

ВІДГУК

офіційного опонента Дорофєєва Віталія Степановича
на дисертацію Ромашко Василя Миколайовича
“Деформаційно-силова модель опору бетону та залізобетону”,
подану до спеціалізованої вченої ради Д 35.052.17
при Національному університеті «Львівська політехніка»
на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук
за спеціальністю 05.23.01 – будівельні конструкції, будівлі та споруди

Представлена дисертаційна робота складається зі вступу, семи розділів, загальних висновків, списку використаних літературних джерел і додатків. Робота викладена на 533 сторінках, з яких 336 сторінок основного тексту, 60 сторінок використаних джерел з 551 найменувань, 144 рисунки, з них 40 – на окремих сторінках, 21 таблиця, з них 13 – на окремих сторінках і 8 додатків на 137 сторінках. Структура та обсяг дисертації задовольняють вимогам, що висуваються до докторських дисертацій.

Актуальність роботи. Розробка моделей деформування залізобетонних елементів конструкцій є однією з найактуальніших проблем в теорії бетону і залізобетону.

У «силовій» моделі ця проблема практично не вирішена, тому що у зв'язку з різними вихідними передумовами розрахунки залізобетонних елементів за граничними станами першої та другої групи залишаються повністю автономними.

«Деформаційна» модель не забезпечила оптимального вирішення вказаної проблеми, оскільки не розв'язуються задачі внутрішньої статичної невизначеності елементів, що зазнають неоднорідного деформування, та відсутні аналітичні рішення інтегральних залежностей $M = f(1/r)$ за інтегральним критерієм Ферма, що дозволяло б прогнозувати кривину і відносні деформації крайових волокон стиснутого бетону. Тому застосування діаграм деформування матеріалів не вирішують перераховані задачі у зв'язку з тим, що в усіх моделях розрахунки залізобетонних

елементів за граничними станами другої групи пов'язуються з їх жорсткістю.

У загальній теорії деформування бетонних та залізобетонних елементів доцільно побудувати деформаційно-силову модель для удосконалення загальної моделі деформування залізобетонних елементів на основі гіпотези, що поєднує силові фактори з деформаційними параметрами залізобетонних елементів і забезпечити інтегральну оцінку напружено-деформованого стану їх поперечного перерізу з розкриттям внутрішньої статичної невизначеності при єдності всіх розрахунків за граничними станами. Тому створення повномасштабної деформаційно-силової моделі, що розвиває та удосконалює попередні моделі у загальній теорії бетону та залізобетону, є актуальним.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами та темами. Тема дисертації відповідає напрямам науково-технічної політики держави з нормативного забезпечення будівництва в Україні на період до 2015 року, схваленої розпорядженням Кабінету Міністрів України від 14.07.2010 р. (№1436-р) і стратегії сталого розвитку «Україна – 2020», схваленої Указом Президента України від 12.01.2015 р. (№5/2015).

Основні дослідження теоретичного та прикладного характеру виконані за участі здобувача в рамках держбюджетних робіт кафедр: інженерних конструкцій за темою «Дослідження роботи та удосконалення методів розрахунків будівельних конструкцій при різних режимах зовнішніх впливів» (державний реєстраційний номер 0107U004181); промислового, цивільного будівництва та інженерних споруд за темою «Розробити нові та удосконалити існуючі методики розрахунку будівельних конструкцій, включаючи підсилені, при дії одноразових і повторних навантажень» (державний реєстраційний номер 0112U001122); міського будівництва і господарства за комплексною темою «Реконструкція та утримання міських територій, будівель і інженерних комунікацій» (державний реєстраційний

номер 0108U009332); основ архітектурного проектування, конструювання та графіки за темою «Геометричне та фізичне моделювання в архітектурі, будівництві та техніці» (державний реєстраційний номер 0114U001154).

Ступінь обґрунтованості і достовірності наукових положень, висновків і рекомендацій. Обґрунтованість наукових положень, висновків та рекомендацій доведено: вивченням та аналізом результатів відомих теоретичних і експериментальних досліджень, висвітлених у відкритих літературних джерелах; синтезом, абстрагуванням, фізичним і математичним моделюванням основних фізико-математичних властивостей бетону та визначальних характеристик і параметрів напружено-деформованого стану стержневих залізобетонних елементів конструкцій; використанням при теоретичних дослідженнях фундаментальних закономірностей будівельної механіки, опору матеріалів, теорії залізобетону; методів числового аналізу напружено-деформованого стану бетонних та залізобетонних елементів за дії різних силових впливів; методів теорії ймовірності та математичної статистики обробки результатів експериментальних та теоретичних досліджень; зіставленням отриманих теоретичних даних з експериментальними результатами; впровадженням отриманих результатів у практику будівництва, а також апробацією отриманих результатів роботи.

Внаслідок цього **обґрунтованість та достовірність отриманих у дисертаційній роботі результатів** не викликає сумнівів.

Наукову новизну роботи становить те, що у розробленій деформаційно-силовій моделі опору бетону і залізобетону **вперше**: на основі гіпотези нелінійності жорсткості отримано діаграму стану залізобетонного елементу $M - 1/\gamma$, яка забезпечує методологічну єдність розрахунків залізобетонних елементів за граничними станами з розкриттям внутрішньої статичної невизначеності їх перерізів на будь-якій стадії деформування; континуальну функцію діаграми стану залізобетонного

елементу $M - 1/g$ отримано аналітичним способом та доведено можливість її трансформації в діаграму стану бетону $\sigma_c - \epsilon_c$; граничні деформації стиснутого бетону в залізобетонних елементах отримано у вигляді функції, залежної від параметрів армування та ступеню неоднорідності деформування бетону в їх поперечному перерізі, що сприяє розкриттю внутрішньої статичної невизначеності перерізу залізобетонних елементів в граничній стадії деформування; **удосконалено**: загальну модель деформування залізобетонних елементів конструкцій шляхом її наближення до моделей методу скінчених елементів (МСЕ) за допомогою діаграм стану $M-1/g$ з одночасним збереженням фізичної сутності процесів деформування залізобетонних елементів і відносної простоти програмного забезпечення та можливості інженерної реалізації більшості розрахунків за компактними алгоритмами; спосіб розкриття внутрішньої статичної невизначеності залізобетонних елементів конструкцій через доповнення системи статичних, геометричних та фізичних співвідношень механіки деформованого твердого тіла діаграмами стану $M - 1/g$ і функціями граничних деформацій стиснутого бетону, що веде до суттєвого скорочення ітераційних операцій; спосіб визначення кривини залізобетонних елементів завдяки її знаходженню безпосередньо з діаграм стану $M - 1/g$, чим суттєво підвищено ефективність енергетичних методів розрахунку прогинів; методику розрахунку тріщиностійкості залізобетонних елементів за допомогою діаграми $M - 1/g$; **отримали подальший розвиток**: критерії вичерпання несучої здатності перерізу залізобетонного елемента за причинно-наслідковим зв'язком з параметрами деформування, чим забезпечено їх трансформацію в критерії досягнення граничного стану залізобетонних елементів; способи врахування впливу розтягнутого бетону на загальний стан осередненого перерізу окремих ділянок залізобетонного елемента за допомогою діаграм $M - 1/g$, чим забезпечено інтегральну оцінку його напружено-деформованого стану до та після виникнення тріщин; методика

визначення базової відстані між нормальними тріщинами за рахунок параметрів зчеплення арматури з бетоном, чим виключено її залежність від емпіричних параметрів та коефіцієнтів; залежність з врахування профілю розтягнутої арматури за критерієм зминання її поперечних ребер, чим уточнено вплив зчеплення арматури з бетоном на інтегральну оцінку стану елементів; методика розрахунку прогинів косозавантажених залізобетонних елементів з її суттєвим спрощенням завдяки залученню універсальних діаграм стану $M - 1/\epsilon$.

Важливість отриманих автором дисертації результатів для науки і практики. Результати роботи мають суттєве практичне значення у зв'язку з тим, що розвивають загальну теорію деформування бетонних та залізобетонних елементів, удосконалюють методи розрахунку їх нормальних перерізів та забезпечують єдині методологічні передумови для їх виконання. Вони надають можливість об'єктивної оцінки напружено-деформованого стану та несучої здатності конструкцій, що експлуатуються тривалий час і потребують підсилення.

Автором розроблені інженерні методи розрахунку нормальних перерізів бетонних і залізобетонних елементів за граничними станами, які не потребують складного програмного забезпечення, і дозволяють виконати більшість розрахунків за простими компактними алгоритмами.

Рекомендації щодо використання одержаних наукових результатів. Одержані в дисертаційній роботі наукові результати можуть бути рекомендовані до використання науково-дослідними та проектними організаціями, а також для внесення відповідних змін в нормативні документи з проектування залізобетонних конструкцій. Автор надав необхідні пропозиції НДІБК для коригування ДСТУ Б В.2.6-156:2010. Також наукові результати можуть бути використані в навчальному процесі у вищих навчальних закладах при підготовці спеціалістів будівельної галузі.

Повнота викладу в опублікованих працях. Основні результати дисертації досить повно викладені у 50-ти наукових працях, у тому числі: монографії, рекомендаціях, 34-х статтях у наукових журналах і збірниках спеціалізованих видань ВАК України, у 2-х наукових періодичних виданнях іноземних держав, 5-ти наукових виданнях, які включені до міжнародних науко метричних баз, та інших журналах і збірниках.

Зміст автореферату відповідає змісту дисертації та повністю відображає її основні положення.

Основний зміст роботи.

У **вступі** обґрунтовано актуальність роботи, сформульовані мета і задачі досліджень, визначено об'єкт, предмет і методи досліджень, наведені отримана наукова новизна, особистий внесок здобувача і практична цінність роботи, а також дані про апробацію роботи, публікації, структуру та об'єм дисертації.

У **першому розділі** автором проаналізовані етапи розвитку загальної теорії деформування бетонних та залізобетонних елементів. Основну увагу приділено детальному аналізу сучасного стану експериментально-теоретичних досліджень, пов'язаних з розвитком деформаційних моделей та спрямованих на забезпечення методологічної єдності всіх розрахунків залізобетонних елементів за граничними станами. Здійснено класифікацію та визначені основні переваги і недоліки: існуючих моделей опору залізобетонних елементів конструкцій силовим впливам; різновидів діаграм стану залізобетонних елементів, різних функцій жорсткості залізобетонних елементів та конструкцій; залежностей модуля деформацій бетону; різновидів діаграм деформування та стану стиснутого бетону; основних параметрів точок зазначених діаграм: залежностей з визначення критичних деформацій, різновидів залежностей з визначення граничних деформацій; залежностей з відображенням основних закономірностей деформування розтягнутого бетону; пропозицій з врахування роботи розтягнутого бетону

між тріщинами; функцій кривини залізобетонних елементів конструкцій; різних залежностей з визначення прогинів; залежностей з розрахунку відстаней між нормальними тріщинами; функцій ширини розкриття нормальних тріщин.

На основі виконаного аналізу та зроблених висновків було визначено напрямок наукових досліджень та сформульовано основні задачі дисертаційної роботи.

У **другому розділі** викладено основні положення деформаційно-силової моделі опору бетону та залізобетону, під якою розуміють певний образ реального деформування залізобетонних елементів, відтворюваний за допомогою узагальненої діаграми їх стану $M - 1/r$ на загальноприйнятих принципах механіки деформування твердого тіла (МДТТ). В деформаційно-силовій моделі увага акцентується не на критеріях вичерпання несучої здатності залізобетонних елементів, а на критеріях настання їх граничного стану.

За граничних умов деформування запропонована узагальнена діаграма стану залізобетонних елементів. Універсальність отриманої діаграми стану обумовлена тим, що вона є справедливою і для позацентрово завантажених елементів, а за осьового стиску стандартного бетонного зразка трансформується у діаграму деформування бетону.

Доцільність та пріоритетність використання гіпотези «нелінійності» жорсткості в деформаційно-силовій та в деформаційних моделях опору залізобетонних елементів і конструкцій обґрунтовано як методологічно, так і статистично.

Третій розділ присвячено дослідженням закономірностей деформування бетону в неармованих елементах на основі висунутої гіпотези «нелінійності» зміни їх жорсткості. Доведено, що для центрально стиснутого елемента остання реалізується залежністю січного модуля деформацій, з якої випливає аналітична залежність діаграми деформування

бетону. Показано, що функція січного модуля за граничними умовами деформування змінюється, і наведена для тривалої та малоциклової дії навантажень.

Правомірність використання в деформаційно-силовій моделі нелінійної залежності модуля деформацій бетону підтверджена статистичною оцінкою його теоретичних та експериментальних даних. Критичні деформації бетону ϵ_{c1} , що відповідають максимальним напруженням f_{ck} , автор рекомендує визначити на відповідні коефіцієнти k_{el} і k_{pl} , які враховують особливості роботи бетону у розрахунковому перерізі елемента та розвиток його пружних і пластичних деформацій. Зроблений висновок, що вплив класу бетону на відносну кривину h/r та ступінь падіння жорсткості згинального елемента в момент утворення нормальних тріщин є нелінійним, а до моменту утворення нормальних тріщин бетон стиснутої зони у неармованих елементах деформується пружно.

У **четвертому розділі** описані основні положення загальної теорії деформування залізобетонних елементів за прийнятою деформаційно-силовою моделлю їх опору. Зазначено, що деформування бетону в залізобетонних елементах і конструкціях близьке або подібне до його деформування в бетонних аналогах, але наявність арматури дозволяє працювати перерізу не тільки на висхідних, але й на нисхідних гілках діаграми його стану.

За діаграмою стану позацентрово стиснутого залізобетонного елемента, отриманої у другому розділі, та екстремальним критерієм $dM/d(1/r)=0$ отримана залежність з розрахунку граничних деформацій крайових фібр стиснутого бетону $\epsilon_{c2} = \epsilon_{cu}$ та визначено вплив на них параметрів армування.

Для випадку деформування косостиснутого елемента із застосуванням екстремального критерію несучої здатності до другого рівня його рівноваги отримано універсальну функцію з визначення рівня граничних деформацій крайніх фібр стиснутого бетону $\epsilon_{c2} = \epsilon_{cu}$ залежно від форми стиснутої зони.

Для різних класів важкого бетону визначені рівні граничних деформацій крайніх фібр стиснутого бетону в позацентрово та косостиснутих, в плоско- та косозігнутих елементах. Результати контрольних розрахунків виявилися доволі близькими до результатів раніше проведених досліджень.

П'ятий розділ присвячено розрахунку нормальних перерізів залізобетонних елементів за граничними станами першої групи. В рамках деформаційно-силової моделі їх опору, на основі прийнятих гіпотез і передумов, удосконалено методики розрахунку плоскозігнутих елементів з одиночним і подвійним армуванням та позацентрово стиснутих елементів, розроблені уточнені та наближені методи розрахунку косозігнутих та косостиснутих елементів.

Для згинальних елементів отримані розрахункові залежності для елементів з одиночним та подвійним армуванням для випадків повного використання міцнісних властивостей всіх арматурних стержнів ($\epsilon_{si} \geq \epsilon_{s0}$), пружного деформування всіх арматурних стержнів ($\epsilon_{si} < \epsilon_{s0}$), досягнення межі текучості лише в частині арматурних стержнів та за відсутністю такої в інших.

Відмінністю деформування косозігнутих залізобетонних елементів є їх «внутрішня статична невизначеність», що посилюється за рахунок наперед невідомого кута нахилу нейтральної лінії. В деформаційно-силовій моделі, завдяки використанню діаграми стану елемента, ця проблема вирішується. Розроблена методика дозволяє визначити несучу здатність або підібрати арматуру для всіх можливих випадків форм стиснутої зони бетону.

Позацентрово стиснуті елементи розраховують так само, як і згинальні, за двома загальноприйнятими рівняннями рівноваги. Деформації найбільш розтягнутих арматурних стержнів ϵ_{s1} визначаються з квадратного або кубічного рівняння, що утворюється за спільного розв'язку двох рівнянь рівноваги. Несучу здатність або необхідний коефіцієнт повздовжнього

армування обчислюють за першим з них. Отримані розрахункові залежності для різних випадків деформування арматури.

Розрахунок косостиснутих елементів здійснюють подібно до косозігнутих з урахуванням початкового ексцентриситету e_0 за вихідного кута нахилу силової площини залежно від положення нейтральної лінії.

У **шостому розділі** викладено основні положення розрахунку нормальних перерізів залізобетонних елементів за граничними станами другої групи. Прийнято гіпотези, які спрямовані на відтворення основних параметрів реального стану елементів на будь-якій стадії їх деформування, причому основна увага приділяється жорсткості та кривині. Узагальнену діаграму стану залізобетонного елемента представлено у вигляді $1/r=f(M)$.

Тому в рамках деформаційно-силової моделі кривина залізобетонного елемента у найбільш напруженому перерізі або в осередненому перерізі найбільш напруженої ділянки визначається за розв'язком системи рівнянь МДТТ.

Розрахунок розкриття тріщин розпочинають з визначення кривини елемента і попередніх значень відносних деформацій крайових фібр стиснутого бетону та найбільш розтягнутого арматурного стержня.

Розрахунок прогинів та переміщень виконується за енергетичними методами з використанням класичного апарату будівельної механіки за допомогою інтеграла Мора.

Попередні значення прогинів косостиснутих елементів запропоновано визначати за вищенаведеною методикою. Але, зважаючи на можливу відмінність розрахункових довжин і на непропорційну зміну їх кривини в напрямку площин X_0 та Y_0 , максимальні значення експлуатаційного прогину косостиснутих елементів в зазначених площинах рекомендується визначати з розрахунку їх на позацентровий стиск.

У **сьомому розділі** наведені основні види задач з практичного розрахунку залізобетонних елементів та описана послідовність їх розв'язку.

Придатність розробленої деформаційно-силової моделі опору залізобетонних елементів та запропонованих методів їх розрахунку перевірена на результатах експериментальних досліджень та випробуваннях вітчизняних і закордонних дослідників.

Загальні висновки є лаконічними і чітко відтворюють викладене у попередніх розділах, підкреслюючи найбільш вагомні здобутки автора.

Поставлені у вступі завдання реалізовані в повному обсязі в дисертаційній роботі, а висловлена мета – досягнута.

Зауваження щодо змісту роботи.

1. В першому розділі автор не проводить аналіз впливу структури бетону на напружено-деформований стан, тріщиностійкість, розкриття тріщин, кривину та прогини. В той же час, наявність початкових пошкоджень в бетоні значним чином впливає на характер і величину деформацій.

2. Січний модуль деформацій бетону в значній мірі залежить від структури бетону і може значно відрізнятись за величиною для бетонів однієї міцності.

3. При розробці узагальнених моделей деформування залізобетонних елементів і впровадженні їх у розрахунки було б важливо та доцільно застосувати і нові положення механіки руйнування.

4. Не зовсім зрозуміло, як в деформаційно-силовій моделі опору залізобетону пропонується враховувати тривалість дії навантаження, яка впливає на всі конструкції, що експлуатуються?

5. З тексту дисертації не зовсім зрозуміло, як в деформаційно-силовій моделі опору залізобетону враховується масштабний фактор?

6. В екстремальному критерії Ферма, застосованому до визначення граничних станів стержньових залізобетонних елементів, враховується нелінійність їх жорсткості від дії зовнішніх згинальних моментів і

повздовжніх сил, але при цьому не враховується для зовнішніх поперечних сил і пов'язаних з ними деформацій зсуву.

7. При нелінійній залежності жорсткості залізобетонних елементів від зовнішніх сил використання гіпотези плоских перерізів у деяких випадках виглядає дещо суперечливо. Очевидно, область її застосування потребує певних обмежень.

8. З тексту дисертації не зовсім зрозуміло, чому деформаційно-силова модель опору залізобетону є найбільш наближеною до моделей методу скінчених елементів?

9. Досить поверхнево виглядає визначення діаграми стану залізобетонного елемента $M - 1/\gamma$ моделюванням за допомогою інтегральної жорсткості деякого осередненого перерізу в блоці між тріщинами.

10. Не зовсім зрозуміло, які бетонні конструкції розглядаються у третьому розділі дисертації.

11. Слід застерегти, що кривина не завжди може відповідати дійсній картині деформування конструкцій під дією навантаження (не кругова форма).

12. У розділі 6 автор стверджує, що за допомогою кривини можна описувати з єдиних методологічних позицій будь-який стан залізобетонного елемента, спираючись лише на співвідношення механіки деформування твердого тіла, при цьому автор не враховує дуже важливе співвідношення сумісництва деформацій арматури і бетону, що є основним в роботі залізобетонних конструкцій.

13. Для прикладного застосування окремі розрахункові залежності, отримані претендентом (особливо для косозавантажених елементів), варто було дещо спростити завдяки обчисленню проміжних величин.

14. Не досить вдале посилання на 12 літературних джерел (стор.112), не ясно, в яких конкретно розглядається фізична, геометрична та конструктивна нелінійність, посилання на одну і ту ж залежність (стор.153),

посилання на узагальнену діаграму [197, 216] стор.164, відсутність посилання на рис.3.17. Є також і інші редакційні недоробки.

Загальний висновок по роботі.

Наведені зауваження не зменшують наукову та практичну цінність дисертації. Дисертаційна робота Ромашко Василя Миколайовича на тему: «Деформаційно-силова модель опору бетону та залізобетону» є завершеною науковою працею, що пройшла достатню апробацію. Дисертація за актуальністю, змістом, науковою новизною, практичним значенням, достовірністю та обґрунтованістю отриманих результатів, повнотою опублікування результатів у монографії і рекомендаціях, наукових періодичних виданнях іноземних держав та наукових виданнях України, які включені до міжнародних наукометричних баз, наукових фахових виданнях України та інших виданнях, обсягом і оформленням відповідає паспорту спеціальності 05.23.01 – будівельні конструкції, будівлі та споруди (п.п.3,4,8). Вона містить нові обґрунтовані теоретичні та експериментальні результати, які полягають у розробці основ загальної деформаційно-силової моделі опору бетону і залізобетону, заснованої на діаграмах реального стану залізобетонних елементів в нормальних перерізах та направленої на розкриття їх внутрішньої статичної невизначеності при забезпеченості методологічної єдності всіх розрахунків за граничними станами. Дисертаційна робота розвиває загальну теорію деформування бетонних та залізобетонних елементів конструкцій, удосконалює методи розрахунку їх нормальних перерізів та забезпечує єдині методологічні передумови для їх виконання, створює передумови для об'єктивної оцінки напружено-деформованого стану та несучої здатності тих конструктивних елементів, що експлуатуються тривалий час і потребують відповідного підсилення через зменшення власного ресурсу.

Представлена дисертаційна робота «Деформаційно-силова модель опору бетону та залізобетону» повністю відповідає п.п.9,10,12 «Порядку

присудження наукових ступенів і присвоєння вченого звання старшого наукового співробітника», затвердженого Постановою Кабінету Міністрів України від 24 липня 2013 року №567 до докторських дисертацій, а її автор Ромашко Василь Миколайович заслуговує на присудження наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.23.01 – будівельні конструкції, будівлі та споруди.

Офіційний опонент

доктор технічних наук, професор,
професор кафедри інженерних конструкцій
і водних досліджень
Одеського національного морського
університету



В.С. Дорофеев

Підпис доктора технічних наук,
професора Дорофеева В.С. засвідчую:

Начальник ВК



“24” травня 2018 р.