

## ВІДГУК

офіційного опонента на дисертаційну роботу

**Башинської Ольги Юріївни**

**"Створення розрахункових моделей будівельних конструкцій при врахуванні реологічних властивостей залізобетону"**, поданої на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.23.01 – будівельні конструкції, будівлі та споруди

### Актуальність обраної теми.

Надійність і довговічність бетонних і залізобетонних конструкцій і споруд не може бути забезпечена без урахування важливих особливостей деформування бетону. Реологічні властивості бетону, що обумовлені його властивістю повзучості, дуже впливають на напружено-деформований стан конструкції в часі. Так, з плином часу відбувається перерозподіл зусиль між сильно та слабо навантаженими елементами, між арматурою та бетоном в перерізах елементів, що в результаті може призвести до руйнування споруди.

Прогнозування тривалого деформування бетону в часі є актуальним, тому що від правильного врахування таких особливостей бетону та залізобетону при проектуванні – залежить надійність і довговічність будівельних конструкцій.

Застосування залізобетону при будівництві споруд спеціального призначення, що експлуатуються при підвищених температурах (димові труби, коксові батареї, фундаменти під спеціальні печі тощо) сприяє прояву повзучості, яка залежить від температури. Таке явище отримало назву термоповзучості. По суті, термоповзучість визначає міцність перерахованих вище споруд, а забезпечити надійність таких споруд при проектуванні можна лише на основі теорії руху середовища, що знаходиться в стані повзучості.

Врахування термоповзучості є необхідним при розрахунку конструкцій на вогнестійкість. Під час вогневого впливу температура повітря може сягати вище 1000 °С. В такому випадку, починає виникати миттєва термоповзучість, тобто повзучість, що розвивається з такою швидкістю, при якій вплив звичайної повзучості не враховується. На відміну від звичайної повзучості її тривалість вимірюється хвилинами.

В зв'язку з цим, тематику досліджень з метою врахування реологічних властивостей бетону елементів залізобетонних конструкцій можна вважати безумовно актуальною та практично корисною.

### Зв'язок роботи з науковими програмами і планами, планами, темами.

Тема дисертації й отримані результати відповідають актуальним напрямкам науково-технічної політики України відповідно до Постанови Кабінету Міністрів України №409 від 05.05.1997 р «Про забезпечення надійності і безпечної експлуатації будівель споруд і мереж», від 23.05.2011 №547 «Про затвердження Порядку застосування будівельних норм, розроблених на основі національних технологічних традицій, та будівельних норм, гармонізованих з нормативними документами Європейського Союзу».

Вх ід №41  
Від 14.11.2019 р.  
Ю.О.Шульц



Дисертаційна робота виконана на кафедрі комп'ютерних технологій будівництва Національного авіаційного університету в рамках наукових досліджень кафедри за держбюджетною темою № 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».

### **Загальні аспекти роботи.**

Дисертаційна робота включає всі складові, які встановлено правилами та вимогами до робіт такого рівня. Конкретно сформульовано мету і задачі досліджень, визначено предмет і об'єкт дослідження, вказано наукову новизну роботи та практичне значення отриманих результатів.

Метою роботи є розроблення методів підвищення точності розрахунку напружено-деформованого стану та несучої здатності залізобетонних конструкцій за рахунок уточнення реологічних моделей бетону та арматури, температурних впливів, діаграм деформування, проведення чисельного моделювання напружено-деформованого стану, нових методів експериментальних досліджень.

Для здійснення цієї мети було передбачено виконання наступних задач:

- узагальнення результатів дослідження в області визначення характеристик міцності та деформативності конструкцій (прогинів та переміщень) із врахуванням впливу реологічних властивостей роботи бетону, обґрунтування необхідності проведення дослідження в цій області, визначення передумов та допущень;

- отримання аналітичних залежностей, які дозволяють врахувати вплив зміни температури оточуючого середовища конструкції на розвиток деформацій повзучості;

- розробка методики визначення напружено-деформованого стану залізобетонних конструкцій будівель та споруд з урахуванням фізичної нелінійності бетону;

- створення математичної моделі залізобетонних конструкцій із урахуванням додаткових факторів (вплив високих температур, розвиток пластичних деформацій тощо);

- розробка алгоритму, який враховує в'язко-пружно-пластичну роботу бетону для скінченно-елементних моделей будівельних конструкцій, які знаходяться під впливом високих температур, що змінюються у часі.

- порівняльний аналіз результатів розрахунків залізобетонних конструкцій методом скінченних елементів із отриманими експериментальними даними.

**Об'єкт дослідження** - залізобетонні будівельні конструкції, що знаходяться під впливом силових та температурних навантажень.



**Предмет дослідження** - характеристики міцності та деформативності будівельних конструкцій при врахуванні реологічних властивостей залізобетону та зміни температури оточуючого середовища.

**Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків та рекомендацій**, сформульованих у дисертаційній роботі, обумовлюється:

- використанням загальноприйнятих передумов і допущень для розробки моделей задач, що розглядаються;
  - проведенням і використанням результатів експериментальних досліджень для перевірки сформульованих гіпотез і положень розрахункових методик;
  - застосуванням аналітичних методів при побудові та подальшому аналізі розрахункових методик;
  - порівнянням результатів, які було отримано експериментальним шляхом, з даними розрахунків за розробленими методиками;
  - впровадженням результатів досліджень в будівельну практику.
- Наукові положення, висновки та рекомендації підтверджуються апробацією на республіканських і міжнародних наукових конференціях.

**Достовірність та новизна наукових положень, висновків та рекомендацій**. Результати роботи достовірні, оскільки вони отримані в ході проведення комплексу експериментально-теоретичних досліджень.

**Достовірність** основних положень та результатів дисертації доведена:

- проведенням експериментальних досліджень;
- розробленими аналітичними та чисельними методами визначення напружено-деформованого стану в залізобетонних конструкціях при сумісному впливі навантаження та температури для визначення особливостей впливу температури на їхній граничний стан з використанням комп'ютерних технологій;
- статистичними методами оцінки результатів експериментальних досліджень;
- використанням розроблених методик при визначенні вогнестійкості реальних конструкцій.

**Наукова новизна** отриманих результатів:

- удосконалено методику чисельного моделювання залізобетонних конструкцій із врахуванням впливу зміни температури оточуючого середовища на зниження механічних та деформаційних властивостей бетону та арматури;
- розроблено алгоритм визначення деформацій конструкції із врахуванням виникнення деформацій повзучості на основі подвійного степеневого закону;
- удосконалено алгоритм визначення функції повзучості, що враховує вплив зміни температури оточуючого середовища, гідратації та абсолютної вологості бетону на залізобетонні конструкції;
- отримані аналітичні залежності та розроблена методика розрахунку залізобетонних плит перекриття із врахуванням в'язко-пружно-пластичності бетону та впливу температурних факторів;



– набула подальшого розвитку математична модель, яка дозволяє врахувати зміну температури в перерізі елемента та її вплив на розвиток нелінійних деформацій із врахуванням зниження характеристик міцності та деформативності матеріалу.

### **Практичне значення одержаних результатів роботи.**

Розроблені пропозиції щодо розрахунку залізобетонних конструкцій надано державному підприємству «Державний науково-дослідний інститут будівельних конструкцій» (ДП НДІБК) і використано при розробці зміни №1 національного нормативного документу України ДБН В.2.6-98: «Бетонні та залізобетонні конструкції. Основні положення» в частині вимог до розрахунку залізобетонних конструкцій будинків та споруд, з урахуванням реологічних властивостей залізобетону.

Результати роботи використано ТОВ «ЛІРА-САПР» при розробці та реалізації методики розрахунку задач із врахуванням нелінійної роботи бетону та врахуванні ефекту повзучості, а також при реалізації нової підсистеми для вирішення задач теплопровідності, що є складовою частиною програмного комплексу «ЛІРА-САПР».

Розроблені методи розрахунку впроваджено та застосовано в діяльності кафедри комп'ютерних технологій будівництва факультету архітектури, будівництва та дизайну Національного авіаційного університету при викладанні дисциплін «Комп'ютерні технології проектування конструкцій будівель та споруд аеропортів», «Інтегровані технології проектування будівель та споруд».

### **Оцінка змісту роботи.**

Дисертаційна робота відповідає вимогам Міністерства освіти і науки України стосовно обсягу, структури та оформлення. Структура роботи визначається змістом завдань, етапів та результатів дослідження. Вона включає анотацію, вступ, п'ять розділів, загальні висновки, список використаних джерел із 125 найменувань та 3 додатки. Повний обсяг роботи складає 140 сторінок, в тому числі основна частина складає 112 сторінок, список використаних джерел – 13 сторінок і додатки – 10 сторінок. Крім тексту, робота включає 6 таблиць і 45 рисунків.

У **вступі** обґрунтовано актуальність теми, визначено мету і задачі роботи, об'єкт і предмет досліджень, обґрунтовано правильність використання методів дослідження, показано зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами, наукову новизну отриманих результатів та їхнє практичне значення, описано особистий внесок здобувача.

В **першому розділі** проводиться аналіз роботи будівельних конструкцій при розвитку пластичних деформацій та при врахуванні нелінійної роботи матеріалу. Розглянуті відомі роботи фахівців в області дослідження повзучості бетону, будівельної механіки та механіки твердого деформованого тіла.



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 та носить назву СЕВ 90.

Численні експериментальні дослідження бетону стали в основі сучасної теорії повзучості. Як і у всіх феноменологічних теоріях, в основі теорії повзучості бетону лежить ряд робочих гіпотез, що являють собою узагальнення результатів експериментальних даних.

Теорія повзучості має справу з більш складними явищами в порівнянні з теорією пружності або пластичності. Положення теорії повзучості можна порівняти хіба що з положеннями теорії змінної пластичності тіла. В обох теоріях є намір описати весь комплекс властивостей реального тіла, охопивши його деякою єдиною системою рівнянь. Як в пластичності, так і в повзучості, виявляється можливим побудувати різні спрощені рівняння, що придатні для описання певного обмеженого кола явищ.

Зроблено висновки і сформульовано задачі досліджень.

**У другому розділі** наведено основні припущення та передумови врахування пластичних деформацій бетону. Розглянуто основні рівняння та методи вирішення задачі рівноваги пружно-повзучого середовища. Розглянуто гіпотези, що дозволяють розрахувати ядро інтегрального рівняння Вольтера зі змінною верхньою межею, яке описує повні відносні деформації тіла.

Для аналізу існуючих методів вирішення задачі пружно-повзучого середовища, представлено порівняння між коефіцієнтами повзучості, отриманими за різними методами, а саме: модель СЕВ 90 і модель пружно-пластичного тіла та проведено порівняння із експериментальними даними.

Відзначено, що основним недоліком моделі СЕВ 90 є те, що при розрахунках деформації повзучості практично не залежать від віку матеріалу в момент завантаження, а визначаються, в основному, тривалістю дії зовнішнього навантаження. З цього виходить, що ця теорія краще описує картини напружено-деформованого стану тіл, що знаходяться в старому віці. Також вона не може повністю описати процес зміни напружень і деформацій в спорудах з урахуванням старіння матеріалу.

Обґрунтовано використання математичного моделювання з використанням сучасних програмних комплексів для визначення вогнестійкості конструкцій.

**У третьому розділі** наведено методику використання методу скінченних елементів для вирішення задачі теплопровідності та визначення термонапруженого стану. Наведено методику розрахунку деформацій повзучості, як частини розрахунку залізобетонної конструкції із врахуванням фізичної нелінійності. Встановлено, що для точного визначення пластичних деформацій конструкції в залежності від зміни температури, потрібно знати розподілення температури по всій конструкції, а також по перерізу елементів



конструкції. Обґрунтовано використання методу скінченних елементів для вирішення цієї задачі.

В рамках дисертаційної роботи в програмному комплексі «ЛПА-САПР» реалізовано модуль, що дозволяє вирішувати стаціонарні та нестаціонарні задачі теплопровідності. Реалізовано методику розрахунку на різні види зовнішнього навантаження, а саме: стаціонарний та нестаціонарний теплові потоки, задана температура у вузлі, конвекційний теплообмін та променевий теплообмін (радіація).

Для цього було створено скінченні елементи теплопровідності та конвекційного теплообміну.

У розділі розглянуті основні передумови створення скінченних елементів, методи виведення матриць жорсткості, конвекції та теплопоглинання. Наведені основні ідеї та методи апроксимації функції вузлових невідомих.

Температура всередині всіх скінченних елементів теплопровідності апроксимується лінійними поліномами.

Розглянуто виведення функцій форм для стержневих, плоских та об'ємних скінченних елементів з одним ступенем вільності, тобто симплекс-елементів

**У четвертому розділі** наведені основні положення визначення деформації термповзучості. Розглянуті існуючі методики розрахунку залізобетонних конструкцій із врахуванням температурного впливу.

Наведено формули для математичного моделювання пластичних деформацій бетону із врахуванням зміни температурного режиму експлуатації, проведено порівняння аналітичних результатів із експериментальними даними.

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

У звичайних умовах роботи бетонні та залізобетонні конструкції постійно піддаються впливу зміни температури та вологості, що викликає в них температурні деформації. Швидкість деформації повзучості істотно залежить від температури середовища, особливо в момент прикладання навантаження на тіло.

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

Зміна температури зовнішнього середовища суттєво впливає на зміну фізико-механічних властивостей бетону. Подвійний степеневий закон, який реалізовано у програмному комплексі «ЛПА-САПР», дозволяє враховувати вплив зміни температурного режиму експлуатації на напружено-деформований стан конструкції при розрахунку будь-яких цивільних та виробничих будівель та споруд.



У п'ятому розділі розглянуто приклад моделювання плити перекриття за авторською методикою. Згідно з наведеною методикою, елемент конструкції поділяється на характерні ділянки. Далі проводиться теплотехнічний розрахунок конструкції методом скінченних елементів або методом скінченних різниць. В рамках дисертаційної роботи було розглянуто лише перший метод (скінченних елементів).

Розглянуто приклад розрахунку моделі плити перекриття, виконано теплотехнічний розрахунок, визначено зменшені характеристики матеріалів, визначено закон розрахунку деформацій повзучості та проведено статичний розрахунок конструкції на міцність із врахуванням фізично-нелінійної роботи конструкції. Проведено порівняння результатів розрахунку за авторською методикою із розрахунком за методиками, які наведено в нормативних документах, а також порівняння результатів розрахунку із реальними характеристиками конкретної споруди, що зазнала впливу високих температур при пожежі.

Застосування комп'ютерних технологій чисельного моделювання з використанням нелінійної теорії залізобетону дозволило виявити особливості протікання процесів формування напружено-деформованого стану в конструкціях на всьому діапазоні прикладання навантажень і температурного впливу.

В загальних висновках викладено основні результати, які отримано в ході проведених досліджень. Відзначено актуальність для України проблеми розрахунку конструкцій з урахуванням реологічних властивостей залізобетону, яка відповідає пріоритетним напрямкам розвитку науки і техніки, які визначено Верховною Радою України.

Список використаних джерел включає 125 найменувань, до яких входять публікації вітчизняних і зарубіжних авторів, більшість з яких відображають сучасний стан досліджень (не пізніше 10 років).

В додатках дисертаційної роботи наведено список публікацій автора, відомості про апробацію результатів досліджень, а також документи, що засвідчують впровадження результатів досліджень.

### **Апробація результатів роботи.**

Результати досліджень, практичних розробок та впроваджень висвітлено в 11 (одинадцяти) наукових конференціях: II міжнародний науково-практичний конгрес «Міське середовище XXI ст. Архітектура. Будівництво. Дизайн» (Київ, НАУ, 2016 р.); XIX конференція молодих вчених «Наука – майбутнє Литви. Транспортна інженерія. Менеджмент» (Вільнюс, Вільнюський технічний університет Гедиміна, 2016 р.); науково-практична конференція «Будівлі та споруди спеціального призначення: сучасні матеріали та конструкції» (Київ, КНУБА, 2016 р.); XIV міжнародна науково-практична конференція «Інноваційні технології життєвого циклу об'єктів житлово-цивільного, промислового і транспортного призначення» (Кам'янець-Подільський, 2016 р.); XII міжнародна науково-технічна конференція «Сталезалізобетонні конструкції: дослідження, проектування, будівництво, експлуатація» (Полтава,



2016 р.); I та II міжнародна науково-практична конференція «Сучасні методи і проблемно орієнтовані комплекси розрахунку конструкцій. Їх застосування у проектуванні і навчальному процесі» (Київ, КНУБА, 2017 р., 2018 р.); науково-практичний семінар щодо підвищення кваліфікації за спеціальністю «Вогнестійкість будівельних конструкцій. Пожежна безпека об'єктів будівництва» (Київ, ДНДІБК, 2018 р.); науково-практична конференція «Будівлі та споруди спеціального призначення: сучасні матеріали та конструкції» (Київ, КНУБА, 2018 р.); XVI міжнародна науково-практична конференція «Інноваційні технології життєвого циклу об'єктів житлово-цивільного, промислового і транспортного призначення» (с. Брюховичі, Україна, 2018 р.); міжнародна наукова конференція «Задачи и методы компьютерного моделирования конструкций и сооружений» («Золотовские чтения»), (Москва, Російська Академія Архітектурних і Будівельних Наук, 2019 р.).

**Особистий внесок здобувача.** Сформульовані в дисертації науково-практичні положення, висновки і пропозиції являються результатом самостійної роботи автора. В роботах, які опубліковано в співавторстві, автору належить:

- підбір, узагальнення й аналіз результатів проведених раніше досліджень, формулювання мети та задач досліджень;
- дослідження методик розрахунку пластичних деформацій конструкцій, формування параметрів для розрахунку конструкції моста із врахуванням фізично-нелінійної роботи матеріалу;
- виконання розрахунків в інженерному калькуляторі «ЕСПРІ», виведення алгоритму розрахунку підсилення конструкцій композитними матеріалами із врахуванням пластичності бетону;
- теоретичне дослідження існуючих гіпотез визначення функції повзучості, побудова графіків порівняння досліджених методик;
- участь в розробленні методів експериментальних досліджень сталезалізобетонних конструкцій (методики, установки, експериментальних зразків);
- створення розрахункових схем конструкцій, виконання розрахунків із врахуванням фізичної нелінійності.

**Повнота викладених основних результатів дисертаційної роботи в опублікованих працях.**

Всі наукові положення й отримані результати в повній мірі опубліковано у 12 друкованих працях, з яких: 5 – у фахових збірниках і журналах, рекомендованих МОН України (з них 1 – у збірках, які включено в наукометричну базу 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.

Автореферат дисертації досить стисло і достатньо повно відображає мету, задачі і результати виконаних досліджень та зроблені на їх основі висновки.



Матеріал автореферату викладено якісною технічною мовою, що свідчить про професійну підготовку здобувача. Оформлення автореферату по формі відображенню змісту роботи відповідає вимогам наказу Міністерства освіти і науки України від 12.07.2017 № 40.

Назва дисертаційної роботи та виконані дослідження стисло і конкретно відповідають досягненню поставленої мети.

### **Зауваження по роботі.**

1. Автору в розділі 2 слід було навести загальні гіпотези та припущення, які було прийнято при розробці методики розрахунку.

2. На стор. 51 автор використала термін «сталобетонні» замість «сталезалізобетонні» елементи.

3. Як використовуються результати дослідження нелінійного розподілу температури по перерізам плит для розрахунку їхнього напружено-деформованого стану в програмному комплексі, при заданні значень температур на верхній і нижній поверхнях?

4. Яким чином враховувати роботу верхньої та нижньої арматури плити при використанні запропонованого критерію граничного стану – крива «навантаження-переміщення».

5. Автору слід було окреслити коло конструкцій, для яких слід було використовувати розроблені пропозиції, з огляду на (трудомісткість) підготовки даних для розрахунку.

6. Який температурний режим (було реалізовано) при розрахунках експериментальних конструкцій на вогнестійкість (розділ 5)?

7. Автору слід було використати результати експериментальних досліджень школи професора Голишева О.Б., які було опубліковано в середині та наприкінці ХХ століття.

8. В дисертації дуже стисло наведено результати використання розробленої методики розрахунку. Слід було навести економічне підґрунтя проведених досліджень, а також описати конструкції на об'єктах впровадження.

### **Висновки про відповідність роботи встановленим вимогам Міністерства освіти і науки України.**

1. Дисертаційна робота Башинської Ольги Юріївни «Створення розрахункових моделей будівельних конструкцій при врахуванні реологічних властивостей залізобетону» є завершеною науковою працею, яка відповідає вимогам п. 9, 11, 12 «Порядку присудження наукових ступенів і присвоєння вченого звання старшого наукового співробітника», затвердженому постановою Кабінету Міністрів України від 24 липня 2013 року №567, містить раніше не захищені наукові положення та отримані автором нові обґрунтовані теоретичні і експериментальні результати в частині оцінки напружено-деформованого стану залізобетонних конструкцій при спільній дії силових і високо-температурних впливів. В дисертації розроблено і адаптовано до практичного використання уточнений комплексний метод розрахунку залізобетонних



конструкцій з урахуванням нелінійних (реологічних) властивостей бетону, в т.ч. і при дії високих температур при пожежі, з використанням комп'ютерних технологій. Робота має актуальність, новизну і практичне значення та відповідає паспорту спеціальності 05.23.01 – будівельні конструкції, будівлі та споруди. Результати роботи достовірні.

2. Висловлені зауваження не впливають на загальну позитивну оцінку виконаної роботи, а лише підкреслюють її багатогранність, складність узагальнення результатів виконаних теоретичних і експериментальних досліджень.

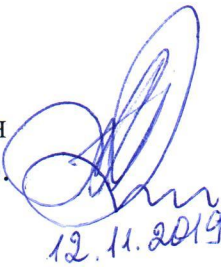
3. Автореферат відповідає змісту дисертації та розкриває її основні положення.

4. Враховуючи вище висловлене, вважаю, що дисертаційна робота на тему: "Створення розрахункових моделей будівельних конструкцій при врахуванні реологічних властивостей залізобетону" відповідає вимогам Міністерства освіти і науки України, а її автор, **Башинська Ольга Юріївна**, за розробку й адаптацію до практичного використання уточненого комплексного методу розрахунку залізобетонних конструкцій з урахуванням нелінійних (реологічних) властивостей бетону, в т.ч. і при дії високих температур при пожежі, з використанням комп'ютерних технологій заслуговує присудження наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.23.01 – будівельні конструкції, будівлі та споруди.

Офіційний опонент,

Учений секретар ТОВ «Укрінсталькон  
ім. В.М. Шимановського», д.т.н., проф.

О.І. Голоднов



12.11.2019

