

## **ВІДГУК**

офіційного опонента

доктора технічних наук, професора **Волкова Віктора Едуардовича**  
на дисертаційну роботу

**Кальяна Дмитра Олександровича**

### **“АВТОМАТИЗАЦІЯ ПРОЦЕСУ КОНТРОЛЮ ПОКАЗНИКІВ ЯКОСТІ ПРИСТРОЇВ СИНХРОНІЗАЦІЇ ЦИФРОВИХ СИГНАЛІВ БАГАТОНОМЕНКЛАТУРНОГО ВИРОБНИЦТВА”,**

подану на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук  
за спеціальністю 05.13.07 – Автоматизація процесів керування

#### ***1. Актуальність теми дисертаційного дослідження.***

У сучасних цифрових телекомунікаціях, інтегрованих системах електропостачання SMART Grid, мережах стільникового зв'язку, на інших високотехнологічних об'єктах (критичної інфраструктури включно), використовуються пристрої синхронізації цифрових сигналів (ПСЦС). Контроль показників якості ПСЦС у процесі їх технічної експлуатації, а також в умовах багатоміністерського виробництва вимагає широкомасштабної автоматизації з використанням засобів комп'ютерної техніки та IP-технологій. Сформульовані в роботі завдання мають за мету створення автоматизованої системи, що забезпечує підвищення продуктивності, швидкодії та надійності процесу контролю показників якості ПСЦС. Напрямки дисертаційного дослідження Кальяна Д.О., а саме – методи створення автоматизованих систем керування процесами та комплексами різного призначення; моделювання об'єктів та систем керування; ідентифікація та контроль параметрів об'єктів керування; розробка методів моделювання і планування, математичного, алгоритмічного і програмного забезпечення задач аналізу/синтезу складних розподілених у просторі гнучких інтегрованих систем – повністю відповідають паспорту спеціальності 05.13.07 – «Автоматизація процесів керування».

Актуальність теми дисертаційної роботи підтверджується необхідністю науково-обґрунтованого розроблення автоматизованої системи для контролю показників якості ПСЦС, як в процесі їх багатоміністерського гнучкого інтегрованого виробництва, так і в умовах експлуатації у складі сучасних високотехнологічних об'єктів.

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

Дисертаційна робота є частиною держбюджетних науково-дослідних робіт Національного університету біоресурсів і природокористування України МОН України за темами «Розробка концепції наукових і прикладних засад створення єдиної інформаційної системи розповсюдження національної шкали часу з використанням IP-технологій» (0115U003376, 2015-2016 рр.), «Управління споживанням та генерацією енергії на підприємствах агропромислового комплексу на основі концепції інтелектуальних технологій (Smart Grid)» (0115U003356, 2015-2016 рр.), «Розроблення технології



діагностики якості функціонування сільськогосподарських споживачів електричної енергії на основі використання ІР-технологій» (0119U100829, 2019-2020 рр.).

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

Проведений аналіз змісту дисертаційного дослідження Кальяна Д.О. дозволяє відзначити, що внаслідок проведення теоретичних та експериментальних досліджень здобувачем виконано усі поставлені завдання дослідження, а саме:

- визначено основні підходи до забезпечення високих якісних і кількісних показників процесу контролю пристроїв синхронізації в умовах багатомономенклатурного гнучкого автоматизованого виробництва та встановлено необхідність застосування сучасних засобів комп'ютерної техніки та ІР-технологій;

- досліджено багатомономенклатурне виробництво ПСЦС як об'єкт автоматизації:

визначено на основі аналізу структурних особливостей системи управління ГІС, а також її функцій за збором, передаванням, обробкою й формуванням даних, актуальність дослідження інформаційних функцій ГІС, які забезпечуються підсистемою вимірювань та контролю показників якості;

розроблено автоматизовану систему контролю (АСК), до складу якої входять діючий лабораторний макет блока БПІ «TIMETER» і програмне забезпечення Р4000winXP та проведено її експериментальні дослідження;

- проведено на основі системного підходу аналіз способів підвищення продуктивності процесу контролю в умовах багатомономенклатурного виробництва та запропоновано метод створення автоматизованої системи керування виробництвом ПСЦС з використанням багатоканальної структури АСК, що забезпечує багаторазове підвищення продуктивності процесу контролю та спрощує візуалізацію й аналіз даних, які використовуються для прийняття рішень щодо змін параметрів технологічного процесу;

- розроблено апаратну структуру вимірювального блока БПІ «TIMETER» і програмне забезпечення для візуалізації та аналізу даних АСК, що забезпечують в порівнянні з одноканальним підвищення в 4 рази продуктивності контролю показників якості ПСЦС в умовах багатомономенклатурного гнучкого інтегрованого виробництва, а також у процесі їх технічної експлуатації в складі сучасних високотехнологічних систем;

- вперше розроблено структуру пристрою цифрового контролю періодичності імпульсної послідовності тактової частоти, що забезпечує підвищення надійності та швидкодії процесу контролю за рахунок прийняття рішення в кінці кожного періоду сигналу тактової частоти, який формується опорним генератором;



– вперше формалізовано визначення температурної нестійкості тривалості перехідного процесу зразкового сигналу та визначено на основі теоретико-ймовірнісного методу вимоги до блока контролю періодичності та його складових (електричних компонентів), що забезпечують підвищення надійності його функціонування і, як наслідок, зменшують ризик прийняття хибного рішення оператором про наявність або відсутність контрольованого сигналу;

– досліджено підсистему фазового автопідстроювання частоти (ПФАПЧ) опорного генератора АСК та проведено її оптимізацію за швидкодією:

вперше запропоновано для вибору варіанта побудови ПФАПЧ АСК в умовах неповноти апріорної інформації щодо залежності технічних характеристик від структури підсистеми застосування методів системного аналізу, що дало змогу на етапі підготовки множини всіх уявних альтернатив сформулювати вихідну множину варіантів за умови можливості їх реальної реалізації;

набув подальшого розвитку метод перетворення похибки інтервалів часу в цифровий сигнал, з використанням якого розроблено структуру адаптивного цифрового фазового дискримінатора, що забезпечує можливість керованого формування статичної характеристики залежно від режиму функціонування ПФАПЧ;

вперше розроблено ієрархічну структуру ПФАПЧ опорного генератора з періодичностями керуючої дії в функції фазової координати та обмеженнями типу «насичення», що забезпечує адаптивне формування сигналу керуючої дії згідно з встановленим оптимальним за швидкодією законом керування на основі принципу максимуму Понтрягіна і, як наслідок, зменшує тривалість перехідного процесу від 2,7 до 4 разів залежно від значення початкових умов;

набув подальшого розвитку метод синтезу оптимальних за швидкодією систем, що дало змогу аналітично визначити граничні умови, за яких періодичність характеристики ФД за фазовою координатою в підсистемах фазового автопідстроювання частоти з інтегрувальною ланкою не впливає на тривалість оптимальних за швидкодією перехідних процесів і виконуються умови теореми Фельдбаума про  $n$ -інтервалів;

– розроблено лабораторний макет АСК з блоком первинних перетворювачів контрольованих сигналів і програмним забезпеченням Р4000winXP та проведено експериментальні дослідження, які підтверджують високі якісні й кількісні показники процесу контролю в умовах багатомовного гнучкого автоматизованого виробництва конкурентоспроможних пристроїв синхронізації цифрових сигналів.

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

Висновки, що сформульовані автором дисертаційного дослідження, є науково обґрунтованими та базуються на детальному вивченні об'єкта керування, його особливостей, ретельному аналізі літературних даних, досвіді



фахівців стосовно сучасних методів та засобів удосконалення процесів контролю показників якості ПСЦС, результатах теоретичних та експериментальних досліджень самого автора.

### ***5. Практична значущість роботи.***

Здобувачем Кальяном Д.О. розроблено автоматизовану систему контролю показників якості багатомономенклатурного виробництва пристроїв синхронізації з використанням методів сучасної теорії автоматичного керування, імітаційного моделювання, теорії оптимального керування, системного аналізу, теоретико-ймовірнісних методів, методів прикладного програмування і експериментальних досліджень в лабораторних умовах. Система пройшла дослідні випробування і використовувалась у процесі багатомономенклатурного гнучкого виробництва ПСЦС різного призначення в ТОВ "Інформаційні системні технології". Розроблений діючий лабораторний макет АСК впроваджений в МПП «Анігер» і використаний з метою оцінювання показників якості міток точного часу ЕВРП «Регіна-Ч», що експлуатуються на об'єктах Об'єднаної енергосистеми України.

Розроблена система дозволяє:

- 1) збільшити до чотирьох каналів вимірювань показників якості, що підвищує продуктивність, а також дає можливість проведення одночасного контролю, спрощує візуалізацію та аналіз даних;
- 2) зменшити тривалість перехідного процесу від 2,7 до 4 разів залежно від значення початкових умов ПФАПЧ опорного генератора блока первинних перетворювачів АСК;
- 3) підвищити надійність та швидкодію контролю за рахунок оригінальної структури пристрою цифрового контролю періодичності імпульсної послідовності тактової частоти.

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

Дисертаційна робота Кальяна Д.О. викладена на 286 сторінках, містить дві ідентичні анотації (українською та англійською мовами), вступ, п'ять розділів, висновки, списки використаних джерел із 232 найменувань та 8 додатків.

У першому розділі дисертації **«Аналіз проблем автоматизації процесу контролю частотно-часових показників пристроїв синхронізації в умовах багатомономенклатурного гнучкого інтегрованого виробництва»** проведено ряду робочих характеристик ПСЦС та математичний аналіз характеристик сигналів ПСЦС. Виконано аналіз характеристик ПСЦС з урахуванням умов їх багатомономенклатурного виробництва. Обґрунтована доцільність застосування методу побудови автоматизованої системи керування виробництвом з використанням багатоканальної структури АСК та виконана її розробка. Розроблена структура АСК, новизна якої полягає у збільшенні числа каналів та одночасному виконанні вимірів показників якості, забезпечує підвищення



продуктивності контролю, спрощує візуалізацію та аналіз даних, які використовуються для прийняття рішення щодо змін параметрів технологічного процесу багатомономенклатурного гнучкого інтегрованого виробництва ПССС.

У другому розділі дисертації **«Розроблення методів та структур АСК, що забезпечують підвищення продуктивності, швидкодії та надійності процесу контролю показників якості ПССС»** представлено розв'язок ряду задач із розроблення методів та структур системи контролю показників якості ПССС, що забезпечують підвищення продуктивності, швидкодії та надійності вимірювань в умовах багатомономенклатурного виробництва. Для практичної реалізації первинного перетворення похибки інтервалу часу в цифровий сигнал розроблено структуру оригінального адаптивного цифрового фазового дискримінатора (АЦФД), на який отримано патент України на винахід та системотехнічну реалізацію АЦФД у вигляді програмного забезпечення середовища розробки Quartus Prime Lite Edition, яке використано для програмування логічних схем ALTERA. Розроблено структуру пристрою цифрового контролю періодичності імпульсної послідовності тактової частоти, на який отримано патент України на корисну модель. Акцентовано увагу на вибір засобу реалізації підсистеми фазового автопідстроювання частоти (ПФАПЧ), як одного з важливих компонентів АСК, що формує опорний сигнал. Досліджено з використанням теоретико-ймовірнісного методу температурну нестійкості тривалості перехідного процесу зразкового сигналу блоку контролю періодичності (БКП), що забезпечує можливість усувати невизначеність про наявність або відсутність контрольованого сигналу з заданою частотою, на основі чого оператор приймає рішення щодо результатів процесу контролю ПССС. Сформульовано вимоги до електричних компонентів БКП.

У третьому розділі дисертації **«Формалізація завдань керування, динамічне моделювання та оптимізація за швидкістю підсистеми автопідстроювання частоти АСК»** виконано оптимізацію за швидкістю ПФАПЧ генератора опорного сигналу АСК. Розглянуто лінеаризовану математичну модель ПФАПЧ. Вказано на специфічні особливості роботи ПФАПЧ генератора, що керується напругою, котрі обумовлені наявністю нелінійностей (періодичної у функції фазової похибки нормованої характеристики фазового дискримінатора). Виконано синтез структури оптимальної за швидкістю ПФАПЧ АСК з двома ієрархічними рівнями керування та АЦФД з керованою формою дискримінаційної характеристики. Здійснено імітаційне моделювання створеної схеми ПФАПЧ ГКН з необмеженою смугою пропускання ФНЧ та АЦФД з використанням програми Simulink пакета MATLAB. Визначено кількісні показники, які можна отримати за умови реалізації в ПФАПЧ оптимального за швидкістю закону керування.

У четвертому розділі дисертації **«Оптимізація за швидкістю та аналітичні дослідження ПФАПЧ генератора опорного сигналу АСК»** виконано оптимізацію за швидкістю та дослідження ПФАПЧ другого порядку АСК. Отримано аналітичні вирази для розрахунку показників якості та



побудови кривої фазових траєкторій процесу керування в функції часу. Розроблено ієрархічну структуру ПФАПЧ АСК, яка забезпечує адаптивне формування сигналу керуючої дії відповідно до встановленого на основі принципу максимуму Понтрягіна оптимального за швидкодією закону керування. Виконано аналітичне дослідження впливу періоду  $T_i(t)$  на перехідні процеси в оптимальній за швидкодією ПФАПЧ АСК з інтегрувальною ланкою та визначено граничні умови, за яких періодичність характеристики фазового дискримінатора не впливає на тривалість оптимальних за швидкодією перехідних процесів і виконуються умови теореми Фельдбаум про  $n$ -інтервалів. Розроблена і досліджена з використанням програми Simulink пакета MATLAB імітаційна модель оптимальної за швидкодією ПФАПЧ АСК з інтегрувальною ланкою.

У п'ятому розділі дисертації «Експериментальні дослідження автоматизованої системи контролю показників якості пристроїв синхронізації цифрових сигналів в умовах багатомономенклатурного виробництва» розроблено схеми лабораторного стенду та лабораторного зразка блока первинного перетворювача БПП «TIMETER» з синтезованою оптимальною за швидкодією ПФАПЧ АСК. Проведено експериментальні дослідження та вимірювання точності передавання синхросигналів з використанням ІР-технологій від еталонів з використанням лабораторного стенду та вимірювача параметрів синхронізації ИПС-2002. Аналіз статистично оброблених даних результатів короткотривалих вимірів ВЧІ (ТІЕ) вихідного синхросигналу опорного генератора БПП «TIMETER» АСК з нормами європейського стандарту ETS 300 464-4 вказує на виконання зазначених норм та має суттєві технологічні запаси. Експериментальні дослідження перехідного процесу оптимальної за швидкодією ПФАПЧ генератора опорного сигналу АСК з пропорційно-інтегрувальною ланкою, за умови формування генератором вандера стрибка на 60 нс фази синхронізуючого сигналу, з наступним аналізом результатів обчислень МВЧІ, ДЧІ і порівняння їх з нормами європейського стандарту ETS 300 464-4 вказують на виконання зазначених норм.

Експериментально підтверджено технічні характеристики досліджуваного лабораторного стенду АСК 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. Також практично підтверджено ефективність розширення функціональних можливостей АСК в процесі її експлуатації, які базуються на використанні одноланкового повнодоступного комутатора, реалізації способів динамічного відображення графіків та службової інформації в реальному часі. Зазначене спрощує візуалізацію та аналіз даних, які використовуються для прийняття рішення щодо змін параметрів технологічного процесу одиничного та дрібносерійного гнучкого виробництва ПСЦС.

Робота Кальяна Д.О. є чітко структурованою у відповідності із завданням досліджень, завершеною. Основні положення дисертаційної роботи надруковано у 31 науковій праці, з яких 4 монографії, рекомендовані вченою



радою НУБіП України, 5 статей у наукових фахових виданнях України, включених до міжнародних наукометричних баз даних, 1 стаття у науковому виданні іншої держави, 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. Основні положення роботи доповідались на багатьох міжнародних конференціях.

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

Побудова автореферату, його зміст, висновки, результати досліджень, аналіз літератури відображають дисертаційну роботу.

### **8. Зауваження по дисертації.**

1. В розділі 2 слід було б більше уваги приділити формуванню технічних вимог до розробки багатоканального блоку первинного перетворювача "TIMETER" АСК. Не повністю обґрунтовано вибір обраної кількості каналів контролю.

2. Занадто велику увагу в першому розділі приділено аналізу особливостей процесу контролю показників якості пристроїв синхронізації на етапі введення їх в експлуатацію та в процесі технічного обслуговування на об'єктах цифрових телекомунікацій й цифрових підстанціях енергетичних мереж SMART Grid технологій. Підрозділ 1.5 з відповідною назвою займає 9-ть сторінок (тобто приблизно 7% основної частини дисертаційної роботи), хоча, зважаючи на тему дослідження, не є настільки значущим.

3. На рис. 2.13 (Розділ 2, стор. 117) зображено структурну схему БПП «TIMETER» з 8 блоками контролю періодичності (БКП). При цьому не зовсім зрозуміло, по-перше, необхідність використання окремого БКП для контролю кожного входу первинного перетворювача та, по-друге, чи було використано в процесі виготовлення лабораторного макету результати підрозділу "2.7. Розроблення теоретико-ймовірнісного методу дослідження температурної нестійкості ТПП зразкового сигналу блоку контролю періодичності".

4. Вимагає певних пояснень використання в розділі 3 лінеаризованої моделі для аналізу та синтезу оптимальної за швидкодією підсистеми ФАПЧ БПП «TIMETER» АСК, в якій має місце дискретизація усіх координат за часом та рівнем. Вважається за доцільне використання в цьому випадку апарату дискретного перетворення Лапласа.

5. Введений в четвертому розділі на стор. 177 термін період керуючої дії  $T_t$  є невдалим. Він не відображає фізичної сутності процесу входження в синхронізм підсистеми ФАПЧ АСК, який є по суті квазіперіодичним.

6. Лістинг програмного забезпечення P4000WINXP у додатку Д дисертації містить процедури обробки графічного інтерфейсу. До лістингу доцільно було включити тільки код, який пов'язаний з алгоритмічною



обробкою даних, за рахунок чого можна було б скоротити загальний обсяг дисертаційної роботи.

Зауваження, що зазначені, не зменшують науково-практичної цінності дисертаційної роботи.

#### **9. Загальний висновок щодо дисертації.**

Вважаю, що результати дисертаційної роботи **Кальяна Дмитра Олександровича** «Автоматизація процесу контролю показників якості пристроїв синхронізації цифрових сигналів багатомовного виробництва» мають суттєве значення. Напрями досліджень відповідають паспорту спеціальності 05.13.07 «Автоматизація процесів керування», структура роботи, її зміст – порядку присудження наукового ступеня кандидата технічних наук. Робота є актуальною, закінченою, наукова новизна та наявність значної кількості публікацій дозволяють зробити висновок про позитивну оцінку. 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 **Кальян Дмитро Олександрович** заслуговує присудження наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.13.07 «Автоматизація процесів керування».

**Офіційний опонент:**

**завідувач кафедри теоретичної механіки**

**Одеського національного університету**

**імені І. І. Мечникова,**

**доктор технічних наук, професор**

**В.Е. Волков**

Підпис Волкова В.Е. засвідчую:



Вчений секретар ОНУ  
імені І. І. Мечникова  
М.Х.Н. доцент  
Курандо С. В.

19.10.2020р