях, 8 з яких в наукових фахових виданнях України, 3 – у наукових періодичних виданнях іноземних країн (дві в наукометричній базі Scopus).

Матеріали дисертації в достатній мірі доповідалися на багатьох науково-технічних конференціях різних рівнів, які відбувалися в різних містах України та за кордоном.

Зміст автореферату ідентичний основним положенням дисертації.

Зауваження за змістом дисертації.

1. Мета, об'єкт та предмет дослідження сформульовані дещо спрощено, вони не повній мірі відображають всі питання наукових досліджень, які розглянуті в дисертації.

2. В назві дисертації і в тексті використовується термін «міцність бетону при зрізі», в той час як в науковій літературі та в нормативних документах використовуються терміни «опір зсуву» та опір зрізу залежно від напружено-деформованого стану на поверхнях руйнування. В ДСТУ Б В.2.6-156:2010 при дії поперечної сили похилі перерізи згинальних елементів розглядається їх опір зсуву, а залізобетонних фундаментних плит – опір зрізу. Обґрунтування використання прийнятого терміну в роботі не наводиться.

3. В першому розділі практично відсутній огляд досліджень роботи елементів на поперечну силу вітчизняних вчених, а їх досягнення вагомі.

4. В роботі не наведені чіткі фактори розмежування між бетонами середньої та високої міцності.

5. В другому розділі при описанні дослідження роботи зразків, запропонованих О. О. Гвоздєвим, на описується і не наводиться рисунок пристосування, завдяки якому фіксується точка прикладання випробувального навантаження в пресі.

6. На рис. 4.1 наведена кінематична можлива схема руйнування бетонної призми як базової для розрахунку з використанням варіаційного методу теорії пластичності, яка в дійсності ніколи не зустрічалась в експериментальних дослідженнях.

7. В роботі не наводяться порівняння результатів теоретичних значень міцності зразків, визначених за методами автора, з експериментальними даними інших авторів.

Висновок. Наведені зауваження більше мають, в основному, методичний характер і не знижують наукову і практичну цінність дисертаційної роботи та не можуть впливати на результати захисту.

Дисертаційна робота Мальованої Олени Олександрівни відповідає вимогам пунктів 9 і 11 «Порядку присудження наукових ступенів і присвоєння вченого звання старшого наукового співробітника». В дисертації отримані нові науково обґрунтовані теоретичні і експериментальні результати, що в сукупності є суттєвим внеском в розвиток теорії і практики залізобетонних конструкцій, виготовлених з високоміцних бетонів.

Мальована Олена Олександрівна заслуговує присудження наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.23.01 – будівельні конструкції, будівлі та споруди.

Завідувач кафедри промислового, цивільного

будівництва та інженерних споруд

Національного університету водного господарства

та природокористування,

Заслужений працівник народної освіти України,

доктор технічних наук, професор

Є. М. Бабич.

