

## **ВІДГУК ОФІЦІЙНОГО ОПОНЕНТА**

**д.т.н., професора, професора кафедри інтелектуальної мехатроніки та роботики**

**Національного університету «Львівська політехніка»**

**Тихана Мирослава Олексійовича**

**на дисертаційну роботу Передерка Анатолія Леонтійовича**

**“ Розвиток методології вібровипробувань та удосконалення засобів вимірювань вібрації об'єктів складної техніки ”,**

**представленої на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.11.01 – прилади та методи вимірювання механічних величин**

### **1.Актуальність теми дисертації**

Поява нових машин, агрегатів, устаткування тощо вимагає випереджуючого розвитку приладів та методів дослідження їхніх експлуатаційних якостей. Одним з важливих параметрів таких якостей безумовно є ймовірність безвідмовної роботи технічних об'єктів в умовах вібраційних навантажень. Відомо, що проблемі вібродіагностики, а також дослідженню вібраційних процесів присвячено чимало наукових праць. Однак поява нових видів техніки і розширення вимог до її експлуатаційних якостей ставлять нові науково-практичні задачі, розв'язання яких є невідкладним завданням. Зрозуміло, що для виконання цих завдань необхідні відповідні вимірювальні системи та прилади. Сучасні віброметричні системи є складними комплексами, організованими як сукупність різних технічних засобів. При цьому сталою тенденцією розвитку віброметричної техніки є підвищення її точності та швидкодії як першочергових чинників, що забезпечують ефективність функціонування вимірювальних систем загалом.

Побудова нових вимірювальних систем, зокрема віброметричних, в сучасних умовах світового ринку має специфічні особливості, які обумовлені використанням нових принципів, методів, алгоритмів та засобів. Крім цього, необхідність забезпечення експлуатаційних вимог до сучасної техніки вимагає розроблення та впровадження новітніх вимірювально-інформаційних та комп'ютерних технологій, покликаних підвищити якість, зокрема точність та швидкодію віброметричних систем. Згадане, в перспективі, дозволяє підвищити конкурентоспроможність власного приладобудівного виробництва на світовому промисловому ринку.

Первинною основою сучасних віброметричних систем є відповідні давачі прискорення, швидкості чи переміщення. Таким чином дослідження, які мають на меті підвищенні точності та швидкодії цих приладів є перспективними з

погляду науки, а також вельми необхідними для практики промислових підприємств України.

Саме тому тема дисертації Передерка А.Л. “ Розвиток методології вібровипробувань та удосконалення засобів вимірювань вібрації об'єктів складної техніки ” є безумовно актуальною.

## **2. Наукова новизна одержаних автором результатів.**

У представленій роботі наукова новизна отриманих результатів полягає у такому:

- набули розвитку теоретичні аспекти фізичного фільтра у вигляді в'язкопружного тіла у вимірювальному каналі акселерометра, який на відміну від відомих володіє можливістю переналаштування, що забезпечує розширення частотного діапазону вимірювань і запобігає впливу на давач неінформативних ударів та унеможлиблює його руйнування;

- розвинуто теоретичні основи вібровимірювань, що дозволило розширити їхній частотний та амплітудний діапазони при забезпеченні регламентованої точності вимірювань ударних сигналів;

- вперше обґрунтована і розроблена вимірювальна система п'єзоелектричного акселерометра з пристроєм температурної автокомпенсації і системою керування для зменшення похибки вимірювання внесеної температурним впливом середовища;

- розвинуто теорію структурних методів забезпечення реальночасового вимірювання вібраційних та ударних процесів у широкому діапазоні температурного і механічного впливу, заснованих на застосуванні швидкодіючих «сигма-дельта» АЦП, алгоритмів фільтрації та відновлення сигналів за допомогою методів з застосуванням вейвлет перетворення;

- подальший розвиток отримали теоретичні аспекти створення актуаторів заснованих на п'єзоелектричному ефекті для швидкодіючих приводів систем керування гідравлічних вібраційних стендів, що, в порівнянні з існуючими, забезпечує значне підвищення швидкодії.

## **3. Практична значимість отриманих автором результатів.**

Отримані в дисертації результати мають практичне значення для приладів та методів вимірювання механічних величин, а саме:

- удосконалено гідравлічний вібростенд шляхом застосування п'єзоелектричних клапанів в системі управління гідравлічними потоками, що дає можливість розширити частотний діапазон відтворення механічних коливань;

- отримано рекомендації по побудові структури вимірювального тракту систем вібраційної діагностики, забезпечення його захищеності від завад і умови коректного вимірювання спектрів при проведенні вібраційної діагностики.

- отримано рекомендації щодо визначення параметрів реалізації сигналу вібраційного прискорення, частоти дискретизації і розрядності АЦП, та практичної реалізації АЦП з передискретизацією.

- розроблено новий метод забезпечення надійності і точності динамічних вимірювань, який використаний при розробці вимірювальних систем для забезпечення ударних випробувань.

- розроблено структурну схему автономного реєстратора ударних сигналів, що забезпечує підвищену надійність реєстрації в широкому діапазоні температур і жорстких механічних впливів в процесі проведення вібраційних випробувань.

- запропоновано використовувати можливості АЦП сигма-дельта перетворення при створенні реєстраторів вібраційних сигналів, що дає змогу розширити динамічний діапазон вимірювань завдяки зменшенню впливу шуму квантування;

- розроблена обчислювальна методика, яка дозволяє вирішити завдання пониження рівня шумів шляхом фільтрації за допомогою вейвлет перетворення при обробці вібраційного сигналу.

- розроблені схема та макет гідравлічного вібростенду з системою керування, в якому використовуються п'єзоелектричні клапани, що дозволяє розробляти приводи для адаптивних оптичних систем, прецизійних систем управління і віброзахисту, а також в інших мехатронних системах.

#### **4. Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків і рекомендацій сформульованих у дисертаційній роботі.**

Обґрунтованість результатів наукових положень, висновків і рекомендацій, сформульованих у дисертації Передерка А.Л. забезпечена відповідністю основним науковим положенням інформаційно-вимірювальної техніки, математичного аналізу, теоретичної механіки, теорії опрацювання вимірювальних сигналів, а також комп'ютерного моделювання, і в сукупності корелюють з досягненнями вітчизняних та закордонних вчених.

Для підвищення точності та швидкодії віброметричних вимірювань автором розроблено відповідні давачі, в основу створення яких покладено системний підхід, а функціонування ґрунтується на застосуванні відповідних фізичних явищ.

Рецензована робота є цілісним дослідженням у галузі методів і засобів вимірювання механічних величин. Теоретичні обґрунтування підтверджується результатами проведених експериментальних досліджень та впровадженнями в промислове виробництво і експлуатацію на підприємствах України.

### **5. Достовірність результатів дисертації**

У представленій дисертаційній роботі чітко сформульовані задачі дослідження, зрозуміло викладений їх розв'язок, наукові положення та висновки, і загалом вся робота має логічну структуру.

Достовірність результатів дослідження забезпечується чіткістю та логікою постановки його задач, правильністю та повнотою використаних методів та принципів при доведенні наукових положень, а також забезпечується коректністю математичного апарату, який використовується дисертантом у його роботі, підтверджується фізичним та математичним моделюваннями. Крім цього, наукові положення отримали експериментальне підтвердження з використанням сучасного апаратного і програмного забезпечення і мають достатньо точне співпадіння з експериментальними даними і комп'ютерним моделюванням.

Висновки по розділах і загальні висновки по дисертаційній роботі загалом відповідають отриманим науковим і практичним результатам.

**6. Повнота викладення в опублікованих працях** отриманих результатів не викликає сумнівів. За результатами а результатами досліджень опубліковано 29 наукових праць, у тому числі 1 монографія, 1 колективна монографія, 20 статей у наукових фахових виданнях (з них 1 стаття у виданнях іноземних держав, 18 – у виданнях України, які включені до міжнародних наукометричних баз), 1 стаття у інших виданнях України, 7 – тез доповідей в збірниках матеріалів конференцій.

### **7. Структура дисертації та зміст її підрозділів**

Дисертаційна робота складається із вступу, п'яти розділів, загальних висновків, списку використаних джерел і 4 додатків. Всі розділи дисертаційної роботи пов'язані між собою логікою розв'язання поставленої наукової проблеми. Застосована в роботі наукова термінологія є загальноновизнаною, стиль викладення результатів теоретичних і практичних досліджень, нових наукових положень, висновків і рекомендацій забезпечує доступність їх сприйняття та

використання. Загальний обсяг дисертації складає 260 сторінки. Основний зміст викладено на 246 сторінках, який містить 95 рисунків, 4 таблиці. Список використаних джерел по розділах становить: розділ 1 – 45 джерел, розділ 2 – 24 джерела, розділ 3 – 28 джерел, розділ 4 – 31 джерело, розділ 5 – 25 джерела.

**У вступі** представлена загальна характеристика роботи, обґрунтовано актуальність проблеми досліджень, показано зв'язок обраного напрямку з науковими програмами, планами, темами, сформульовано мету та задачі дослідження. Викладено основні положення, які виносяться на захист, визначається наукова новизна і практичне значення отриманих результатів, визначено особистий внесок здобувача, наведено дані про апробацію, публікації за темою роботи та впровадження результатів дослідження.

**У першому розділі** дисертаційної роботи проведено аналіз сучасних методів і засобів для забезпечення динамічних випробувань і вібродіагностики машин і устаткування. Розглянуті спектральні методи аналізу (сигнатурний, кепстральний, вейвлет) вібраційних коливань і апаратні засоби для проведення вимірювань при вібродіагностиці машин і устаткування. Виконано огляд та аналіз різних за фізичними принципами роботи первинних перетворювачів для забезпечення вимірювання параметрів вібрації і проведений аналіз перспектив їх подальшого розвитку. Розглянуті та проаналізовані різні типи сучасних систем для вимірювання вібраційних параметрів і моніторингу стану машин.

**У другому розділі** здійснено математичне моделювання давачів з п'єзоелектричними перетворювачами для вимірювання вібраційних параметрів в пакеті MathCad. Отримані їх амплітудно-частотні та фазо-частотні та перехідні характеристики.

Отримана математична модель фазових спотворень при вимірюванні вібраційного прискорення датчиками з п'єзоелектричними перетворювачами.

Розглянута модель похибок п'єзоелектричного акселерометра, проведено їх аналіз, визначені їх склад і структура, звернена увага на похибки викликані неортогональністю осей чутливості і температурним впливом на чутливий елемент. Доведено, що на величину заряду, який виникає на електродах п'єзоелемента під дією сили інерції сейсмічної маси, може впливати температурна девіація п'єзомодуля, яка представляє собою реакцію доменної структури п'єзоелемента при зміні його геометричних розмірів і виникає під дією зовнішнього температурного впливу.

**У третьому розділі** розглянуто та проаналізовано вплив ударних імпульсів на п'єзоелектричні акселерометри, як найбільш “вразливу” ланку в вимірювальному каналі, при проведенні динамічних випробувань. Обґрунтовано необхідність застосування фільтрів нижніх частот для виключення частотного діапазону резонансу з області вимірювання, а також необхідність застосовувати

механічні низькочастотні фільтри (в'язкопружні елементи), розташовані між об'єктом контролю і давачем при вирішенні питання збереження цілості останнього. Отримані математичні залежності коливань і вихідних сигналів п'єзоакселерометра під дією ударного прискорення при його установці на в'язкопружну прокладку.

Запропоновані алгоритми для забезпечення динамічного діапазону автономних реєстраторів при вимірюванні ударних сигналів. Доведено, що застосування алгоритмів високочастотної фільтрації і подальшого відновлення сигналу дозволяє знизити ймовірність перевантаження вимірювального каналу автономного реєстратора, що приводить до збільшення його практичного динамічного діапазону.

Показано, що застосування алгоритмів високочастотної фільтрації і подальшого відновлення сигналу дозволяє знизити ймовірність перевантаження вимірювального каналу автономного реєстратора, що приводить до збільшення його практичного динамічного діапазону.

У **четвертому розділі** розроблено методику розрахунку та відтворення ударного спектру, при впливі на обладнання імпульсним вібраційним прискоренням, в основі якої лежать співвідношення для обчислення ударного спектра осцилятора. Процедура розрахунку ударного спектру осцилятора при визначених добротності і вібраційному прискоренню наведена алгоритмом. Виконано моделювання відповіді системи на ударний імпульси в пакетах MathCad та MatLab.

Проведено моделювання фільтрації, за допомогою вейвлет перетворення, вібраційного сигналу від шумових завад.

Проведено моделювання фільтрації вібраційного сигналу від шуму з нормальним законом розподілу.

Проведено розроблення, моделювання та симуляцію роботи ланок вимірювального каналу автономного реєстратора вібраційних сигналів.

У **п'ятому розділі** дисертаційної роботи проведено теоретичні розрахунки та розроблено схему і макет гідравлічного вібростенду, з системою керування в якій застосовані п'єзоелектричні приводи, що дало змогу підняти верхню межу відтворюваного частотного діапазону вібраційних коливань.

Проведено теоретичні розрахунки гідравлічної системи, розроблено схему побудови та макет електрогідравлічного вібраційного стенду, отримані експериментальні дані, які підтверджують перспективність даного напрямку досліджень.

У **загальних висновках** до дисертаційної роботи сформульовано основні результати теоретичних та експериментальних досліджень, що представлені у

роботі, відповідно до порядку та кількості сформульованих у вступі завдань дослідження.

У додатках наведено матеріали, що підтверджують новизну пропонованих технічних рішень та практичну цінність роботи, зокрема акти впровадження результатів роботи.

## 8. Зауваження по дисертаційній роботі

Разом з наведеними вище позитивними якостями дисертаційної роботи є такі зауваження:

1. У роботі, як наукова новизна визнається удосконалення гідравлічного вібростенда. На наш погляд це практичний аспект роботи;

2. У Розділі 1, у формулі (1.4), не співпадають розмірності у правій і лівій частині рівняння.

3. У Розділі 2, стор. 95, останній абзац важко зрозуміти суть сказаного:  
- похибка масштабного коефіцієнта  $\mu_{xx}$  - похибка в показах акселерометра, лінійно залежить від удаваного прискорення по осі чутливості. Ця похибка виникає через похибки перетворення сигналу, що знімається з датчика моменту акселерометра, і через помилки самого цього датчика моменту.

4. У Розділі 2 наведена математична модель похибки акселерометра (2.32) як алгебраїчна сума певних складових. Оскільки подані складові є випадковими величинами, то алгебраїчне сумування є некоректним.

5. В роботі подекуди занадто розлого подається загальновідома інформація (формули, схеми тощо), замість простого посилання на літературу.

6. На деяких рисунках (напр. рис. 5.12) підписи осей координат виконані іноземною мовою, а на деяких рисунках взагалі немає підписів осей (напр. 2.3, 2.4, 2.5), а лиш позначення величини і без зазначення одиниці вимірювання. По тексту зустрічається відсутність посилання на представлений рисунок (напр. 4.11).

7. В дисертаційній роботі присутні певні некоректності, допущені при оформленні. Мають місце стилістичні неточності формулювань.

Вказані зауваження не стосуються принципів положень, не зменшують значимість отриманих наукових результатів і не знижують загальної позитивної оцінки дисертаційної роботи.

## 9. Відповідність змісту автореферату основним положенням дисертації

Автореферат дисертації та публікації автора за темою дисертації адекватно відображають її зміст та відповідають основним положенням дисертації

## 10. Висновок про відповідність дисертації вимогам МОН України

Дисертація Передерка А.Л., “Розвиток методології вібровипробувань та удосконалення засобів вимірювань вібрації об'єктів складної техніки” є завершеною науковою роботою, в якій отримані нові науково обґрунтовані результати, що в сукупності вирішують важливу науково-прикладну проблему підвищення точності та швидкодії приладових систем вимірювання кутів, та має суттєве значення для розв'язання широкого кола інших прикладних задач у виробництві та наукових дослідженнях.

Враховуючи, що дисертаційна робота Передерка А.Л., “Розвиток методології вібровипробувань та удосконалення засобів вимірювань вібрації об'єктів складної техніки” за актуальністю, науковим рівнем, важливістю одержаних наукових результатів та за практичною цінністю відповідає вимогам пунктів 9,10 та 13 постанови Кабінету Міністрів України №567 від 24.07.2013 р. “Порядок присудження наукових ступенів” та паспорту спеціальності вважаю, що її автор, Передерко Анатолій Леонтійович, заслуговує присудження наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.11.01 – прилади та методи вимірювання механічних величин.

Офіційний опонент,  
доктор технічних наук, професор,  
професор кафедри інтелектуальної мехатроніки та роботики  
Національного університету  
«Львівська політехніка»



Тихан М. О.

Підпис Тихана М.О. засвідчує  
Вчений секретар  
Національного університету  
«Львівська політехніка»



Брилинський Р.Б.