

## 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

**1. Актуальність теми дисертації.** У сучасних машинах та інженерних спорудах знайшли широке застосування довгомірні несівні конструкції, що можуть складатися з послідовно розташованих прогонів (секцій), зв'язаних між собою за допомогою кріпильних вузлів і навантажених осьовими силами. На межах прогонів такі конструкції здебільшого мають пружні зв'язки з основою. До багатопрогонових довгомірних конструкцій можна віднести щогли будівельних підймальних пристроїв, вишки бурових установок, опори ліній електропередач та установок вітрової енергетики, деякі типи стрілових та мостових конструкцій тощо. Особливий вид багатопрогонових довгомірних конструкцій становлять надземні дільниці магістральних трубопроводів, що перебувають під дією температурних навантажень і взаємодіють з прилеглими до них підземними дільницями. Отже, багатопрогонові довгомірні конструкції є важливими елементами машин і споруд, які використовуються у різних галузях народного господарства.

Важливим чинником забезпечення працездатності довгомірних конструкцій є їхня стійкість під дією статичних і динамічних навантажень. Як відомо, питанням стійкості стрижнів і стрижневих систем присвячено значне число наукових праць. Для аналізу стійкості застосовують як класичні підходи, що ґрунтуються на дослідженні розв'язків диференціальних рівнянь напружено-деформованого стану, так і енергетичні та динамічні критерії. Незважаючи на великий обсяг досліджень, проведених у даній галузі, значне їх число стосується однопрогонових конструкцій. Розрахунки на коливання та стійкість складених конструкцій, виконаних у вигляді просторових довгомірних ферм, проводять, здебільшого, із застосуванням континуалізованих розрахункових моделей. Для опису їх напружено-деформованого стану застосовують як технічну теорію згину, так і теорію балок С.Тимошенка.

Відомі також узагальнені математичні моделі для проведення розрахунків багатопрогонових довгомірних конструкцій на стійкість і коливання, а також достатньо ефективні алгоритми чисельної реалізації цих моделей. Однак, практичне застосування математичного і програмного забезпечення широкого вжитку далеко не завжди дає можливість урахування конструктивних особливостей елементів реальних машин і споруд, а також специфіки умов їх експлуатації. Тут необхідно відмітити зміну параметрів поперечних перерізів по довжині, податливість з'єднань секцій та ослаблених зон, причини виникнення і характер розподілу експлуатаційних навантажень, взаємодію конструкції з пружною основою тощо.

Отже, тема дисертаційної роботи Кунтої О. Є., присвяченої удосконаленню методології розрахунку багатопрогнових довгомірних конструкцій на стійкість за рахунок розроблення узагальнених математичних моделей напружено-деформованого стану з урахуванням східчастої або неперервної зміни згинної жорсткості і поздовжньої сили по довжині, податливості опор і з'єднувальних вузлів, а також дії статичних і динамічних навантажень, є, безперечно, актуальною.

**2. Загальна характеристика дисертаційної роботи.** Дисертація складається зі вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел, який налічує 162 найменування, та додатків. Загальний обсяг роботи – 172 сторінки, дисертація містить 122 сторінки основного тексту, 31 рисунок та 13 таблиць.

У *вступі* наведено загальну характеристику роботи: обґрунтовано актуальність теми дисертації, сформульовано мету й основні завдання досліджень. Викладено наукову новизну й практичне значення отриманих результатів, наведено відомості про особистий внесок здобувача, апробацію і опублікування результатів дисертаційної роботи.

У *першому розділі* проведено аналіз сучасного стану проблеми забезпечення статичної і динамічної стійкості довгомірних інженерних конструкцій як одного з найважливіших критеріїв їхньої працездатності. Зазначено, що багатопрогнові несівні конструкції широко застосовують у машинах і спорудах, що відіграють важливу роль у розвитку машинобудування, енергетики, будівництва, транспорту тощо. У численних наукових працях розвинуто методи досліджень і проведено розрахунки на стійкість довгомірних конструкцій як сталого, так і змінного поперечного перерізу. Розглядаються особливості поведінки механічних систем під дією сил власної ваги, пружного середовища, а також неконсервативних навантажень. Значна увага приділяється задачам динаміки та стійкості локально ослаблених довгомірних конструкцій. У дослідженнях напружено-деформованого стану стрижнів і стрижневих систем застосовують як технічну, так і неklasичні теорії згину. Звернено увагу на однотипність задач про стійкість та про коливання пружних систем, у зв'язку з чим згадані задачі нерідко розв'язують у спільній постановці.

Разом з тим, відзначається, що удосконаленню методології розрахунку на стійкість багатопрогнових довгомірних конструкцій з урахуванням особливостей їх конструктивного виконання, набутих локальних ослаблень, а також специфіки розподілу експлуатаційних навантажень приділяється недостатньо уваги. На основі проведеного аналізу сформульовано основні завдання, які необхідно вирішити в ході виконання дисертаційної роботи.

*Другий розділ* присвячено побудові математичних моделей напружено-деформованого стану багатопрогнових висотних конструкцій щоглового типу з урахуванням східчастої або неперервної зміни згинної жорсткості, поздовжньої сили, погонної маси та інших характеристик по довжині, а також подат-

ливості опор і з'єднувальних вузлів. Розглянуто особливості моделювання втрати стійкості, а також вільних коливань висотної споруди пілонного типу. Опрацьовано раціональні алгоритми числової реалізації математичних моделей на основі застосування матричного методу початкових параметрів. Показано, що раціональне застосування додаткових зв'язків висотної конструкції з основою є ефективним способом збільшення критичного навантаження щогли піддільного пристрою. З'ясовано, що за рахунок урахування неперервної зміни параметрів висотної споруди можна досягти значного підвищення точності визначення критичної сили. Підтверджена необхідність детального врахування структури і жорсткісних параметрів пілонної конструкції під час визначення критичних навантажень і проведення модального аналізу.

*У третьому розділі* проведені дослідження статичної стійкості трипрогонової конструкції магістрального трубопроводу, яка включає надземну і зв'язані з нею підземні ділянки і перебуває під дією температурних навантажень.

Побудовано математичну модель осьового деформування трипрогонової конструкції магістрального трубопроводу та визначено поздовжні зусилля, переміщення і деформації труби на надземній та на підземних ділянках з урахуванням можливого проковзування труби відносно ґрунту. З'ясовано, що з огляду на можливу втрату стійкості, найнебезпечнішим випадком навантаження надземної ділянки трубопроводу є стискання незаповненої газом труби за максимального температурного перепаду. Проведено аналіз причин локального ослаблення магістрального газопроводу у зв'язку з макророзшаруванням металу в процесі сорокарічної експлуатації. Побудовано математичну модель і алгоритм розрахунку на стійкість багатопрогонової ділянки магістрального трубопроводу з урахуванням дії температурних навантажень і взаємодії труби з пружною основою. Одержані результати дають можливість здійснювати раціональний добір числа температурних компенсаторів та проміжних опор надземних ділянок під час проектування.

*Четвертий розділ* присвячений опрацюванню методики аналізу параметричних згинних коливань багатопрогонової висотної конструкції, зацмленої в основі і додатково закріпленої за допомогою відтяжок, навантаженої осьовою силою, що має постійну складову і складову, яка змінюється за періодичним законом. Розв'язки рівнянь руху механічної системи відшукуються у вигляді розкладу за власними формами коливань. Розрахунок динамічної стійкості зводиться до аналізу рівняння Мат'є.

**3. Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків та рекомендацій.** Вивчення матеріалів дисертаційної роботи, автореферату та публікацій дає можливість стверджувати, що обґрунтованість основних одержаних результатів забезпечується строгістю і коректністю постановки та розв'язання розглянутих у роботі завдань. Прийняті припущення під час побудови математичних моделей напружено-деформованого стану і алгоритмів розрахунку багатопрогонових довгомірних конструкцій на стійкість і коливання ґрунтуються на

засадах механіки деформівного твердого тіла і прикладної теорії пружності, а також експериментальних результатах проведення технічної діагностики макророзшарування у стінці тривало експлуатованої труби системи магістральних газопроводів.

Обґрунтованість наукових положень, висновків, запропонованих рішень і рекомендацій підтверджується результатами апробації роботи на наукових семінарах, науково-технічних конференціях та симпозиумах.

**4. Достовірність і новизна наукових положень, висновків та рекомендацій.** Достовірність наукових положень, висновків та рекомендацій дисертаційної роботи забезпечується:

- коректністю проведених теоретичних досліджень, що ґрунтуються на застосуванні відомих положень аналітичної механіки, механіки стрижнів та правомірністю припущень, прийнятих у цих дослідженнях;

- застосуванням широко апробованих аналітичних і числових методів розв'язання звичайних диференціальних рівнянь та рівнянь в частинних похідних, що описують напружено-деформований стан і коливання багатопрогонових довгомірних конструкцій;

- застосуванням сучасних методів експериментальних досліджень і засобів вимірювань під час проведення технічної діагностики розшарування тривало експлуатованої труби в системі магістральних газопроводів;

- апробацією положень дисертаційної роботи на наукових конференціях і семінарах різних рівнів.

Сформульовані в дисертації наукові положення, висновки і рекомендації впливають безпосередньо з теоретичних та експериментальних результатів проведених досліджень.

Новизна наукових положень, висновків та рекомендацій полягає в наступному.

*Дістала подальшого розвитку* методологія розрахунку багатопрогонових висотних конструкцій на стійкість за рахунок розроблення узагальнених математичних моделей аналізу напружено-деформованого стану із застосуванням як технічної теорії згину, так і некласичної теорії балок С. Тимошенка та з урахуванням зміни згинної жорсткості і поздовжньої сили по довжині, а також податливості пружних зв'язків секцій та конструкції з основою.

*Удосконалено* метод розрахунку на стійкість багатопрогонових довгомірних конструкцій, що перебувають під дією температурних навантажень і включають прогони, встановлені на пружній основі. На прикладі надземної ділянки магістрального трубопроводу *вперше* оцінено сумісний вплив температурних напружень, взаємодії підземних прогонів трубопроводу з пружною основою, а також локальних ослаблень труби на стійкість довгомірної конструкції.

*Вперше* запропоновано методологію розрахунку на динамічну стійкість багатопрогонових довгомірних конструкцій, що перебувають під дією періодичних осьових навантажень, на основі застосування континуально-дискретних

розрахункових моделей та зведення задачі про параметричні коливання конструкції до аналізу розв'язків диференціального рівняння Мат'є.

**5. Значення дисертаційної роботи для науки і виробництва.** Одержані в роботі результати математичного моделювання напружено-деформованого стану багатопрогонних довгомірних конструкцій з урахуванням східчастої або неперервної зміни згинної жорсткості та осевого навантаження, а також податливості з'єднань секцій і взаємодії довгомірної конструкції з основою, алгоритми розрахунку згаданих конструкцій на стійкість і коливання можна розглядати як теоретичне підґрунтя для розв'язання широкого класу задач механіки пружних систем, що перебувають під дією статичних та динамічних навантажень.

Розроблені математичні моделі і алгоритми розрахунку на стійкість багатопрогонних висотних конструкцій забезпечують суттєве підвищення точності визначення критичних навантажень щогл та стріл підйимально-транспортних машин, веж бурових установок, опор ліній електропередач та установок вітрової енергетики тощо.

Опрацьовані підходи до аналізу стійкості багатопрогонних конструкцій магістральних трубопроводів з урахуванням дії температурних навантажень і особливостей взаємодії труби з пружною основою можуть бути використані під час проектування та реконструкції об'єктів трубопровідного транспорту, що дасть можливість добирати раціональне число температурних компенсаторів та проміжних опор надземних дільниць.

Результати наукових досліджень у вигляді математичних моделей і алгоритмів розрахунку багатопрогонних довгомірних конструкцій на стійкість, а також практичних рекомендацій щодо забезпечення стійкості зазначених конструкцій пройшли промислові випробування під час оцінки стійкості надземного переходу «Острогоськ – Шебелинка», П н. Ду 1220, Ру 5,5 МПа, км 165 Круп'янського ЛВУ МГ Філії УМГ «Харківтрансгаз».

Крім цього, отримані результати досліджень використовуються у навчальному процесі у Національному університеті «Львівська політехніка».

**6. Повнота викладу результатів роботи в наукових фахових виданнях.** Основні результати дисертаційної роботи відображені у публікаціях здобувача. За темою дисертаційної роботи 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.

Робота пройшла достатню апробацію, її основні положення доповідалися на 3 науково-технічних конференціях.

Дисертація Кунтої О. Є. «Забезпечення стійкості багатопрогонних довгомірних конструкцій з урахуванням дії статичних і динамічних навантажень» є

завершеною науковою працею. Її написано грамотною технічною українською мовою та оформлено відповідно до вимог. Робота добре ілюстрована й не перевантажена зайвим матеріалом.

*Зміст* дисертаційної роботи цілком відповідає спеціальності 05.02.09 – динаміка та міцність машин, за якою вона подана до захисту, і профілю спеціалізованої вченої ради Д 35.052.06.

*Автореферат* дисертації адекватно відображає основний зміст, положення та висновки дисертаційної роботи.

**7. Зауваження.** 7.1. У процесі математичного моделювання напружено-деформованого стану багатопрогонової висотної конструкції (розділ 2) автор враховує податливість з'єднань секцій. Бажано було б навести методіку визначення коефіцієнтів жорсткості таких з'єднань і оцінити вплив конструктивних чинників на значення вказаних коефіцієнтів та на критичне навантаження споруди. Практичний інтерес становить також оцінка впливу податливості основи на стійкість висотної конструкції.

7.2. У другому розділі дисертації під час проведення аналізу стійкості висотних конструкцій застосовані як технічна теорія згину, так і неklasична теорія балок С. Тимошенка. На жаль, при цьому не наводиться конкретних рекомендацій щодо визначення коефіцієнта  $k$ , за допомогою якого враховується вплив деформацій зсуву, та не встановлюється меж придатності для практичного застосування тієї чи іншої математичної моделі.

7.3. У другому та в третьому розділах дисертаційної роботи алгоритми розрахунків багатопрогонових довгомірних конструкцій на стійкість подані у текстовому вигляді. Для кращого їх сприйняття бажано було б навести блок-схеми вказаних алгоритмів.

7.4. Податливість локально ослабленої зони трубопроводу у дисертаційній роботі (розділ 3) визначається без урахування взаємодії внутрішнього шару труби з відокремленим тріщиною зовнішнім шаром. На мою думку, варто було б врахувати вплив зовнішнього шару на залишкову міцність і деформативність труби в зоні розшарування, а також на стійкість багатопрогонової конструкції магістрального трубопроводу.

7.5. В процесі розгляду динамічної стійкості багатопрогонових довгомірних конструкцій (розділ 4) бажано було б навести більш повний порівняльний аналіз втрати стійкості спорудами за дії статичних і динамічних навантажень.

7.6. Автору, на жаль, не вдалося уникнути незначних стилістичних і граматичних описок у тексті дисертаційної роботи.

Зазначені вище зауваження не мають принципового характеру, не знижують наукового рівня дисертації та не впливають на позитивну оцінку роботи. Більшою мірою їх треба розглядати як побажання щодо подальших досліджень автора.

**8. Загальний висновок.** Дисертаційна робота є завершеною науково-дослідною працею, в якій отримані нові науково обґрунтовані результати, що в сукупності вирішують наукову задачу удосконалення методології розрахунку багатопрогонових довгомірних конструкцій на стійкість за рахунок розроблення узагальнених математичних моделей аналізу напружено-деформованого стану з урахуванням східчастої або неперервної зміни згинної жорсткості і поздовжньої сили по довжині, податливості опор і з'єднувальних вузлів, а також дії статичних і динамічних навантажень.

За актуальністю, науковим рівнем розробок та їх практичним значенням, наявністю необхідної кількості та обсягу публікацій дисертаційна робота Кунтої Ольги Євгенівни "Забезпечення стійкості багатопрогонових довгомірних конструкцій з урахуванням дії статичних і динамічних навантажень" повністю відповідає вимогам ДАК МОН України, зокрема, пп. 9, 11, 12 „Порядку присудження наукових ступенів”, затвердженого постановою Кабінету Міністрів України №567 від 24 липня 2013 року, а її автор заслуговує присудження наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.02.09 – динаміка та міцність машин.

Офіційний опонент –  
доцент кафедри прикладної  
математики і механіки  
Львівського державного університету  
безпеки життєдіяльності  
кандидат технічних наук, доцент

*Л. Ф. Дзюба*

Л. Ф. Дзюба

Підпис Л. Ф. Дзюби за свідченням

*Учений секретар*



*А.Д. Кузич*