

ВІДГУК

офіційного опонента на дисертацію

Погрібного Володимира Володимировича

«Методологія оцінювання несучої здатності

залізобетонних і кам'яних конструкцій з використанням умов екстремуму деформування», подану на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.23.01 – будівельні конструкції, будівлі та споруди

Дисертація складається зі вступу, семи розділів, загальних висновків, списку використаних джерел із 494 найменувань та семи додатків.

Актуальність досліджень.

Ефективність сучасного будівництва в значний мірі визначається рівнем досконалості конструктивних рішень елементів несучих систем будівель і споруд, який залежить від точності методів розрахунку. Це стосується як нового проєктування, так і оцінювання залишкового ресурсу існуючих конструкцій.

Залізобетонні та кам'яні конструкції одні з найбільш поширених у будівельній практиці. На даний час накопичено значний експериментальний матеріал, який слугує основою емпіричних залежностей для розрахунку їх несучої здатності за нормами. При цьому, існує потреба систематизації та доповнення факторів впливу на достатньо загальній теоретичній основі. Такою основою при домінуванні деформацій зсуву може слугувати теорія пластичності при її адаптуванні до квазікрихких матеріалів та уточненні умов і областей реалізації.

У розрахунках залізобетонних і армокам'яних конструкцій застосовується нелінійна деформаційна модель. Вагоме значення при її використанні має визначення граничної відносної деформації стиску бетону чи кам'яної кладки, яка однозначно не встановлена та потребує уточнення. Для уникнення втрати несучої здатності балкових конструкцій за нормальними перерізами шляхом руйнування стиснутої зони, що має місце при армуванні їх високоміцною поздовжньої арматурою і в переармованих при експлуатації, необхідно у якості розрахункового параметра приймати граничний рівень деформації.

Для оцінювання несучої здатності використовуються умови мінімуму та максимуму деформування, отримані на основі екстремальних принципів механіки деформівного твердого тіла.

Таким чином, дисертаційна робота присвячена вирішенню **актуальної науково-технічної проблеми** оцінювання несучої здатності залізобетонних і кам'яних конструкцій з використанням умов екстремуму деформування і має важливе теоретичне та практичне значення.

Оцінка змісту дисертації. У вступі наведені структурно-логічна схема дисертації, мета, задачі, об'єкт і предмет дослідження, методи дослідження, наукова новизна, достовірність отриманих результатів, їх практичне значення, особистий внесок здобувача, апробація результатів дисертації, публікації, структура та обсяг роботи, зв'язок з науковими програмами, планами, темами.

Дисертація виконана в Національному університеті «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка». Її результати були реалізовані у

держбюджетних темах: «Збірно-монолітна конструктивна система під соціальне житло» (номер державної реєстрації 0113U000383); «Комплексні конструктивні рішення забезпечення енергоефективності громадських будівель в умовах євроінтеграції» (номер державної реєстрації 0118U001097); «Енергоефективні конструктивні рішення елементів будівель» (номер державної реєстрації 0121U109497); «Ресурсоекономні конструкції та планувальні рішення сталезалізобетонних систем для споруд цивільного захисту в нових та реконструйованих будівлях» (номер державної реєстрації 0123U102068).

Дисертація відповідає пріоритетному напрямку науково-дослідних робіт кафедри будівельних конструкцій: «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» (номер державної реєстрації 0117 U 003248).

У **першому розділі** дисертації проаналізовані існуючі методи розрахунку несучої здатності залізобетонних і кам'яних конструкцій при згині та стиску. Висвітлені перспективи застосування теорії пластичності за домінування деформації зсуву. Вказано на необхідність уточнення граничної відносної деформації для уникнення руйнування стиснутої зони в нормальних перерізах армованих конструкцій, що згинаються. На підставі проведеного аналізу сформульовані задачі дисертаційної роботи.

У **другому розділі** наведені результати виконаних досліджень з питань адаптування класичного математичного апарату теорії пластичності до бетону та кам'яної кладки з врахуванням особливостей їх міцностних і деформативних характеристик та поведінки в граничному стані. В якості умови пластичності розглянута умова міцності, яка геометрично представляє собою параболоїд обертання, враховує різницю міцності бетону (кам'яної кладки) на розтяг і стиск та має простий запис у тензорній формі. Встановлена область реалізації зсуву при плоскому напруженому стані шляхом введення показника міри пластичності як відношення висоти стиснутої зони при руйнуванні до її висоти в пружній стадії роботи, отриманого за мінімального впливу згинального моменту. Бетон і кам'яна кладка розглядаються як жорстко-пластичне тіло. Пластичні деформації вважаються локалізованими в тонких шарах на поверхні руйнування, а сусідні області – абсолютно жорсткими. Застосовуються розривні рішення та принцип віртуальних швидкостей. Стрибки швидкостей мають місце у дотичному та нормальному до поверхні зсуву напрямках. Наведені функціонали принципу при плоскому напруженому стані та плоскій деформації, які досліджуються на стаціонарний стан. Варіюються кути між поверхнею руйнування та напрямком руху жорсткого диску та дії сили. Дійсному напружено-деформованому стану і граничному значенню опору відповідає стан, при якому потужність пластичної деформації мінімальна. Виконана перевірка математичного апарата при розв'язанні задачі міцності бетонної пластинки.

У **третьому розділі** визначено опір бетонних і монолітних кам'яних елементів в умовах плоского напруженого стану та плоскої деформації варіаційним методом з використанням критерія мінімуму потужності пластичної

деформації при: центральному та позацентровому стиску призм і стовпів; осьовому стиску симетричних клинів; дії вертикального та горизонтального навантаження на усічену грань клинів; завантаженого на торцях вертикальними та горизонтальними силами елемента постійного поперечного перерізу; основи при місцевому стиску з встановленням межі їх реалізації за різних випадків руйнування. Визначені сполучення характеристик міцності цегли та суцільних керамічних каменів правильної форми, за яких кладка є монолітною. Встановлено вплив на опір бокового обтиснення й армування.

Четвертий розділ присвячено оцінюванню несучої здатності за нормальними перерізами залізобетонних і армокам'яних конструкцій, що згинаються, з метою уникнення її втрати шляхом руйнування бетону та кам'яної кладки стиснутої зони, яке має місце при перевищенні відносною деформацією граничного значення. Для визначення граничного рівня використано екстремальний принцип, згідно якого найбільшій величині середнього напруження відповідає максимальне деформування без «макродеструктуризації». На низхідній гілці діаграми деформування при стиску встановлена точка її обмеження, котра відповідає межі «деструктуризації» бетону та кам'яної кладки, і при збільшенні деформації відбувається руйнування конструкції. Наведено рівняння для визначення граничного рівня деформації. Встановлені розрахункові параметри стиснутої зони нормального перерізу для різних класів бетону та для кам'яної кладки. Вказано, що для оцінювання несучої здатності армованих високоміцною поздовжньою арматурою залізобетонних конструкцій в якості розрахункового параметра слід приймати граничний рівень деформації, котрий відповідає найбільшому зусиллю в бетоні стиснутої зони. Наведена розрахункова схема та система рівнянь для пошуку невідомих. Визначена залишкова несуча здатність залізобетонних і армокам'яних конструкцій, перearмованих поздовжньою арматурою.

П'ятий розділ присвячено оцінюванню несучої здатності залізобетонних і кам'яних конструкцій на основі розривних рішень при домінуванні деформації зсуву. Розрахунок несучої здатності залізобетонних балок за похилими перерізами базується на результатах розв'язку задач опору армованої похилої стиснутої смуги та за небезпечною похилою тріщиною на ділянці біля опор з урахуванням роботи клиновидної стиснутої зони, залежно від параметрів розрахункового перерізу, висоти та геометрії стиснутої зони. В обох випадках враховується як робота стиснутого бетону, так і поперечної арматури. Визначена несуча здатність коротких залізобетонних консолей, в яких зсув реалізується у межах стиснутої смуги між похилими тріщинами, котра визначає опір консолі на дію поперечної сили. Розроблено метод визначення граничних зусиль при місцевому стиску опорних ділянок, окреслені області його реалізації. Встановлена область руйнування при діагональному розколюванні кам'яних простінків за сумісної дії вертикальних і горизонтальних (сейсмічних) сил. Визначена несуча здатність за похилим перерізом балкових армокам'яних конструкцій без поперечного армування.

У **шостому розділі** приведені результати порівняння розроблених схем та підрахованих згідно запропонованих методів величин опору елементів і несучої

здатності конструкцій з експериментальними даними, отриманими автором та іншими дослідниками за різних видів напружено-деформованого стану. Характер руйнування бетонних призм і кам'яних стовпів за осового стиску, зразків для дослідження напрямку локалізованої пластичної деформації, кубів і призм при місцевому стиску та клиновидних зразків на сумісну дію вертикальних і горизонтальних сил, картина руйнування балок за похилими перерізами, коротких залізобетонних консолей, кам'яних простінків при діагональному розколюванні підтверджують прийняті кінематичні схеми руйнування. Статистичні показники співставлення результатів визначення опору елементів та несучої здатності конструкцій засвідчують достовірність отриманих теоретичних результатів. Співставлення отриманих за запропонованими та нормативними методами результатів розрахунку конструкцій вказує на доцільність урахування додаткових факторів впливу.

У **сьомому розділі** приведені розроблені за уточненими розрахунковими схемами і залежностями з використанням умов екстремуму деформування інженерні методи визначення несучої здатності залізобетонних і кам'яних конструкцій за різних напружено-деформованих станів: армованих високоміцною поздовжньою арматурою залізобетонних, а також переармованих залізобетонних і кам'яних балок за нормальними перерізами; балок за похилими перерізами; коротких залізобетонних консолей; бетонних і кам'яних опор при місцевому стиску; кам'яних стін при діагональному розколюванні. Викладені результати удосконалення конструктивних рішень 15-ти метрової збірної залізобетонної балки, монолітних ригелів перекриттів та цегляних простінків при дії сейсмічного навантаження. Визначено залишковий ресурс за нормальними перерізами переармованих ригелів трибуни стадіону та при місцевому стиску фундаментів під технологічне обладнання для обґрунтованого відновлення їх експлуатаційної придатності на основі результатів оцінювання залишкового ресурсу конструкцій.

У **загальних висновках** наведені основні результати теоретичних досліджень і практичні рекомендації.

Ступінь обґрунтованості та достовірність наукових положень, висновків та рекомендацій підтверджується використанням у теоретичних дослідженнях фундаментальних екстремальних принципів механіки деформівного твердого тіла, теорії пластичності, варіаційного числення та критеріїв мінімуму та максимуму деформування для оцінювання несучої здатності залізобетонних і кам'яних конструкцій; співставленням отриманих теоретичних результатів з експериментальними даними, як власними, так й інших дослідників, у тому числі закордонних; співставленням розроблених кінематичних схем з картиною руйнування, статистичною обробкою 186-ти результатів порівняння теоретично визначеного опору елементів і несучої здатності конструкцій з отриманими в дослідках, що вказує на їх збіжність.

Наукова новизна одержаних результатів полягає в тому, що автором *вперше:*

- для розв'язання задач опору бетонних, залізобетонних, кам'яних і армокам'яних елементів в якості параметра варіювання на кінематичній схемі прийнято кут

- між напрямком руху жорстких дисків і поверхнею локалізації пластичної деформації, який є кутом дотичної до умови міцності;
- отримана межа реалізації зрізу в бетоні в області змішаних напружених станів за величиною міри пластичності як відношення висоти стиснутої зони в граничній та пружній стадіях роботи коротких бетонних елементів;
 - на основі розривних рішень розв'язані задачі опору бетонних і кам'яних елементів в умовах плоскої деформації при одновісному стиску, сумісній дії вертикальних і горизонтальних сил, вдавлюванні штампів в бетонну основу;
 - визначено несучу здатність залізобетонних консолей з використанням умови мінімуму потужності пластичної деформації за величиною опору похилої армованої смуги з врахуванням дотичного та нормального зусиль;
 - визначено несучу здатність кам'яної стіни на сумісну дію горизонтального та вертикального навантаження при зсуві за перерізом, що проходить за каменем;
 - за максимального деформування без «макродеструктуризації» визначено рівень граничної відносної деформації бетону та кам'яної кладки на низхідній гілці їх діаграм «напруження - деформація» при стиску, який відповідає максимальній величині прирощень середніх напружень на деформації;
 - за встановленого рівня граничної відносної деформації бетону (кам'яної кладки) визначено: несучу здатність за нормальними перерізами армованих високоміцною арматурою залізобетонних конструкцій, що згинаються, з використанням верхньої висхідної гілки деформування арматури; залишкову несучу здатність у нормальних перерізах балкових залізобетонних і армокам'яних конструкцій, переармованих поздовжньою арматурою;
- набули подальшого розвитку:*
- математичний апарат теорії пластичності при розривних рішеннях задач опору бетонних елементів та кам'яної кладки з врахуванням особливостей їх міцносних та деформативних властивостей із застосуванням в якості характеристики міцності максимальної величини дотичних напружень;
 - обґрунтування умов реалізації пластичного кінематичного механізму в бетоні та кам'яній кладці при локалізації пластичної деформації на поверхні руйнування;
 - визначення характеристик міцності цегли та каменів правильної форми та розчину, за яких кладка може вважатися монолітною;
 - рішення задач опору бетонних та кам'яних елементів в умовах плоского напруженого стану при: осьовому стиску призм, стовпів та симетричних клинів; місцевому стиску; сумісній дії вертикального та горизонтального навантаження на бетонну пластинку за різних кутів її нахилу з врахуванням впливу армування; усічених клиноподібних елементів;
 - розрахунок несучої здатності конструкцій: залізобетонних на дію поперечної сили за похилими перерізами; при місцевій дії навантаження з врахуванням об'ємного напруженого стану для бетону та відношення їх висоти до ширини площадки навантаження для кам'яної кладки; армокам'яних, що згинаються.

Практичне значення отриманих результатів полягає в тому, що:

- розроблені інженерні методи розрахунку несучої здатності:
 - залізобетонних конструкцій, що згинаються, армованих високоміцною

- арматурою за нормальними перерізами;
- балкових залізобетонних конструкцій за похилими перерізами на дію поперечної сили;
 - коротких залізобетонних консолей;
 - бетонних та кам'яних опорних ділянок на місцеву дію навантаження;
 - цегляних стін на сумісну дію горизонтальної та вертикальної сил;
 - армокам'яних конструкцій, що згинаються, за нормальними перерізами;
- удосконалені конструктивні рішення:
- армованих високоміцною арматурою залізобетонних конструкцій, що згинаються (зменшена кількість поздовжньої арматури);
 - залізобетонних ригелів збірно-монолітних міжповерхових перекриттів (знижена інтенсивність поперечного армування);
 - стикових з'єднань залізобетонних колон багатопверхових будівель з підвищенням опору місцевому стиску,
- що відкриває перспективи ресурсозбереження при проектуванні залізобетонних і кам'яних конструкцій;
- надані пропозиції щодо оцінювання залишкової несучої здатності на дію згинального моменту, переармованих поздовжньою арматурою внаслідок пошкодження стиснутої зони бетону (кам'яної кладки) або зниження їх міцності в результаті експлуатації залізобетонних і армокам'яних конструкцій, з метою уточнення їх технічного стану й ефективного відновлення експлуатаційної придатності.

Результати виконаних досліджень будуть враховані при розробці положень ДСТУ «Проектування конструкцій будівель і споруд з урахуванням сейсмічного впливу» в розвиток ДБН В.1.1-12-2014 «Будівництво у сейсмічних районах України» та використані у науково-практичній діяльності ДП НДІБК; знайшли застосування у звітній документації за держбюджетними темами, пов'язаними з енергоефективними конструктивними рішеннями елементів житлових і громадських будівель та споруд цивільного захисту; в розрахунках несучих залізобетонних і кам'яних конструкцій при проектуванні та відновленні експлуатаційної придатності фундаментів, кам'яних стін, балок перекриття, консолей залізобетонних колон, підкранових балок і опорних ділянок при обстеженні та паспортизації об'єктів. Матеріали дисертаційної роботи впроваджені в навчальний процес Національного університету «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка».

Публікації. Зміст дисертації викладено в 75 наукових працях, з яких: 5 монографій (одна одноосібна); 29 статей у фахових виданнях України; 16 публікацій у виданнях інших держав, 15 з яких у виданнях, проіндексованих НМБД Scopus і у тому числі 3 у базі даних Web of Science Core Collection; 3 патенти України на корисну модель та 22 публікації апробаційного характеру.

Зауваження щодо змісту дисертації.

1. У розділі 1 більше уваги слід було приділити висвітленню недоліків існуючих методів розрахунку несучої здатності залізобетонних і кам'яних конструкцій при домінуванні деформацій зсуву.

2. У пункті 1.4.4 та в загальних висновках до розділу 1 дисертації, доречно було б вказати на переваги застосування методів теорії пластичності та варіаційного числення для визначення несучої здатності залізобетонних і кам'яних конструкцій.
3. В розділі 4.1.2 автором запропоновано використовувати гармонізований до дробово-раціональної функції поліном 5-ступеня для опису залежності між напруженнями та деформацією « $\sigma_c - \epsilon_c$ » стиснутого бетону при розрахунках залізобетонних конструкцій у нормальних перерізах. Слід було навести порівняння отриманих, на підставі запропонованих рішень, результатів з даними інших дослідників, як вітчизняних, так і закордонних.
4. Числові результати оцінювання несучої здатності балкових залізобетонних конструкцій в нормальних перерізах, наведені в розділі 4.1.3, для різних класів бетону та поздовжньої арматури, слід було винести в додатки дисертації.
5. Для верифікації запропонованих теоретичних підходів та підтвердження адекватності отриманих результатів, автором перебачено виконання їх експериментальної перевірки, стор. 43. На жаль, в дисертаційній роботі, розділи 5 та 6, відсутній загальний опис запланованого експерименту; серій дослідних зразків, умов їх випробовування та кількості, в тому числі зразків близнюків; використаного вимірювального обладнання, тощо.
6. Не зрозумілим є використання експериментальних результатів випробування стиснутих сталефібробетонних кубів, рис. 5.12 [123], для підтвердження необхідності врахування опору розтягнутої зони під пірамідою стиснутої зони бетону, різних класів міцності, стор. 245.
7. Для підтвердження наведених в таблиці 6.3, стор. 259, результатів автором проведені випробування бетонних призм з вирізами на бокових гранях. Однак в дисертації відсутня інформація щодо прийнятих передумов влаштування таких прорізів, їх розмірів та впливу місць розташування, прийнятих кутів нахилу послабленої площини, тощо.
8. Для експериментальної перевірки отриманих теоретичних результатів оцінки роботи цегляних, бетонних та залізобетонних елементів, автором залучено результати як власних дослідів, так і інших дослідників. Для обґрунтування достатності проведених та залучених результатів доцільно було застосувати метод математичного планування експерименту. На жаль, в дисертації лише зазначено, що порівняння, при описаних впливах, здійснено для певної кількості зразків, встановлена задовільна збіжність, отримане значення середнього арифметичного та коефіцієнту варіації.
9. Наведені в дисертації теоретичні результати слід було б перевірити шляхом скінченно-елементного моделювання конструкцій для оцінки їх напружено-деформованого стану при зсуві та згині.
10. У дисертаційній роботі наявні окремі позначення, які більш притаманні опору матеріалів та будівельній механіці, котрі при поєднанні з позначками прийнятими для розрахунків залізобетонних і кам'яних конструкцій, дещо ускладнюють сприйняття матеріалу.

Висновок. Розглянута дисертація в цілому є закінченою науково-дослідною роботою. У ній отримані нові науково-обґрунтовані результати, які в

сукупності дозволили вирішити актуальну науково-практичну проблему оцінювання несучої здатності залізобетонних і кам'яних конструкцій на основі використання умов екстремуму деформування і має важливе теоретичне та практичне значення. Наведені зауваження не впливають на загальну схвальну оцінку роботи та можуть бути враховані при подальших дослідженнях автора.

Реферат відповідає змісту дисертації. Дисертація виконана у відповідності до вимог паспорту спеціальності 05.23.01 – будівельні конструкції, будівлі та споруди і пунктів 7 – 9 «Порядку присудження та позбавлення наукового ступеня доктора наук», затвердженого Постановою Кабінету Міністрів України від 17.11.21 р. №1197.

Автор дисертації Погрібний Володимир Володимирович заслуговує на присудження наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.23.01 – будівельні конструкції, будівлі та споруди.

Офіційний опонент,
проректор з науково-педагогічної роботи,
відновлення та розвитку
Харківського національного університету
міського господарства ім. О.М. Бекетова,
д.т.н., професор



Г.Л. Ватуля