

## ВІДГУК

опонента Кулакова Павла Ігоровича  
на дисертаційну роботу Григоренка Ігоря Володимировича  
**«Багатопараметричний контроль якості функціонування інформаційно-вимірювальних систем різного призначення з урахуванням факторних впливів»**,

представлену на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук  
за спеціальністю 05.11.13 – прилади і методи контролю та визначення

складу речовини

### **Актуальність теми.**

Розробка та створення інформаційно-вимірювальних систем (ІВС) обумовлено сучасними завданнями виробництва і наукових досліджень, що у свою чергу неможливо без отримання, обробки, відображення та зберігання великих обсягів вимірювальної інформації. На точність та вірогідність результатів вимірювань, що отримані за допомогою ІВС впливає як зовнішні так і внутрішні фактори, що діють як окремо один від одного, так і взаємно. Таким чином без оцінки факторного впливу стає неможливим як розробка ІВС для конкретного технологічного процесу, так і забезпечення потрібної точності та вірогідності вимірювань. Одним з основних етапів контролю якості функціонування ІВС різного призначення є дослідження дії факторного впливу на результат вимірювання показника контролю. Для виявлення ступеню впливу кожного із факторів на вихідні характеристики ІВС розробники зазвичай використовують різні методи та способи організації та обробки даних. Однак, існує широкий клас об'єктів, до яких відносять ІВС, стохастичність параметрів яких унеможлиблює створення адекватних фізично реалізованих моделей контрольованих величин. При цьому виникають труднощі із побудовою імовірнісних моделей таких об'єктів через неповноту інформації щодо їх станів. Ці обставини обмежують можливості використання існуючих методів підвищення достовірності контролю і діагностики та створює проблему розробки нових ймовірнісно-статистичних та інформаційних методів підвищення вірогідності для ІВС, якість та працездатність яких можуть змінюватись у часі через вплив випадкових факторів.

Таким чином, оскільки ІВС відноситься до багатofункціональних об'єктів,

тому підвищення вірогідності методів багатопараметричного контролю якості роботи ІВС різного призначення як об'єктів зі стохастичними параметрами є актуальною науково-практичною проблемою, яка визначила напрям наукового дослідження та перспективи використання результатів дисертаційної роботи.

Актуальність теми роботи підтверджується так само й тим, що вона пов'язана з виконанням науково-дослідних робіт: «Метрологічне забезпечення ієрархічних систем управління якістю» (К 6101, ДР 0116U000881, МОН України, 2016 – 2019 рр.), «Математичне моделювання приладів для вирішення задач контролю, діагностики, тестування та якості промислової продукції» (ініціативна К 6103, 2021 – 2023 рр.) та у рамках творчої співпраці з АТ «Українські енергетичні машини» (м. Харків), ТОВ «Екопродукт 2017» (м. Харків), ТОВ «Управління виробничо-технічної комплектації та реалізації» (м. Харків).

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

Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків і рекомендацій, сформульованих в дисертаційній роботі Григоренка І. В. є високою й базується на аналізі науково-технічних джерел за даною проблемою, гармонійній постановці мети і задач дослідження, використанні сучасних методів дослідження, зіставленні і критичному аналізі отриманих результатів у порівнянні з результатами інших дослідників, і якісному формулюванні отриманих висновків. Теоретичні дослідження виконано з використанням сучасного математичного апарату. Отримані результати перевірені шляхом впровадження технічних рішень на виробництві і учбовому процесі, що підтверджує обґрунтованості наукових положень, висновків і рекомендацій, сформульованих у дисертаційній роботі.

#### **Достовірність результатів досліджень.**

Достовірність результатів дисертаційного дослідження забезпечується коректністю постановок математичних задач, застосуванням стандартних процедур статистичного аналізу й тестового контролю, відповідністю змісту математичних конструкцій фізичній суті описуваних процесів. Наукові результати здобувача успішно використані під час створення нового приладу неруйнівного контролю на

підприємстві АТ «Українські енергетичні машини».

**До основних нових наукових результатів дисертації слід віднести наступне:**

– отримав подальший розвиток метод інформаційного аналізу комплексу факторів, які впливають на якість роботи ІВС, завдяки поєднанню тестових методів, методів статистичного аналізу результатів вимірювань, апарату нечіткої логіки, що дозволив сформувавши систему показників в умовах невизначеності відтворення рівнів параметру контролю (сумарна відносна похибка вихідного сигналу ВК);

– вперше розроблено узагальнений метод контролю якості функціонування ІВС різного призначення, який полягає в побудові моделі процесу контролю параметрів технологічних процесів у вигляді комплексного використання адитивних та мультиплікативних тестових впливів, математичної моделі, статистичного аналізу результатів, алгоритму нечіткої логіки, що дозволив виділити основні джерела факторного впливу, критичні етапи технологій виробництва з метою підвищення вірогідності контролю параметрів технологічних процесів;

– вперше розроблено модель перехресної класифікації, яка врахувала ефекти одночасної взаємодії п'яти факторів (нестабільність аналогової частини вимірювального каналу, вплив електромагнітних перешкод, похибка цифрового перетворення сигналу, шуми пристрою комутації сигналів, відхилення від встановленого температурного режиму роботи) на результат вимірювання одиничного показника контролю (сумарну відносну похибку каналу вимірювання ІВС), впровадження якої дало можливість встановити рівень факторного впливу параметрів контролю на показник контролю, оцінити кількість очікуваної вимірювальної інформації за показниками контролю та ранжувати показники за зменшенням кількості інформації;

– вперше розроблено метод підвищення точності та вірогідності лазерних систем шляхом використання тестових методів контролю із подальшою корекцією функцій перетворення, завдяки якому вдалося зменшити динамічну похибку вимірювання та підвищити вірогідність контролю.

– вперше розроблено реляційно-різницеву модель оператора динамічної корекції похибки лазерної системи контролю, яка надала можливість введення поправок на динамічну похибку вимірювання, які отримують із номінальної динамічної моделі вимірювального перетворювача для виміряного значення швидкості зміни вхідного сигналу, що підвищило точність вимірювань контролю;

– вдосконалено базовий алгоритм розрахунку невизначеностей результатів вимірювань, що отримані за допомогою ІВС різного призначення, за рахунок введення обов'язкової перевірки на наявність кореляції між показниками контролю, завдяки якому стає можливим проводити розрахунки для визначення сумарної та розширеної невизначеності для корельованих та некорельованих даних.

### **Значимість отриманих результатів для науки і практичного використання.**

Розроблені здобувачем математичні співвідношення вперше дають можливість виділити основні джерела факторного впливу, критичні етапи технологій виробництва з метою підвищення вірогідності контролю параметрів технологічних процесів, а також завдяки розробленій реляційно-різницевій моделі оператора динамічної корекції похибки лазерної системи контролю, стає можливим введення поправок на динамічну похибку вимірювання. Це є теоретичною основою проектування та дослідження ІВС різного призначення за для створення нових пристроїв неруйнівного контролю.

### **Повнота викладення результатів досліджень в опублікованих працях.**

Основні положення та результати дисертаційної роботи достатньо повно опубліковані у 73 наукових публікаціях, з них: 37 статей у періодичних виданнях, з яких 26 статей в наукових фахових виданнях України категорії Б, 10 у виданнях, внесених до наукометричних баз SCOPUS та/або Web of Science, 1 стаття у закордонному періодичному виданні, 34 у матеріалах апробаційного характеру, 2 патенти України на корисну модель. У цілому, рівень і кількість публікацій та апробації матеріалів дисертації на конференціях повністю відповідають вимогам МОН України.

### **Оцінка змісту дисертаційної роботи.**

Дисертаційна робота Григоренка Ігоря Володимировича складається зі вступу, шести розділів, висновків, списку використаних джерел, 7 додатків.

**У вступі** обґрунтовано актуальність теми дослідження, сформульовано мету, завдання, об'єкт, предмет, розкрито наукову новизну, практичну значущість одержаних результатів, визначено особистий внесок автора, наведено дані стосовно апробації та впровадження в практику результатів дослідження, представлені етапи дослідження, надано кількість публікацій за темою роботи.

**У першому розділі** виконано аналіз наукових праць вітчизняних та закордонних вчених з питань проблематики дослідження, що дозволило визначити основні напрями наукового пошуку, щодо проблеми підвищення вірогідності методів багатопараметричного контролю якості функціонування інформаційно-вимірювальних систем різного призначення з урахуванням дії випадкових факторних впливів. Визначено, що задачу розробки методів підвищення вірогідності методів багатопараметричного контролю якості функціонування ІВС як об'єкту зі стохастичними параметрами повністю не вирішено. Поставлена проблема розробки комбінованого методу аналізу ІВС при врахуванні дії факторних впливів.

**У другому розділі** представлено метод контролю якості функціонування ІВС різного призначення. Обґрунтована доцільність використання дисперсійного аналізу для побудови моделі факторного впливу на якість роботи ІВС та розроблено математичну модель впливу п'яти факторів на результат виміру показника контролю (сумарну відносну похибку каналу вимірювання ІВС). Отримані формули дисперсійного аналізу, що дозволяють оцінювати вірогідності статистичних висновків про інформаційну значущість показників контролю для розробленої спрощеної моделі перехресної класифікації. На підставі коваріаційного аналізу отримані аналітичні співвідношення, які дозволяють оцінити кількість інформації за кожним із показників контролю при факторному впливі на лінійну функцію перетворення цих показників. Розроблено моделі дискримінантного аналізу для оцінювання кількості інформації за ймовірностями помилок першого та другого роду, а також встановлені аналітичні залежності, що дозволяють провести

ранжування показників контролю за зменшенням їх чутливості до зміни рівнів параметра контролю. Розроблено спосіб оптимізації (за максимумом очікуваної інформації) системи показників вимірювального контролю та отримано розрахункове рівняння на підставі коваріаційного аналізу односторонньої класифікації результатів багатомірних вимірювань.

**У третьому розділі** продемонстровано доцільність використання комбінації методів статистичного аналізу для контролю якості роботи ІВС на трьох прикладах систем, а саме: системи зважування автотранспорту, установки комплексної підготовки газу та штучної екосистеми.

Виконано перевірку гіпотези про відсутність порушення стабільності роботи датчиків вказаних систем за допомогою однофакторного дисперсійного аналізу (рівності середніх значень), лінійного регресійного аналізу (на відсутність впливу часу на величину показника за кожній із вибірок) та коваріаційного аналізу (відсутність розходжень у функціональному впливі часу на величину показника).

**У четвертому розділі** запропоновано розроблений пристрій контролю лазерної системи виміру геометричних розмірів та якості поверхні деталей для підвищення точності такої системи шляхом використання тестових методів контролю із подальшою корекцією функцій перетворення. Розроблено реляційно-різницеvu модель оператора динамічної корекції похибки лазерної системи контролю.

Проведено аналіз факторного впливу на роботу лазерної системи контролю якості поверхні деталей, завдяки якому виділені основні фактори, що впливають на точність роботи. Запропановано комп'ютерну модель системи контролю на якій виконано моделювання дії факторного впливу на точність лазерної системи контролю для металообробних верстатів.

**У п'ятому розділі** наведено результати використання алгоритмів нечіткої логіки для оцінювання якості роботи ІВС різного призначення на підставі визначення основних факторів, що мають найбільший вплив на якість готової продукції.

За допомогою графічного інтерфейсу користувача системи fuzzy logic у

розділі визначено конкретні рівні параметрів технологічного процесу для якісного виробництва вареної ковбаси, карамелі, питного молока, крабових паличок, кефіру, а також рівні параметрів для підтримки високої якості води у акваріумі штучної екосистеми.

**У шостому розділі** запропоновано базовий алгоритм розрахунку невизначеностей результатів вимірювань, що отримані за допомогою ІВС різного призначення і на підставі алгоритму розроблено програмний продукт на мові JavaScript, завдяки якому стає можливим проводити розрахунки для визначенню сумарної та розширеної невизначеності для корельованих та некорельованих даних.

Виконано визначення впливу зовнішніх факторів на результат безконтактного теплового контролю біологічних об'єктів. Також у розділі наведені результати двох варіантів використання ІВС, а саме: контроль процесу виготовлення губної помади та процес виготовлення карамельного сиропу, проведено кореляційний аналіз при оцінюванні невизначеності впливу зовнішніх факторів на вказані процеси.

**У висновках** наведено основні результати дисертаційної роботи при розв'язанні поставлених завдань.

**У додатках** наведено результати експериментальних та дослідно-промислових вимірювань параметрів технологічних процесів, акти впровадження результатів дослідження у промисловість і у навчальний процес, список публікацій здобувача за темою дисертації.

Список використаних джерел досить повний і охоплює сучасні вітчизняні та зарубіжні публікації загальним обсягом 170 найменувань.

Викладення матеріалу чітко і ясно, кваліфіковане. Робота має ілюстративний матеріал та розрахункові оцінки тих чи інших характеристик, що забезпечує її наочність та переконливість.

Зміст реферату відображає основний зміст дисертації та достатньо повно розкриває внесок здобувача у наукові результати та практичну цінність роботи.

**По дисертаційній роботі можна зробити наступні зауваження:**

1. У третьому пункті поставлених у роботі завдань, які необхідно вирішити

для досягнення поставленої мети, вказано, що необхідно розробити математичну модель впливу п'яти факторів на результат виміру показника контролю. Є незрозумілим, чому саме п'яти факторів?

2. Не зрозуміло, що мається на увазі під терміном «вимір показника контролю»? Показник вірогідності контролю визначається, а не вимірюється, тому як вимірювання – це визначення кількісного значення фізичної величини шляхом порівняння її з мірою.

3. Серед п'яти впливних факторів, які враховуються у розробленій математичній моделі впливу (нестабільність аналогової частини, електромагнітні перешкоди, шуми пристрою комутації, відхилення від встановленого температурного режиму, похибка цифрового перетворення сигналу), вказано похибку цифрового перетворення сигналу. На мою думку, це не є зовнішнім впливним фактором, а є невід'ємною складовою основної похибки вимірювання, яка зумовлена методом вимірювання.

4. На рис. 1.1 наведено загально відому, і доволі застарілу узагальнену структурну схему ІВС. Слід відзначити, що у сучасних ІВС можуть формуватися потоки не тільки вимірювальної інформації, а також службової і не вимірювальної інформації (наприклад, інформація про поточний етап технологічного процесу). Це не відображено у аналізі сучасного стану методів контролю якості функціонування ІВС.

5. У роботі розглядаються ІВС різного призначення, при використанні дисперсійного аналізу формуються певні припущення (рівність нулю математичного очікування складових похибки, які зумовлені факторами впливу, незалежність складових похибки, що зумовлені факторами впливу та ін.). З роботи незрозуміло, який критерій допустимості цих припущень, враховуючи, що досліджуються ІВС **різного** призначення?

6. Врахування саме п'яти впливних факторів зумовлено застосуванням першої граничної теореми? Якщо так, то необхідно довести відсутність домінуючих впливних складових.

7. На стор. 103 наведено приклад використання інтегрованого у мікроконтролер ATmega16 десятирозрядного АЦП. Згідно до технічної документації на цей мікроконтролер, його АЦП має дев'ять ефективних розрядів, тобто молодший розряд завжди «шумить», що не враховано. Також у складовій похибки, що вносить АЦП, не враховано нестабільність джерела опорної напруги (в даному випадку вплив нестабільності джерела опорної напруги суттєвий, тому як в наведеному прикладі у якості джерела опорної напруги використовується напруга живлення мікроконтролера). Окрім того, не враховано вплив інтегральної та диференційної нелінійності, які суттєві у даному АЦП, та інші складові.

8. В роботі закон розподілу похибки АЦП прийнято за рівномірний. Це справедливо у першому наближенні, якщо не враховувати випадковий характер вхідного сигналу АЦП та інші складові. В більшості сучасних джерел закон розподілу похибки АЦП приймається таким, що наближається до розподілу Сімпсона, який має нульове математичне очікування.

9. Дисертаційна робота має явну практичну направленість, проведено розгляд конкретних типів ІВС і багатофакторний вплив на них. Не зовсім зрозуміло, в чому суть теоретичних узагальнень, який внесок в теорію контролю?

10. У роботі доволі часто використовується не повністю коректна термінологія, наприклад: термін «подальший розвиток» некоректний, тому як розвиток завжди «подальший»; замість терміну «датчик» краще використовувати термін «сенсор» або «первинний вимірювальний перетворювач»; замість терміну «вимір» краще використовувати термін «вимірювання».

Вказані недоліки не впливають на загальну позитивну оцінку виконаної роботи.

### **Висновок**

Дисертаційна робота Григоренка Ігоря Володимировича «Багатопараметричний контроль якості функціонування інформаційно-вимірювальних систем різного призначення з урахуванням факторних впливів» за своїм змістом відповідає паспорту спеціальності 05.11.13 – прилади і методи

контролю та визначення складу речовини. Дисертація є завершеною науково-дослідною роботою, яка розв'язує важливу науково-практичну проблему, суть якої полягає у підвищенні вірогідності методів багатопараметричного контролю якості функціонування інформаційно-вимірювальних систем різного призначення шляхом визначення та урахування факторного впливу на результат вимірювань показників контролю за рахунок використання тестових методів, методів статистичного аналізу, апарату нечіткої логіки, що забезпечило максимально високу вірогідність отриманих результатів і як наслідок – підтримку встановлених у стандартах норм на вихідні параметри кінцевого продукту.

Дисертація «Багатопараметричний контроль якості функціонування інформаційно-вимірювальних систем різного призначення з урахуванням факторних впливів» Григоренка І. В. виконана із дотриманням принципів академічної доброчесності. Дисертаційна робота відповідає вимогам п.п. 7, 8, 9 «Порядку присудження та позбавлення наукового ступеня доктора наук», затвердженого постановою Кабінету Міністрів України від 17 листопада 2021 року № 1197, а здобувач Григоренко Ігор Володимирович, заслуговує присудження наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.11.13 – прилади і методи контролю та визначення складу речовини.

Опонент

професор кафедри інформаційних  
технологій Уманського національного  
університету садівництва  
доктор технічних наук, професор

Павло КУЛАКОВ

07.11.2024

