

## ВІДГУК

офіційного опонента  
на дисертацію Паламаря Андрія Михайловича,  
"Методи і засоби покращення технічних характеристик інтелектуальних систем  
безперебійного живлення для телекомунікаційних комплексів",  
подану на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за  
спеціальністю 05.13.05 – комп'ютерні системи та компоненти

### Актуальність теми дисертаційної роботи

У сучасному світі відбувається перехід від застарілої моделі функціонування енергетичної галузі, в якій домінували неефективні електромережі до нових моделей, в яких надається перевага підвищенню енергоефективності, надійності завдяки впровадженню інтелектуальних електромереж SmartGrid та MicroGrid. Стрімкий розвиток галузі інформаційних технологій характеризується збільшенням обсягів енергоспоживання обладнання IT-інфраструктури: центрів обробки даних, базових станцій мобільного та супутникового зв'язку тощо. При цьому надзвичайно важливо забезпечити безперебійну роботу цього обладнання завдяки надійному електропостачанню.

Системи безперебійного живлення, які є важливими складовими елементами MicroGrid, потребують нових методів та засобів управління своїми компонентами для ефективної взаємодії з інтелектуальними електромережами. При проектуванні систем безперебійного живлення виникає протиріччя між надійністю їх функціонування, що вимагає надлишковості, резервування модулів, яке спричиняє додаткові енергозатрати, та енергоефективністю системи живлення. Критерії одночасного підвищення показників надійності та енергоефективності процесу постачання електроенергії з використанням джерел безперебійного живлення є суперечливими.

Дисертаційну роботу здобувача Паламаря А.М. присвячено розв'язанню актуальної науково-практичної задачі розроблення нових та удосконалення існуючих моделей, методів та програмно-апаратних засобів для комп'ютеризованих систем керування та моніторингу джерел безперебійного живлення з метою підвищення їх надійності, енергоефективності та якості енергопостачання об'єктів критичної інфраструктури.

ТЕРНОПІЛЬСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ІМЕНІ ІВАНА ПУШКИ	
Вхідний №	1/28-585
«26» 04	20 21 р.
Підпис	<i>С.С.С.</i>

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

Здобувач брав участь у виконанні держбюджетних та госпдоговірних науково-дослідних робіт Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя, зокрема: "Розробка та дослідження енергоекономних електронних пускорегулюючих апаратів та безелектродних високочастотних люмінесцентних ламп" (д/р № 0103U003522); "Розробка та впровадження наземних технічних та програмних засобів системи моніторингу природних комплексів на основі дистанційного зондування Землі з космосу" (д/р № 0108U007121); "Удосконалення наземного комплексу спостереження за космічними об'єктами. Модернізація програмно технічних засобів КОС «Сажень-С»" (д/р № 0118U004720), у яких автор був виконавцем окремих етапів та завдань.

### **Оцінка структури та змісту дисертації**

Дисертація складається з анотації, вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел із 145 найменувань та трьох додатків. Загальний обсяг дисертації становить 200 сторінок, в тому числі: 137 сторінок основного тексту, 53 рисунки, 5 таблиць.

У **вступі** відображена актуальність теми дисертації, показано зв'язок роботи з науково-дослідними темами, визначено мету, задачі дослідження, сформульовано основні наукові положення, що виносяться на захист, та їх практичну цінність, наведено дані про особистий внесок здобувача, подано інформацію щодо публікацій та апробації результатів дисертаційного дослідження.

У **першому розділі** дисертаційної роботи розглянуті особливості функціонування сучасних промислових джерел безперебійного живлення. Визначено їх місце та призначення, як елемента інтелектуальних електромереж Microgrid та SmartGrid. Виконано огляд існуючих комп'ютеризованих систем для керування та моніторингу джерел безперебійного живлення. Особлива увага приділена методам і сучасним підходам для підвищення ефективності роботи ДБЖ. Сформульовано актуальність та практичну доцільність розробки та впровадження інтелектуальних методів та засобів керування та моніторингу ДБЖ для підвищення показників надійності, енергоефективності та якості джерел безперебійного живлення. Окреслено завдання, які в цій сфері залишаються невирішеними, на основі чого обґрунтовано та сформульовано основні задачі дисертаційного дослідження.

У **другому розділі** представлено процес розробки моделей та методів підвищення показників енергоефективності та надійності функціонування джерел безперебійного живлення.

Показано, що сучасні промислові ДБЖ характеризуються переважно високим рівнем резервування модулів для підвищення надійності та низьким рівнем їх завантаженості, що знижує показники енергоефективності. Для

вирішення цієї суперечності в дисертаційній роботі запропонований метод адаптивного регулювання рівня завантаженості випрямляючих модулів ДБЖ в межах наперед заданого оптимального діапазону значень, який розраховує коефіцієнт завантаженості випрямлячів та в режимі реального часу здійснює його корекцію.

Для перевірки ефективності розробленого методу автором розроблена імітаційна модель комп'ютеризованої системи для управління компонентами ДБЖ, яка дозволяє здійснювати регулювання кількості випрямляючих модулів в залежності від значення коефіцієнта їх завантаженості. Запропонована модель враховує вплив зовнішніх і внутрішніх дестабілізуючі факторів на функціонування ДБЖ, а також стохастичність зміни споживання електроенергії навантаженням.

Для підвищення показників надійності джерел безперебійного живлення здобувачем розроблений метод керування, який передбачає адаптивне циклічне зміщення навантажених випрямлячів. Результати імітаційного моделювання показали, що запропоновані методи забезпечують рівномірний час, впродовж якого випрямляючі модулі знаходяться у активному стані. Це призводить до зниження загальної тривалості їх роботи, і, як наслідок, збільшення середнього часу напрацювання на відмову.

**Третій розділ** присвячений розробці та дослідженню методів інтелектуального керування модульними ДБЖ з застосуванням штучних нейронних мереж (ШНМ).

Автором запропоновано метод нейромережевого управління з адаптивним налаштуванням ПІД-коефіцієнтів в процесі регулювання струму заряду акумуляторних батарей (АБ) ДБЖ відповідно до рекомендованих режимів їх роботи. Запропоноване рішення допомогло зменшити величину перерегулювання струму АБ в перехідних процесах при зміні параметрів ДБЖ.

Розроблено метод короткострокового прогнозування споживання електроенергії обладнанням, яке живиться від ДБЖ. Для реалізації цього методу автор запропонував використати рекурентну нейронну мережу Елмана, додавши в її структуру додаткові зворотні зв'язки. В результаті цього вдалось підвищити точність прогнозування.

У **четвертому розділі** представлено структурно-функціональні, схемотехнічні та програмно-алгоритмічні рішення, які забезпечують практичну реалізацію розроблених в попередніх розділах моделей і методів.

Розроблене апаратне забезпечення компонентів комп'ютеризованої системи керування та моніторингу ДБЖ на базі сучасних мікроконтролерів, зокрема, центральний керуючий модуль та модуль керування випрямлячами. Для реалізації запропонованих в дисертації методів розроблене відповідне програмне забезпечення для мікроконтролерів. Крім того представлена реалізація

програмного забезпечення з графічним інтерфейсом користувача для дистанційного моніторингу стану та електричних параметрів ДБЖ.

Приведені результати експериментальних досліджень розроблених компонентів комп'ютеризованої системи керування та моніторингу джерел безперебійного живлення.

**Висновки** по роботі сформульовані чітко, в них повністю відображені основні наукові та практичні результати дисертаційної роботи.

У додатках приведений список публікацій здобувача за темою дисертації, копії актів впровадження результатів дисертаційного дослідження, а також фрагменти програмного коду розробленої комп'ютеризованої системи для керування та моніторингу джерел безперебійного живлення.

### **Наукова новизна результатів дисертаційного дослідження**

В процесі дисертаційного дослідження автором сформульовано та вирішено важливу науково-практичну задачу, яка полягає в розробці нових і вдосконаленні існуючих методів та засобів підвищення ефективності роботи інтелектуальних систем безперебійного живлення. При цьому здобувачем отримано наступні наукові результати:

– вперше розроблено імітаційну модель системи управління компонентами джерела безперебійного живлення, як елемента інтелектуальних електромереж, яка враховує стохастичність зміни споживання електроенергії телекомунікаційним обладнанням, що дозволило дослідити вплив зовнішніх і внутрішніх дестабілізуючих факторів на функціонування ДБЖ та покращити якість показників електропостачання;

– удосконалено метод адаптивного регулювання рівня завантаженості випрямляючих модулів джерела безперебійного живлення в межах оптимального діапазону значень, який передбачає можливість зміни кількості навантажених випрямлячів в режимі реального часу, що дало змогу знизити втрати та підвищити таким чином енергоефективність ДБЖ;

– удосконалено метод керування випрямляючими модулями джерела безперебійного живлення завдяки адаптивному циклічному зміщенню навантажених випрямлячів, що дало змогу підвищити показник надійності системи живлення, зокрема, середній час напрацювання на відмову, без зниження енергоефективності ДБЖ;

– вперше розроблено метод керування компонентами джерел безперебійного живлення з застосуванням штучних нейронних мереж, на основі використання адаптивного ПД-регулювання процесу заряду акумуляторних батарей та короткострокового прогнозування споживання електроенергії, який дозволив покращити технічні характеристики системи безперебійного живлення.

## **Практичне значення отриманих результатів**

Практична цінність результатів дисертаційної роботи полягає у наступному:

1. Впровадження розроблених компонентів інтелектуальної комп'ютеризованої системи для керування та моніторингу джерел безперебійного живлення дозволило підвищити коефіцієнт корисної дії ДБЖ на 3-4 %.

2. Розроблене апаратно-програмне забезпечення для системи безперебійного живлення, яке реалізоване на основі запропонованих в дисертації методів, підвищує надійність роботи ДБЖ, зокрема, показник середнього часу напрацювання на відмову на 5-8 %.

3. Основні результати наукових досліджень впроваджені у промислових підприємствах: ТОВ «ТД Інтеграл», ТОВ Тернопільське КБ радіозв'язку «Стріла», ТОВ «Техас-Т».

4. Результати дисертаційної роботи використано у навчальному процесі кафедри комп'ютерних систем та мереж Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя при викладанні навчальних дисциплін «Комп'ютерна схемотехніка», «Основи інтернету речей» та «Системне програмування».

## **Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків і рекомендацій**

Модель та методи, які розроблені в процесі виконання дисертаційної роботи, доведені автором до реалізованих на практиці апаратно-програмних засобів комп'ютеризованої системи керування та моніторингу джерел безперебійного живлення.

Ступінь обґрунтованості наукових методів, положень і висновків дисертаційної роботи забезпечується:

– коректним викладенням матеріалу, його несуперечливістю та повнотою, обґрунтованим застосуванням методів імітаційного моделювання;

– апробацією результатів теоретичних та експериментальних досліджень на наукових конференціях, семінарах та публікаціями у фахових наукових виданнях;

– ефективним практичним впровадженням результатів дисертаційного дослідження на підприємствах, яке продемонструвало відповідність теоретичних досліджень із реальними результатами.

Висунуті в дисертаційній роботі наукові положення отримали перевірку та знайшли підтвердження при вирішенні практичних задач, про що свідчать акти про впровадження результатів дисертаційного дослідження.

## **Стиль, оформлення дисертації та автореферату. Повнота викладення результатів дисертаційного дослідження в наукових публікаціях**

Дисертація написана і оформлена відповідно до чинних вимог Міністерства освіти і науки України, які висуваються до робіт на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук. Викладення матеріалу є послідовним та логічним, з використанням наукового стилю.

Основні положення автореферату: мета, наукова новизна, практична цінність, характеристика особистого внеску здобувача, зміст дисертації, висновки, список опублікованих праць, повністю відповідають викладеному рукопису представленої до захисту дисертаційної роботи.

Результати дисертаційного дослідження повністю висвітлені у 24 наукових працях, серед яких 6 статей у фахових науково-технічних виданнях (2 статті – одноосібні), з них 2 статті у закордонних наукових періодичних виданнях, 4 публікації проіндексовані в міжнародних наукометричних базах Scopus та/або Web of Science. Матеріали теоретичних та експериментальних досліджень дисертації пройшли апробацію на 6 закордонних та 13 міжнародних і всеукраїнських науково-технічних конференціях.

### **Зауваження до змісту дисертаційної роботи**

До недоліків дисертації варто віднести наступне:

1. Невдало сформульовано перший пункт наукової новизни, зокрема незрозуміло які нові зовнішні та внутрішні дестабілізуючі фактори враховано в імітаційній моделі, і як імітаційна модель може покращити якість показників електропостачання.

2. В пункті 2.2 дисертації (стор. 64) приведено формулу розрахунку коефіцієнта завантаженості виправлячів, проте не вказано за якими критеріями вибрано значення коефіцієнтів  $K_{\min}$  та  $K_{\max}$ .

3. При розробці методів керування компонентами модульних джерел безперебійного живлення на основі нейромережових технологій автор використовує стандартну бібліотеку компонентів Neural Network Toolbox ППП Matlab, тим самим обмежується звисними архітектурними рішеннями побудови нейронних мереж. Доцільно було б проаналізувати більш широкі можливості технології нейронних мереж та більш обґрунтовано підійти до їх вибору.

4. В розділі 3 на рисунку 3.15 (стор. 106) зображено похибки прогнозування споживання електроенергії. Доцільно було б привести числові значення порівняння похибок при використанні класичної структури ШНМ Елмана та модифікованої.

5. В підпункті 4.5.1 на рис. 4.24 приведена структурна схема стенда для імітації зміни навантаження ДБЖ. Нажаль в четвертому розділі дисертації відсутній детальний опис алгоритму його роботи.

6. Доцільно було б детальніше описати параметри та умови проведення експериментальних досліджень в результаті яких було отримане числове значення підвищення ККД джерела безперебійного живлення на 3-4 %.

Однак, зазначені зауваження не є принциповими, істотно не впливають на зміст дисертаційної роботи та не знижують її наукову цінність.

### Загальні висновки

Дисертація Паламаря А.М. є завершеною науковою роботою, яка має практичне значення та містить розв'язання актуального наукового завдання, яке полягає в розробці нових і вдосконаленні існуючих методів та засобів підвищення ефективності роботи інтелектуальних систем безперебійного живлення для телекомунікаційних комплексів.

За темою та змістом дисертація відповідає паспорту спеціальності 05.13.05 – комп'ютерні системи та компоненти. Ознак академічного плагіату в дисертаційній роботі здобувача не виявлено.

За обсягом проведених досліджень, актуальністю, науковим рівнем і практичною цінністю отриманих результатів робота відповідає чинним вимогам до дисертацій на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук, які містяться у пунктах 9, 11, 12 «Порядку присудження наукових ступенів», затвердженого постановою Кабінету Міністрів України від 24 липня 2013 р. № 567 (зі змінами), а здобувач, Паламар Андрій Михайлович, заслуговує на присудження наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.13.05 – комп'ютерні системи та компоненти.

### Офіційний опонент

завідувач кафедри обчислювальної  
техніки та програмування  
Національного технічного університету  
«Харківський політехнічний інститут»,

доктор технічних наук, професор

