

ВІДГУК

офіційного опонента на дисертаційну роботу Кунтої О. Є.
“Забезпечення стійкості багатопрогонових довгомірних конструкцій
з урахуванням дії статичних і динамічних навантажень” на здобуття
наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю
05.02.09 – динаміка та міцність машин

Актуальність теми дисертації. У підйимально-транспортних, технологічних, енергетичних машинах, авіаційній і ракетній техніці, обладнанні для передачі електричної енергії, системах трубопровідного транспорту, будівельних спорудах, та у багатьох інших технічних об'єктах широко використовуються довгомірні несівні конструкції. Від міцності та стійкості цих конструкцій значною мірою залежить експлуатаційна надійність машин і споруд, а, в багатьох випадках, і продуктивність технологічних процесів. З розвитком техніки розширюються функціональні можливості машин, зростає їх потужність, збільшуються розміри і навантажувальна здатність несівних конструкцій. Для зручності транспортування і монтажу довгомірні несівні конструкції виконують у вигляді системи послідовно з'єднаних між собою секцій (прогонів), на межах яких встановлюють вузли кріплення до основи. Секції багатопрогонової конструкції можуть мати різну згинну жорсткість, а також різну погонну масу. Нерідко висотні споруди, стрілові та інші довгомірні конструкції мають змінні пружно-інерційні характеристики по довжині. Іноді поділ довгомірної конструкції на прогони може здійснюватися за характером її взаємодії з основою. Прикладами такого поділу можуть слугувати перехід від надземної дільниці трубопроводу до підземної, перехід від мостової частини залізничної колії до її наземної частини тощо.

Незважаючи на те, що загальні підходи до розрахунків однопрогонових довгомірних конструкцій на стійкість у літературі висвітлені досить широко, методи розрахунку багатопрогонових систем потребують удосконалення і систематизації. При цьому необхідно враховувати особливості виконання та експлуатації конструкцій, зокрема, податливість їхніх з'єднань, природу виникнення і характер прикладання навантажень.

Сучасний ринок програмних продуктів як загального, так і спеціалізованого призначення для проектування машин і інженерних споруд, у більшості випадків, характеризується застосуванням методу скінченних елементів, що потребує значних апаратних ресурсів, часу та належної верифікації отримуваних результатів. Не менш важливим питанням є висока вартість таких програмних комплексів. Проте, методам розрахунків конструкцій на стійкість і коливання, що базуються на застосуванні стрижневих або оболонкових розрахункових моделей і забезпечують достатню для інженерної практики точність розрахунків та відносну простоту числової реалізації, приділяється недостатньо уваги.

Дисертаційна робота Кунтої О. Є. певним чином заповнює цю прогалину і спрямована на підвищення ефективності розрахунків на стійкість багатопрогонних довгомірних конструкцій з урахуванням дії статичних і динамічних навантажень. Отже, тема дисертації є актуальною і має теоретичне і практичне значення для науки і промисловості.

Вірогідність і новизна основних положень. Основні положення та загальні висновки дисертаційної роботи є оригінальними, достатньою мірою обґрунтованими та достовірними, що забезпечується застосуванням прикладної теорії пружності та рівнянь математичної фізики, технічної теорії згину та неklasичної теорії балок С. Тимошенка для розроблення математичних моделей напружено-деформованого стану багатопрогонних висотних конструкцій і механічних систем, що включають надземні ділянки магістральних трубопроводів та прилеглі до них підземні ділянки; застосуванням широко апробованих аналітичних і числових методів розв'язання систем диференціальних рівнянь, що описують процеси деформування і втрати стійкості пружних систем; застосуванням матричного методу початкових параметрів для розрахунків на стійкість і коливання багатопрогонних конструкцій; застосуванням апробованого методу аналізу параметричних коливань пружних механічних систем, що полягає у зведенні задачі про стійкість до аналізу розв'язків рівняння Матьє; проведенням технічної діагностики локально ослабленої зони труби у системі магістральних газопроводів із застосуванням сучасних методів і вимірювальної апаратури.

До найважливіших наукових результатів потрібно віднести:

- математичні моделі напружено-деформованого стану і алгоритми розрахунків на стійкість багатопрогонних висотних конструкцій з урахуванням східчастої та неперервної зміни згинної жорсткості і осьового навантаження по висоті, а також податливості опор і з'єднувальних вузлів;

- математичну модель напружено-деформованого стану і аналізу статичної стійкості і вільних коливань складених багатопрогонних висотних конструкцій пілонного типу;

- математичну модель поздовжнього деформування трипрогонної конструкції магістрального трубопроводу, що включає надземну і прилеглі до неї підземні ділянки і перебуває під дією температурних навантажень, та результати визначення поздовжніх зусиль, переміщень і деформацій труби на надземній та на підземних ділянках;

- аналіз особливостей локального ослаблення магістрального трубопроводу у зв'язку з макророзшаруванням матеріалу труби, який показав, що за зниження пластичності до критичного рівня під час тривалої сумісної дії робочих навантажень та абсорбованого металом водню з боку внутрішньої поверхні труби створюються умови для розвитку розшарування великої площі;

- математичну модель і алгоритм розрахунку на стійкість багатопрогонної

дільниці магістрального трубопроводу з урахуванням дії температурних навантажень і взаємодії труби з пружною основою;

– методику розрахунку на динамічну стійкість багатопрогонових висотних конструкцій, що перебувають під дією періодичних осьових навантажень, опрацьовану на основі ототожнення амплітудних функцій, що описують вільні і параметричні коливання, а також форми втрати статичної стійкості багатопрогонової висотної конструкції.

Зазначені наукові результати одержані автором вперше, а їх вірогідність підтверджується результатами числових експериментів та експериментальними дослідженнями, проведеними на реальному газопроводі.

Значення дисертаційної роботи для науки і виробництва. Одержані в роботі результати математичного моделювання напружено-деформованого стану, втрати стійкості і вільних коливань багатопрогонових довгомірних конструкцій можуть бути використані у подальших дослідженнях динаміки та стійкості складених механічних систем з метою прогнозування працездатності висотних споруд, надземних дільниць магістральних трубопроводів та інших технічних об'єктів. Зважаючи на те, що побудовані математичні моделі забезпечують достатньо високу точність розрахунків на стійкість і коливання, вони можуть бути застосовані під час розв'язання задач оптимізації параметрів несівних конструкцій.

Розроблені алгоритми і комп'ютерні програми для проведення розрахунків багатопрогонових довгомірних конструкцій на стійкість з урахуванням східчасної або неперервної зміни згинної жорсткості і поздовжньої сили по довжині, а також податливості пружних зв'язків секцій та конструкції з основою дають можливість значно пришвидшити проведення проектно-конструкторських робіт і можуть бути застосовані в процесах створення технічних об'єктів широкого класу. Результати математичного моделювання напружено-деформованого стану і аналізу стійкості багатопрогонової конструкції магістрального трубопроводу з урахуванням дії температурних навантажень можуть бути використані з метою раціонального добору числа температурних компенсаторів та проміжних опор надземних дільниць. Методику експериментального дослідження макророзшарування матеріалу труби, що утворилося в процесі тривалої експлуатації, доцільно застосовувати під час проведення технічної діагностики трубопроводів.

Слід зауважити, що результати наукових досліджень у вигляді математичних моделей, алгоритмів та практичних рекомендацій щодо забезпечення стійкості надземних дільниць магістральних трубопроводів пройшли промислові випробування під час оцінки стійкості надземного переходу «Острогозьк – Шебелинка» і використовуються у навчальному процесі у Національному університеті «Львівська політехніка».

Оцінка змісту дисертаційної роботи та її довершеність. Дисертація складається зі вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел, що налічує 162 найменування, та додатків. Загальний обсяг роботи – 172 сторінки, дисертація містить 122 сторінки основного тексту, 31 рисунок та 13 таблиць.

У *вступі* обґрунтовано актуальність теми дисертації, сформульовано мету й основні задачі досліджень, Обґрунтовано наукову новизну й практичне значення отриманих результатів, подано відомості про особистий внесок здобувача, апробацію і опублікування результатів роботи.

У *першому розділі* на основі ґрунтовного аналізу відомих підходів до математичного моделювання напружено-деформованого стану стрижнів і складених довгомірних конструкцій, а також методів розрахунку таких систем на стійкість і коливання сформульовано мету і задачі досліджень.

Показано, що під час розв'язання задач статички і динаміки довгомірних конструкцій дослідники широко використовують як технічну теорію згину, так і теорію балок С. Тимошенка. У відомих дослідженнях вивчається вплив механічних характеристик довгомірних конструкцій, умов їх закріплення, способу навантаження, зміни пружно-інерційних параметрів по довжині тощо на стійкість і коливання пружних систем. Значна увага приділяється вивченню поведінки багатошарових стрижнів і пластин, а також довгомірних конструкцій з дефектами під дією експлуатаційних навантажень. Проводяться дослідження точності математичних моделей для проведення розрахунків напружень, деформацій, стійкості, коливальних та хвильових явищ у пружних системах. Звернуто увагу на те, що у більшій частині випадків авторами розглядаються однопрогонові довгомірні конструкції. Відомі математичні моделі коливань і втрати стійкості багатопрогонових конструкцій потребують розвитку і уточнення, оскільки вони не враховують особливостей конструктивного виконання і умов експлуатації реальних машин і споруд. Обґрунтовується доцільність розроблення і практичного застосування раціональних математичних моделей і алгоритмів розрахунку багатопрогонових довгомірних конструкцій, які були б достатньо універсальними і забезпечували належну точність і простоту чисельної реалізації.

На основі проведеного аналізу обґрунтовуються основні завдання дисертаційної роботи та методи їх вирішення.

Другий розділ присвячено удосконаленню методології розрахунку на стійкість і власні коливання багатопрогонових висотних конструкцій. Побудовано математичну модель і узагальнений алгоритм аналізу напружено-деформованого стану конструкції щоглового типу з урахуванням східчастої зміни механічних характеристик по довжині, а також податливості опор і з'єднувальних вузлів. Проведені дослідження стійкості щогли будівельного підймального пристрою. Розглянуто особливості розрахунку на стійкість і вільні коливання пілонної (А-подібної) висотної споруди. Проілюстрована ефективність застосування матрич-

ного методу початкових параметрів для числової реалізації математичних моделей. Показано, що урахування неперервної зміни параметрів висотної споруди дає можливість значного підвищити точність розрахунків висотних конструкцій на стійкість. Обґрунтовуються раціональні способи підвищення стійкості інженерних конструкцій на основі раціонального застосування зв'язків висотної конструкції з основою. Розробляється математична модель і досліджуються стійкість і вільні коливання пілонної висотної конструкції бурової установки. Слід зауважити, що поєднання аналітичних і числових методів в процесі розв'язання поставлених задач посприяло авторові у розробленні достатньо загальних і, в той же час, зручних у практичному застосуванні математичних моделей і розрахункових алгоритмів.

У третьому розділі розглянуті задачі з визначення температурних навантажень надземної ділянки магістрального трубопроводу з урахуванням її взаємодії з підземними ділянками та з проведення аналізу стійкості трипрогонової довгомірної конструкції магістрального трубопроводу з урахуванням податливості пружної основи.

На основі детального аналізу поздовжнього деформування підземної ділянки трубопроводу під дією надземної одержано умови виникнення проковзування труби відносно ґрунту та одержані аналітичні залежності для визначення довжини зони проковзування, що дає можливість в достатньо зручний спосіб розраховувати поздовжні зусилля у трипрогоновій конструкції магістрального трубопроводу. Показано, що найбільша небезпека втрати стійкості надземної ділянки виникає під час стискання незаповненої газом труби за максимального температурного перепаду. Проведено технічну діагностику магістрального газопроводу у зв'язку з макророзшаруванням сталі в процесі тривалої експлуатації. Наведено кількісну оцінку локального ослаблення трубопроводу у зв'язку з деградацією матеріалу труби. Побудовано математичну модель і алгоритм розрахунку на стійкість багатопрогонової ділянки магістрального трубопроводу з урахуванням дії температурних навантажень та оцінено вплив локальних ослаблень труби на критичне навантаження.

У четвертому розділі побудовані автором математичні моделі і алгоритми знаходження форм втрати стійкості і форм власних коливань застосовано для аналізу параметричних коливань багатопрогонової висотної конструкції, защемленої в основі і закріпленої за допомогою пружних відтяжок. Розглянуто достатньо загальний випадок навантаження споруди осьовою силою, що має постійну і змінну складові. Розрахунок висотної багатопрогонової конструкцій на динамічну стійкість зводиться до аналізу розв'язків рівняння Матьє. Результати розділу мають як теоретичне, так і практичне значення.

Основні висновки та рекомендації дисертаційної роботи узгоджуються з метою і задачами досліджень. Одержані результати і висновки характеризуються

науковою новизною, обґрунтовані теоретично і підтверджені експериментальними дослідженнями і промисловими випробуваннями.

Дисертація написана якісною технічною мовою, оформлена у відповідності до вимог МОН України.

Повнота викладу наукових положень, висновків і рекомендацій в опублікованих працях. За матеріалами дисертації здобувачем опубліковано 11 наукових праць, з них 5 статей у наукових фахових виданнях України, 1 стаття у журналі, що належить до переліку наукових фахових видань України, а його переклад – до наукометричної бази Web of Science, 1 розділ монографії, опублікованої за кордоном, 1 стаття в українському журналі, який включено до міжнародних наукометричних баз даних, 3 праці у матеріалах науково-технічних конференцій.

Автореферат дисертації достатньо повно і вичерпно відображає зміст дисертаційної роботи, отримані результати, зроблені висновки та запропоновані рекомендації.

Зауваження щодо змісту та оформлення роботи. 1. Необхідно зауважити, що конструкції щоглового типу нерідко сприймають ексцентрично прикладені осьові, а також вітрові навантаження. Ці особливості можуть суттєво вплинути на стійкість механічної системи. Однак, у дисертаційній роботі такі випадки навантаження не розглядаються.

2. Як стверджує автор дисертаційної роботи, стрижнева розрахункова модель висотної споруди, наведена на рис. 3.1, може бути застосована для аналізу стійкості складеної довгомірної конструкції. Виникає питання, як врахувати локальну втрату стійкості елементів стрижневої ґратки.

3. Під час дослідження стійкості багатопрогонових довгомірних конструкцій магістральних трубопроводів (розділ 3) автор обмежилася визначенням критичних навантажень, не вдаючись до аналізу процесу втрати стійкості. У цьому контексті, бажано було б дослідити вплив початкового викривлення труби на її стійкість та деформативність.

4. Втрата стійкості підземними дільницями магістральних трубопроводів найчастіше трапляється у випадках, коли трубопровід прокладений у піщаних ґрунтах або в болотистій місцевості. Особливості розв'язання таких задач в роботі не розглядаються.

5. Бажано було б розширити дослідження динамічної стійкості багатопрогонових висотних конструкцій за рахунок урахування дії навантажень імпульсного характеру.

6. На жаль, в тексті дисертаційної роботи зустрічаються незначні граматичні і стилістичні описки.

Висновок. 1. Дисертаційна робота Кунтої Ольги Євгенівни “Забезпечення стійкості багатопрогонних довгомірних конструкцій з урахуванням дії статичних і динамічних навантажень” є завершеною науковою працею, виконаною на сучасному науковому рівні.

2. За змістом, обсягом та оформленням дисертація відповідає вимогам, встановленим МОН України до дисертацій на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.02.09 – динаміка та міцність машин. Робота є вагомим внеском у вдосконалення методології розрахунку багатопрогонних довгомірних конструкцій на стійкість та власні коливання. У ній отримані нові, науково обґрунтовані теоретичні і експериментальні результати, які в сукупності вирішують наукову задачу підвищення ефективності розрахунку багатопрогонних довгомірних конструкцій на стійкість за рахунок одночасного урахування ступінчастої або неперервної зміни пружно-інерційних параметрів і особливостей розподілу осьових навантажень по довжині, а також податливості опор і з'єднувальних вузлів, що має суттєве значення у галузі динаміки та міцності машин та інженерних споруд.

Дисертаційна робота відповідає пп. 9, 11, 12 «Порядку присудження наукових ступенів», затвердженого постановою Кабінету Міністрів України №567 від 24 липня 2013 року.

3. Автор дисертації Кунта Ольга Євгенівна заслуговує присудження їй наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.02.09 – динаміка та міцність машин.

Офіційний опонент – доктор технічних наук,
професор, завідувач кафедри обладнання
лісового комплексу та теорії механізмів машин
Луцького національного технічного
університету України



П. Ярошевич