

Рішення
разової спеціалізованої вченої ради
про присудження ступеня доктора філософії

Здобувач ступеня доктора філософії Верушкін Іван Олексійович, 1997 року народження, громадянин України, освіта вища: закінчив у 2020 році Харківський національний університет імені В. Н. Каразіна за спеціальністю прикладна фізика та наноматеріали. Верушкін І. О. є аспірантом в Інституті енергетичних машин і систем ім. А. М. Підгорного НАН України, виконав акредитовану освітньо-наукову програму «Математичне моделювання та оптимізація теплових, механічних процесів і складних геометричних структур».

Разова спеціалізована вчена рада утворена наказом директора Інституту енергетичних машин і систем ім. А. М. Підгорного Національної академії наук України, м. Харків від «24» липня 2025 року протокол № 46 у складі:

Голови разової спеціалізованої вченої ради	Максименко-Шейко Кирило Володимирович, доктор технічних наук, професор, заступник директора з наукової роботи Інституту енергетичних машин і систем ім. А. М. Підгорного НАН України.
--	---

Рецензентів	Сметанкіна Наталя Володимирівна, доктор технічних наук, професор, завідувач відділу вібраційних і термоміцнісних досліджень Інституту енергетичних машин і систем ім. А. М. Підгорного НАН України;
-------------	---

Угрімов Сергій Вікторович, доктор технічних наук, старший науковий співробітник, учений секретар Інституту енергетичних машин і систем ім. А. М. Підгорного НАН України.

Офіційних опонентів	Дзюба Анатолій Петрович, доктор технічних наук, професор, професор кафедри теоретичної і комп'ютерної механіки Дніпропетровського національного університету імені Олеся Гончара МОН України;
---------------------	---

Іваницький Ярослав Лаврентійович, доктор технічних наук, професор, завідувач лабораторії міцності та довговічності елементів конструкцій за складного навантаження Фізико-механічного інституту ім. Г. В. Карпенка НАН України.

на засіданні «02» жовтня 2025 року прийняла рішення про присудження ступеня доктора філософії з галузі знань 11 – математика та статистика за спеціальністю 113 – прикладна механіка.

Верушкіну Івану Олексійовичу

на підставі публічного захисту дисертації «Методи граничних інтегральних рівнянь в крайових задачах теорії потенціалу та лінійної теорії пружності» за спеціальністю 113 – Прикладна математика.

Дисертацію виконано в Інституті енергетичних машин і систем ім. А. М. Підгорного Національної академії наук України, м. Харків .

Науковий керівник – Стрельнікова Олена Олександрівна, доктор технічних наук, професор, провідний науковий співробітник Інституту енергетичних машин і систем ім. А. М. Підгорного НАН України, провідний науковий співробітник.

Дисертацію подано у вигляді спеціально підготовленого рукопису.

Актуальність теми

У світовій науковій практиці посилюється інтерес до методів інтегральних рівнянь, які активно застосовуються в механіці та фізиці. Їхня цінність зумовлена здатністю забезпечувати

високу точність розрахунків у задачах зі складними геометричними конфігураціями та багатокомпонентними граничними умовами. Вивчення числових методів розв'язання гіперсингулярних рівнянь належить до провідних напрямів сучасних досліджень. Дисертація Верушкіна І.О. розвиває цей напрям, поєднуючи теоретичні та прикладні завдання. Запропоновані методики відповідають актуальним викликам обчислювальної механіки, де ключовим є баланс між точністю розрахунків і ефективністю використання обчислювальних ресурсів. Отже, тема дослідження є актуальною як з огляду на світові тенденції, так і з огляду на практичні інженерні потреби.

Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків і рекомендацій

Положення дисертації відповідають рівню сучасних міжнародних досліджень у сфері обчислювальної механіки. Автор застосовує як класичні аналітичні методи, так і новітні числові алгоритми, що підвищує переконливість отриманих результатів. Висновки базуються на суворій математичній аргументації, підтверджуються числовими експериментами, аналізом збіжності методів і узгодженістю з результатами інших науковців. Це робить роботу конкурентоспроможною у науковій практиці.

Достовірність результатів досліджень

Вірогідність отриманих результатів висновків підтверджується узгодженістю з даними сучасних робіт з обчислювальної механіки. Перевірка алгоритмів на тестових прикладах, що є загальноприйнятими у світовій практиці, підтверджує коректність отриманих розв'язків.

Найвагоміші результати роботи

- удосконалення методу розв'язання гіперсингулярних інтегральних рівнянь;
- встановлення необхідних і достатніх умов існування нормальної похідної потенціалу подвійного шару на розімкненій поверхні;
- побудова нових аналітичних розв'язків тестових задач для верифікації числових методів на кругових областях;
- удосконалення методики оцінки кількості циклів навантаження до руйнування конструкцій паливних баків;
- дослідження власних частот і форм коливань лопаток кільцевого ротора турбомашин великої потужності.

Значимість отриманих результатів для науки і практичного використання

Розроблені методи узгоджуються з актуальними тенденціями в обчислювальній механіці та можуть застосовуватися для перевірки нових числових підходів. Практична цінність полягає у можливості впровадження запропонованих алгоритмів у програмні комплекси, а також у перспективах їх використання в промисловості. Зокрема, дослідження кількості циклів до руйнування паливних баків ракет-носіїв і визначення частот і форм власних коливань конструктивних елементів (пластин, панелей, лопаток) мають значний прикладний інженерний інтерес.

Оцінка змісту дисертаційної роботи

Робота має традиційну структуру: вступ, п'ять розділів, висновки та список літератури. У вступі чітко визначено актуальність, мету та завдання дослідження, обґрунтовано наукову новизну й практичне значення, відзначено особистий внесок здобувача. Перший розділ систематизує літературу з інтегральних рівнянь і методу граничних елементів, акцентуючи увагу на задачах з тріщинами, теплопровідністю та обтіканням. У другому розділі подано постановки задач еліптичного типу для механіки пружності, теплопередачі та гідродинаміки з переходами до інтегральних формулювань із сингулярними та гіперсингулярними ядрами. Третій розділ присвячено регуляризації гіперсингулярних виразів, доведенню існування нормальної похідної потенціалу подвійного шару на поверхнях Ляпунова та побудові аналітичних розв'язків задачі Неймана на кругових областях. Четвертий розділ розглядає задачі взаємодії конструкцій із рідиною, аналізує вплив приєднаної маси на коливальні характеристики оболонок і пластин, підтверджуючи результати числовими та аналітичними даними. П'ятий розділ розвиває методи розрахунку резервуарів із плесканням, пропонує рекомендації для уникнення резонансних режимів. Загальні висновки сформульовані лаконічно й узгоджені з основним текстом. Список літератури (88 джерел) є достатнім і репрезентативним. Анотація чітко відображає основні результати й новизну роботи.

Повнота викладення результатів досліджень в опублікованих працях

Автор опублікував 18 робіт, що відображають основний зміст дисертації. Серед них: одна

стаття у журналі Scopus (Q1), три статті у фахових українських виданнях категорії Б, чотири статті у журналах Scopus, розділ у міжнародній монографії (Scopus), шість доповідей на міжнародних конференціях (CAMPE-21, CAMPE-23, KhPIweek-2023, WIT) що індексуються у міжнародній (Scopus), а також п'ять тез доповідей на міжнародних конференціях.

Публікації охоплюють як теоретичні, так і прикладні аспекти дослідження, що забезпечує його повне висвітлення у відкритому науковому просторі та відповідає вимогам чинного законодавства щодо присудження наукових ступенів.

Статті в виданнях SCOPUS та журналах категорії Б

1. Strelnikova E., Choudhary N., Degtyariv K., Kriutchenko D., Vierushkin I. Boundary element method for hypersingular integral equations: Implementation and applications in potential theory. Periodical, collection of papers: Engineering Analysis with Boundary Elements, Elsevier BV. 2024. (Scopus Q1), Volume 169, Part B, 105999. DOI: 10.1016/j.enganabound.2024.
2. Vierushkin I.A., Strelnikova E.A., Hipersingular integral equation method in numerical simulating frequencies and modes of circular plate immersed into liquid. Вісник ХНУ імені В. Н. Каразіна, серія «Математичне моделювання та обчислювальні методи, 2020, вип. 48, С. 6-21. DOI: 10.26565/2304-6201-2020-48-01.
3. Верушкін І.О., Кононенко Є.С. Дослідження гідропружних коливань елементів конструкцій з використанням методів скінченних та граничних елементів, Вісник ХНУ імені В. Н. Каразіна, серія «Математичне моделювання та обчислювальні методи, 2021, вип. 49, С. 16-28. DOI: 10.26565/2304-6201-2021-49-02.
4. Верушкін І.О., Стрельнікова О.О. Комп'ютерне моделювання коливань рідини в резервуарах з пружною основою Вінклера, Вісник Кременчуцького національного університету імені Михайла Остроградського. – 2022, №2(133), С. 91–100. DOI <https://doi.org/10.32782/1995-0519.2022.2.12>

Матеріали апробаційного характеру

5. Верушкін І.О., Стрельнікова О.О.. Дослідження гідропружних коливань з використанням методу гіперсингулярних рівнянь, Прикладні питання математичного моделювання, 2021, вип. 4, № 2.1, С.32-47, <https://doi.org/10.32782/KNTU2618-0340/2021.4.2.1.3>
6. Верушкін І.О., Зайденварг О.Л., Науменко Ю.В., Лістрова Д.В.. Числові та аналітичні розв'язки гіперсингулярних інтегральних рівнянь в кругових областях, Sciences of Europe, 2021, т. 2, № 85, с. 35–41,
7. Gnitko, V., Martynenko, O., Vierushkin, I., Kononenko, Y., Degtyarev, K. Coupled Finite and Boundary Element Methods in Fluid-Structure Interaction Problems for Power Machine Units. In: Altenbach, H., et al. Advances in Mechanical and Power Engineering. CAMPE 2021. Lecture Notes in Mechanical Engineering. Springer, Cham. 2023, https://doi.org/10.1007/978-3-031-18487-1_29 (SCOPUS)
8. Дегтярьов К.Г., Верушкін І.О., Крютченко Д.В., Стрельнікова О.О., Зайденварг О.Л., Науменко Ю.В. Метод гіперсингулярних інтегральних рівнянь в крайових задачах механіки руйнування. Прикладні питання математичного моделювання 2023, 6(2), С. 39-48. <https://doi.org/10.32782/mathematical-modelling/2023-6-2-5>.
9. Gnitko V.I., Karaiev A.O., Degtyariv K.G., Vierushkin. I.A., Strelnikova E.A., Singular and hypersingular integral equations in fluid-structure interaction analysis, WIT Transactions on Engineering Sciences, England, 2022, vol. 134, P. 67-79, DOI:10.2495/BE450061,(SCOPUS)
10. Degtyariv K., Vierushkin I., Gnitko V., Korneichuk N., Strelnikova E. Fuzzy Analysis of Fluid Vibrations in Liquid Storage Tanks under Wind Loads 2023 IEEE 4th KhPI Week on Advanced Technology, KhPI Week 2023 - Conference Proceedings, 2023, p.1-6, DOI: 10.1109/KhPIWeek61412.2023.10312962 (SCOPUS)
11. Дегтярьов К.Г., Крютченко Д.В., Гнітько В.І., Верушкін І.О., Корнійчук М.Т. Комп'ютерне моделювання гідропружних коливань елементів конструкцій за нечітких умов навантаження, Прикладні питання математичного моделювання, 2023, т. 6, №2, С. 49-59. <https://doi.org/10.32782/mathematical-modelling/2023-6-2-6>
12. Degtyariv K., Gnitko V., Vierushkin I. and Korneichuk M. Boundary Element Method in Hydroelastic Interaction Problems of Structural Elements, Book chapter in "The Fundamentals of Boundary Element Methods" 2024 by Nova Science Publishers, Inc. <https://doi.org/10.52305/KFFP5657> (SCOPUS).
13. Degtyariv, K., Gnitko, V., Steinwolf, A., Vierushkin, I. (2025). Boundary and Finite Element Methods in Crack Propagation Analysis. https://doi.org/10.1007/978-3-031-82979-6_29 (SCOPUS).

14. Серікова О.М., Стрельнікова О.О., Верушкін І.О. Дослідження власних частот коливань резервуарів на пружній основі Вінклера, «Нові матеріали і технології в машинобудуванні», НТУУ «КПІ», Київ, 2023, с. 308–309.
15. Korobka A., Sierikova E., Vierushkin I. Numerical simulation of vibration frequencies for thin elastic circle plate. 3rd International Conference of Scientific Research, May 3–4, 2023, Baku.
16. Серікова О.М., Стрельнікова О.О., Крютченко Д.В., Верушкін І.О. Визначення граничних умов моделі резервуара як жорсткої циліндричної оболонки з пружним дном на пружній основі Вінклера. Труды МІЖНАРОДНОЇ НАУКОВОЇ КОНФЕРЕНЦІЇ «АКТУАЛЬНІ ПРОБЛЕМИ МЕХАНІКИ - 2023» до 145-річчя від дня народження С.П. Тимошенка С.329-330, Київ, Дніпро, Львів, Харків – 2023.
17. Sierikova E., Strelnikova E., Vierushkin I.. Study of oscillations natural frequencies for empty and filled with environmentally hazardous liquid cylindrical elastic tanks. 6th INTERNATIONAL EDUCATION AND INNOVATIVE SCIENCES CONGRE, Burdur Mehmet Akif Ersoy University, TÜRKİYE, p.724-726, 2022.
18. Sierikova E., Strelnikova E., Vierushkin I.. Boundary conditions determination of the tank model as a rigid cylindrical shell with the elastic bottom on the elastic Winkler base, 9th International mardin artuklu scientific researches conference January 20-22, 2023, Mardin, TÜRKİYE.

У дискусії взяли участь (голова, рецензенти, офіційні опоненти, інші присутні) та висловили зауваження:

Зауваження офіційного рецензента, доктора технічних наук, професора, завідувача відділу вібраційних і термомісних досліджень Інституту енергетичних машин і систем ім. А. М. Підгорного НАН України Сметанкіної Н. В.

1. Відсутні порівняння з експериментальними даними, наприклад, для коливань круглої пластинки з урахуванням приєднаних мас рідини;

2. При доведенні твердження про існування нормальної похідної подвійного шару не вказано, чи необхідна опуклість області;

3. Було б доцільним провести дослідження впливу пружної основи Вінклера на коливання резервуару більш детально, в тому числі з урахуванням різних механічних властивостей матеріалів основи;

4. У тексті роботи наявна певна кількість друкарських та синтаксичних помилок

Зауваження офіційного рецензента, доктора технічних наук, старшого наукового співробітника, ученого секретаря Інституту енергетичних машин і систем ім. А. М. Підгорного НАН України Угрімова С.В.

1. При постановці задачі обтікання тонкої несучої поверхні потоком ідеальної нестисливої рідини використано інтеграл Коші-Лагранжа у загальному вигляді (2.2), який враховує швидкість незбуреного потоку рідини. Але в подальшому, для реалізації запропонованого підходу цей параметр дорівнював нулю, що у фізичній постановці фактично відповідає задачі взаємодії лопаті із нерухомою рідиною.

2. При розв'язанні модельної задачі про коливання паливного бака із тріщиною автор використав однакові силові впливи на кріпильні кільця, які моделювали навантаження на бак при русі по залізниці, але важко очікувати, що в реальних умовах експлуатації навантаження буде однаковим на обидва кільця. Крім того, при розгляді тріщини в паливному баку дисертант зазначив, що ввів модельну тріщину у найбільш навантажену частину величиною 0,3 мм, а потім при інтегруванні рівняння Паріса використав інтервал від 0,0001 мм до 3 мм. Але на мій погляд, для визначення кількості циклів до руйнування при наявності тріщини 0,3 мм логічно було б розглянути інтегрування в діапазоні від 0,3 мм до 3 мм. Крім того, тріщини величиною 0,0001 мм зазвичай не описуються рівнянням Паріса.

3. При розгляді впливу рідини на коливання використовується підхід приєднаних мас рідини, що призводить до модифікації матриці мас пружної системи, але як саме обиралися маси приєднаної рідини у розглянутих у роботі задачах не пояснюється.

4. У розділі 5 розглядається коливання круглої пластини із урахуванням впливу рідини та впливу пружної основи. При цьому використовується зв'язок між потенціалом швидкостей та тиском, заданий лінеаризованим інтегралом Коші-Лагранжа, який взято із роботи [3], але в цій роботі немає цієї формули.

5. Дисертант використовує заміну інтегралу по поверхні на інтеграл по дотичній поверхні і використовує апроксимацію вихідної криволінійної поверхні плоскими багатокутниками, в основі якого лежить співпадіння значень скінчених частин інтегралів. При цьому не наведено чисельний аналіз для реальних задач залежності розмірів багатокутника на точність інтегрування та не зрозуміло, що буде при необхідності апроксимації поверхні в кутових точках, у яких перші похідні мають нескінченне значення;

6. Не наведено аналізу збіжності результатів при застосуванні методу заданих нормальних форм.

7. У тексті роботи є певна кількість друкарських помилок

Зауваження офіційного опонента доктора технічних наук, професора, професора кафедри теоретичної і комп'ютерної механіки Дніпропетровського національного університету імені Олеся Гончара МОН України Дзюби А. П.

1. У першому розділі дисертації сформульовані задачі обтікання елементів конструкцій рухомою рідиною, але у подальшому ці напрацювання залишились не використаними.

2. У роботі використано критерій Періса, у той же час умови його застосування та межі коректності отриманих результатів висвітлені недостатньо.

3. Використовуючи для числового аналізу неоднорідних структур скінченні та граничні елементи, автор не скористався можливістю надати порівняльний аналіз ефективності їх застосування (з точки зору оптимізації обчислювальних процесів), що могло б мати вагоме прикладне значення

Зауваження офіційного опонента доктора технічних наук, професора, завідувача лабораторії міцності та довговічності елементів конструкцій за складного навантаження Фізико-механічного інституту ім. Г. В. Карпенка НАН України Іваницького Я. Л.

1. Як модельні тріщини розглянуті лише тріщини плоскої конфігурації, але бажано розширити числові дослідження на випадок тріщин, що розповсюджені по поверхнях.

2. Не проведено аналіз J-інтегралів та інших характеристик крихкого руйнування.

3. Не обґрунтовано можливість нехтування в'язкістю рідини, особливо задачі про коливання оболонки з рідиною на пружній основі Вінклера.

4. Не вказано, що означає індекс i у таблиці 4.6.

5. Не вказано посилання на властивості гіперсингулярного оператора, яка характеризує подібність характеру розв'язків та правих частин гіперсингулярного рівняння.

Результати відкритого голосування:

«За» 5 членів ради,

«Проти» немає членів ради.

На підставі результатів відкритого голосування разова спеціалізована вчена рада присуджує

Верушкіну Івану Олексійовичу

ступінь доктора філософії з галузі знань 11—математика та статистика за спеціальністю 113 - Прикладна математика .

Відеозапис трансляції захисту дисертації додається.

Голова разової спеціалізованої вченої ради



М.П.

Кирило МАКСИМЕНКО-ШЕЙКО
(власне ім'я та прізвище)