

«ЗАТВЕРДЖУЮ»

в.о. директора Інституту механіки  
ім. С.П. Тимошенка НАН України  
академік НАН України



Володимир НАЗАРЕНКО  
2025 р.

## ВИСНОВОК

про наукову новизну, теоретичне та практичне значення результатів докторської дисертації Юрчука Василя Миколайовича на тему “Сценарії поширення хвиль різних початкових профілів в матеріалах, які деформуються нелінійно пружно”, поданої на здобуття наукового ступеня доктора фізико-математичних наук за спеціальністю 01.02.04 – механіка деформівного твердого тіла.

Тему дисертаційної роботи “Сценарії поширення хвиль різних початкових профілів в матеріалах, які деформуються нелінійно пружно” затверджено на засіданні Вченої ради Інституту механіки ім. С.П. Тимошенка НАН України (протокол № 4 від “06” червня 2023 року).

Науковим консультантом затверджений член-кор. НАНУ, д.ф.-м.н., проф. Рущицький Ярема Ярославович.

Структурний підрозділ для проведення попередньої експертизи дисертації та рецензентів затверджено на засіданні Вченої ради Інституту механіки ім. С.П. Тимошенка НАН України (протокол № 7 від “06” травня 2025 року).

Заслухавши та обговоривши доповідь Юрчука В.М., а також за результатами попередньої експертизи представленої дисертації ухвалили прийняти такий висновок:

**1. Актуальність теми дослідження** полягає в тому, що нелінійні хвилі в матеріалах являють собою великий розділ нелінійної теорії хвиль та нелінійної теорії пружності, в'язкопружності та інших узагальнень теорії пружності. Ця теорія не є закінченою і розвивається шляхом ускладнення моделей деформування, розширення типів хвиль, розвитку математичних методів розв'язування нелінійних хвильових рівнянь і т.п.

Поодинокі хвилі спосеред різноманіття хвиль складають доволі великий

клас хвиль. Знання про такі хвилі є необхідним, оскільки пряме застосування таких хвиль фактично спостерігається у всіх галузях практичної діяльності людини.

Поодинокі хвилі в матеріалах дослідженні значно менше порівняно з іншими типами хвиль які поширюються в рідинах. Знання закономірностей розповсюдження подиноких хвиль корисно при інженерних розрахунках різних конструкцій, на які діє ударний імпульс. Отже, розвиток теорії поодиноких хвиль в матеріалах актуальний з точки зору як фундаментальних, так і прикладних аспектах теорії хвиль.

Крутильні хвилі привертають увагу науковців та інженерів через значимість в інженерних проблемах буріння і використання скважин. Особливість крутильних хвиль є такою, що хвиля поширюється в напрямку осі циліндра і змінює амплітуду в напрямку від поверхні циліндра до його осі. Сценарії розподілу амплітуд хвилі всередині циліндра при поширенні нелінійно пружної крутильної хвилі від центру до поверхні циліндра засвідчують, що в аналізі цих хвиль багато прогалин і такий аналіз є актуальним.

Сейсмічні хвилі поширюються від осередків землетрусів, вибухів та інших джерел до поверхні Землі. Вони зміщують частинки ґрутових порід. Ґрунти вважаються реологічними середовищами. Актуальність розвитку теорії сейсмічних хвиль є незаперечною перш за все через існування практичних задач захисту від сейсмічної небезпеки. Затребуваність на нові результати в області сейсмічного захисту є постійною і актуальною.

**2. Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.** Тема дисертації безпосередньо пов'язана з дослідженнями, що проводились у відділі реології Інституту механіки ім. С.П. Тимошенка НАН України. Дисертаційне дослідження проводились при виконанні таких науково-дослідних робіт: НДР № 1.3.1.418-20 «Побудова наближених розв'язків нелінійних задач поширення гармонічних і поодиноких хвиль в пружних матеріалах» (І. 2020 – IV. 2023, номер державної реєстрації 0119U103784). Отримані наукові результати увійшли до звіту науково-дослідницької роботи № 1.3.1.418-20. Отримані результати даної роботи увійшли до наступної науково – дослідницької теми № 1.3.1.461-24 «Еволюція поодиноких хвиль різних початкових профілів в пружних матеріалах» (І. 2024 – IV. 2027, номер державної реєстрації 0123U104924). Також продовження отриманих результатів увійшли до науково-дослідницької роботи “Дослідження критичного стану тріщин та траекторій їх поширення, а також розповсюдження хвиль в

рамках нелінійних підходів сучасної комп'ютерної та аналітичної механіки” (шифр: 472-25) в рамках гранту для молодих вчених НАН України.

### **3. Наукова новизна отриманих результатів**

Наукова новизна одержаних результатів включає :

- виборі поодиноких хвиль, як предмета досліджень (автор разом з консультантом сформували новий напрямок досліджень)
- постановку задач про поширення хвиль в матеріалах (середовищах), що деформуються пружно нелінійно згідно з п'ятиконстантною моделлю Мернагана або стандартною триконстантною реологічною моделлю;
- отримання нових нелінійних хвильових рівнянь для поздовжніх, циліндрических радіальних, циліндрических осьових (крутильних) та сейсміческих поперечних хвиль і розв'язків цих рівнянь;
- розвитку наближеного методу обмеження на градієнт зміщення при розв'язуванні нелінійної хвильової задачі і отримання перших двох та трьох наближень а також прямого методу розв'язування хвильового рівняння для стандартної реологічної моделі;
- вибір п'ятьох типів початкового профіля хвилі (гармонічна косинусоїдільна періодична функція, функції Гаусса, Уіттекера, Макдональда, Фрідляндра);
- аналіз нелінійного хвильового рівняння для поздовжніх хвиль з початковим гармонічним профілем з метою порівняння ефективності двох методів (послідовних наближень та обмеження на градієнт зміщення) при розв'язуванні в рамках двох та трьох перших наближень;
- теоретичний і числовий аналіз ( побудова сценаріїв еволюції) поширення поздовжніх хвиль з початковим профілем у вигляді функції Гаусса;
- теоретичний і числовий аналіз ( побудова сценаріїв еволюції) поширення поздовжніх хвиль з початковим профілем у вигляді функції Уіттекера;
- порівняння наблизених розв'язків для хвиль Гаусса та Уіттекера за різними параметрами порівняння;
- теоретичний і числовий аналіз ( побудова сценаріїв еволюції) поширення циліндрических радіальних хвиль з початковим профілем у вигляді функцій Макдональда та Фрідляндра.
- порівняння розв'язків, отриманих для хвиль Макдональда та Фрідляндра, за різними параметрами порівняння;
- теоретичний і числовий аналіз ( побудова сценаріїв еволюції) поширення гармонічної крутильної хвилі всередині кругового циліндра та вздовж його осі симетрії;
- проведення більш загального порівняльного аналізу нелінійних пооди-

ноких хвиль з різними початковими профілями, який включає вплив частоти, початкової амплітуди і параметрів матеріалу на еволюцію початкового профілю;

- розробка методу визначення параметрів стандартної триконстантної реологічної моделі;
- теоретичний і числовий аналіз ( побудова сценаріїв еволюції швидкості та амплітуди хвилі) зсуви гармонічної сейсмічної хвилі для трьох досліджених типів ґрунту при зміні частоти і часу поширення хвилі.

**4. Степінь обґрунтованості наукових положень та висновків,** забезпечуються коректністю постановки задач, використанням класичної нелінійної теорії поширення хвиль в матеріалах, узгодженістю нелінійного підходу до аналізу поздовжніх, циліндричних радіальних та крутильних хвиль з класичним лінійним підходом, коректністю аналізу стандартної реологічної моделі щодо сейсмічних хвиль, коректністю використання методів послідовних наближень та обмеження на градієнт зміщення, використання графічних алгоритмів комп’ютерної алгебри, узгодженням отриманих результатів з результатами раніше проведених теоретичних і експериментальних досліджень хвиль та з відповідністю результатів міркуванням фізичного характеру.

**5. Теоретичне та практичне значення результатів роботи, впровадження.** Теоретична і практична цінність отриманих результатів є багаторівневою. Перший рівень включає цінність для загальної теорії поширення нелінійних хвиль в матеріалах. Тут сформульовано і розвинуто новий напрямок теорії – аналіз еволюції поодиноких хвиль з заданим початковим профілем. Наступний рівень полягає в побудові наближених розвязків конкретних типів хвиль і виявлення нових нелінійних хвильових ефектів.

Робота сформувалася в області фундаментальних проблем механіки, тому практичне значення отриманих результатів має в основному потенційний характер.

Кожен тип проаналізованих в роботі поодиноких хвиль може потенційно знайти практичне застосування в інженерній механіці.

Практична цінність результатів полягає в можливості кращого розуміння впливу хвилі, її параметрів і матеріалу (середовища поширення хвилі) на поширення п’яти типів досліджених в роботі хвиль. Оскільки поодинокі хвилі здебільшого генеруються вибухами, короткими імпульсами високої інтенсивності та інше, то ті сфери діяльності, де виникають динамічні процеси такого роду, потенційно зацікавлені в дослідженнях поодиноких хвиль. Дослідження сейсмічних хвиль є предметом постійного інтересу організацій, які відповідають за сейсмічну безпеку. Отримані результати щодо сейсмічних хвиль планується застосовувати в спільніх роботах зі вченими Інституту геофізики ім. С.І. Субботіна НАН України.

## **6. Апробація результатів дисертації**

Результати досліджень, що включені в дисертацію, були представлені в наступних анотаціях доповідей на міжнародних наукових конференціях:

1. Юрчук В.М. Рушицкий Я.Я. Моделювання еволюції поодиноких хвиль конст-рукційних матеріалах. Перші три наближення// Матеріали міжн. наук.-практ. конф. «Інформаційні технології та комп’ютерне моделювання», Івано-Франківськ–Яремча, 18 – 22 травня – 2020.– С. 212-216. 2. Рушицький Я.Я. Сінчило С.В. Юрчук В.М. Крутильні пружні хвилі. Деякі аспекти нелінійного аналізу. Абстракти VII Міжн. наук. конф. «Сучасні проблеми механіки» 28–30 серпня 2023 р. Київ, Київський нац. унів. Ім. Тараса Шевченка. С.89. 3. Хотенко О.О. Юрчук В.М. Границі умови в аналізі нелінійних поверхневих і крутитильних хвиль. Абстракти VII Міжн. наук. конф. «Сучасні проблеми механіки» 28–30 серпня 2023 р. Київ, Київський нац. унів. Ім. Тараса Шевченка. С.122. 4. Rushchitsky J.J. Yurchuk V.M. To comparison of evolution of different kinds of elastic solitary waves. Анотації доповідей. Міжнародна наукова конференція “Актуальні проблеми механіки” до 145-річчя від дня народження С.П. Тимошенка 14–16 листопада 2023 р. Київ, Інститут механіки ім. С.П. Тимошенка НАН України. 5. Хотенко О.О. Юрчук В.М. Про граничні умови в аналізі нелінійних поверхневої крутитильної хвиль. Анотації доповідей. Міжнародна наукова конференція “Актуальні проблеми механіки” до 145-річчя від дня народження С.П. Тимошенка 14–16 листопада 2023 р. Київ, Інститут механіки ім. С.П. Тимошенка НАН України. 6. Сінчило С.В. Юрчук В.М. Про новий наближений метод аналізу рівнянь, для крутитильних пружних хвиль. Анотації доповідей. Міжнародна наукова конференція “Актуальні проблеми механіки” до 145-річчя від дня народження С.П. Тимошенка 14–16 листопада 2023 р. Київ, Інститут механіки ім. С.П. Тимошенка НАН України. 7. Юрчук В.М. Одна особливість еволюції початкового профіля нелінійно пружних хвиль. Анотації доповідей. 11-та Міжнародна наукова конференція “Математичні проблеми механіки неоднорідних структур” 24-26 вересня 2024р. Львів, Інститут механіки прикладних проблем механіки і математики ім. Я.С. Підстригача НАНУ 8. Юрчук В.М. Опис застосування стандартної реологічної моделі до аналізу сейсмічних хвиль Міжнародної наукової конференції «Механіка: сучасність і перспективи» 7-11 жовтня 2024 р. Київ, Інститут механіки ім. С.П. Тимошенка НАН України.

**7. Оцінка змісту дисертації.** За своїм змістом дисертаційна робота здобувача Юрчука Василя Миколайовича повністю відповідає Стандарту вищої освіти зі спеціальності 01.02.04 – механіка деформівного твердого тіла, та найважливіших проблем фундаментальних досліджень у галузі природничих і технічних наук.

Дисертаційна робота є завершеною науковою працею і свідчить про наявність особистого внеску здобувача у науковий напрям фундаментальних

дослідженнь з найбільш важливих проблем розвитку науково-технічного, забезпечення конкурентоспроможності України у світі та сталого розвитку суспільства і держави.

Отримані в роботі фундаментальні результати з поширення поодиноких хвиль в нелінійно пружних матеріалах можуть використовуватися як оцінки при інженерному дослідженні хвильових процесів у матеріалах. Зокрема, при конкретизації результатів для певних нелінійно пружних матеріалів, їх параметрів та початкових характеристик хвилі (початкової амплітуди, довжини підошви чи частоти). Вони можуть бути використані науковцями і працівниками інженерно-конструкторських та технологічних підрозділів ряду науково-дослідницьких установ і ВНЗ України, у тому числі, Інституту механіки ім. С.П. Тимошенка НАН України, Інституту геофізики ім. С.І. Субботіна НАН України, КБ «Антонов» та «Південне» та інших наукових, навчальних і закладів відповідного профілю, а також при інженерних розрахунках конструкцій, на які діє ударний імпульс.

Висновки які отримані при вивченні крутильної хвилі є важливими, так як постійно привертають увагу теоретиків і інженерів через практичну значимість в інженерних проблемах буріння і використання скважин.

Отримані результати в дослідженні сейсмічних хвиль також є важливими через існування практичних задач захисту від сейсмічної небезпеки. Затребуваність на нові результати в області сейсмічного захисту є постійною і актуальною.

## **8. Дотримання принципів академічної добросовісності**

За результатами науково-технічної експертизи дисертація Юрчука В.М. визнана оригінальною роботою, яка не містить елементів фальсифікації, компіляції, фабрикації, plagiatu та запозичень.

## **9. Перелік публікацій за темою дисертації із зазначенням особистого внеску здобувача.**

За результатами досліджень опубліковано 26 наукових праць, у тому числі:

- 1 розділ у колективній монографії (здобувач приймає участь у постановці задач, реалізація та розробка підходів до їх розв'язання належить здобувачу);

- 3 статті у наукових періодичних виданнях, включених до Переліку наукових фахових видань України (здобувач приймає участь у постановці задач, реалізація та розробка підходів до їх розв'язання належить здобувачу);

- 4 статті у наукових періодичних виданнях інших держав з напряму, з якого підготовлено дисертацію (в.т.ч. 4, що включені до міжнародних наукометрических баз SCOPUS та/або Web of Science Core Collection)

(здобувач приймає участь у постановці задач, реалізація та розробка підходів до їх розв'язання належить здобувачу);

- 10 статей у виданнях, віднесеніх до першого — третього квартилів (Q1—Q3) відповідно до класифікації SCImago Journal and Country Rank або Journal Citation Reports (здобувач приймає участь у постановці задач, реалізація та розробка підходів до їх розв'язання належить здобувачу);

- 8 тез та доповідей на наукових конференціях.

Якість та кількість публікацій відповідають “Порядку присудження та позбавлення наукового ступеня доктора наук”.

**ВВАЖАТИ**, що дисертаційна робота Юрчука Василя Миколайовича “Сценарії поширення хвиль різних початкових профілів в матеріалах, які деформуються нелінійно пружно”, що подана на здобуття наукового ступеня доктора фізико-математичних наук, є кваліфікаційною науковою працею, виконаною здобувачем самостійно, за своїм науковим рівнем та практичною та теоретичною цінністю, змістом та оформленням повністю відповідає вимогам п.7 та 9 “Порядку присудження та позбавлення наукового ступеня доктора наук”, що їх пред’являють до докторських дисертацій, та паспорту спеціальності 01.02.04 – механіка деформівного твердого тіла.

**РЕКОМЕНДУВАТИ** дисертаційну роботу “Сценарії поширення хвиль різних початкових профілів в матеріалах, які деформуються нелінійно пружно”, подану Юрчуком Василем Миколайовичем на здобуття наукового ступеня доктора фізико-математичних наук, до захисту у спеціалізованій раді Д 26.166.01 за спеціальністю 01.02.04 – механіка деформівного твердого тіла.

Рецензент

чл.-кор. НАНУ, д.ф.-м.н.

Євген СТОРОЖУК

Рецензент

д.т.н.

Степан БАБИЧ

Рецензент

д.ф.-м.н.

Володимир МАКСИМЮК