

**МІЖНАРОДНА НАУКОВА КОНФЕРЕНЦІЯ  
«АКТУАЛЬНІ ПРОБЛЕМИ МЕХАНІКИ - 2023»  
до 145-річчя від дня народження С.П.Тимошенка**

**INTERNATIONAL SCIENTIFIC CONFERENCE  
«ACTUAL PROBLEMS OF MECHANICS - 2023»  
to the 145<sup>th</sup> anniversary of the birth of S.P. Timoshenko**

**14 - 16 листопада, 2023**

**МАТЕРІАЛИ ДОПОВІДЕЙ**



**Київ, Дніпро, Львів, Харків — 2023**

*Матеріали Міжнародної наукової конференції “Актуальні проблеми механіки”  
до 145-річчя від дня народження С.П. Тимошенка [Електронний ресурс]*

**Організатор конференції**

Інститут механіки імені С.П. Тимошенка НАН України

**Співорганізатори конференції:**

Національний комітет України з теоретичної і прикладної механіки

Інститут геотехнічної механіки імені М.С. Полякова НАН України

Інститут технічної механіки НАН України і ДКА України

Інститут гідромеханіки НАН України

Інститут проблем міцності імені Г.С. Писаренка НАН України

ДП “Конструкторське бюро “Південне” імені М.К. Янгеля”

Інститут прикладних проблем механіки і математики імені Я.С.Підстригача НАН України

Інститут кібернетики імені В.М. Глушкова НАН України

Київський національний університет імені Тараса Шевченка

НТУУ “Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського”

Національний транспортний університет України

Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара

**ОРГАНІЗАЦІЙНИЙ КОМІТЕТ (Україна)**

Співголови:

**Богданов В.Л., Назаренко В.М.**

Учений секретар оргкомітету

**Стебляк П.О.**

Члени організаційного комітету:

**Гузь О.М., Галішин О.З., Голуб В.П., Григоренко О.Я., Камінський А.О., Карнаухов В.Г., Кирилюк В.С., Кубенко В.Д., Луговий П.З., Мартинюк А.А., Рушицький Я.Я., Чернишенко І.С.**

**ПРОГРАМНИЙ КОМІТЕТ**

*Співголови:*

**Богданов В.Л., Назаренко В.М. (Україна)**

*Члени програмного комітету:*

**Акбаров С. (Туреччина; Азербайджан), Альтенбах Х. (Німеччина), Амабілі М. (Канада), Бобир М.І. (Україна), Булат А.Ф. (Україна), Воропаєв Г.О. (Україна), Галішин О.З. (Україна), Гдоутос Е. (Греція), Голуб В.П. (Україна), Григоренко О.Я. (Україна), Гузь І. (Велика Британія, Англія), Гузь О.М. (Україна), Дзюба А.П. (Україна), Жук Я.О. (Україна), Зозуля В. (Італія), Камінський А.О. (Україна), Карнаухов В.Г. (Україна), Кашталян М. (Велика Британія, Шотландія), Кирилюк В.С. (Україна), Круковський О.П. (Україна), Кубенко В.Д. (Україна), Кушнір Р.М. (Україна), Лапуста Ю. (Франція), Лобода В.В. (Україна), Лоза І.А. (Україна), Луговий П.З. (Україна), Манг Г. (Австрія), Мартинюк А.А. (Україна), Марчук О.В. (Україна), Мюллер В. (Німеччина), Пилипенко О.В. (Україна), Пошивалов В.П. (Україна), Рушицький Я.Я. (Україна), Сіренко В.М. (Україна), Стебляк П.О. (Україна), Хімич О.М. (Україна), Чате А. (Латвія), Чернишенко І.С. (Україна), Чирков О.Ю. (Україна)**

## Тематика конференції (секції)

- Section F. Modern Applied Mechanics (сторінки 4 - 35);
- Секція 1. Механіка композитних матеріалів та елементів конструкцій, в т.ч. з урахуванням дії початкових напружень. Контактні задачі (сторінки 36 -56);
- Секція 2. Механіка оболонкових систем та елементів конструкцій, зокрема, з отворами, вирізами, ребрами жорсткості (сторінки 57 - 83);
- Секція 3. Механіка довготривалого деформування та механіка руйнування (сторінки 84 - 110);
- Секція 4. Механіка взаємодіючих фізико-механічних полів в неоднорідних середовищах і елементах конструкцій (сторінки 111 - 173; 387 -413; 414-431);
- Секція 5. Стійкість і керування рухом механічних систем (сторінки 174 - 189);
- Секція 6. Взаємодія пружних систем з потоками рідини та газу (сторінки 432 -449);
- Секція 7. Механіка конструкцій машинобудування та геотехнічна механіка (сторінки 190 -229);
- Секція 8. Механіка ракетно-космічних систем та технічна механіка (сторінки 230-257; 258 - 310);
- Секція 9. Експериментально-розрахункові методи дослідження міцності матеріалів і конструкцій (сторінки 311 - 386);
- Секція 10. Числові методи та комп'ютерне моделювання в механіці (сторінки 450 -468).

## ЗМІСТ

ЧАСТИНА А	Section F Секція 1 Секція 2 Секція 3 Секція 4 Секція 5	сторінки 4 - 35 сторінки 36 -56 сторінки 57 - 83 сторінки 84 - 110 сторінки 111 - 173 сторінки 174 - 189
ЧАСТИНА В	Секція 7 (Дніпро) Секція 8п (Дніпро) Секція 8д (Дніпро)	сторінки 190- 229 сторінки 230 - 257 сторінки 258 - 310
ЧАСТИНА С	Секція 9	сторінки 311 - 386
ЧАСТИНА D	Секція 4 (Львів) Секція 4 (Харків) Секція 6 Секція 10	сторінки 387 - 413 сторінки 414 - 431 сторінки 432 - 449 сторінки 450 - 468

**Секція 8д: Механіка ракетно-космічних систем та технічна механіка**

**ЗМІСТ**

1. В.С. Гудрамович, Е. Л. Гарт, Б. І. Терьохін	
<b>ЧИСЛОВЕ МОДЕЛЮВАННЯ ВПЛИВУ РАДІАЛЬНО-НЕОДНОРІДНИХ ВКЛЮЧЕНЬ НАВКОЛО ОТВОРІВ НА НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНИЙ СТАН ПЛАСТИНЧАТО-ОБОЛОНКОВИХ ЕЛЕМЕНТІВ КОНСТРУКЦІЙ РАКЕТНО-КОСМІЧНОЇ ТЕХНІКИ</b>	261
2. А.П. Дзюба, В.М. Сіренко	
<b>МЕТОДИКА УРАХУВАННЯ ПОХИБОК ВХІДНИХ ДАНИХ ТА РЕЗУЛЬТАТІВ НЕРУЙНІВНИХ ВИПРОБУВАНЬ ДЛЯ ПРОГНОЗУВАННЯ КРИТИЧНИХ НАВАНТАЖЕНЬ НА ВЕЛИКОГАБАРИТНІ ОБОЛОНКОВІ КОНСТРУКЦІЇ</b>	263
3. П.О. Стеблянко, Ю.А. Черняков, О.Д. Петров	
<b>ОСОБЛИВОСТІ ПОВЕДІНКИ ТЕРМО-ПЛАСТИЧНИХ МАТЕРІАЛІВ ТА СПЛАВІВ З МАЙДАНЧИКОМ ПЛИННОСТІ</b>	264
4. А. П. Дзюба, П. А. Дзюба	
<b>ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ СТІЙКОСТІ ПОЗДОВЖНЬО СТИСНУТИХ ЦИЛІНДРИЧНИХ ОБОЛОНОК ПОСЛАБЛЕНИХ РІЗНОЮ КІЛЬКІСТЮ ВИПАДКОВИХ РОЗРІЗІВ-ТРИЩИН</b>	265
5. А. П. Дзюба, Р. А. Іскандеров, Ю.М. Селіванов	
<b>ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ВЛАСТИВОСТЕЙ ЕЛЕМЕНТІВ ТОНКОСТІННИХ КОНСТРУКЦІЙ З ОПТИМАЛЬНИМИ ПАРАМЕТРАМИ</b>	267
6. О.Д.Петров	
<b>ЦИКЛІЧНИЙ ВИГІН ПЛАСТИНИ З УРАХУВАННЯМ ВЕЛИКИХ ПЛАСТИЧНИХ ДЕФОРМАЦІЙ</b>	269
7. А.Г.Дем'яненко, В.О.Гурідова, Д.В.Клюшник	
<b>С.П.ТИМОШЕНКО ТА СУЧАСНА ІНЖЕНЕРНА ОСВІТА В УКРАЇНІ – СТАН, РЕАЛІЇ, ТЕНДЕНЦІЇ ТА ПЕРСПЕКТИВИ</b>	271
8. А.Ю. Дреус, А.Ю. Круглий, П.А. Дзюба	
<b>ЗАСТОСУВАННЯ МЕТОДІВ МАШИННОГО НАВЧАННЯ У ДОСЛІДЖЕННЯХ СТІЙКОСТІ ОБОЛОНКОВИХ КОНСТРУКЦІЙ</b>	273
9. В.І.Кузьменко, С.О.Плашенко	
<b>ДЕФОРМІВНІ СИСТЕМИ ЗІ ЗВОРОТНІМИ ЗВ'ЯЗКАМИ</b>	275
10. А. F. Sanin, V.I. Lipovskyi, O.E. Bondarenko, V.I. Shynkaruk,	
<b>THE USE OF TOPOLOGICAL OPTIMIZATION METHODS ON THE EXAMPLES OF PROBLEMS OF STRENGTH OF ROCKET AND SPACE STRUCTURES</b>	276
11. О. С. Аксьонов, О. Є. Золотько	
<b>ОСОБЛИВОСТІ РОЗРАХУНКУ НА МІЦНІСТЬ КАМЕРИ ДЕТОНАЦІЙНОГО ДВИГУНА</b>	278
12. В.С. Бейцун, С.В. Тарасов	
<b>МЕТОДИ ВІЗУАЛЬНОГО СТЕЖЕННЯ ПРИ НАТУРНОМУ МОДЕЛЮВАННІ ДИНАМІКИ БОРТОВИХ МАНІПУЛЯТОРІВ ТА ШТАНГ КОСМІЧНИХ АПАРАТІВ</b>	280

13. Воєділо Р.Р., Лобода В.В. ДОСЛІДЖЕННЯ БІМАТЕРІАЛЬНОЇ ПЛОЩИНИ З СИСТЕМОЮ ТРИЩИН МІЖ ДВОМА МАТЕРІАЛАМИ	282
14. М.О. Катренко ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ТРИВКОСТІ РОБОЧОГО КОЛЕСА РАДІАЛЬНОЇ МАЛОВИТРАТНОЇ ТУРБИНИ	283
16. І.В.Добров АЛГОРИТМ РАЦІОНАЛЬНОГО ЗАСТОСУВАННЯ ВАЖЕЛЯ ЖУКОВСЬКОГО ДЛЯ ВИЗНАЧЕННЯ МОМЕНТУПРОВІДНОЇ ЛАНКИ МЕХАНІЗМУ	285
15. О.В. Кудін, А.О. Ярош НЕЙРОМЕРЕЖІВІ ОБЧИСЛЮВАЛЬНІ МЕТОДИ У ЗАДАЧАХ ЗГИНУ ФУНКЦІОНАЛЬНО-ГРАДІЄНТНИХ БАЛОК	287
17. С.В. Алексєєнко ЧИСЕЛЬНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ФОРМ КРИЖАНИХ НАРОСТІВ НА АЕРОДИНАМІЧНИХ ПОВЕРХНЯХ ЛІТАЛЬНИХ АПАРАТІВ	289
18. Д.О. Редчиць, О.Б. Польовий, С.В. Тарасов, С.В. Моїсєєнко ВЗАЄМОДІЯ РОТОРІВ ВЕРТИКАЛЬНО-ОСЬОВИХ ВІТРОЕНЕРГЕТИЧНИХ УСТАНОВОК З ПОТОКАМИ ПОВІТРЯ	291
19. А.Г. Зеленський АНАЛІТИЧНИЙ РОЗВ'ЯЗОК ГРАНИЧНОЇ ЗАДАЧІ ДЛЯ ПЛИТИ У ВИСОКОМУ НАБЛИЖЕННІ З УРАХУВАННЯМ КРАЙОВИХ ЕФЕКТІВ	293
20. В.І.Лаврінєнко, В.Ф.Молчанов, В.Ю.Солод, Д.П.Часов ПОСТАНОВКА НЕСТАЦІОНАРНОЇ ЗАДАЧІ ФІЛЬТРУВАННЯ РІДИНИ У ПОРИСТОМУ СЕРЕДОВИЩІ ТА ДОСЛІДЖЕННЯ ЇЇ РІШЕННЯ	295
21. С.М.Гребєнюк, С.І.Гоменюк, О.Г.Спиця, Н.І.-В.Манько ЧИСЕЛЬНЕ МОДЕЛЮВАННЯ НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНОГО СТАНУ КОМПОЗИЦІЙНОГО МАТЕРІАЛУ З ПОРОЖНИСТИМИ ВОЛОКНАМИ	297
22. В.О. Гурідова, А.Г. Дем'яненко ПРУЖНІ МЕХАНІЧНІ СИСТЕМИ З ДВОХВИЛЬОВИМ ХАРАКТЕРОМ РУХУ ТА ЇХ ДОСЛІДЖЕННЯ НЕКЛАСИЧНИМ МЕТОДОМ МАТЕМАТИЧНОЇ ФІЗИКИ	298
23. С.В. Тарасов, Д.О. Редчиць, А.С.Тарасов МОДЕЛЬ ДИНАМІКИ Н-РОТОРА ДАР'Є ДЛЯ ДОСЛІДЖЕННЯ СТАРТОВИХ І РОБОЧИХ РЕЖИМІВ РОБОТИ	300
24. Т.С. Кагадій, А.Г. Шпорта ДОСЛІДЖЕННЯ УСКЛАДНЕНОЇ КОНТАКТНОЇ ВЗАЄМОДІЇ ЗА ДОПОМОГОЮ МЕТОДА ЗБУРЕНЬ	302
25. В.З. Грищак ЗАГАЛЬНА СТІЙКІСТЬ ТА БІФУРКАЦІЙНИЙ СТАН ПІДКРІПЛЕНОЇ СКЛАДЕНОЇ ОБОЛОНКОВОЇ КОНСТРУКЦІЇ ЗМІННОЇ ГАУССОВОЇ КРИВИЗНИ ВІДСІКІВ ПРИ КОМБІНОВАНОМУ НАВАНТАЖЕННІ	304

<b>26. А. Ю. Дреус, А.В. Сохацький, О.В. Кравець</b> <b>ВИКОРИСТАННЯ ЕКРАННОГО ЕФЕКТУ ДЛЯ СТВОРЕННЯ ВИСОКОШВИДКІСНИХ АЕРОДИНАМІЧНИХ СИСТЕМ: ОГЛЯД ТА ПЕРСПЕКТИВИ</b>	305
<b>27. О. Онопрієнко, В. Говоруха</b> <b>АНАЛІЗ РУЙНУВАННЯ ТА ЕФЕКТИ ЕКРАНУВАННЯ В П'ЄЗОМАГНІТНИХ МАТЕРІАЛАХ</b>	307
<b>28. А.В. Сохацький</b> <b>МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ АЕРОДИНАМІКИ НАЗЕМНИХ ТРАНСПОРТНИХ АПАРАТІВ: ПРОБЛЕМИ, ШЛЯХИ ВИРІШЕННЯ</b>	309

В.О. Гурідова, А.Г. Дем'яненко

## ПРУЖНІ МЕХАНІЧНІ СИСТЕМИ З ДВОХВИЛЬОВИМ ХАРАКТЕРОМ РУХУ ТА ЇХ ДОСЛІДЖЕННЯ НЕКЛАСИЧНИМ МЕТОДОМ МАТЕМАТИЧНОЇ ФІЗИКИ

Дніпровський державний аграрно-економічний університет, вул. Сергія .Єфремова, 25,  
49009, Дніпро, Україна, e-mail: [anatdem@ukr.net](mailto:anatdem@ukr.net)*Світлій пам'яті доктора фізико-математичних наук, професора Горошко О.О.*

Проблема динамічної дії рухомого інерційного навантаження на пружні об'єкти та споруди має понад 175 річну історію. Поштовхом до інтенсивних теоретичних та експериментальних досліджень стали катастрофи – руйнування мостів з довгими прогонами, зокрема Честерського мосту в Англії у 1847 р. Перед інженерами в першу чергу постало питання, чим відрізняються результати дії рухомого навантаження на пружні елементи та споруди від статичного. Інтерес до цієї проблеми з часом перемістився з чисто прикладної в область фізико-математичну – побудови механічних, відповідних математичних моделей та їх дослідження, оскільки розмаїття постановок задач і методів їх розв'язування нерідко породжували суперечливі результати. Прикладами таких систем є мости, трубопроводи, стержні, пластинки, оболонки за дії рухомих масових потоків. Сучасне збільшення мас і швидкостей руху ставить нові задачі, викликаючи появу нових підходів у механічному та математичному моделюванні, нових і удосконалення старих методів їх дослідження, які дозволяють більш повно виявити усі кількісні та якісні особливості кінематичних та динамічних характеристик руху таких систем. Суттєво змінилося і традиційне уявлення про механічні системи з рухомих інерційним навантаженням. До цього класу задач в рамках певних аналогій можна віднести об'єкти змінної за часом довжини та об'єкти, які рухаються у поздовжньому напрямку, такі як нитки, дроти, профільні стержні у прокатному виробництві, смугові та ланцюгові пили, паски пасових передач, канати шахтних підймальних машин. В залежності від способу схематизації інерційних властивостей пружної конструкції і рухомого навантаження існують чотири принципово різних постановки задачі про вплив рухомого навантаження на пружні конструкції та споруди. Найбільш складним є варіант, де враховуються як сили інерції самої конструкції так і сили інерції рухомого навантаження. Дослідження якісних та кількісних характеристик руху таких об'єктів зводиться до аналізу математичної моделі

$$L\left(x, t, \frac{\partial}{\partial x}, \frac{\partial}{\partial t}\right)w = L_1\left(\frac{\partial}{\partial x}, \frac{\partial}{\partial t}\right) \cdot q(x, t) \quad (1)$$

з відповідними крайовими та початковими умовами, де при сталій швидкості руху

$$q(x, t) = -\frac{q_0 + q_1}{g} \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} - 2 \frac{q_1 v}{g} \frac{\partial^2 w}{\partial x \partial t} - \frac{q_1 v^2}{g} \frac{\partial^2 w}{\partial t^2} \quad (2)$$

Основними особливостями математичних моделей цих задач, по-перше, є наявність у диференціальних рівняннях у тому чи іншому вигляді інерційного оператора (2), який визначає силову дію на пружний об'єкт рухомого масового навантаження. Характерним є той факт, що силова дія залежить, як від інтенсивності  $q_1(x)$  і швидкості руху  $v$  потоку навантаження, так і від деформації пружного об'єкта  $w(x, y, t)$ , причому, чітко видно залежність сигової дії від прискорення деформації  $w_{xx}(x, y, t)$ , швидкості кутової деформації  $w_{tx}(x, y, t)$  та зміни кривини пружної лінії об'єкта  $w_{xx}(x, y, t)$  тобто в такого роду системах силова дія є слідкуюча за поведінкою системи змінюючи свою величину і напрямом в процесі деформації. Таким чином, силова дія на пружний об'єкт, викликана рухомою масою, не є заздалегідь визначеною а визначається поточним станом системи. Це є другою особливістю задач динаміки пружних систем у полі сил інерції рухомих навантажень. Третьою суттєвою особливістю цих задач є наявність в математичній моделі у тій чи іншій формі непарної за часом змішаної похідної, яка обумовлена прискоренням Кориоліса рухомого масового навантаження і утворює деякі труднощі при побудові розв'язків, а саме, не дозволяє розділити просторову  $x$  і часову  $t$  змінні за класичною схемою Фур'є в дійсній області шуканих функцій. До інерційного оператора (2) у тому чи іншому вигляді зводиться і аеродинамічна дія на пружні системи рухомого потоку рідини чи газу, причому, як відомо, швидкості рідини у трубопроводах літальних апаратів досягають 50-80 м/с, газів 200 – 250 м/с. Задачі цього класу складають самостійний напрямок у будівельній механіці та МТДТ. У зв'язку з неможливістю прямого застосування класичного методу Фур'є до дослідження математичних моделей цих задач у загальному випадку зроблені спроби його модифікації та узагальнення. Саме в розвиток цього напрямку започатковано метод двохвильового подання коливань пружних об'єктів за дії рухомого інерційного навантаження, фізична інтерпретація якого вперше була наведена О. О. Горошко та який дозволяє у деяких випадках отримати точні розв'язки задач у вигляді суми двох рядів. Один з рядів являє собою класичну частину розв'язку, а другий ту частину, яка обумовлена інерційністю рухомого навантаження або зміною довжини об'єкта і не виявляється при традиційному застосуванні прямих методів

математичної фізики. Форми першої групи названі власними формами, а форми другої групи – супровідними формами коливань пружної системи, які обумовлені і нетривіальні лише за наявності рухомого інерційного навантаження або інших чинників системи. Згодом розвиток цього методу набув деяких математичних узагальнень у працях школи Скоробагатько В.Я., Каленюка П.І., які знаходять і, без сумніву, знайдуть своє подальше застосування. В доповіді коротко наведено історію виникнення і розвитку неklasичного методу відокремлення змінних (метод двохвильового подання коливань) запропонованого О.О.Горошко, зроблено акцент на деяких аналогіях математичних моделей задач статичної і динамічної пружності об'єктів з рухомим інерційним навантаженням та пружних об'єктів змінної довжини, що в свою чергу обумовлює аналогії в їх поведінці. В якості одного з прикладів розглянуто коливання та стійкість одновимірного пружного об'єкта на пружній основі за дії рухомого інерційного навантаження сталої інтенсивності. Математична модель задачі побудована на основі моделі Тимошенка та досліджена методом двохвильового подання руху, що дозволяє побудувати її точний розв'язок. Проаналізовано вплив геометрико-жорсткісних параметрів системи «несучий об'єкт – рухоме інерційне навантаження» на її коливання та стійкість. Виявлено нові якісні особливості руху. Урахування сил інерції Коріоліса в інерційному операторі для моделі Тимошенко дозволяє більш повно дослідити якісну сторону поведінки системи. Чисельний експеримент показав, що зі збільшенням швидкості руху навантаження власні частоти коливань зменшуються, однак є проміжки, на яких зі збільшенням

швидкості руху частота коливань збільшується. Ці проміжки обмежені значеннями першої  $v_1^{cr}$  та  $v_2^{cr}$

другої критичних швидкостей. Коли швидкість руху навантаження досягає значень  $v_1^{cr}$  відбувається

статична втрата стійкості, а коли швидкість руху навантаження досягає значень  $v_2^{cr}$ , відбувається динамічна втрата стійкості. Що стосується аналогій математичних моделей, то неважко показати, що у самому простому випадку задачу про поперечні коливання балки за дії рухомого інерційного навантаження у критичному режимі в наближеній постановці можемо звести до відомої задачі Ейлера про стійкість стиснутого стержня. Аналогічно, неважко довести аналогію математичних моделей динаміки пружного об'єкту за дії рухомого інерційного навантаженням та пружного об'єкту змінної довжини.