

## В І Д Г У К

офіційного опонента на дисертаційну роботу

***Козака Романа Петровича***

на тему: «Несуча здатність тонких багатошарових скляних балок»

на здобуття наукового ступеня доктора філософії

з галузі знань «Архітектура та будівництво»

за спеціальністю 192 – будівництво та цивільна інженерія

На розгляд подана дисертаційна робота, що складається з анотації, вступу, чотирьох розділів, загальних висновків, списку використаних джерел (143 найменувань) та додатків. Робота викладена на 189 сторінках, у тому числі містить 16 таблиць, 86 ілюстрацій, 15 сторінок списку літератури та додатки на 29 сторінках.

**Актуальність роботи.** При проектуванні сучасних будівель і споруд все більше і більше використовуються скляні несучі конструкції. Але напрацювань в даному напрямку на створення індустріальних архітектурно-конструктивних систем з використанням скла в несучих конструкціях на даний час в Україні є недостатньо. Дослідження направлені на розробку наукових основ проектування будівель та споруд з використанням балок із скла є актуальними у зв'язку з відсутністю в нашій державі системної нормативної бази для проектування скляних конструкцій.

**Зв'язок з науковими програмами.** Тема дисертаційної роботи «Несуча здатність тонких багатошарових скляних балок» відповідає науковому напрямку кафедри будівельних конструкцій та мостів «Теоретичні та експериментальні дослідження звичайних та попередньо напружених залізобетонних, металевих, дерев'яних та інших конструкцій будівель, споруд, мостів і фундаментів та методів їх підсилення з врахуванням різних видів армування, бетонування, способів та інтенсивності навантаження, дії агресивного середовища, підвищених температур» (дата затвердження на вченій раді інституту

будівництва та інженерії довілля 08.10.2019 протокол №3; дата уточнення теми дисертації на вченій раді інституту будівництва та інженерних систем 13.06.2023 протокол №10).

**Ступінь обґрунтованості наукових положень дисертації, висновків та рекомендацій, їх достовірність** можна оцінити як достатньо високу, так як, обумовлена порівнянням теоретичних результатів та обчислень отриманих чисельним методом скінчених елементів з даними експериментальних досліджень. Всі наукові положення обґрунтовані і графічно проілюстровані.

Результати досліджень, що захищаються автором, не викликають сумнівів, тому що базуються на загально визнаних передумовах та методах числового моделювання, будівельної механіки, фізики, а результати експериментальних досліджень отримані з використанням сучасних приладів, які пройшли державну перевірку.

**Наукова новизна роботи** полягає в удосконаленні наукових основ експериментальних досліджень щодо несучої здатності скляних балок та отриманні нових результатів дослідження фізико-механічних характеристик скла на розтяг при згині зразків із різною орієнтацією відносно прикладання навантаження, нових експериментальних даних несучої здатності скляних балок різної висоти та різної кількості шарів скла, що працюють на чотириточковий згин. Вдосконалено та апробовано методику використання методу кореляції цифрових зображень із використанням цифрових фотокамер із кольоровою матрицею та методику теоретичного розрахунку скляних балок на згин із урахуванням втрати стійкості, виконано розрахунок скляних балок об'ємними скінченими елементами.

**Об'єкт дослідження** – несуча здатність скляних балок, що працюють на чотириточковий згин.

**Предмет дослідження** – скляні балки із різною висотою та кількістю шарів скла.

**Мета роботи** – встановити несучу здатність скляних плоских балок, що працюють на чотириточковий згин під дією статичного навантаження.

**Важливість отриманих автором дисертації результатів для науки і практики.** Отримані числові та експериментально-теоретичні результати

розвивають методи розрахунку міцності перерізів елементів зі скла і дають можливість більш об'єктивно оцінювати напружено-деформований стан таких елементів. Розроблені методики дослідження несучої здатності скляних балок на чотириточковий згин та імплементації методу кореляції цифрових зображень для цифрових фотокамер широкого вжитку, отримані результати досліджень та розроблені рекомендації із проектування скляних балок на згин можуть бути застосовані в будівництві та при проектуванні скляних перекриттів і покриттів, а також у програмах навчальних курсів для студентів спеціальності 192 «Будівництво та цивільна інженерія».

**Відсутність порушень академічної доброчесності.** Запозичення, що виявлені у наданій на опонування роботі, оформлені у відповідному порядку, а саме, містять коректні посилання на дослідження інших авторів і не мають ознак плагіату, що не порушує Закон України «Про авторське право і суміжні права».

**Повнота викладу в опублікованих працях.** Основні наукові результати за темою дисертаційної роботи опубліковані в 2 статтях у фахових наукових виданнях та в 2 статтях, що входять в наукометричну базу «Scopus». Всі основні положення дисертації повністю відображені в опублікованих працях автора.

### **Основний зміст роботи**

У **вступі** розміщені обов'язкові елементи: обґрунтування актуальності теми дослідження, формулювання мети та задач наукових досліджень, встановлення об'єкту та предмету досліджень, опис використання методів дослідження, зв'язок роботи з науковими програмами, формулювання наукової новизни та практичного значення отриманих результатів, інформацію про апробацію результатів роботи та особистий внесок здобувача, структуру та обсяг дисертаційної роботи.

**Перший розділ** дисертації (23 сторінок) містить аналіз сучасного стану існуючих прикладів дослідження скляних конструкцій, що працюють на поперечний згин, та достеменно проаналізовано питання сучасних підходів до розрахунку скляних балок за несучою здатністю та втратою стійкості. Виконано аналіз використання методу кореляції цифрових зображень при встановленні напружено-деформованого стану поперечних перерізів згинальних елементів та

обґрунтовано його використання при проведенні експериментальних досліджень.

За результатами аналізу було обрано основні напрямки та сформульовано задачі наукових досліджень для створення єдиної методики оцінки роботи скляних згинальних елементів.

**Другий розділ** дисертації (22 сторінки) присвячено розкриттю методики експериментальних досліджень міцності скла на розтяг при згині та несучої здатності скляних балок. Описано конструкцію і визначено геометричні характеристики зразків. Розроблено і наведено схеми випробувань та розташування приладів на дослідних зразках.

Міцність скла на розтяг при згині встановлено за триточкового поперечного згину. Половина скляних зразків при випробуваннях розташовувалися з горизонтальною орієнтацією відносно осі прикладення навантаження, а інша - з вертикальною орієнтацією. Для аналізу результатів експериментальних досліджень зразків було використано розподіл Вейбула.

Дослідження несучої здатності скляних балок проводилося за чотириточкового поперечного згину у 3 серії досліджень у відповідності до їх висоти. Загальна кількість досліджуваних елементів склала 24 шт. Для експерименту було виготовлено установку (патент України на корисну модель №153096, G01N 3/20, G01M 5/0'0, E04C 2/54, E04C 3/02, E04C 3/28). Відносні деформації за приросту навантажень вимірювалися за допомогою тензорезисторів, в інших зразках - екстензометрів та методу кореляції цифрових зображень. Приріст бокових деформацій та прогинів вимірювався за допомогою механічних прогиномірів.

Розроблено методику використання бездзеркальних фотокамер із кольоровою матрицею для визначення відносних деформацій при дослідженні скляних балок на чотириточковий згин.

**В третьому розділі** (63 сторінки) представлено результати проведених автором експериментальних досліджень у вигляді фізико-механічних характеристик скляних зразків, параметрів несучої здатності за чотириточкового поперечного згину та деформічних показників скляних балок.

Встановлено, що характеристичні значення міцності скла на розтяг при згині за горизонтальної орієнтації розташування зразків була вищою і склала  $f_{g,k}=35,8$  МПа., а за вертикальної орієнтації лише -  $f_{g,k}=32,23$  МПа.

Експериментальні дослідження показали, що зі збільшення кількості шарів скла та висоти балки підвищується запас несучої здатності. Встановлено, що використання балок із одним шаром скла не є доцільним, оскільки вони схильні до великих бокових деформацій та небезпечні під час повного руйнування конструкцій.

Використання фотокамер із кольоровим сенсором виправдало себе в рамках даного дослідження, бо при порівнянні значень відносних деформацій встановлених за допомогою методу кореляції цифрових зображень та механічних приладів було отримано досить високу збіжність результатів.

**В четвертому розділі** (11 сторінок) виконано аналітичний розрахунок балок на дію моменту із урахуванням втрати стійкості, проведене чисельно-аналітичне моделювання експерименту методом скінчених елементів, наведено рекомендації щодо проектування скляних балок.

Було визначено коефіцієнт втрати стійкості з використанням кривих втрати стійкості та коефіцієнтів  $\alpha_0=0,2$  та  $\alpha_{LT}=0,26$ . Даний метод показав достатній запас несучої здатності для скляних балок та може бути використаний для проектування таких елементів.

Проведено розрахунок скляних балок на чотириточковий згин із використанням методу скінчених елементів, який полягав у використанні нелінійних залежностей матеріалу та об'ємних скінчених елементів для моделювання скляних багатошарових балок. Даний метод показав велику збіжність із аналітичними розрахунками та може бути використаний у проектуванні скляних конструкцій.

За результатами досліджень наведено рекомендації щодо проектування тонких багатошарових скляних балок, які працюють на чотириточковий згин.

**Зауваження до змісту роботи:**

1. Дуже різні за обсягом розділи : третій - 63 сторінки, а четвертий лише 11. Можна було б матеріал розподілити за розділами більш рівномірно.

2. На сторінці 48 говориться, що зразки з флоат скла витримувалися в нормальних умовах перед випробуванням 24 години. Але не вказується, що це за умови і для чого їх необхідно виконувати?

3. На мою думку кріплення фотокамери було б доцільніше робити безпосередньо на скляній балці, а не стаціонарно. Адже балка під навантаженням прогинається і втрачає стійкість (не однаково відхиляється чи наближається стиснута зона в порівнянні з розтягнутою), викривлюється поверхня і відстані від об'єктиву до точок вимірювання змінюються.

4. Не вказано на яких відстанях розташовувалися по висоті на кожному з скляних зразків тензодатчики. Це були однакові відстані чи різні?

5. Висновок 4 до розділу 3 сформульовано таким чином, що викликає додаткові питання, основні з яких: «Чи можна пояснити на даному етапі експериментально-теоретичних досліджень, чому за пружної роботи матеріалу за однакового рівня навантаження виникають різні напруження в однакових за розмірами балок з різними за тривалістю та швидкістю навантажень?», «Чи можна пояснити трикратну чи п'ятикратну різницю в деформаціях в однакових за розмірами балок за однакового навантаження?».

6. У п'ятому пункті четвертого розділу (4.3.) рекомендується проводити розрахунок скляних балок використовуючи RF-Glass, у якому застосовуються лінійні залежності характеристик матеріалів. В другому ж пункті висновків цього ж розділу говориться про розрахунок скляних балок з використанням нелінійних характеристик матеріалів, що дає хорошу збіжність із аналітичними розрахунками. А метод RF-Glass дає завищені результати (пункт 3 висновків четвертого розділу). Бажано конкретизувати, що ж рекомендує автор для використання.

Дані зауваження не знижують, як теоретичного, так і практичного значення дисертації, не мають характеру принципового значення, а спрямовані на покращення сприйняття тексту і можуть бути враховані при подальшому проведенні експериментально-теоретичних досліджень за даною тематикою.



покращення сприйняття тексту і можуть бути враховані при подальшому проведенні експериментально-теоретичних досліджень за даною тематикою.

**Висновок щодо відповідності дисертаційної роботи вимогам МОН України.** Вважаю, що представлена Козаком Романом Петровичем дисертаційна робота “Несуча здатність тонких багаточарових скляних балок” є завершеною цілісною науковою роботою. Дисертація містить нові науково обґрунтовані результати в удосконаленні наукових основ забезпечення міцності скляних балок, що вирішують важливу науково-технічну проблему удосконалення методики розрахунку будівельних конструкцій та теорії раціонального проектування ресурсо-, енерго- та економічно ефективних будівель та виконана на високому науковому рівні. Дисертація та анотація оформлена згідно існуючим вимогам.

Вважаю, що дисертаційна робота “Несуча здатність тонких багаточарових скляних балок” за актуальністю, новизною, обсягом проведених досліджень, їх науковим рівнем, повнотою опублікування в фахових виданнях та значимістю отриманих результатів відповідає всім вимогам до дисертацій, а її автор, **Козак Роман Петрович**, заслуговує присудження наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 192 – «Будівництво та цивільна інженерія»

Офіційний опонент,  
доктор технічних наук  
за спеціальністю 05.23.01, професор,  
професор кафедри промислового,  
цивільного будівництва та інженерних споруд  
Національного університету водного  
господарства та природокористування

С.С. Гомон



ар. Уєи