

ВІДГУК

офіційного опонента на дисертаційну роботу
Мащенко Володимира Андрійовича «Приладові системи для вимірювання
модулів пружності та коефіцієнта Пуассона конструкційних полімерних та
гетерогенних матеріалів», подану на здобуття наукового
ступеня доктора технічних наук за спеціальністю
05.11.01 – прилади на методи вимірювання механічних величин

Актуальність теми дисертаційної роботи.

Одним із пріоритетних завдань сучасної метрологічної науки, що забезпечує дослідження в галузі матеріалознавства та промислове виробництво, є підвищення точності визначення динамічних модулів пружності та коефіцієнта Пуассона полімерних матеріалів.

Актуальність цього напрямку зумовлена широким застосуванням полімерів у різноманітних технічних системах, де вони виконують функції зниження рівня вібрацій у конструкціях та забезпечення ізоляції елементів, пов'язаних із процесами перетворення, передавання та дисипації механічної енергії. Для забезпечення ефективності таких систем ключовим чинником є наявність у матеріалів необхідних в'язкопружних характеристик.

Досягнення високої точності у визначенні коефіцієнта Пуассона та динамічних модулів пружності полімерних матеріалів можливе за рахунок застосування сучасних методологічних підходів та використання різних типів і режимів акустичних коливань, зокрема поздовжніх і поперечних ультразвукових хвиль, а також поверхневих хвиль Релея. Водночас інтенсивний розвиток електроніки та інформаційних технологій відкриває додаткові можливості для підвищення ефективності акустичних методів за рахунок нових алгоритмів обробки сигналів та автоматизації вимірювальних процедур.

Розроблення високоефективних систем моніторингу техногенно небезпечних об'єктів неможливе без попереднього визначення механічних характеристик гетерогенних матеріалів, що перебувають під дією руйнівних навантажень. У цьому контексті ключовим завданням метрології постає створення методів та засобів вимірювання модулів пружності другого і третього порядку, що уможливило б прогнозування їхньої працездатності в умовах критичних режимів експлуатації.

В дисертаційній роботі вирішується комплексна науково-прикладна проблема – підвищення точності вимірювання параметрів конструкційних полімерних матеріалів для забезпечення функціональності та надійності вузлів і елементів конструкцій промислових апаратів та розроблення приладових систем для вимірювання модулів пружності гетерогенних матеріалів для моніторингу стану технічних об'єктів.

Метою дисертаційного дослідження є створення та вдосконалення методів і приладових систем вимірювання модулів пружності конструкційних полімерних матеріалів і гетерогенних геоматеріалів. Це дозволить підвищити точність і швидкодію вимірювань, а також розширити їх функціональні можливості шляхом формування нових теоретичних основ і принципів

побудови вимірювальних систем на базі аналогово-цифрового інтерфейсу передавання даних і відповідного програмного забезпечення для їх обробки.

Задачі досліджень обумовлені поставленою метою і полягають у розробленні приладових систем для вимірювання модулів пружності та коефіцієнта Пуассона.

Серед поставлених задач слід відмітити наступні:

1) Провести аналіз сучасного стану розвитку методів і засобів вимірювання модулів пружності та коефіцієнта Пуассона й провести класифікацію існуючих підходів;

2) Створити автоматизовану вимірювальну систему для реєстрації амплітуди резонансних коливань і визначення динамічного модуля пружності в'язкопружних полімерних матеріалів;

3) Розробити приладові комплекси, що ґрунтуються на імерсійному методі визначення швидкостей поширення поздовжніх і поперечних ультразвукових хвиль у конструкційних полімерних та гетерогенних матеріалах, включаючи дослідження геоматеріалів у напруженому стані;

4) Провести математичне моделювання процесів відбиття, заломлення та трансформації акустичних хвиль на межах поділу різнорідних середовищ у широкому діапазоні значень коефіцієнта Пуассона;

5) Удосконалити методику визначення критичного кута в імерсійному методі вимірювання швидкості поширення поперечних хвиль, підвищивши точність процедури з урахуванням фізичних закономірностей взаємодії акустичних хвиль на межі середовищ із різним акустичним імпедансом;

6) Розвинути теоретичні основи методів визначення динамічного коефіцієнта Пуассона із застосуванням поздовжніх і поперечних ультразвукових хвиль, а також поверхневих хвиль Релея;

7) Спроектувати приладову систему для збудження та приймання поверхневих хвиль Релея у конструкційних матеріалах, що характеризуються від'ємними значеннями коефіцієнта Пуассона;

8) Здійснити аналіз похибок вимірювань механічних характеристик для відомих і новостворених методів, зокрема модулів пружності та коефіцієнта Пуассона як конструкційних, так і гетерогенних матеріалів.

Оцінка змісту дисертаційної роботи.

Дисертаційна робота Мащенко В.А. складається з вступу, шести розділів, загальних висновків, списку використаних джерел та двох додатків. Загальний обсяг дисертації складає 329 сторінок. Основний зміст викладено на 283 сторінках. Список використаних джерел становить 189 найменувань.

За обсягом, наявним текстовим та графічним матеріалом дисертація відповідає вимогам, які висуваються до докторських дисертацій з технічних наук.

У **вступі** обґрунтовано актуальність теми дисертаційної роботи, сформульовано мету, завдання дослідження та наукову проблему. Викладено основні положення, що виносяться на захист, наукову новизну та практичне значення отриманих результатів, відомості про апробацію та публікацію основних результатів дисертаційної роботи, її обсяг і структуру, визначено

особистий внесок здобувача та представлено інформацію щодо впровадження результатів роботи.

У першому розділі дисертаційної роботи розглянуто теоретичні підходи до визначення модулів пружності другого і третього порядків та коефіцієнта Пуассона твердого тіла як механічних величин, вимірювання яких пов'язані із зміною рівноважного стану та дисипаціями енергії у матеріалі.

Дисипативні процеси, що відбуваються на рівні структурної організації полімерних матеріалів і гетерогенних геоматеріалів, можуть бути кількісно охарактеризовані за фазовим зсувом між напруженням і деформацією, які виникають у матеріалі під дією динамічного навантаження. У такому випадку його механічні властивості описуються комплексними динамічними параметрами: модулем Юнга, модулем зсуву, модулем об'ємної деформації та комплексним коефіцієнтом Пуассона.

У більшості випадків приладові системи для визначення зазначених характеристик ґрунтуються на вимірюванні механічних первинних параметрів, на основі яких виконуються подальші розрахунки модулів пружності.

Визначення модулів пружності другого порядку зазвичай здійснюється шляхом застосування стандартних резонансних методів, методу динамічної жорсткості та ультразвукових методів. Для модулів пружності третього порядку використовуються вимірювання швидкостей поширення поздовжніх та поперечних ультразвукових хвиль в ізотропних твердих тілах за різних умов навантаження: при всебічному стиску або одновісному напруженні у різних напрямках поширення хвиль.

Визначення динамічного коефіцієнта Пуассона здійснюється за допомогою прямого, вторинного та хвильового методів із використанням поздовжніх, поперечних і поверхневих хвиль Релея. Додатково застосовуються комбіновані підходи, зокрема поєднання методу скінченних елементів із методом вимірювання динамічної жорсткості матеріалу.

У другому розділі дисертаційної роботи представлено результати теоретичних досліджень, спрямованих на розширення можливостей резонансних методів вимірювання, зокрема удосконалення методу консольно закріпленого стрижня та розробки приладової системи для реалізації автоматизованого процесу вимірювань.

Для реалізації методу розроблена приладова система та запропонований алгоритм керування апаратними засобами в приладовій системі, який дає можливість отримати зображення коливань зразка при зміні частоти його збудження для подальшої цифрової обробки.

Використання програмно-алгоритмічної обробки сигналів та зображень для визначення амплітуди коливань зразка в частотному діапазоні вимірювань дозволяє мінімізувати похибку визначення основної резонансної частоти.

Проведені частотно-температурні вимірювання показали, що резонансний метод зсувних коливань вільного кінця закріпленого зразка має перспективи застосування для визначення в'язкопружних параметрів конструкційних полімерних матеріалів.

У третьому розділі дисертаційної роботи розглянуті математичні моделі процесів відбивання, заломлення та трансформації акустичних хвиль на межі

рідини та твердого тіла з від'ємними значеннями коефіцієнтом Пуассона і на межі твердих тіл з додатними та від'ємними значеннями коефіцієнта Пуассона.

Під час моделювання встановлено, що характер зміни коефіцієнта відбивання та коефіцієнтів збудження при падінні акустичної хвилі на межу поділу визначається значенням коефіцієнта Пуассона та акустичними жорсткостями дотичних середовищ. Критичні кути, за яких хвилі у пружному середовищі переходять у неоднорідний режим, обумовлені діапазоном швидкостей їх поширення у контактуючих середовищах. Це відкриває додаткові можливості для керування процесом повного відбивання падаючої хвилі.

Залежності коефіцієнтів відбивання, трансформації та збудження при падінні поздовжніх і поперечних хвиль на межу поділу ауксетик-середовища та рідини визначаються коефіцієнтом Пуассона та акустичними жорсткостями обох середовищ. Значення критичних кутів, за яких відбувається зміна поляризації хвиль і спостерігається повне внутрішнє відбивання на межі «рідина – ауксетик-середовище», залежить від коефіцієнта Пуассона.

Для моделі поширення ультразвукових хвиль крізь полімерну пластину, що занурена в рідини з різними значеннями коефіцієнта Пуассона, виконано теоретичні розрахунки коефіцієнтів відбивання та прозорості залежно від кута падіння поздовжньої хвилі та товщини пластини.

У **четвертому розділі** дисертаційної роботи виконано обґрунтування конструктивних параметрів та метрологічних характеристик приладової системи для реалізації імерсійного методу вимірювання швидкостей поширення ультразвукових хвиль. Представлено приладову систему, призначену для визначення динамічних модулів пружності та коефіцієнта Пуассона конструкційних полімерних і гетерогенних матеріалів.

Для приладової системи розроблено вимірювальний канал, що містить аналого-цифровий інтерфейс та забезпечує визначення часу проходження ультразвукового імпульсу та його амплітуди. Канал побудований на основі операційних підсилювачів і високошвидкісних компараторів, роботою яких керує однокристальний мікроконтролер. Окрім цього, мікроконтролер здійснює формування зондувальних УЗ-імпульсів, виявлення прийнятого сигналу, вимірювання амплітуди першого та головного максимумів відгуку, визначення часу їх проходження, а також передавання результатів на персональний комп'ютер для подальшої обробки.

У пристрої реалізовано алгоритм виявлення сигналу, причому обробка корисного відгуку виконується у часовому вікні з регульованою затримкою, яка визначається частотою збудження ультразвукових коливань і довжиною акустичного тракту від випромінювача до приймача. Вимірювання амплітуди здійснюється за методом порозрядного наближення із застосуванням швидкодіючого компаратора та вбудованого восьмирозрядного ШІМ-генератора мікроконтролера.

Окрім розробки апаратної реалізації, у розділі наведено результати визначення динамічних модулів пружності та коефіцієнта Пуассона для низки полімерних і гетерогенних конструкційних матеріалів, а також показано можливості їх практичного використання в задачах фізики полімерів, матеріалознавства та геотехнічної механіки.

У п'ятому розділі роботи запропонована методика визначення комплексного динамічного коефіцієнта Пуассона полімерного ауксетика під час поширення в ньому поздовжньої та поперечної акустичних хвиль та поверхневої акустичної хвилі (ПАХ) Релея.

На основі рівнянь теорії пружності запропоновані співвідношення для визначення дійсної та уявної частини комплексного динамічного коефіцієнта Пуассона полімерного ауксетика та отримано розв'язок рівняння Релея у випадку поширення в ауксетику поперечної та поверхневої акустичних хвиль.

Для вимірювання швидкості поширення ПАХ Релея та коефіцієнта її поглинання в полімерному ауксетику розроблена методика експерименту та вимірювальний стенд, де збудження та прийом ПАХ проводиться за допомогою гребінчастої структури, що створює на поверхні твердого тіла періодичну сукупність нормальних збурень.

Також у розділі представлені результати тестування та результати вимірювань для термопластичного поліуретану з коефіцієнтом Пуассона, близьким до мінус одиниці.

У шостому розділі дисертаційної роботи запропоновано методику визначення модулів пружності третього порядку гетерогенних геоматеріалів. Водночас встановлено, що для визначення модулів пружності третього порядку ізотропного твердого тіла необхідно провести принаймні три незалежні експерименти.

Для визначення модулів пружності третього порядку проводили вимірювання часу проходження ультразвукового УЗ-імпульсу через зразок матеріалу за трьома схемами при тиску 50–100 МПа для різних режимів навантаження.

Аналіз отриманих результатів показав, що модулі пружності третього порядку на два порядки вищі за модулі пружності другого порядку для зразків ізотропних гетерогенних геоматеріалів.

Загальні висновки щодо дисертаційної роботи повністю висвітлюють одержані наукові результати, а також включають особливості практичного використання удосконалених методів і моделей вимірювань. Запропоновані в дисертаційній роботі приладові системи для вимірювання модулів пружності та коефіцієнта Пуассона можуть бути використані на виробництві для забезпечення функціональності та надійності вузлів і елементів конструкцій промислових апаратів.

У **додатках** представлено програмний код для реалізації автоматизованого процесу вимірювань амплітуди коливання зразка додатку «Резонансні вимірювання» методом консольно закріпленого стрижня, конструкцію експериментальною кювети для імерсійного методу вимірювань та акти впровадження результатів дослідження у виробництво та навчальний процес.

Обґрунтованість та достовірність результатів, висновків та рекомендацій.

Основні положення дисертаційної роботи Маценка В.А. узгоджуються із сучасними проблемами та підходами до вирішення задач дослідження і вдосконалення наявних методів вимірювання механічних величин, розроблення й оптимізації нових приладів вимірювання і перетворювачів механічних

величин, розроблення і дослідження математичних моделей та систем імітаційного моделювання методів і приладів вимірювання механічних величин.

Дисертаційну роботу за своєю логічною структурою можна умовно розділити на такі частини: 1) розроблення приладової системи – створено приладову систему для вимірювання модуля пружності методом консольно закріпленого стрижня; 2) математичне моделювання – моделювання процесів відбивання, заломлення та трансформації акустичних хвиль на межі середовищ із різними додатними та від’ємними значеннями коефіцієнта Пуассона; 3) вдосконалення приладової системи – модифіковано приладову систему для визначення динамічних модулів пружності і коефіцієнта Пуассона за допомогою імерсійного методу; 4) розроблення методики вимірювання – здійснено визначення коефіцієнта Пуассона за допомогою поверхневих хвиль Релея; 5) розроблення методики вимірювання – здійснено визначення модулів третього порядку гетерогенних матеріалів в напруженому стані.

Обґрунтованість і достовірність основних результатів дисертації зумовлена застосуванням теоретичних засад механіки твердого тіла, технічної акустики, електроніки та інформаційно-вимірювальних технологій. електротехніки, моделювання фізичних процесів поширення, відбивання, заломлення та трансформації акустичних хвиль різних типів, а також експериментальними дослідженнями, результати яких узгоджуються з відповідними результатами.

Наукова новизна отриманих результатів.

1. Уперше розроблено методологію вимірювання амплітуди резонансних коливань консольно закріпленого полімерного стрижня на звукових частотах, що базується на обробці цифрового зображення, яка дала можливість підвищити точність визначення головної резонансної частоти коливань зразка і, відповідно, підвищити точність визначення його динамічного модуля пружності.

2. Уперше отримані регресійні аналітичні залежності амплітуди резонансних максимумів зразків конструкційного полівінілхлориду від частоти за різних температур та регресійна залежність частоти головного максимуму від температури, що дає можливість прогнозувати значення динамічних модулів пружності за різних температур.

3. Подальшого розвитку отримали теоретичні моделі процесів відбивання, заломлення та трансформації акустичних хвиль на межі рідини та твердого тіла з від’ємними значеннями коефіцієнта Пуассона і на межі твердих тіл із додатними та від’ємними значеннями коефіцієнта Пуассона, що дало можливість розробити алгоритми визначення критичних кутів під час вимірювання швидкості поширення поперечної хвилі в матеріалах із від’ємним коефіцієнтом Пуассона.

4. Уперше розроблено концепцію приладової системи на основі імерсійного методу вимірювання швидкостей поширення поздовжньої та поперечної ультразвукових хвиль і коефіцієнтів їх поглинання в конструкційних полімерних матеріалах та гетерогенних геоматеріалах, яка відрізняється тим, що вимірювання амплітуди та часу проходження імпульсу

ультразвукового сигналу покладено на апаратну та програмну складові приладової системи, і таким чином зменшено похибку визначення динамічних модулів пружності та коефіцієнта Пуассона.

5. Уперше запропоновано визначати дійсну й уявну частини динамічного коефіцієнта Пуассона через швидкості поширення поздовжніх та поперечних хвиль та коефіцієнтів їх затухання, що дало можливість їх вимірювання імерсійним методом із похибкою, що не перевищує 6 %;

6. Уперше отримано розв'язок рівняння Релея для матеріалів із від'ємним значенням коефіцієнта Пуассона, що дало змогу вдосконалити метод збудження та прийому хвиль Релея гребінчастою структурою та побудувати приладову систему для вимірювання швидкості поверхневої акустичної хвилі Релея та значень дійсної та уявної частин комплексного динамічного коефіцієнта Пуассона за його мінімальної величини;

7. Уперше запропоновано концепцію приладової системи для вимірювання швидкостей поширення поздовжньої та поперечної ультразвукових хвиль у зразках гетерогенних геоматеріалів за одновісного напруження, прикладеного в різних напрямках поширення ультразвукових хвиль, що базується на теоретичних моделях процесів відбивання, заломлення та трансформації УЗ-хвилі залежно від фізичних параметрів контактуючих середовищ, що дало змогу визначити модулі пружності третього порядку.

Практичне значення одержаних результатів.

Практичне значення одержаних результатів полягає у тому що:

- використання розробленого алгоритму обробки цифрових зображень дає можливість зменшити похибку визначення амплітуди коливань стрижня до 0,9 % при основній резонансній частоті коливань;

- на основі запропонованої методології вимірювання амплітуди коливань розроблено приладову систему для визначення динамічного модуля пружності конструкційних полімерних матеріалів з точністю, що не перевищує 1,9 %;

- розроблена приладова система для вимірювання модуля пружності при резонансних коливаннях консольно закріпленого полімерного стрижня дає можливість доповнити частотний діапазон динамічних методів вимірювань в межах від 10 Гц до 150 Гц;

- на основі теоретичних моделей процесів відбивання заломлення та трансформації акустичних хвиль на межі рідини та твердого тіла з від'ємним значенням коефіцієнта Пуассона розроблена приладова система для імерсійних вимірювань дала можливість вимірювати значення динамічного коефіцієнта Пуассона та модулів пружності полімерних ауксетиків;

- застосування розробленої концепції приладової системи для імерсійних вимірювань дало можливість повністю виключити суб'єктивний фактор при визначенні критичного кута, при вимірюваннях швидкості поширення поперечної хвилі, за рахунок реалізації автоматизації процесу вимірювань, які покладені на апаратну і програмну складові;

- застосування розробленої приладової системи для імерсійних вимірювань дало можливість виміряти модулі пружності гетерогенних геоматеріалів та оцінити, на основі моделі поверхневих дефектів, поверхневу енергію руйнування;

– на основі удосконаленого методу збудження та прийому хвиль Релея гребінчастою структурою розроблена та реалізована приладова система для вимірювання швидкості поширення поверхневої хвилі в полімерному ауксетику з коефіцієнтом Пуассона рівним – 1;

– розроблено приладову систему для вимірювання швидкостей поздовжніх та поперечних хвиль у гетерогенних геоматеріалах при одновісному напруженні, прикладеному у різних напрямках поширення ультразвукових хвиль. Результати визначення модулів пружності третього порядку дають можливість враховувати нелінійні ефекти при динамічних деформаціях гетерогенних геоматеріалів в напрямку поширення хвилі.

Теоретичні і практичні здобутки роботи впроваджено на науково-виробничій фірмі „Продекологія” (м. Рівне) та у навчальний процес Національного університету водного господарства та природокористування.

Наукову новизну та практичне значення отриманих результатів роботи підтверджено двома патентами України на корисну модель.

Апробація результатів роботи полягає у тому, що основні положення і результати роботи доповідались на міжнародних науково-технічних і науково-практичних конференціях різного рівня.

Повнота викладення результатів досліджень в опублікованих працях.

За результатами досліджень опубліковано 56 наукових праць, зокрема 2 монографії, 9 статей у наукових виданнях, що внесені до міжнародних наукометричних баз Scopus та WOS (із них 3 статті у виданнях іноземних держав), 19 – наукових фахових виданнях України, 5 статей в інших виданнях України за темою дисертаційної роботи. Обсяг, кількість і джерела публікацій відповідають діючим вимогам до докторських дисертацій. Публікації у сукупності в повній мірі відображають основний зміст дисертаційної роботи.

Відповідність змісту автореферату основним положенням дисертації.

Реферат дисертації повною мірою відображає основні положення, висновки і рекомендації, наведені у дисертації. За структурою, обсягом і оформленням дисертація і реферат відповідають вимогам, що висуваються до дисертацій на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук. Якість оформлення реферату та дисертації висока та відповідає вимогам до даного виду робіт.

Використання у докторській дисертації результатів наукових досліджень захищеної кандидатської дисертації.

Результати та публікації наукових досліджень, за якими здобувач захистив кандидатську дисертацію у 1998 р. на тему «Вплив електричного поля на процеси структуроутворення при формуванні металонаповнених полімерних систем на основі полівінілхлориду», не входять до складу та змісту докторської дисертації здобувача.

Відповідність змісту дисертації встановленим вимогам. Зміст дисертації Мащенко В.А. повною мірою відповідає спеціальності 05.11.01 – Прилади та методи вимірювання механічних величин.

Зауваження по дисертаційній роботі.

1. У вступі до дисертаційної роботи вказано зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами з розділенням на дві рубрики:

- робота «пов'язана з держбюджетними темами ...»;
- «окремі положення дисертаційної роботи розроблені та виконані в межах науково-дослідної роботи ...».

Вважаю, що такий розподіл потребує додаткових пояснень, особливо перша рубрика.

2. В другому розділі запропоновано використання зображень для визначення амплітуди резонансних коливань зразків конструкційних матеріалів. При цьому на приділено достатньої уваги вибору та обґрунтуванню параметрів веб-камери (в тому числі – частоти кадрів) у взаємозв'язку з частотою коливань зразка, що може вплинути на результати вимірювань.

3. Потребує додаткового обґрунтування та оцінки похибок процедура формування підсумкового зображення зразка з базовими лініями на основі кадрів відеопослідовності, що містять динамічні похибки внаслідок його руху.

4. В авторефераті викладення основного змісту другого розділу завершується формулою (3) для прогнозування модулю пружності конструкційного полімерного матеріалу, до складу цієї формули не входить резонансна частота його коливань. На відміну від цього, визначення резонансної частоти складає більшу частину цього розділу. Відповідно, таке викладення матеріалу виглядає дещо нелогічним.

5. В четвертому розділі розроблено приладову систему для імерсійного методу вимірювань швидкості поширення ультразвукових хвиль. В складі системи наявна підсистема керування кроковим двигуном, що задає кут розташування зразку матеріалу відносно напрямку поширення ультразвукових хвиль. Вважаю за доцільне введення зворотного зв'язку з оптичним контролем за поточним значенням кута, що суттєво підвищить точність експериментальних даних. Наприклад, такий контроль може бути організований на основі програм обробки зображень, створених у другому розділі.

6. В четвертому розділі роботи та в авторефераті для назви структурної схеми використовуються терміни «електронний блок» та «вимірювальний канал», а для назви принципової схеми вказаних пристроїв – «аналого-цифровий інтерфейс». Окрім того, в цих блоках наявний застарілий COM-інтерфейс, що відсутній у сучасних комп'ютерних засобах.

Вказані зауваження не впливають на загальну позитивну оцінку виконаної роботи.

Висновок

Дисертація Мащенко Володимира Андрійовича є закінченою науковою роботою, спрямованою на вирішення важливої науково-технічної проблеми підвищення точності вимірювання параметрів конструкційних полімерних матеріалів для забезпечення функціональності та надійності вузлів і елементів конструкцій промислових апаратів та розроблення приладових систем для вимірювання модулів пружності гетерогенних матеріалів для моніторингу стану технічних об'єктів. У виконаній роботі отримано нові важливі науково-прикладні результати теоретичного і практичного планів, які підтверджено відповідними експериментами. Дисертаційні дослідження здобувача виконані на сучасному методологічному і науковому рівні, ґрунтуються на базових положеннях теорії пружності, технічної акустики, електроніки та інформаційно-вимірювальних технологій.

Вважаю, що за актуальністю, науковою новизною, практичним значенням отриманих результатів та їх реалізацією у нових технічних розробках, висвітленням у наукових виданнях дисертаційна робота повністю відповідає чинним вимогам, які висуваються до робіт на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук, п. 7–9 Порядку присудження та позбавлення наукового ступеня доктора наук, затвердженого постановою Кабінету Міністрів України від 17 листопада 2021 року № 1197, а її автор Мащенко Володимир Андрійович заслуговує присудження йому наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.11.01 – Прилади та методи вимірювання механічних величин.

Офіційний опонент,
доктор технічних наук, професор,
завідувач кафедри інформаційно-
вимірювальних технологій
Державного університету
«Житомирська політехніка»



Подчашинський
Юрій Олександрович

