

## ВІДГУК

офіційного опонента на дисертаційну роботу **Коренєва Романа Валерійовича** на тему: «Аналіз можливості виникнення прогресуючого обвалення металевих оболонки спеціального виду», представлену до захисту у спеціалізовану вчену раду Д64.820.02 Українського державного університету залізничного транспорту на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук зі спеціальності 05.23.01 – «Будівельні конструкції будівлі та споруди»

**Актуальність теми дисертації.** Застосування у різних сферах промислового та цивільного будівництва конструкцій з використанням легких сталевих профілів вбачається пріоритетним напрямком розвитку будівельної галузі. Мінімальна власна вага будівельних конструкцій є одним з найбільш важливих факторів при виборі проектних рішень, адже саме вона (власна вага), як правило, визначає ефективність будь-якої споруди. Оболонки спеціального виду, в основі яких знаходиться тонкостінний сталевий арковий профіль, є досить поширеними за кордоном, і сьогодні отримують все більшу популярність в Україні. Позначені конструктиви можуть використовуватись при зведенні будівель найвищого класу наслідків (відповідальності) ССЗ.

Недосконалість сучасної нормативної бази щодо зазначених споруд і, як наслідок, підходу до побудови їх розрахункових моделей, а особливо у поєднанні з порушеннями при експлуатації, призводять до численних аварійних ситуацій. Зазначене підтверджується інформацією стосовно великої кількості руйнацій через обвалення металевих оболонки в останні роки. Зважаючи на конструктивні особливості обговорюваних конструкцій, відстежується їх схильність саме до обвалення, що має ознаки прогресуючого. Загальноприйнятним визначенням прогресуючого (наростаючого, лавиноподібного) обвалення є процес перерозподілу початкового локального руйнування від елемента до елемента, що зрештою призводить до руйнування всієї споруди або непропорційно великої її частини.

З урахуванням викладеного виникає об'єктивна необхідність у розробленні нових підходів не тільки до аналізу напружено-деформованого стану (НДС) розглянутих конструктивів, а й до їхнього проектування. При цьому значну увагу доцільно приділити їхній здатності протидіяти місцевим пошкодженням та загальній конструктивній стабільності системи, запобігаючи появі пошкоджень, непропорційних по відношенню до первинного місцевого ушкодження.

Узагальнюючи сказане, слід відмітити, що тема дисертації є актуальною та своєчасною, спрямованою на вирішення важливих науково-прикладних питань, пов'язаних із підвищенням експлуатаційної надійності будівель і споруд.

**Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.** Дисертація виконана на кафедрі будівельних конструкцій Харківського національного університету міського господарства імені О.М. Бекетова та є частиною досліджень наукової школи «Конструкції і матеріали для житлових і громадських будівель», виконуваних в період 2014–2019 рр., а також держбюджетних НДР за темами: «Нові ефективні конструктивні системи з раціональними параметрами» (№ 0114U002999) та «Сталобетонні конструкції з раціональними параметрами» (№ 0117U000662).

**Оцінка змісту дисертації.** Дисертаційна робота має стандартне структурування і містить вступ, п'ять розділів, загальні висновки, список використаних літературних джерел та шість додатків. Вона побудована методологічно правильно та відповідає вимогам МОН України; викладена на 198 сторінках і містить 118 сторінок основного тексту, 25 таблиць, 80 рисунків, 153 найменування літератури, 6 додатків на 50 сторінках.

У **вступі** обґрунтовано актуальність теми дисертації, позначені мета і завдання дослідження, представлено наукову гіпотезу, сформульовані ознаки наукової новизни і практичної значимості дисертації. Наведено відомості про апробацію основних результатів дисертації, кількість публікацій автора дисертації, структуру та обсяг роботи.

**Перший розділ** дисертації присвячено аналізу конструктивних особливостей, технології виробництва та сфери застосування збірних металевих оболонок. Здобувачем проведено детальний аналіз наявних у закордонній та вітчизняній практиці теоретичних та експериментальних досліджень позначених конструкцій. Вивчено та проаналізовано відомі аварійні ситуації, що мали місце при експлуатації обговорюваних оболонок. Зазначено ознаки швидкоплинності та лавиноподібності обрушень металевих оболонок, що характерно для прогресуючого обвалення. У зв'язку з чим, виконано критичний огляд робіт присвячених прогресуючому обваленню будівель. Підкреслено, що чинні вітчизняні норми практично не містять умов, обмежень і правил при проектуванні та зведенні обговорюваних систем.

До наведеної в розділі інформації виникає декілька питань і побажань. По-перше, слід було б додатково охарактеризувати та проаналізувати причини настання аварій: чи обвалення стаються при проектних значеннях навантажень? чи внаслідок допущених проектних помилок? чи мають місце понаднормові навантаження? чи зустрічаються випадки недотримання правил зведення та експлуатації (як наведено на рис. 1.8 (стор. 37).

По-друге, з метою формування розширеного уявлення про стан та напрямки теоретичних і практичних досліджень із прогресуючого руйнування будівельних споруд здобувачу було б доцільно звернути додаткову увагу на два типи новітніх публікацій. Причому до першого типу відносяться праці оглядового характеру [1 – 3], а до другого – статті, в яких висвітлюються локальні, проте, тим не менш, важливі спеціальні питання розрахунку конструкцій при екстремальних (в тому числі вибухових) впливах [4 – 6].

1. *Gidaris I., Padgett J.E., Barbosa A.R., Chen Suren, Cox D., Webb B., Cerato A.* Multiple-hazard fragility and restoration models of highway bridges for regional risk and resilience assessment in the United States: State-of-the-art review // *Journal of Structural Engineering.* – 2017. – Vol. 143, Issue 3.

2. *Adam J.M., Parisi F., Sagaseta J., Lu Xinzhen.* Research and practice on progressive collapse and robustness of building structures in the 21st century // *Engineering Structures.* – 2018. – N 173. – P.122 – 149.

3. *Byfield M., Mudalige W., Morison C., Stoddart E.* A review of progressive collapse research and regulations // *Structures & Buildings.* – 2014. – Vol. 167, Issue 8. – P.447 – 456.

4. *Qian Kai, Li Bing.* Research Advances in Design of Structures to Resist Progressive Collapse // *Journal of Performance of Constructed Facilities.* – 2015. – Vol. 29, Issue 5.

5. *Wang Min Rong, Zhou Zhi Jun.* Progressive collapse and structural robustness of bridges // *Applied Mechanics and Materials.* – 2012. – Vol. 193 – 194). – P. 1021 – 1024.

6. *Nasiopoulos G., Mantadakis N., Pitilakis D., Argyroudis S., Mitoulis S.A.* Resilience of bridges subjected to earthquakes: A case study on a portfolio of road bridges // *2<sup>nd</sup> International Conference on Natural Hazards & Infrastructure.* – Chania, Greece, 2019.

**У другому розділі** роботи дисертантом розкрито принципи побудови розрахункових моделей оболонок, що розглядаються. На базі проведених лабораторних експериментів визначені фізико-механічні характеристики сталі та виконано уточнення геометричних характеристик основного конструктивного елемента металевої оболонки – холоднодеформованого аркового профілю U-типу. Розглянуто три підходи до побудови розрахункових моделей оболонок спеціального виду: аркова стрижнева модель, згідно рекомендацій нормативно-технічної документації; модель гладкої оболонки з урахуванням конструктивної ортотропії; модель ребристої оболонки з урахуванням геометричної нелінійності. В рамках стрижневої моделі, існуючий алгоритм дослідження оболонок спеціального виду автором доповнено аналізом стійкості. І не тільки аналізом стійкості плоскої форми вигину, а й аналізом згинально-крутильної форми втрати стійкості. Разом із тим, із тексту дисертації не є зрозумілим походження формули (2.7) на стор. 58, за допомогою якої знайдені критичні сили втрати стійкості рівноваги плоскої форми вигину. Крім того, відсутні позначення до формул (2.8)–(2.11) на стор. 59.

За результатами аналізу просторових розрахункових моделей, здобувачем цілком правильно відзначено позитивний вплив наявності торцевих і проміжних діафрагм на НДС та стійкість металевих оболонок. Проте твердження на стор. 62 про відсутність переміщень у площині діафрагми виглядає дещо формалізованим, адже воно мало б підтверджуватися результатами розширеного аналізу НДС типової (для досліджуваних оболонок) діафрагми.

**У третьому розділі** дисертації представлені найбільш вагомі результати досліджень здобувача у вигляді принципів формування скінченно-елементних моделей підвищеної коректності та застосування енергетичного підходу до оцінювання можливості прогресуючого обвалення оболонок. А серед усього іншого особливо цікавим видається вибір критерію настання прогресуючого обвалення, що ґрунтується на визначенні потенційної енергії системи (ПЕД) та її щільності, який покладено в основу нового алгоритму визначення можливості настання прогресуючого обвалення. Достатньо логічними виглядають процедури (рис. 3.2. на стор. 83), згідно яких на кожному кроці ітераційного процесу залежно від зміни жорсткості системи визначаються компоненти НДС, ПЕД та будується діаграма поля щільності ПЕД, відповідно до якої в подальшому відбувається виявлення концентраторів щільності ПЕД або, іншими словами, місць ймовірного майбутнього колапсу.

Слід відмітити, що відсутність у формулах (3.7)–(3.10) позначень, хоча мова і йде про загальновідомі компоненти, знижує якість сприйняття матеріалу. Крім того, при введенні у модель підвищеної коректності «віртуальних недосконалостей» (рис. 3.1 на стор. 82) дисертанту, з огляду на статистичну обґрунтованість, варто було б більш детально аргументувати тезу про те, а чому саме зазначений вид недосконалостей є суттєвим? Також варто було б більшу увагу звернути на визначення кроку встановлення спеціальних скінченних елементів односторонньої в'язі при моделюванні жорсткості вальцевого з'єднання.

Разом з тим, спираючись на результати виконаного аналізу НДС, здобувачем запропоновано заходи модернізації вузлів з'єднання конструктивних елементів досліджуваних оболонок у вигляді болтового з'єднання (самонарізних шурупів із шайбою Гровера або заклепок із шайбою). Зазначено, що запропоноване рішення характеризується простотою та надійністю й згідно проведеного аналізу дозволяє не тільки забезпечити спільність деформацій, а й трансформувати НДС оболонки спеціального виду в напружено-деформований стан, характерний для суцільної ребристої оболонки.

Базуючись на покладених принципах, проведено оцінку й відзначено досить рівномірне розподілення полів щільності ПЕД моделі модернізованої оболонки. Однак, в тексті дисертації не вказано, чи врахував автор концентрацію напружень у місцях встановлення болтового з'єднання при реалізації модернізації, яка пропонується?

**Четвертий розділ** роботи присвячено верифікації розрахункових моделей підвищеної коректності розглянутих оболонок, а також оцінюванню ефективності запропонованої конструктивної модернізації. Причому позитивом тут є те, що верифікація проводилася в ході проведення повнорозмірного (натурного) експерименту.

Проте, на нашу думку, цей позитив був би ще більшим, якби в тексті дисертації була наведена ширша аргументація обраних систем і схем навантаження (рис. 4.4–4.5, стор. 105) та вимірювання (рис. 4.6–4.7, стор. 106). Слід відзначити достатню репрезентативність оформлення зібраної і обробленої інформації. Автором отримано та проаналізовано дані про переміщення контрольованих точок для першого та другого етапів дослідження (до та після проведення конструктивної модернізації). Зазначено, що на кожному з етапів навантаження для контрольних точок зафіксовані значення вертикальних переміщень із допустимим відхиленням  $\sim 10\%$ , що свідчить про коректність постановки експерименту та можливу наявність початкових недоліків власне конструкції покриття і похибку вимірювальних приладів.

У рамках верифікації, за згаданим у розділі три алгоритмом, побудовано дві розрахункові СЕ моделі підвищеної коректності блоку споруди, що досліджувалась, та проведено зіставлення експериментальних результатів із теоретичними, які засвідчили достатню збіжність результатів.

**П'ятий розділ** містить результати впровадження наукових досліджень в проектний і будівельний цикл підприємства ТОВ «СТРОЙ ІНЖИНІРИНГ ДЕВЕЛОПМЕНТ». Здобувачем розглянуті особливості архітектурно-конструкторських рішень стандартного фізкультурно-оздоровчого комплексу, остовом якого є металеві оболонки, що розглядаються. Виконано аналіз НДС досліджуваної споруди. Проаналізовано техніко-економічний ефект застосування запропонованої конструктивної модернізації.

Результати, отримані в роботі та сформувані висновки науково обґрунтовані і базуються на класичних уявленнях прикладної механіки конструкцій і теорії оболонок. **Достовірність** більшості з них підтверджена ретельністю і акуратністю проведення авторських експериментів.

**Ступінь обґрунтованості** наукових положень роботи визначена детальним співставленням отриманих здобувачем теоретичних і експериментальних результатів із результатами інших авторів, а також нелінійним (підвищеної коректності) моделюванням процесу деформування розглянутих систем.

**Адекватність результатів** позначається загальним кореспондуванням і логічною кореляцією їх із попередніми дослідженнями.

**Наукову новизну роботи, на думку опонента, визначають:**

- розробка підходу формування розрахункової моделі оболонок спеціального виду з урахуванням конструкційної нелінійності та з можливістю відображення настання прогресуючого обвалення;

- імплементація енергетичного підходу для якісної і кількісної оцінки можливості настання прогресуючого обвалення зазначених конструктивних систем;

- нові результати експериментальних натурних досліджень деформативності металевих оболонок спеціального виду.

**Практичне значення результатів роботи має дві складові.**

**По-перше, воно полягає в:**

- запропонованому способі конструктивної модернізації оболонки спеціального виду у вигляді болтового з'єднання аркових елементів, що забезпечує стійкість до прогресуючого обвалення;

- розроблених скінченно-елементних моделях підвищеної коректності, що можуть бути застосовані при проектуванні обговорюваних споруд;

- розробленому алгоритмі оцінки можливості настання прогресуючого обвалення металевих оболонок спеціального виду.

**По-друге, воно полягає у впровадженні результатів роботи у практику будівництва на базі промислового підприємства при розробці стандартних фізкультурно-оздоровчих комплексів, що засвідчується наведеними в дисертації актами про впровадження.**

Основні результати дисертаційної роботи опубліковані у 10 наукових працях, з яких 9 статей у наукових фахових виданнях, рекомендованих МОН України, в тому числі 3 у виданнях, що включені до міжнародних наукометричних баз. Крім того, мається ще 1 стаття апробаційного характеру.

Автореферат за змістом відповідає змісту дисертації та повністю відображає її основні положення. Оформлення автореферату, аналогічно дисертації, відповідає вимогам МОН України.

**За змістом дисертації, крім вже наведених вище, є ще такі зауваження:**

1. Виходячи з чого призначався крок розташування та діаметр болтів (рис. 3.14 на стор. 93) для вузла з'єднання аркових конструктивних елементів оболонки?

2. У третьому розділі у якості основного підходу для аналізу можливості настання прогресуючого обвалення обрано саме енергетичний метод. Чи виконував автор порівняння обраного методу з іншими відомими методами? В чому його переваги і недоліки для вирішення конкретної задачі?

3. Згідно з графіками, наведеними на рис. 2.24-2.26, напруження та вертикальні переміщення зменшуються на порядок при влаштуванні діафрагм. Чи розглядалась автором можливість влаштування додаткових діафрагм замість запропонованої конструктивної модернізації? Цікавим було б співставлення різних варіантів модернізації оболонок, в тому числі з урахуванням техніко-економічного аспекту.

4. Чим обумовлено значне зменшення моменту інерції на останніх кроках навантаження, що відстежується на графіках залежності геометричних характеристик аркового профілю від навантаження на рис. 2.2 (стор. 48)?

5. Чи розглядалась можливість експериментальної верифікації чисельного методу визначення характеристик жорсткості вальцевого з'єднання у третьому розділі?

6. У третьому розділі на стор. 88, зазначено що нормальні напруження  $\sigma$  в вальцювальному з'єднанні дорівнюють 14.87 МПа. Відсутній аналіз, чи є це значення достатнім і як воно впливає на роботу конструкції в цілому.

7. На стор. 84 описано процес моделювання вальцевого з'єднання у СЕ постановці з застосуванням двовузлового скінченного елемента пружної в'язі, що вимикається з роботи при досягненні заданих граничних значень зусиль. Чи розглядався варіант розвантаження і чи будуть при цьому знову включатися елементи в'язей?

Проте, наведені зауваження не знижують загального позитивного враження від представленої до захисту роботи.

Дисертаційна робота **Коренєва Романа Валерійовича** на тему «Аналіз можливості виникнення прогресуючого обвалення металевих оболонок спеціального виду» є завершеною науковою роботою, що пройшла достатню апробацію.

Представлена робота повністю відповідає вимогам пунктів 9, 11, 12 «Порядку присудження наукових ступенів та присвоєння вченого звання старшого наукового співробітника», містить нові науково обгрунтовані теоретично-експериментальні результати дослідження напружено-деформованого стану металевих оболонок спеціального виду, що вирішують важливу науково-прикладну задачу забезпечення експлуатаційної надійності будівель і споруд, а її автор – **Коренєв Роман Валерійович**, заслуговує присудження йому наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.23.01 – будівельні конструкції, будівлі та споруди.

Офіційний опонент:

доктор технічних наук, професор,  
член-кореспондент НАН України,  
Заслужений діяч науки і техніки України,  
генеральний директор ТОВ «Український  
інститут сталевих конструкцій імені В.М.  
Шимановського»

м. Київ «26» жовтня 2020



О.В. Шимановський