

## **ВІДГУК**

офіційного опонента

доктора технічних наук, професора Ладанюка Анатолія Петровича  
на дисертацію

**Кальяна Дмитра Олександровича**

“Автоматизація процесу контролю показників якості пристроїв синхронізації  
цифрових сигналів багатомономенклатурного виробництва”,  
представлену на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук  
за спеціальністю 05.13.07 – Автоматизація процесів керування

### **Актуальність теми дисертаційної роботи.**

Важливою тенденцією сучасних інформаційних систем є їх цифровізація. Комп'ютерні мережі, які працюють з використанням цифрових технологій вимагають синхронізації сигналів, яка полягає у встановленні й підтримці часової (частотної) відповідності сформованих, переданих, прийнятих оброблених сигналів. Рішення вказаних задач покладається на пристрої синхронізації цифрових сигналів (ПСЦС), основними особливостями яких є складність, прецизійність, висока надійність. Від якісних показників ПСЦС залежить ефективність функціонування систем, в яких вони використовуються. Пристрої синхронізації різних систем повинні забезпечувати виконання відповідних технічних характеристик, що обумовлює необхідність їх багатомономенклатурного виробництва. Зважаючи на це, контроль показників якості пристроїв синхронізації цифрових сигналів є актуальною задачею, як в процесі їх багатомономенклатурного виробництва, так і під час експлуатації на об'єктах різних галузей економіки країни.

### **Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.**

Дисертаційна робота є частиною прикладних держбюджетних науково-дослідних робіт МОН України за темами «Розробка концепції наукових і прикладних засад створення єдиної інформаційної системи розповсюдження національної шкали часу з використанням ІР-технологій», «Управління споживанням та генерацією енергії на підприємствах агропромислового комплексу на основі концепції інтелектуальних технологій (Smart Grid)», «Розроблення технології діагностики якості функціонування сільськогосподарських споживачів електричної енергії на основі використання ІР-технологій», де здобувач був виконавцем

### **Обґрунтованість наукових положень, викладених у дисертаційній роботі, ступінь їх новизни.**

Основні наукові положення, що визначають **наукову новизну** роботи, полягають у наступному.

1. Вперше запропоновано та обґрунтовано метод створення автоматизованої системи контролю багатомножинного виробництва пристроїв синхронізації цифрових сигналів з використанням багатоканальної структури інформаційно-вимірювальних засобів, що забезпечує збільшення у разі продуктивності процесу контролю показників якості.

2. Вперше формалізовано визначення температурної нестійкості тривалості перехідного процесу зразкового сигналу блока контролю періодичності АСК та встановлено на основі застосування правил теорії ймовірностей вимоги до його електричних компонентів, що забезпечують підвищення надійності функціонування і, як наслідок, зменшення ризику прийняття хибного рішення оператором про наявність або відсутність контрольованого сигналу з заданою тактовою частотою.

3. Набув подальшого розвитку метод перетворення похибки інтервалів часу в цифровий сигнал, з використанням якого розроблено структуру оригінального адаптивного цифрового фазового дискримінатора, що забезпечує можливість керованого формування статичної характеристики залежно від режиму функціонування підсистеми фазового автопідстроювання частоти опорного генератора автоматизованої системи контролю.

4. Вперше розроблено ієрархічну структуру ПФАПЧ опорного генератора АСК з адаптивним цифровим фазовим дискримінатором, що дозволило забезпечити формування сигналу керуючої дії згідно з встановленим оптимальним за швидкодією законом керування на основі принципу максимуму акад. Л.С. Понтрягіна та зменшити тривалість перехідного процесу від 2,7 до 4 разів залежно від значення початкових умов.

5. Набув подальшого розвитку метод синтезу оптимальних за швидкодією систем, що дало змогу аналітично визначити граничні умови, за яких періодичність характеристики фазового дискримінатора за фазовою координатою в ПФАПЧ з інтегровальною ланкою не впливає на тривалість перехідних процесів і виконуються умови теореми А.А. Фельдбаума про  $n$ -інтервалів.

### **Повнота висновків сформульованих в дисертації.**

Висновки, що сформульовані автором дисертаційної роботи, є науково обґрунтованими та базуються на детальному вивченні об'єкта дослідження та його складових. Вони базуються на загальновідомих фундаментальних положеннях теорії автоматичного керування, імітаційного моделювання, теорії ймовірності та математичної статистики, теорії системного аналізу, методах моделювання, результатах експериментальних досліджень самого автора, а отже є достовірними.

## **Практична значущість роботи.**

Результати дисертаційної роботи Кальяна Д.О. впроваджено у: МПП «Анігер» і використано з метою оцінювання показників якості міток точного часу ЕВРП «Регіна-Ч», що експлуатуються на об'єктах Об'єднаної енергосистеми (ОЕС) України, ТОВ «Інформаційні системні технології», навчальний процес на кафедрі автоматики та робототехнічних систем ім. акад. І.І. Мартиненка НУБіП України.

Підготовлено рекомендації для підприємств і організацій України, які затверджені вченою радою Інституту електродинаміки НАН України.

Створена автоматизована система контролю з використанням сучасних ІР-технологій та розробленого лабораторного макета блока первинних перетворювачів БПП «TIMETER» і програмного забезпечення P4000winXP, що забезпечує підвищення продуктивності, швидкодії та надійності процесу контролю показників якості в умовах багатомоделісного гнучкого автоматизованого виробництва конкурентоспроможних пристроїв синхронізації цифрових сигналів.

## **Оцінка змісту дисертації, її завершеність у цілому.**

У **вступі** переконливо обґрунтовано актуальність дисертаційної роботи; детально на професійному рівні сформульована мета та задачі роботи. Визначена практична та наукова цінність роботи, а також представлені відомості про апробацію матеріалів дисертації у фахових журналах та на наукових конференціях.

У **першому розділі «Аналіз проблем автоматизації процесу контролю частотно-часових показників пристроїв синхронізації в умовах багатомоделісного гнучкого інтегрованого виробництва»** виконано аналіз характеристик пристроїв синхронізації цифрових сигналів з урахуванням умов їх багатомоделісного виробництва та експлуатації у складі сучасних цифрових високотехнологічних систем. Значна увага приділена аналізу методів розрахунку та способів оцінки показників якості пристроїв синхронізації, а також аналізу підсистеми контролю та вимірювань показників якості гнучких інтегрованих систем. Проведено на основі системного підходу аналіз процесу контролю показників якості ПСЦС гнучкої інтегрованої системи та обґрунтовано доцільність застосування методу побудови системи керування виробництвом з використанням автоматизованої системи контролю (АСК), що має інформаційно-вимірювальні засоби багатоканальної структури. Вказано на особливості процесу контролю показників якості ПСЦС на етапі введення їх в експлуатацію та в процесі технічного обслуговування.

У **другому розділі «Розроблення методів та структур АСК, що забезпечують підвищення продуктивності, швидкодії та надійності процесу контролю показників якості ПСЦС»** розроблено методи та структури АСК



показників якості, що забезпечують підвищення продуктивності, надійності та достовірності контролю показників якості ПСЦС в умовах їх багатомономенклатурного виробництва. Значна увага приділена розробленню та дослідженню блока первинного перетворювача БПП «TIMETER» та його складових. Наведена оригінальна практична реалізація первинного перетворення похибки інтервалу часу в цифровий сигнал за рахунок адаптивного цифрового фазового дискримінатора (АЦФД), на який отримано патент України на винахід. Виконана розробка АЦФД з використанням програмного забезпечення Quartus Prime Lite Edition та блока контролю періодичності, який забезпечує прийняття рішення щодо наявності або відсутності контрольованого сигналу з заданою тактовою частотою. Розроблено теоретико-ймовірнісний метод дослідження температурної нестійкості тривалості перехідного процесу зразкового сигналу блоку контролю періодичності. Встановлено вимоги до його електричних компонентів, що забезпечують підвищення надійності функціонування і, як наслідок, зменшення ризику прийняття хибного рішення оператором про наявність або відсутність контрольованого сигналу з заданою тактовою частотою.

У третьому розділі **«Формалізація завдань керування, динамічне моделювання та оптимізація за швидкодією підсистеми автопідстроювання частоти АСК»** обґрунтована необхідність підвищення ефективності формування опорного сигналу, що використовується для автоматизованого контролю якості синхросигналів, за рахунок оптимізації за швидкодією підсистеми фазового автопідстроювання частоти (ПФАПЧ) опорного генератора АСК. Визначено особливості підсистеми фазового автопідстроювання частоти генератора АСК, серед яких є наявність нелінійностей, які обумовлені періодичностями керуючої дії в функції фазової координати та обмеженнями типу «насичення». Сформульовано задачу оптимізації за швидкодією та виконано оптимізацію ПФАПЧ першого порядку. Запропоновано та проведено синтез структури оптимальної за швидкодією системи в три етапи: перший – аналітичний; другий – реалізаційний; третій – імітаційного моделювання (з використанням програми Simulink пакету MATLAB). Виконано, на основі аналізу встановлених аналітичних залежностей, синтез структури оптимальної ПФАПЧ з адаптивними властивостями, в якій забезпечується формування сигналу керуючої дії оптимального за швидкодією закону керування. Для реалізації оптимальних за швидкодією перехідних процесів в ПФАПЧ, розроблена схема з двома ієрархічними рівнями керування та адаптивним цифровим фазовим дискримінатором з керованою формою дискримінаційної характеристики. Виконано імітаційне моделювання створеної схеми ПФАПЧ з використанням програми Simulink пакету MATLAB, яке наочно підтвердило отримані аналітичні і практичні результати, щодо можливості реалізації в цій підсистемі оптимального за швидкодією керування. ПФАПЧ з двома ієрархічними рівнями

керування забезпечує зменшення тривалості перехідного процесу від 2,7 до 4 разів залежно від значення початкових умов.

У четвертому розділі **«Оптимізація за швидкодією та аналітичні дослідження ПФАПЧ генератора опорного сигналу АСК»** виконано оптимізацію за швидкодією та дослідження ПФАПЧ другого порядку з інтегрувальною та пропорційно-інтегрувальною ланкою. Виконано аналітичне визначення руху відображаючої точки у фазовому просторі та обчислено координати точки перемикавання. Знайдено тривалість інтервалів оптимальних перехідних процесів, на основі яких розраховано тривалість всього оптимального перехідного процесу. Аналітично визначено граничні умови, за яких періодичність характеристики ФД за фазовою координатою в ПФАПЧ з інтегрувальною ланкою не впливає на тривалість оптимальних за швидкодією перехідних процесів і виконуються умови теореми А.А. Фельдбаума про  $n$ -інтервалів.

Виконано оптимізацію за швидкодією та синтез структури ПФАПЧ другого порядку АСК з пропорційно-інтегруючим фільтром і АЦФД. Розроблена структурна схема оптимальної за швидкодією ПФАПЧ з пропорційно-інтегруючим фільтром до складу якої включено мікроконтролер та АЦФД, що забезпечують реалізацію дворівневої ієрархічної системи керування: регулятор I-го рівня – підсистема з класичною знакозмінною характеристикою ФД; регулятор II-го рівня – АЦФД та мікроконтролер.

У п'ятому розділі **«Експериментальні дослідження автоматизованої системи контролю показників якості пристроїв синхронізації цифрових сигналів в умовах багатономенклатурного виробництва»** виконано розроблення лабораторного зразка блока первинного перетворювача БПП «TIMETER» з синтезованою оптимальною за швидкодією ПФАПЧ опорного генератора АСК та проведено експериментальні дослідження по вимірюванню точності передавання синхросигналів з використанням ІР-технологій від еталонів. Виконано аналіз результатів обчислень МВЧІ, ДЧІ і порівняння їх з нормами європейського стандарту ETS 300 464-4. Експериментально підтверджено технічні характеристики розробленого лабораторного стенду АСК з програмним забезпеченням P4000winXP по забезпеченню одночасного контролю і візуалізації в режимі реального часу до чотирьох синхросигналів, які формуються ПСЦС. Отримано чисельне значення підвищення продуктивності АСК в чотири рази у порівнянні з одноканальним способом контролю.

У **висновках** дисертаційної роботи, що складаються з десяти пунктів, викладено основні результати проведених досліджень у відповідності з поставленими завданнями для вирішення мети роботи.

### **Ідентичність змісту автореферату та дисертаційної роботи.**

Автореферат ідентично розкриває основні положення дисертації, її наукові результати, які отримані особисто здобувачем.

### **Відповідність дисертації встановленим вимогам.**

Дисертаційна робота Кальяна Д.О. є завершеною, загальний обсяг складає 286 сторінок та містить анотації українською та англійською мовами, вступ, п'ять розділів, висновки, списки використаних джерел із 232 найменувань, 8 додатків, 75 рисунків та 2 таблиці. Отже, структура дисертаційної роботи Кальяна Д.О. відповідає основним вимогам та містить необхідні розділи.

Основні положення роботи надруковано у 31 науковій праці, з яких 5 статей у наукових фахових виданнях України, включених до міжнародних наукометричних баз даних, 1 стаття у науковому виданні іншої держави, 4 монографії, рекомендовані вченою радою НУБіП України, 2 патенти на винахід і корисну модель, 11 матеріалів і тез наукових доповідей та 6 наукових доповідей, включених до зарубіжної наукометричної бази Scopus, одна рекомендація для підприємств і організацій.

### **Зауваження та побажання до дисертаційної роботи**

1. При формулюванні завдань роботи перших три пункти, які відносяться до системного аналізу, можна було об'єднати.
2. В показниках наукової новизни, які декларує автор, не повністю показаний зв'язок з поставленими завданнями, наприклад щодо визначення температурної нестійкості тривалості перехідного процесу зразкового сигналу, методу перетворення похибки інтервалів часу в цифровий сигнал та інш.
3. В роботі мало уваги приділяється методам та засобам підсистеми підтримки прийняття рішень, нечітко визначені функції та можливості оператора-технолога (рис. 1.7).
4. Потребують уточнення результати розв'язку задачі оптимальної за швидкодією системи стосовно використання теореми про  $n$ -інтервалів щодо функції перемикавання та можливості лінеаризації існуючих нелінійностей.
5. В роботі доцільно було більше уваги приділити особливостям функціонування адаптивного цифрового фазового дискримінатора (АЦФД) та процедурам адаптації.
6. Не зрозуміло як реалізується «ручний режим» прийняття рішень (п.4 загальних висновків) щодо змін параметрів виробничого процесу і який допустимий діапазон їхніх змін. Це ж стосується також п.7 щодо підвищення надійності прийняття рішень оператором.

7. Для багатоасортиментного виробництва доцільно було використати методи ситуаційного та прецедентного керування.
8. В п.7 формулюється необхідність «... не тільки зменшувати розкид температурних коефіцієнтів її електричних компонентів, але і **прагнути** до максимальної їх однорідності ...», що носить характер лише побажань.

Слід зазначити, що відмічені зауваження не впливають на позитивну оцінку дисертаційної роботи.

### **Висновок.**

Вважаю, що результати дисертаційної роботи **Кальяна Дмитра Олександровича** «Автоматизація процесу контролю показників якості пристроїв синхронізації цифрових сигналів багатомономенклатурного виробництва» є актуальною, логічно завершеною, науково обґрунтованою, самостійно виконаною. Напрями досліджень відповідають паспорту спеціальності 05.13.07 «Автоматизація процесів керування». Робота повністю відповідає вимогам «Порядку присудження наукових ступенів», затверджених Постановою Кабінету Міністрів України від 24.07.2013 р., № 567 (зі змінами) до кандидатських дисертацій, а її автор заслуговує присудження наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.13.07 «Автоматизація процесів керування».

### **Офіційний опонент:**

професор кафедри автоматизації та  
комп'ютерних технологій управління  
Національного університету  
харчових технологій,

доктор технічних наук, професор,

заслужений діяч науки і техніки України

*А.П. Ладанюк* А.П. Ладанюк

Підпис д.т.н., проф. Ладанюка А.П. засвідчую

