

ВІДГУК

офіційного опонента кандидата технічних наук, доцента Журавського О.Д. на дисертаційну роботу **Башинської Ольги Юріївни «Створення розрахункових моделей будівельних конструкцій при врахуванні реологічних властивостей залізобетону»**, представлену на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.23.01 – будівельні конструкції, будівлі та споруди

Актуальність теми дисертації. При проектуванні будівель та споруд необхідно враховувати усі фактори, які впливають на їхню роботу та безпечну експлуатацію. Одним з таких факторів є деформації повзучості та усадки бетону, які проявляються в конструкціях на протязі тривалого часу. Вони є одними з чинників, які впливають на втрати попереднього напруження в арматурі попередньо-напружених залізобетонних конструкцій. Деформації повзучості бетону значно зростають при збільшенні температури, а величина модуля деформації при цьому зменшується. Це призводить до збільшення пластичних деформацій конструкції. За таких умов потрібно враховувати зміну коефіцієнта повзучості в залежності від величини температурного навантаження. При моделюванні роботи конструкцій в програмних комплексах важливо також враховувати реологічні властивості матеріалів, що дасть більш точні результати розрахунків. Тому дисертаційна робота Башинської О.Ю. «Створення розрахункових моделей будівельних конструкцій при врахуванні реологічних властивостей залізобетону» є **актуальною.**

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Робота виконана в рамках пріоритетного напрямку науки і техніки та згідно постанови уряду України «Про забезпечення надійності і безпечної експлуатації споруд, будівель та мереж» та «Про затвердження Порядку застосування будівельних норм, розроблених на основі національних технологічних традицій, та будівельних норм, гармонізованих з нормативними документами Європейського Союзу». Результати досліджень використані при виконанні держбюджетних тем Національного авіаційного університету №6/10.01.02 «Комп'ютерне моделювання процесів життєвого циклу об'єктів цивільного та транспортного будівництва» та №36/10.01.02 «Побудова теорії опору складених залізобетонних конструкцій на основі механіки руйнування залізобетону та її комп'ютерне моделювання».

Ступінь обґрунтованості і достовірності наукових положень, висновків і рекомендацій, сформульованих у дисертації. Достовірність результатів забезпечується обсягом експериментальних та теоретичних досліджень, виконання досліджень з використанням атестованого устаткування та повірених приладів. Основою для обґрунтування наукових положень слугує використання перевірених практикою експериментальних та чисельних

Вхід №42
Від 14.11.2019р.
Дошк-

методів досліджень, а також задовільна збіжність експериментальних та теоретичних даних, що підтверджено статистично.

Наукова новизна отриманих результатів. Наукова новизна отриманих результатів полягає в наступному:

- розроблена методика чисельного моделювання залізобетонних конструкцій із урахуванням зміни температури оточуючого середовища, які впливають на зниження механічних та деформаційних властивостей бетону та арматури;
- розроблено алгоритм визначення деформацій конструкції із урахуванням деформацій повзучості на основі подвійного степеневого закону;
- запропоновано алгоритм визначення функції повзучості, яка враховує вплив зміни температури оточуючого середовища, гідратації та абсолютної вологості бетону на залізобетонні конструкції;
- отримані аналітичні залежності та розроблена методика розрахунку залізобетонних плит перекриття з урахуванням в'язко-пружно-пластичності бетону та впливу температурних факторів;
- розроблена математична модель, яка дозволяє урахувати зміну температури в поперечному перерізі елемента та її вплив на розвиток нелінійних деформацій з урахуванням зниження характеристик міцності та деформативності матеріалу.

Практичне значення отриманих результатів роботи полягає в наступному:

- запропонована методика для проектування будівель та споруд, в яких можуть виникати деформації повзучості, що залежать від температури;
- виконані чисельні експерименти дозволяють визначити небезпечні фактори, що характеризують можливу зміну умов експлуатації будівлі (збільшення пластичних деформацій або високотемпературні впливи тощо);
- наведені алгоритми розрахунку конструкції, які дозволяють виконувати повторний розрахунок будівель та споруд, що зазнали впливу високих температур;
- результати дослідження можна використовувати при удосконаленні нормативів у рамках забезпечення конструктивної безпеки будівель та споруд у випадку впливу високих або підвищених температур;
- наведено алгоритм визначення параметрів термонапруженого стану, при яких забезпечується подальша безпечна експлуатація залізобетонної конструкції;
- запропоновані рекомендації щодо прогнозування технічного стану будівель та споруд під час їхньої експлуатації, що дають можливість максимально точно визначити ресурс конструкцій.

Повнота викладу наукових положень, висновків і рекомендацій в опублікованих працях. Основні положення роботи викладено в 12 наукових працях, у тому числі 4 наукових публікацій, у спеціалізованих фахових виданнях, внесених до переліку ВАК України, 1 публікація, у виданні, що

входить до міжнародної наукометричної бази Index Copernicus, 1 публікація у зарубіжному періодичному виданні, 1 стаття, що додатково відображає результати дисертаційного дослідження та 5 публікацій у збірниках праць за матеріалами конференцій. Опубліковані праці достатньо відображають зміст дисертаційної роботи, а автореферат повністю відповідає змісту дисертації і є її коротким викладом. Дисертаційна робота є апробованою на наукових конференціях всеукраїнського рівня.

Оцінка змісту дисертації. Дисертаційна робота складається із вступу, п'яти розділів, висновків, списку використаних джерел та додатків. Загальний обсяг дисертації складає 140 сторінок, із них 112 сторінок – основна частина тексту. У тексті міститься 45 графічних ілюстрацій, 6 таблиць, список використаних джерел обсягом 125 найменувань на 13 сторінках, додатки на 10 сторінках.

У вступі дисертаційної роботи обґрунтована актуальність вибраної теми, її зв'язок з науковими програмами, сформульовані мета і завдання дослідження, наведені основні наукові результати, практичне значення отриманих результатів роботи, особистий внесок здобувача, дані щодо апробації результатів дослідження, публікації, структура та обсяг роботи.

У першому розділі наведений аналіз роботи будівельних конструкцій при розвитку деформацій повзучості матеріалу. Проведено аналіз та порівняння існуючих гіпотез та методів визначення температурних деформацій бетону. Розглянуто основні гіпотези та припущення теорії пластичності та повзучості. Наведено аналіз існуючих методів визначення функцій повзучості, а саме моделі пружно-повзучого тіла та моделі, що описана в європейських нормативних документах. В класичній теорії пружності вважається, що напружений стан тіла однозначно визначається його деформацією. Для однорідного ізотропного матеріалу залежність між компонентами деформацій та напружень при одновісному напруженому стані виражається за допомогою закону Гука. Якщо деформації являються функцією, що залежить від часу, то для визначеного моменту – напруження визначаються єдиним чином. Але в реальності, для більшості матеріалів, таких, як бетон, не існує однозначної прямої залежності між напруженнями та деформаціями. Такі тіла характеризуються тим, що здатні деформуватися в часі при незмінному навантаженні. Для таких тіл напруження в певний момент часу визначаються не тільки через величину деформацій, але й в залежності від всієї попередньої історії деформування. Численні експериментальні дослідження бетону лежать в основі сучасної теорії повзучості. Як і в усіх феноменологічних теоріях, в основі теорії повзучості бетону лежить ряд робочих гіпотез, що являють собою узагальнення результатів експериментальних даних. Теорія повзучості, має справу зі значно більш складними явищами, ніж теорія пружності, а також теорія пластичності. Положення теорії повзучості можна порівняти з положеннями теорії пластичності тіла, що зміцнюється. Як в пластичності,

так і в повзучості, виявляється можливим побудувати різні спрощені рівняння, що придатні для описання певного обмеженого кола явищ.

У **другому розділі** розглянуті основні функціональні залежності для вирішення завдання рівноваги пружно-повзучого середовища. Також проаналізовано роботу мостової конструкції з урахуванням появи ефектів пружної післядії. Побудовано графіки зміни статичних і кінематичних характеристик елементів конструкції. Використання фізично нелінійних законів деформування, а саме комп'ютерне моделювання ефекту повзучості в задачах розрахунку мостових споруд дозволяє проаналізувати процес зміни їх напружено-деформованого стану в часі. Відзначено збільшення напружень в арматурі з плином часу, у зв'язку з чим рекомендується враховувати деформації повзучості при проектуванні мостових конструкцій.

Автор вважає, що недостатня оцінка впливу реологічних властивостей бетону в процесі проектування мостів може привести до непридатності конструкції до нормальної експлуатації, а іноді і до аварійних наслідків.

Розглянуті методи визначення деформацій повзучості дозволяють визначити рівняння для розрахунку коефіцієнта повзучості. Представлено порівняння між коефіцієнтами повзучості, отриманими за розглянутими залежностям з експериментальними даними.

Проведено теоретичне дослідження напружено-деформованого стану конструкції моста при прояві деформацій пружного післядії з використанням аналітичних виразів для діаграм при постійному завантаженні. Побудований графік прогинів конструкції при використанні різних теорій деформування в'язко-пружного тіла. Також запропоновано методику підсилення конструкцій армованими полімерними матеріалами. Розглянуто варіант моделювання підсилення конструкцій металевою обіймою. Отримано значення напружено-деформованого стану елемента рамної конструкції в межах аналітичної моделі.

Наведено алгоритм розрахунку підсилення конструкції при виникненні пластичних деформацій. Проведено аналіз роботи конструкції, підсиленої композитними матеріалами в інженерному калькуляторі «ЕСПРІ» та в програмному комплексі «ЛІРА-САПР».

Результатом дослідження є оцінка напружено-деформованого стану конструкції при моделюванні її підсилення за допомогою армованого волокна полімеру фізично нелінійною постановкою задачі.

У **третьому розділі** показано процес реалізації розрахунку деформацій термоповзучості конструкції за допомогою методу скінченних елементів в програмному комплексі ЛІРА-САПР. Проведено теоретичне дослідження напружено-деформованого стану залізобетонних елементів з урахуванням повзучості згідно Eurocode і термоповзучості. Виконано порівняння отриманих результатів. Показано, що підвищення температури експлуатації споруди значно впливає на деформації повзучості.

Вивчення напружено-деформованого стану, яке викликане вимушеними деформаціями, вимагає врахування зміни в часі фізико-механічних властивостей бетону і явища повзучості. Особливістю вимушених деформацій є те, що напруження, що викликаються ними, незалежно від їх величини, в результаті прояву повзучості, зазвичай значно збільшуються в часі, навіть в області лінійної повзучості, в той час, як напруження, викликані дією зовнішнього навантаження в цій області практично не змінюються і дія повзучості позначається лише на переміщеннях конструкції. Також, у розділі розглянуто питання про апроксимацію неперервної функції на окремих елементах. Також показано, як для отримання результатів на окремих елементах складаються кусочно-неперервні функції, які необхідні для апроксимації загальної функції по усій області. Ця множина кусочно-неперервних функцій визначається числовими значеннями вузлових величин. Кінцева мета такого обчислення складається в отриманні для вузлових величин таких чисельних значень, при яких співвідношення для скінченних елементів точно апроксимують деякий фізичний параметр, а саме температуру у вузлах. На ранній стадії розвитку методу скінченних елементів вузлові значення приймалися мінімізацією інтегральної величини, що пов'язана з фізичним процесом. В задачах механіки деформування тіла, наприклад, мінімізувалася потенціальна енергія тіла. В результаті рівняння, що визначали систему, зводилися до лінеаризованих систем рівнянь рівноваги, які можна вирішити відносно вузлових переміщень.

У **четвертому розділі** запропонована залежність, яка дозволяє розрахувати повні деформації конструкції (з урахуванням деформацій повзучості) і яка також дає можливість врахувати історію зміни температури навколишнього середовища конструкції. Наведена формула враховує вплив на деформації повзучості таких факторів, як швидкість гідратації цементу, зміни відносної вологості, а також зміни теплових потоків в бетоні в залежності від температури навколишнього середовища.

За результатами порівняння емпіричних і аналітичних даних автор стверджує, що запропонована функція повзучості підходить для визначення повних деформацій при експлуатації конструкції.

Наведені основні рівняння, розроблена методика розрахунку залізобетонних конструкцій на основі в'язко-пружно-пластичної моделі бетону і подвійного степеневого закону термоповзучості. Дана методика підходить для будь-якого температурного режиму експлуатації будівель і споруд в умовах підвищених технологічних або кліматичних температур.

У розділі виконано розрахунок математичних моделей тестових споруд в програмному комплексі «ЛІРА-САПР» із використанням різних методик моделювання та розрахунку пластичних деформацій. Проведено порівняння кінематичних характеристик розрахункових схем при різних методах визначення деформацій повзучості.

Також, у розділі розглянуто приклад чисельного моделювання зміни температурного режиму експлуатації будівель. У програмному комплексі

«ЛПРА -САПР» були створені три розрахункові схеми однакової конфігурації, з використанням різних методів обчислення напружень і деформацій, з метою дослідження результатів розрахунку в залежності від виду закону деформування і вибору закону повзучості.

Зміна температури зовнішнього середовища значно впливає на зміну фізико-механічних властивостей бетону. Подвійний степеневий закон дозволяє враховувати вплив зміни температурного режиму експлуатації на напружено-деформований стан конструкції при розрахунку будь-яких цивільних і промислових будівель і споруд. У звичайних умовах роботи бетонні та залізобетонні конструкції постійно піддаються впливу зміни температури і вологості, що викликає в них температурні деформації. Швидкість деформації повзучості істотно залежить від температури середовища, особливо в момент прикладання навантаження.

У **п'ятому розділі** наведені результати дослідження напружено-деформованого стану залізобетонної плити перекриття в умовах вогневого впливу за уточненою методикою. Створено скінченно-елементну схему плити перекриття. На першому етапі дослідження вирішується нестационарна задача теплопровідності. На основі вирішення цього завдання отримані температурні поля по поперечному перерізу конструкції в певні проміжки часу. Другим етапом дослідження був розрахунок міцності, який моделює роботу плити перекриття в різні моменти часу вогневого впливу. Розглянуто кілька розрахункових схем, які відповідають різним моментам часу вогневого впливу. У кожній розрахунковій схемі плити перекриття були знижені міцнісні і деформаційні характеристики бетону і арматури відповідно до температури прогріву перерізу. Виконано розрахунок конструкції на вогнестійкість в лінійній постановці, а також з урахуванням фізично-нелінійної роботи конструкції і впливу повзучості. Наведені результати порівняння кінематичних характеристик розрахункових схем в різних постановках задачі.

Розроблено методику, що дозволяє враховувати вплив повзучості при чисельному моделюванні вогневого впливу.

Наведена методика розрахунку залізобетонних конструкцій на вплив високих температур з урахуванням фізичної нелінійності матеріалів і впливу повзучості. Дана методика найбільш точно відображає роботу конструкції при впливі вогню, а також дає можливість максимально точно розраховувати конструкції на вогнестійкість і забезпечувати їх міцність і надійність.

Урахування впливу повзучості дає можливість визначити повні деформації конструкції, і виконати уточнений метод розрахунку будівлі або споруди. Вирішена тестова задача з аналізу роботи залізобетонної плити перекриття з урахуванням впливу вогню.

У **загальних висновках** стисло викладено основні результати та досягнення по дисертаційній роботі. Описано вплив розподілу температури по усьому поперечному перерізу на зменшення міцності та властивостей деформаційних

матеріалів будь-якого конструктивного елемента. Відмічено, що запропоновані алгоритми дозволяють вирішити стаціонарну та нестаціонарну задачі теплопровідності та враховувати основні види теплового навантаження, а саме: тепловий потік, задану температуру у вузлі, конвективний теплообмін із середовищем. Автор враховує деформації повзучості при реалізації методу скінчених елементів, із використанням різних законів визначення функції повзучості.

Зауваження по роботі.

Поряд із загальним позитивним враженням виникли наступні зауваження:

1. В огляді проведених досліджень нічого не сказано про роботи, виконані в КНУБА. Зокрема, були виконані досліди на зразках з рівнем обтиску до $0,9f_{cd}$ в умовах одноосного та двохосного стиску.
2. Відомо, що деформації повзучості суттєво впливають на втрати попереднього напруження в арматурі попередньо-напружених залізобетонних конструкцій. Було б дуже корисно змодельювати такі конструкції в ПК «ЛПРА-САПР» з використанням спеціальних скінчених елементів, які враховують деформації повзучості.
3. Деформації повзучості в умовах двохосного стиску відрізняються від одноосного стиску. Боковий обтиск зменшує величину деформацій повзучості у іншому напрямку. У роботі не врахована ця властивість. Особливо при розрахунку плит.
4. Позначення коефіцієнта повзучості в роботі наведено символом ϕ , а згідно ДБН він позначається символом φ .
5. На рис. 2.6 на графіках « σ - ε » для бетону старі позначення, що не відповідають ДБН.
6. На рис. 4.2 міра повзучості чомусь називається коефіцієнтом повзучості.
7. На сторінках 10, 50, 53, 58, 61, 69, 70, 71, 80, 84, 85, 89, 90, 94, 99, 105, 109, 111, 112 виявлені друкарські помилки в тексті.

Висновок

Представлена дисертація Башинської О.Ю. є завершеною роботою. У ній отримані достатньо обґрунтовані та експериментально підтверджені нові наукові результати, має теоретичне та практичне значення. Автореферат цілком відображає зміст дисертації. Результати роботи прийняті до впровадження. Основні результати дисертації опубліковані у фахових виданнях. Дисертація досить добре оформлена. Висловлені зауваження не торкаються принципів положень і результатів розглянутої дисертації, що не впливає на загальну позитивну оцінку роботи.

Усе вище викладене дозволяє зробити висновок про те, що дисертаційна робота *«Створення розрахункових моделей будівельних конструкцій при врахуванні реологічних властивостей залізобетону»* відповідає вимогам «Порядку присудження наукових ступенів», затвердженого постановою Кабінету Міністрів України №567 від 24 липня 2013 року, а її автор,

Башинська Ольга Юріївна, заслуговує присудження наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.23.01 – Будівельні конструкції, будівлі і споруди.

Офіційний опонент:

*кандидат технічних наук, доцент,
завідувач кафедри залізобетонних
та кам'яних конструкцій Київського
національного університету
будівництва і архітектури*



Журавський О.Д.

Підпис завідувача кафедри ЗБК, доцента Журавського О.Д. засвідчую.

*Вчений секретар Ради Київського
національного університету будівництва
і архітектури*



Петренко О.С.