

ВІДГУК

офіційного опонента на дисертаційну роботу
ЯРОВОГО СЕРГІЯ МИКОЛАЙОВИЧА

на тему: **«НАДІЙНІСТЬ МЕТАЛЕВИХ ДИМОВИХ І ВЕНТИЛЯЦІЙНИХ
ТРУБ ТА ЇХ НЕСУЧИХ ВЕЖ»**,

поданої до спеціалізованої вченої ради Д 08.085.02 при
ДВНЗ «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури»
на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук
за спеціальністю 05.23.01 – будівельні конструкції, будівлі та споруди

Актуальність теми

Багато промислових підприємств металургійної, гірничорудної, хімічної, енергетичної промисловості побудовані в 50-80-ті роки ХХ століття й експлуатуються до теперішнього часу. Димові та вентиляційні труби є кінцевою ланкою важливих технологічних процесів цих промислових підприємств, і вихід їх із експлуатації, як правило, призводить до зупинки всього технологічного процесу, зупинці виробництва та великих фінансових збитків.

Зараз на промислових підприємствах України експлуатуються понад три тисячі металевих димових та вентиляційних труб і близько тисячі металевих несучих веж.

Велика кількість димових та вентиляційних труб промислових підприємств працюють протягом 50-70 років, у той час як розрахунковий термін – 50 років. У міру збільшення термінів експлуатації все гостріше постає питання надійності та безпечної експлуатації цих висотних споруд.

Під час експлуатації ці висотні споруди піддаються значним динамічним, температурним, корозійним, сейсмічним та іншим впливам, що призводить до виникнення суттєвих пошкоджень конструкцій.

При таких значних термінах роботи і складних умовах експлуатації ці висотні споруди потребують подальшого дослідження проблеми безпеки та збереження висотних споруд, забезпечення довговічності та розрахунок залишкового ресурсу, подовження термінів експлуатації.

Забезпечення надійності є одним із пріоритетних завдань під час всього життєвого циклу металевих димових і вентиляційних труб та несучих веж.

З огляду на вищенаведене, **актуальність** дисертаційної роботи Ярового Сергія Миколайовича, яка присвячена вирішенню проблеми дослідження, розробки, теоретичного і техніко-економічного обґрунтування науково-методологічних положень для забезпечення безвідмовності, довговічності, ремонтпридатності та збереження металевих димових труб та їх несучих веж, не викликає сумнівів.

Актуальність роботи також підтверджує її виконання в рамках багатьох цільових програм та держбюджетних науково-дослідних робіт Міністерства освіти і науки України, зокрема: «Надійність та довговічність металевих висотних споруд спеціального призначення» (№ ДР 0118U001361 2016-2018 рр.), а також великої кількості господарських тем в рамках дослідження і науково-технічного супроводу, обстеження металевих і вентиляційних труб та їх несучих веж на багатьох

підприємствах металургійної, хімічної, нафто-хімічної, енергетичної галузей України, у тому числі: «Технічне діагностування вихлопних труб ГПА ГТК-10-4Б з метою визначення їх технічного стану. КС Задніпровська, КС Кіровоградська, КС Південнобузька» (г/д №841/11/1109071005, 2011 р.), «Звіт про технічний стан і експлуатаційну придатність радіовежі, розташованій на даху 6-го під'їзду будівлі Держпром у м. Харкові» (г/д № 01-38/09, 2014 р.), «Звіт про технічний стан металевої димової труби та несучої вежі висотою Н=120 м Харківської «Теплоелектроцентралі №3 з розробкою рекомендацій по ремонту та подальшій безпечній експлуатації» (г/д № 37/08, 2008 р.).

Структура і обсяг дисертації

Дисертація складається зі вступу, 6 розділів, висновків, списку використаних джерел і 3 додатків. Повний обсяг роботи складає 356 сторінки, в тому числі, 264 сторінок основного тексту, 107 рисунків, 16 таблиць, список використаних джерел з 212 найменувань та 3 додатків на 92 сторінках.

У **вступі** обґрунтовано актуальність обраної теми, наукову новизну та практичну цінність роботи, а також представлено її загальну характеристику; описана поставлена мета, задачі та методи проведення дослідження; розкрито зв'язок роботи з науковими планами та програмами; представлена інформація щодо апробації результатів роботи та її висвітлення у наукових фахових виданнях та матеріалах конференцій.

Перший розділ присвячений сучасному стану об'єкта дослідження та його розвитку; визначені загальні характеристики конструктивних і технологічних рішень металевих димових і вентиляційних труб та їх несучих веж; обґрунтовано вимоги при виборі матеріалів для конструкцій; проведено аналіз дій та величин постійних, змінних тривалих і короткочасних навантажень, епізодичних впливів, динамічних, корозійних, температурних і експлуатаційно-механічних впливів протягом тривалого терміну експлуатації; виконано аналіз взаємодії між силовими і температурними впливами, а також напруженнями; виконано аналіз результатів досліджень роботи та забезпечення надійності металевих димових і вентиляційних труб та їх несучих ґратчастих веж, проведених вітчизняними і зарубіжними вченими.

Аналіз матеріалів обстежень свідчить, що для елементів металевих димових і вентиляційних труб та несучих веж, що працюють у сухих агресивних середовищах за температури газів до 3000 С, використовуються маловуглецеві сталі спокійного і напівспокійного способів виплавки – ВСт3сп5 і ВСт3пс6.

За умов забезпечення високої стійкості проти корозії і за високих температур газів, що відводяться (понад 3000 С), використовуються високолеговані сталі, такі як 08Х13, 08Х22Н6Т, 10Х17Н13М2Т, 12Х18Н9Т, 08Х18Н10Т.

Теоретичні дослідження у **другому розділі** спрямовані на подальший розвиток метода оцінки напружено-деформаційного стану стиснутих (елементи веж) та стиснуто-зігнутих (димові труби) конструкцій на основі рішення просторової задачі механіки твердого тіла. У розділі наводяться результати

розрахунку металевих димових труб сучасними програмними комплексами (SCAD, ЛПА САПР, Selena-Result) з урахуванням дефектів та пошкоджень, просторової і спільної роботи конструкцій, проведено порівняльний аналіз результатів цих розрахунків з аналітичними нормативними методами, що проводились раніше.

У сучасних розрахунках металевих тонкостінних оболонок (труб) прийнято вважати безмоментним основний напружений стан на ділянках, віддалених від їх країв. Металеві димові труби й елементи несучих веж із труб є тонкостінними оболонками обертання ($tw/r \leq 1/30$).

Виконано розрахунки на міцність труби, яка перебуває в безмоментному напруженому стані, визначено напруження в циліндричних оболонках (трубах), що перебувають під внутрішнім рівномірним тиском газу, виконано розрахунки на стійкість металеві димові труби та ряд інших аналітичних розрахунків визначення напружено-деформованого стану труб з врахуванням їх залишкової несучої здатності. Також виконано ряд розрахунків з використанням програмних комплексів SCAD, ЛПА-САПР, ANSYS, Selena-Result та наведено результати порівняльного аналізу із точними аналітичними рішеннями. Отримані результати свідчать про високу збіжність результатів оцінки параметрів НДС конструкцій димових труб аналітичними і чисельними методами. Що дає змогу зробити висновок щодо використання результатів для оцінки надійності конструкцій металевих димових і вентиляційних труб та їх несучих веж.

У **третьому розділі** виконано аналіз основних закономірностей багатоциклової і малоциклової пошкоджуваності металу конструкцій висотних споруд під дією динамічних навантажень з урахуванням втомної міцності, виконано аналіз утворення та розвитку пошкоджень від корозійних процесів під дією атмосферних впливів та продуктів згоряння, розглянуто високотемпературні впливи на металеві димові труби без футеровки і на труби з локальним руйнуванням футеровки, виконано аналіз розвитку тріщиноподібних пошкоджень у зварних швах та деформаційного старіння. У результаті проведеного аналізу дисертант дістав висновку, що в процесі експлуатації димових труб деформаційне старіння не відбувається. Наближення границь плинності σ_t і міцності σ_b (зростання $k_{tv} = \sigma_t / \sigma_b$) не пов'язано з часом експлуатації димових труб, а зумовлено прирощенням σ_t (через деформаційне набуття крихкості), і залежить від величини пластичної деформації і характеру діаграми розтягу сталі.

У **четвертому розділі**, ґрунтуючись на даних натурних обстежень, розроблено типологію дефектів і пошкоджень металевих димових труб і їх несучих веж, футеровки димових труб; проведено статистичну оцінку величин та характеру пошкоджень; удосконалено визначення категорії небезпеки основних типів дефектів і пошкоджень; встановлено гранично допустимі значення пошкоджень в залежності від категорії небезпеки і технічного стану.

На основі висновків про технічний стан і експертиз промислової безпеки понад 100 металевих димових і вентиляційних труб і 25 несучих веж було виконано класифікацію дефектів та пошкоджень металевих димових труб та металевих ґратчастих несучих веж. Наведено статистичну діаграму загальної вибірки дефектів

і пошкоджень димових і вентиляційних труб та металевих ґратчастих веж, За результатами аналізу виявлених дефектів і пошкоджень металевих димових труб і несучих веж визначені їхні гранично допустимі значення залежно від категорії небезпечності дефектів і технічного стану конструкцій.

Наведена методика та результати лабораторних та натурних експериментальних досліджень, а також техніко-економічна оцінка несучої здатності конструкцій димових труб та елементів металевих ґратчастих веж.

П'ятий розділ присвячений розробці фізико-статистичного методу оцінки надійності елементів металевих димових труб і несучих веж та методів управління їх старінням, розробці методики визначення довговічності металевих димових труб і несучих веж τ з урахуванням різних комбінацій сумісної дії впливів – силового $(dH/dt)_c$, корозійного $(dH/dt)_n$, температурного $(dH/dt)_k$ і динамічного впливів; визначення довговічності металевих димових труб з прогарами у стінці; довговічності димових труб за критеріями механіки руйнування; розробці методики визначення залишкового ресурсу T металевих димових і вентиляційних труб з урахуванням пошкоджень і терміну експлуатації. Розроблено методику, на основі якої виконано розрахунок залишкового ресурсу димових і вентиляційних труб, що було обстежено. Залишковий ресурс визначено за першим граничним станом і з урахуванням конструктивних вимог, року введення в експлуатацію споруд та термінів перебування в експлуатації.

В **шостому розділі** наводиться розроблена методика конструктивних і технологічних рішень підсилення металевих димових і вентиляційних труб та їх несучих веж з особливо небезпечними пошкодженнями – прогарами, тріщинами в основному металі і зварних швах, втратою загальної стійкості стовбура труби.

Створено скінченно-елементну модель з тріщиною у зварному шві та визначено інтенсивність напружень навколо тріщини, де виявлено наявність пластичної течучості.

Методика підсилення враховує сумарні силові та зварювальні напруження при різних варіантах підсилення димових труб. Також встановлено, що процес зменшення зварних напружень практично не залежить від того, коли (до чи після) до елементу конструкції були прикладені зовнішні навантаження.

В залежності від технічного стану, категорії небезпеки виявлених дефектів, довговічності, необхідності виконання ремонтних робіт для металевих димових і вентиляційних труб та їх несучих веж запропоновано ввести три класи надійності – гарантований, граничний і незабезпечений.

Ступінь обґрунтованості і достовірності наукових положень, висновків і рекомендацій

Обґрунтованість та достовірність наукових положень та зроблених на їх основі висновків і рекомендацій досягається завдяки:

- використанню в натурних обстеженнях і експериментальних дослідженнях сучасних методів і методик, сертифікованих приладів та устаткування;

- достатньої статистичної кількості елементів, що було досліджено;
- високою збіжністю результатів обстежень та замірів;
- співставленням результатів теоретичних, аналітичних досліджень з результатами експлуатаційних випробувань;
- збіжність результатів доведено при порівняльному аналізі результатів аналітичних розрахунків і математичного моделювання; та результатів натурних обстежень та випробувань із аналогічними даними відомих досліджень.

Достовірність отриманих результатів також підтверджується впровадженням в практику будівництва.

Внаслідок цього, **обґрунтованість та достовірність отриманих в дисертаційній роботі результатів** не викликає сумнівів.

Наукова новизна отриманих результатів

Наукова новизна результатів дисертаційної роботи полягає в тому, що автором **вперше** проведено статистичну оцінку величин і типів дефектів та характеру пошкоджень на основі фактичних експериментальних даних обстежень металевих димових труб та їх несучих веж та встановлено гранично допустимі значення дефектів та пошкоджень в залежності від технічного стану та ступеню небезпеки пошкоджень;

вперше отримані аналітичні залежності довговічності металевих димових труб з урахуванням сукупної дії силових, динамічних, корозійних і температурних впливів;

вперше розроблено метод оцінки залишкового ресурсу з урахуванням пошкоджень та терміну експлуатації металевих димових і вентиляційних труб та їх несучих веж;

вперше запропоновано для металевих димових труб та їх несучих веж класи надійності, в залежності від технічного стану, категорії небезпеки виявлених дефектів, довговічності та необхідності виконання ремонтних робіт.

А також:

в **удосконаленні** методів визначення основних параметрів та взаємозв'язку силових, динамічних, корозійних, температурних та експлуатаційно-механічних впливів на металеві димові і вентиляційні труби та їх несучі вежі за тривалий час експлуатації;

в **подальшому розвитку** методів оцінки напружено-деформованого стану металевих димових труб і несучих веж з урахуванням дефектів та пошкоджень та спільної роботи труб і несучих веж з використанням сучасних програмних комплексів (ЛІРА-САПР, SCAD, Seleno-Result).

Важливість отриманих автором дисертації результатів для науки і практики

Практичне значення отриманих результатів полягає в розробці сукупності методів та методик оцінки довговічності та залишкового ресурсу при різних термінах експлуатації, спрямованих на забезпечення збереження металевих димових і вентиляційних труб та їх несучих веж, їх безпечної експлуатації, з урахуванням

даних про технічний стан на основі виявлених дефектів і пошкоджень за критеріями дотримання вимог надійності.

Результати дисертаційної роботи використані при розробці стандарту асоціації СА-03-006-08 «Методические указания по проведению технического обслуживания, ремонта, обследования, анализа промышленной безопасности производственных зданий и сооружений» (2008 р.), стандарту саморегулюючої організації СТО СРО ЭТМП-03-2016 «Методика обследования технического состояния промышленных дымовых и вентиляционных труб», а також при розробці нормативного документу: ДБН В.2.6-98-2009 «Бетонні та залізобетонні конструкції. Основи проектування».

Наукові результати, отримані при виконанні дисертаційної роботи, використовуються в учбовому процесі в навчальному процесі вищих навчальних закладів при підготовці бакалаврів, магістрів та докторів філософії за напрямом «Будівництво та цивільна інженерія».

Практичне значення отриманих результатів підтверджується впровадженням результатів роботи при проектуванні залізобетонних конструкцій фундаментів під димові труби та їх несучі вежі, при визначенні довговічності та залишкового ресурсу металевих димових і вентиляційних труб та їх несучих веж з урахуванням фактичних дефектів та пошкоджень; при визначенні технічного стану конструкцій; при виконанні науково-технічного супроводу при проектуванні, будівництві та експлуатації та визначенні надійності роботи конструкцій; що підтверджується наданими актами впровадження.

Рекомендації щодо використання одержаних наукових результатів роботи

Результати роботи можуть бути використані:

- для розробки нормативно-технічної документації з проектування металевих димових і вентиляційних труб та їх несучих веж;
- для розробки конструктивних рішень при оцінці залишкової несучої здатності металевих димових і вентиляційних труб та їх несучих веж;
- при виконанні науково-дослідних робіт аспірантами та науковими співробітниками, які займаються розв'язанням задач забезпечення безпечної та надійної експлуатації металевих димових і вентиляційних труб та їх несучих веж; у навчальному процесі при підготовці бакалаврів та магістрів за напрямом «Будівництво та цивільна інженерія».

Повнота відображення основних положень дисертації в опублікованих працях

За результатами виконаних досліджень опубліковано 48 наукових праць, з них: 27 – в наукових фахових виданнях України (3 – у виданнях, включених до міжнародних наукометричної бази *Google Scholar*, *Crossref*), 13 – в зарубіжних наукових виданнях (3 – у виданні включеному до наукометричної бази *РИНЦ*), 8 праць апробаційного характеру.

Результати досліджень достатньо апробовані на міжнародних науково-практичних конференціях і семінарах.

Аналіз публікацій Ярового С.М. свідчить, що вони всебічно і достатньо повно висвітлюють наукові розробки і положення, аналітичні залежності та чисельні моделі, експериментальні дослідження, практичні результати, висновки та рекомендації, що містяться в дисертації.

Ідентичність автореферату основним положенням дисертації

Зміст автореферату і основних положень дисертації – ідентичний та в достатній мірі, висвітлює її наукові положення, висновки і рекомендації.

Дисертація і автореферат Ярового С.М. викладені на достатньому науково-технічному рівні і оформлені у відповідності з вимогами щодо структури і правил оформлення документації у сфері науки і техніки.

Дискусійні положення та зауваження по роботі

1. В роботі йдеться про життєвий цикл металевих димових і вентиляційних труб та їх несучих веж, але насправді розглядається лише експлуатаційна стадія. Недостатньо інформації щодо проектування нових споруд димових труб та повністю відсутня інформація щодо особливостей монтажу таких споруд. Хоча саме спосіб монтажу впливає на НДС споруди в подальшому.

2. При створенні розрахункової схеми споруд димових і вентиляційних труб та їх несучих веж, та їх моделюванні виконується розрахунок, як миттєво створеної системи, хоча в конструкціях такого типу особливо важливо враховувати локаційні напруження, які виникають в процесі монтажу.

3. При розробці методик формування розрахункових схем металевих димових і вентиляційних труб та їх несучих веж доцільно врахувати сумісну роботу вежі з фундаментом, особливо при динамічних навантаженнях варто було б виконати розрахунок на відрив з врахуванням податливості анкерів та бетонного фундаменту на «смятіє» (стор.177, 178).

4. При створенні розрахункових схем не враховується ґрунт, що не зовсім відображає реальний напружено-деформований стан.

5. Не зрозуміло яким чином враховуються деякі кліматичні навантаження, а саме ожеледиця.

6. У 6-му розділі стор. 253 рис.6.4 не зрозуміло, яким чином отримано концентрацію напружень, де з'явилась та змодельовано тріщину. І не доведено процес подальшого розвитку тріщини.

7. В 6-му розділі (рис. 28 автореферату) на графіку відображено сплеск напружень, при нахльості відбувається концентрація напружень, що, на мій погляд, алогічно (товщина труби в цьому місті у 2 рази товще).

Загальна оцінка дисертаційної роботи

Наведені вище зауваження не впливають на загальну позитивну оцінку дисертаційної роботи і не зменшують ступеня наукової обґрунтованості та достовірності отриманих результатів та висновків.

Викладені у дисертаційній роботі результати науково-обґрунтовані та в сукупності вирішують важливу наукову проблему забезпечення надійності металевих димових і вентиляційних труб та їх несучих веж після тривалих термінів експлуатації з урахуванням розроблених і обґрунтованих методів визначення довговічності та залишкового ресурсу, способів забезпечення безпечної експлуатації та збереження.

Дисертаційна робота Ярового Сергія Миколайовича «НАДІЙНІСТЬ МЕТАЛЕВИХ ДИМОВИХ І ВЕНТИЛЯЦІЙНИХ ТРУБ ТА ЇХ НЕСУЧИХ ВЕЖ» за актуальністю теми, обсягом виконаних досліджень, змістом, рівнем новизни та практичним значенням, повнотою викладу результатів досліджень у фахових наукових виданнях є завершеною науковою працею та відповідає паспорту спеціальності 05.23.01 - будівельні конструкції, будівлі та споруди (п.п. 1, 2, 3, 6, 7) та вимогам п. 9, 10, 12 «Порядку присудження наукових ступенів і присвоєння вченого звання старшого наукового співробітника», затвердженого постановою кабінету Міністрів України від 24 липня 2013 року, №567, щодо докторських дисертацій.

Враховуючи належний науковий рівень виконання дисертаційної роботи, вважаю, що її автор, **Яровий Сергій Миколайович**, заслуговує на присудження йому наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.23.01 – будівельні конструкції, будівлі та споруди.

Офіційний опонент:

доктор технічних наук, старший науковий співробітник,
професор кафедри комп'ютерних технологій будівництва
Національного авіаційного університету

М.С. Барабаш

