

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
ТЕРНОПІЛЬСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
ІМЕНІ ІВАНА ПУЛЮЯ

**ПАЛАМАР АНДРІЙ МИХАЙЛОВИЧ**

УДК 004.89:681.518

**МЕТОДИ І ЗАСОБИ ПОКРАЩЕННЯ ТЕХНІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК  
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНИХ СИСТЕМ БЕЗПЕРЕБІЙНОГО ЖИВЛЕННЯ ДЛЯ  
ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНИХ КОМПЛЕКСІВ**

05.13.05 – комп'ютерні системи та компоненти

**АВТОРЕФЕРАТ**  
дисертації на здобуття наукового ступеня  
кандидата технічних наук

Тернопіль – 2021

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана в Тернопільському національному технічному університеті імені Івана Пулюя Міністерства освіти і науки України.

**Науковий керівник:** доктор технічних наук, професор  
**Карпінський Микола Петрович,**  
Тернопільський національний технічний університет  
імені Івана Пулюя,  
професор кафедри кібербезпеки.

**Офіційні опоненти:** доктор технічних наук, професор  
**Семенов Сергій Геннадійович,**  
Національний технічний університет  
«Харківський політехнічний інститут»,  
завідувач кафедри обчислювальної  
техніки та програмування;

доктор технічних наук, професор  
**Дрозд Олександр Валентинович,**  
Одеський національний політехнічний університет,  
професор кафедри комп'ютерних  
інтелектуальних систем та мереж.

Захист відбудеться 13 травня 2021 року об 11<sup>00</sup> годині на засіданні спеціалізованої вченої ради К 58.052.06 у Тернопільському національному технічному університеті імені Івана Пулюя за адресою: 46001, м. Тернопіль, вул. Руська, 56, ауд. 79.

З дисертацією можна ознайомитися у бібліотеці Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя за адресою: 46001, м. Тернопіль, вул. Руська, 56.

Автореферат розісланий 09 квітня 2021 р.

Вчений секретар  
спеціалізованої вченої ради



М.Є. Фриз

## ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

**Актуальність теми.** На сьогоднішній день надзвичайно важливим завданням є забезпечення надійним та якісним енергопостачанням об'єктів критичної інфраструктури – таких, як системи зв'язку, телекомунікації, центри обробки даних, медичні заклади, банківські установи, тощо. Ціна проблем, спричинених недостатньою якістю та / або надійністю постачання електроенергії, може бути надзвичайно високою і включати в себе значні економічні збитки від простою, пошкодження дорогого обладнання чи втрату важливої інформації, а переривання електроживлення в медичних установах можуть призводити до загибелі людей. Для уникнення цих проблем необхідні надійні високоефективні промислові джерела безперебійного живлення (ДБЖ), які забезпечують безперервне електропостачання обладнання споживачів протягом тривалого часу у випадку збою в загальній електромережі. Використання джерел безперебійного живлення для систем критичного застосування ставить підвищені вимоги до енергоефективності, надійності їх функціонування та якості електроенергії у всіх режимах роботи.

Одним з найважливіших компонентів сучасних ДБЖ є система керування та моніторингу, яка відповідає за вимірювання електричних параметрів, дистанційний контроль стану, управління режимами роботи силових модулів та якісне забезпечення електроенергією в цілому. У передових країнах світу (США, ЄС) появилася нова стратегія розвитку електроенергетики, яка базується на концепції SmartGrid, що передбачає впровадження інтелектуальних цифрових засобів керування та зв'язку між її окремими компонентами та споживачами. На основі впровадження мікропроцесорних технологій все більшого поширення набувають комп'ютеризовані системи керування ДБЖ, що реалізують ефективні алгоритми управління і є обов'язковим елементом локальних енергетичних систем Microgrid, які призначені для розподіленої генерації електричної енергії та розглядаються в якості компонента мережі SmartGrid.

Найважливішими роботами в сфері вивчення та вдосконалення методів та засобів керування та моніторингу джерел безперебійного живлення є дослідження вітчизняних та зарубіжних вчених, серед яких варто відзначити наступних: Волочій Б.Ю., Мандзій Б.А., Кузнецов Д.С., Макаров В.О., Озірковський Л.Д., Расмуссен Н., Ферраро М., Брунацціні Г., Саро Л., Рахмат М.К., Григораш О.В., Аббасова Т.С., Рогулина Л.Г. та інші.

Однак, незважаючи на велику кількість проведених наукових досліджень, огляд і аналіз існуючих підходів дає змогу стверджувати, що на сьогоднішній день не в повній мірі вирішено низку актуальних питань, які стосуються теоретичних аспектів і практичного впровадження високонадійних та енергоефективних компонентів комп'ютеризованих систем керування та моніторингу джерел безперебійного живлення. Зокрема, існує така суперечність: необхідність підвищення енергетичної ефективності ДБЖ з одного боку, та підвищення вимог до надійності з іншого.

Відомі підходи щодо підвищення надійності ДБЖ потребують певного компромісу з вимогами до його енергоефективності. Покращення обох цих параметрів є надзвичайно важливим для багатьох задач. В сучасних дослідженнях ДБЖ продовжуються роботи над створенням ефективних і простих методів підвищення надійності разом з забезпеченням високої енергоефективності

функціонування джерел безперебійного живлення, які б мали достатню результативність. Хоча на сьогоднішній день вже з'явилося порівняно багато різних моделей промислових ДБЖ з сучасними комп'ютеризованими засобами моніторингу та керування, недостатньо опрацьованими залишаються аспекти, пов'язані з управлінням завантаженістю випрямляючих модулів в умовах невизначеності, стохастичних змін споживання електроенергії обладнанням, яке живиться від ДБЖ.

Тому науково-практична задача розроблення та дослідження моделей, методів та програмно-апаратних засобів для інтелектуальних систем керування та моніторингу джерел безперебійного живлення з метою підвищення їх надійності, енергоефективності і якості енергопостачання є актуальною та визначила напрямок наукового дослідження дисертаційної роботи.

**Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.** Дисертаційну роботу виконано в рамках науково-дослідних робіт ТНТУ ім. І. Пулюя, зокрема:

– ДІ 107-03 «Розробка та дослідження енергоекономних електронних пускорегулюючих апаратів та безелектродних височастотних люмінесцентних ламп» (державний реєстраційний номер 0103U003522);

– ДФ 150-08 «Розробка та впровадження наземних технічних та програмних засобів системи моніторингу природних комплексів на основі дистанційного зондування Землі з космосу» (державний реєстраційний номер 0108U007121);

– г/д 465-18 «Удосконалення наземного комплексу спостереження за космічними об'єктами. Модернізація програмно технічних засобів КОС «Сажень-С»» (державний реєстраційний номер 0118U004720).

Роль автора у зазначених науково-дослідних роботах, у яких здобувач був виконавцем окремих етапів та завдань, полягає в створенні моделей, методів та програмно-апаратних засобів при розробці компонентів комп'ютеризованих систем.

**Мета і задачі дослідження.** Метою дисертаційної роботи є підвищення ефективності функціонування систем безперебійного живлення шляхом розробки нових та удосконалення існуючих моделей, методів та програмно-апаратних засобів для покращення показників їх надійності та енергоефективності.

Для досягнення поставленої мети потрібно вирішити наступні задачі:

1. Провести аналіз основних особливостей, тенденцій та перспектив розвитку методів та автоматизованих технічних засобів для керування та моніторингу систем безперебійного живлення, виявити їх переваги та недоліки, обґрунтувати вибір напрямку дослідження і формалізувати постановку наукової задачі.

2. Розробити імітаційну модель системи управління компонентами джерела безперебійного живлення, яка б враховувала зовнішні та внутрішні дестабілізуючі фактори на функціонування ДБЖ з метою дослідження їх впливу та покращення якості показників електропостачання.

3. Удосконалити метод адаптивного регулювання рівня завантаженості випрямляючих модулів джерела безперебійного живлення з можливістю зміни кількості навантажених випрямлячів в режимі реального часу з метою підвищення енергоефективності системи живлення.

4. Удосконалити метод керування випрямляючими модулями джерела безперебійного живлення шляхом адаптивного циклічного зміщення активних випрямлячів з метою підвищення надійності системи живлення.

5. Розробити метод керування компонентами джерел безперебійного живлення на основі використання нейромережових технологій, який передбачає адаптивне ПД-регулювання процесу заряду акумуляторних батарей та короткострокове прогнозування споживання електроенергії.

6. Виконати практичне впровадження результатів дисертаційної роботи шляхом розробки на основі запропонованих моделей, методів та засобів апаратного, алгоритмічного та програмного забезпечення компонентів комп'ютеризованої системи керування та моніторингу джерел безперебійного живлення.

**Об'єкт дослідження** – процес функціонування компонентів систем безперебійного живлення для телекомунікаційних комплексів в умовах випадкової зміни навантаження.

**Предмет дослідження** – методи та програмно-апаратні засоби для підвищення ефективності процесу керування і моніторингу систем безперебійного електроживлення.

**Методи дослідження.** У дисертаційній роботі для розв'язання поставлених задач використовувалися наступні методи досліджень: теорія автоматичного керування, теорія електричних кіл, теорія інформаційно-вимірjuвальної техніки, теорія нейронних мереж, теорія ймовірностей та математичної статистики, теорія надійності, методи цифрового опрацювання сигналів, методи імітаційного моделювання, теорія алгоритмів та програмування.

#### **Наукова новизна одержаних результатів:**

1. Вперше розроблено імітаційну модель системи управління компонентами джерела безперебійного живлення, яка, за рахунок врахування стохастичності зміни споживання електроенергії телекомунікаційним обладнанням, імітації зовнішніх і внутрішніх дестабілізуючих факторів на функціонування ДБЖ, дала змогу дослідити їх вплив та покращити якість показників електропостачання.

2. Удосконалено метод адаптивного регулювання рівня завантаженості випрямляючих модулів джерела безперебійного живлення в межах наперед заданого оптимального діапазону значень, який відрізняється від відомих можливістю зміни кількості навантажених випрямлячів в режимі реального часу, що дало змогу знизити втрати від роботи випрямляючих модулів та підвищити таким чином енергоефективність ДБЖ.

3. Удосконалено метод керування випрямляючими модулями джерела безперебійного живлення шляхом адаптивного циклічного зміщення активних випрямлячів, що дало змогу підвищити показник надійності системи живлення, зокрема, середній час напрацювання на відмову, без зниження показників енергоефективності.

4. Вперше розроблено метод керування компонентами джерел безперебійного живлення на основі використання нейромережових технологій, який відрізняється від існуючих застосуванням адаптивного ПД-регулювання процесу заряду акумуляторних батарей та короткострокового прогнозування споживання електроенергії, що дало змогу за рахунок ефективнішого управління покращити технічні характеристики системи безперебійного живлення при стохастичних змінах навантаження.

**Практичне значення отриманих результатів** полягає у наступному:

1. Розроблено компоненти інтелектуальної комп'ютеризованої системи керування та моніторингу джерел безперебійного живлення, застосування яких дало змогу підвищити коефіцієнт корисної дії ДБЖ на 3-4 %.

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

Результати наукових теоретичних та експериментальних досліджень використано та впроваджено: у ТОВ «ГД Інтеграл», у ТОВ Тернопільське КБ радіозв'язку «Стріла», у ТОВ «Техас-Т», у навчальному процесі кафедри комп'ютерних систем та мереж ТНТУ ім. І. Пулюя, що підтверджено відповідними актами.

**Особистий внесок здобувача.** Основні наукові положення та результати досліджень дисертаційної роботи отримані автором самостійно. Роботи [3, 4, 16–21] опубліковані одноосібно. У друкованих працях, написаних у співавторстві, здобувачеві належать основні теоретичні та практичні результати: [1, 10] – розроблення методу керування системою безперебійного живлення в локальній електроенергетичній мережі Microgrid; [2, 11] – реалізація апаратних засобів та програмного забезпечення для системи керування та моніторингу джерел безперебійного живлення; [5] – синтез ПД-контролера для регулятора в складі загальної моделі системи керування; [6] – формування структури автоматичної системи моніторингу та контролю параметрів; [7, 12] – формування структури та алгоритму роботи системи керування і моніторингу пристроїв гарантованого живлення; [8, 9] – розроблення структури інтелектуальної локальної розподіленої електромережі Microgrid та системи керування її компонентами; [13] – розроблення структурної схеми двох-процесорної інформаційно-вимірювальної системи керування пристроєм безперебійного електроживлення; [14] – реалізація апаратної частини комп'ютерної інформаційно-вимірювальної системи для моніторингу пристроїв безперебійного електроживлення; [15] – розроблення методу підвищення енергоефективності джерел безперебійного живлення для телекомунікаційних систем; [22] – розроблення методу підвищення надійності компонентів модульної комп'ютеризованої системи безперебійного живлення; [23] – формування структури і алгоритму роботи системи керування з використанням нейромережових технологій; [24] – розроблення імітаційної моделі для регулювання ПД-коефіцієнтів в складі загальної моделі системи управління.

**Апробація результатів дисертації.** Основні результати дисертації доповідалися та обговорювалися на наступних науково-технічних конференціях: II та V міжнародних науково-технічних конференціях "Світлотехніка й електротехніка: історія, проблеми й перспективи" (м. Тернопіль, 2005 р. та 2015 р.); 8th, 9th and 10th International Symposiums "Topical Problems in the Field of Electrical and Power Engineering" (м. Пярну, Естонія, 2010 р. та 2011 р.); міжнародних науково-технічних конференціях "Фундаментальні та прикладні проблеми сучасних технологій" (м. Тернопіль, 2010 р. та 2020 р.); The 51st International Scientific Conference "Power and Electrical Engineering" (м. Рига, Латвія, 2010 р.); 7th IEEE International Conference-Workshop "Compatibility and Power Electronics" (м. Таллінн, Естонія, 2011 р.); II та III міжнародних науково-технічних конференціях молодих учених та студентів "Актуальні задачі сучасних технологій" (м. Тернопіль,

2013 р. та 2014 р.); XIX науковій конференції ТНТУ ім. І.Пулюя (м. Тернопіль, 2016 р.); 9th International Conference on Intelligent Data Acquisition and Advanced Computing Systems: Technology and Applications (м. Бухарест, Румунія, 2017 р.); International Multidisciplinary Scientific GeoConference Surveying Geology and Mining Ecology Management (м. Відень, Австрія, 2017 р.); IV міжнародній науково-технічній конференції "Теоретичні та прикладні аспекти радіотехніки, приладобудування і комп'ютерних технологій" (м. Тернопіль, 2019 р.); VII науково-технічній конференції Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя "Інформаційні моделі, системи та технології" (м. Тернопіль, 2019 р.); міжнародній науково-практичній конференції молодих науковців, аспірантів і здобувачів вищої освіти "Проблеми та перспективи розвитку сучасної науки" (м. Рівне, 2020 р.); IX міжнародній науково-практичній конференції студентів, аспірантів та молодих вчених "Молодь у світі сучасних технологій за тематикою: використання інформаційних та комунікаційних технологій в сучасному цифровому суспільстві" (м. Херсон, 2020 р.); II International Scientific and Practical Conference Theoretical and Applied Aspects of Device Development on Microcontrollers and FPGAs (MC&FPGA-2020) (м. Харків, 2020 р.); міжнародній науковій конференції «Іван Пулюй: життя в ім'я науки та України» (м. Тернопіль, 2020 р.). Результати дисертаційного дослідження обговорювались на семінарі кафедри інформатики факультету машинобудування та інформатики Університету в Бельсько-Бялій (Польща, 2015 р.), науково-тематичному семінарі № 9 «Інформаційні системи, обчислювальна техніка та автоматизація» Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя (м. Тернопіль, 12 січня 2021 р.).

**Публікації.** За результатами дисертаційного дослідження опубліковано 24 наукові праці, серед яких 6 статей у фахових науково-технічних виданнях (з них 2 статті – одноосібні), з яких 2 статті у закордонних наукових періодичних виданнях, 3 публікації проіндексовані міжнародною наукометричною базою Scopus, 3 статті проіндексовані міжнародною наукометричною базою Web of Science, 6 статей у матеріалах закордонних англomовних видань міжнародних наукових конференцій, та 13 публікацій у матеріалах міжнародних та всеукраїнських наукових конференцій.

**Структура та обсяг дисертації.** Дисертаційна робота складається з анотації на двох мовах, вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел та додатків. Загальний обсяг дисертації становить 200 сторінок, з яких 137 сторінок основного тексту. Робота містить 53 рисунки, 5 таблиць, список використаних джерел із 145 найменувань на 17 сторінках, 3 додатки на 27 сторінках.

## ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У **вступі** розкрито стан наукової проблеми, обґрунтовано актуальність теми дисертаційного дослідження, представлено зв'язок роботи з науковими темами, сформульовано мету та основні задачі дослідження, визначено об'єкт, предмет і методи дослідження, викладено наукову новизну отриманих результатів, їх практичне значення. Наведено інформацію про апробацію результатів роботи, їх висвітлення в наукових працях здобувача та особистий внесок дисертанта.

У **першому розділі** роботи проведено огляд та аналіз методів керування та контролю стану промислових джерел безперебійного електроживлення, які функціонують в локальній енергетичній системі Microgrid. Проведено класифікацію ДБЖ та розглянуто особливості їх функціонування. Показано, що сучасні промислові ДБЖ повинні бути оснащені інтелектуальними засобами керування та моніторингу.

Проведено критичний аналіз існуючих сучасних комп'ютеризованих систем керування та моніторингу промислових джерел безперебійного електроживлення з точки зору їх надійності та енергоефективності. В результаті проведеного огляду наукових праць встановлено, що сучасний стан розвитку апаратних засобів промислових ДБЖ характеризується переважно високим рівнем резервування випрямляючих модулів (ВМ) для підвищення надійності та низьким рівнем завантаженості, що знижує енергоефективність їх функціонування.

Здійснено огляд відомих методів та засобів підвищення ефективності роботи джерел безперебійного електроживлення. Визначено, що перспективним напрямком розвитку комп'ютеризованих систем керування та моніторингу ДБЖ є удосконалення існуючих та розробка нових методів підвищення показників надійності, енергоефективності та якості ДБЖ на основі синтезу моделей та високоефективних алгоритмів для покращення їх технічних характеристик.

Сформульовано вимоги до інтелектуальної комп'ютеризованої системи для керування та моніторингу ДБЖ. Визначені завдання, які в цій сфері на сьогодні залишаються невирішеними. Сформульовано та обґрунтовано основні задачі дисертаційного дослідження.

У **другому розділі** дисертаційної роботи розроблені моделі та методи підвищення показників енергоефективності та надійності роботи джерел безперебійного живлення. Критерії одночасного підвищення показників надійності та енергоефективності постачання електроенергії з використанням джерел безперебійного живлення є суперечливими. В цій ситуації задача оптимізації системи керування ДБЖ є багатокритеріальною. Для вирішення цієї задачі в дисертаційній роботі використовується метод імітаційного моделювання, який полягає в розробці та дослідженні моделі комп'ютеризованої системи управління компонентами ДБЖ з подальшим підтвердженням її адекватності за допомогою експериментальних досліджень на реальному об'єкті.

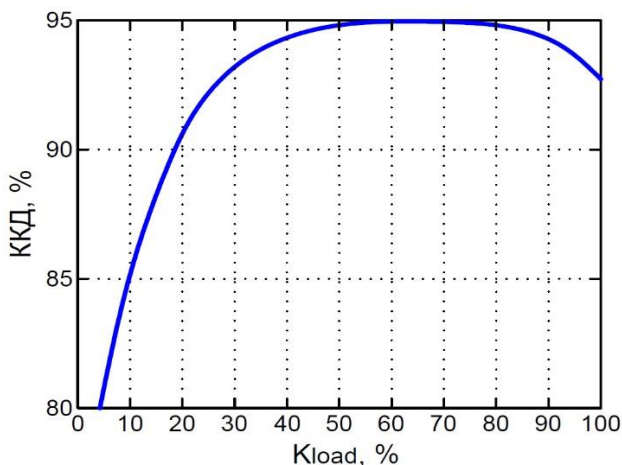


Рисунок 1 – Графік залежності ККД від коефіцієнта завантаженості випрямлячів

На рис. 1 зображений типовий графік залежності коефіцієнта корисної дії випрямляючих модулів ДБЖ від коефіцієнта їх завантаженості  $K_{load}$ . З графіка видно, що зі збільшенням значення  $K_{load}$  підвищується ККД випрямлячів. Після досягнення значення коефіцієнта завантаженості 80 % ККД починає знижуватись.

Запропоновано метод адаптивного регулювання рівня завантаженості випрямляючих модулів ДБЖ в межах наперед заданого оптимального діапазону



значень, який враховує коефіцієнт завантаженості випрямлячів та виконує його корекцію в режимі реального часу. Це дає змогу збільшити енергоефективність ДБЖ.

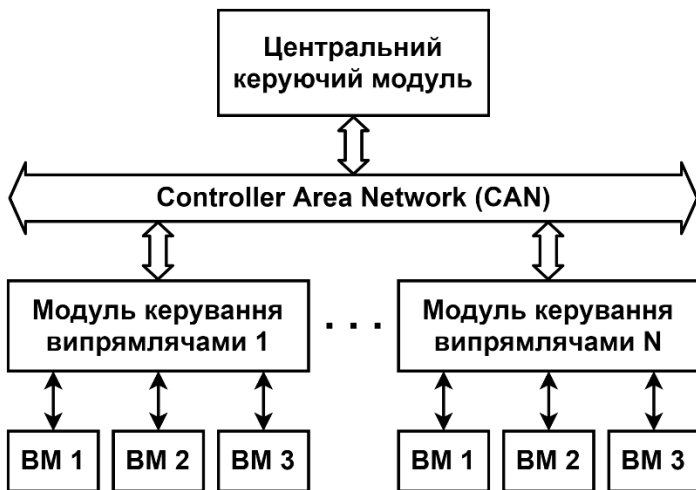


Рисунок 2 – Структурна схема системи керування компонентами ДБЖ

(ЦКМ), який відповідає за моніторинг та управління усією системою, в структуру ДБЖ було запропоновано додати модуль керування випрямлячами (МКВ) (рис. 2).

Алгоритм, який реалізовує метод енергоефективного керування випрямлячами працює наступним чином. На першому етапі здійснюється вимірювання значень струмів, які протікають в колах акумуляторних батарей (АБ), струму кола навантаження і значення вихідної напруги постійного струму, яка живить обладнання споживачів. Після цього відбувається діагностика стану випрямляючих модулів та визначається загальна кількість справних випрямлячів  $N_{all}$ . На наступному етапі розраховується коефіцієнт завантаженості випрямлячів  $K_{load}$  за формулою:

$$K_{load} = \frac{((I_{load} + \sum_{i=1}^m I_{BATi})) \cdot U_{out}}{N_{op} \cdot P_{nom}}, \quad (1)$$

де  $N_{op}$  – кількість справних випрямлячів, які знаходяться у ввімкненому стані,  $P_{nom}$  – номінальна потужність одного випрямляча,  $I_{load}$  – струм в колі навантаження,  $I_{BATi}$  – струм в колі  $i$  групи АБ,  $m$  – кількість груп АБ,  $U_{out}$  – вихідна напруга ДБЖ.

Поточне значення коефіцієнта завантаженості випрямлячів  $K_{load}$  порівнюється з нижнім пороговим рівнем  $K_{min}$  та з верхнім пороговим рівнем  $K_{max}$ , які визначаються експериментальним шляхом та зберігаються в якості параметрів в енергонезалежній пам'яті центрального керуючого модуля ДБЖ. У випадку, якщо значення  $K_{load}$  виходить за межі діапазону  $K_{min} \dots K_{max}$ , здійснюється обчислення прогнозованого значення коефіцієнта завантаженості випрямлячів  $K_{pred}$  за формулою:

$$K_{pred} = \frac{(I_{load} + \sum_{i=1}^m I_{BATi}) \cdot U_{out}}{(N_{op} + k \cdot j) \cdot P_{nom}},$$

де  $j = \{1, 2, \dots, (N_{all} - N_{op})\}$  – кількість ітерацій циклу,  $k$  – коефіцієнт, який може приймати значення:

$$k = \begin{cases} 1, & K_{load} > K_{max}; \\ -1, & K_{load} < K_{min}. \end{cases}$$

Суть методу адаптивного регулювання рівня завантаженості випрямляючих модулів полягає у реалізації алгоритму керування процесом їх включення та відключення для досягнення оптимального значення коефіцієнта їх завантаженості та підтримки його рівня в оптимальному діапазоні.

Для реалізації та дослідження ефективності цього методу було запропоновано удосконалити апаратне забезпечення системи керування ДБЖ. Крім центрального керуючого модуля

Коефіцієнт  $j$  збільшується на 1 кожної ітерації циклу, починаючи від початкового значення 1, до тих пір, поки не виконається умова:

$$K_{pred} \leq (K_{max} - H_{max}) \text{ або } K_{pred} \geq (K_{min} + H_{min}),$$

де  $H_{min}$  та  $H_{max}$  – значення гістерезису відповідно мінімального та максимального порогового рівня коефіцієнта завантаженості випрямлячів.

В результаті виконання приведенного вище циклу, буде отримане результуюче прогнозоване значення кількості випрямлячів  $N = N_{op(t+1)}$ , які необхідно залишити у ввімкненому стані для того, щоб коефіцієнт їх завантаженості знаходився в заданому оптимальному діапазоні значень  $K_{min} < K_{pred} < K_{max}$ . Після цього запускається підпрограма центрального керуючого модуля, яка надсилає команду керування по шині CAN до МКВ для ввімкнення необхідної кількості випрямляючих модулів  $N = N_{op(t+1)}$ .

Для дослідження ефективності запропонованого методу управління компонентами ДБЖ за критеріями співвідношенням показників надійності та енергоефективності було розроблено та досліджено імітаційну модель системи керування (рис. 3), яка дає змогу здійснювати регулювання необхідної кількості випрямляючих модулів джерела безперебійного живлення шляхом комутації в залежності від рівня їх завантаженості. Для побудови моделі було використано програмне середовище візуального моделювання Matlab Simulink з застосуванням бібліотеки компонентів Stateflow.

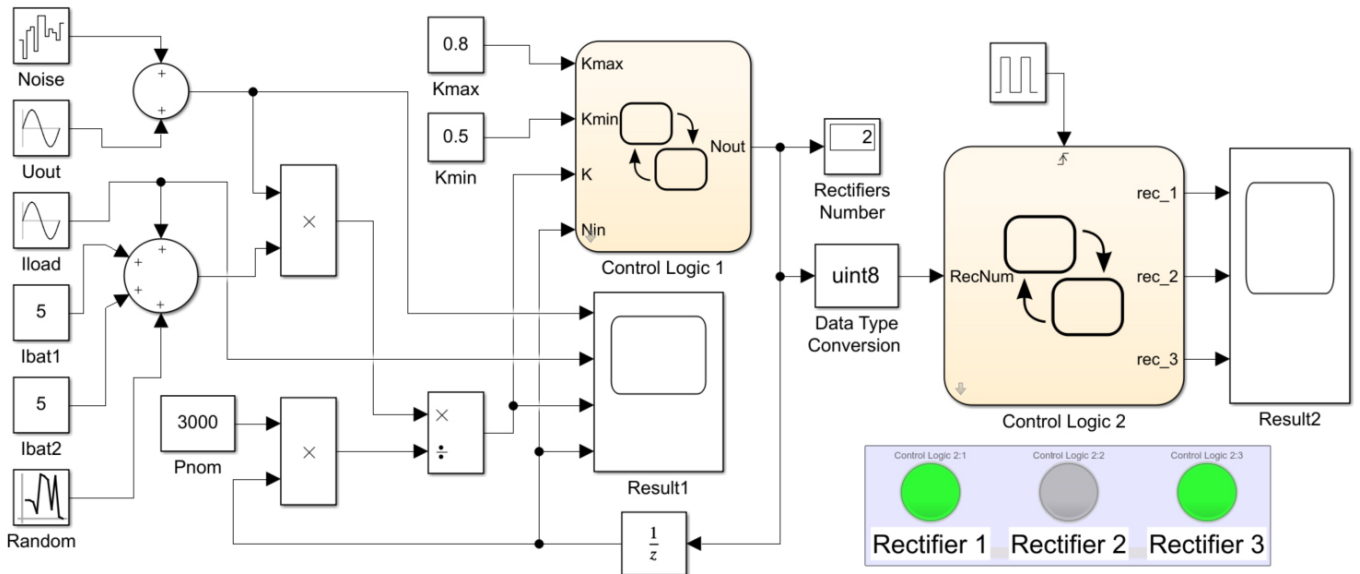


Рисунок 3 – Імітаційна модель системи керування для модульного ДБЖ в режимі адаптивного регулювання завантаженості випрямлячів

Для заданої конфігурації системи керування ДБЖ було проведено моделювання, результати якого показані на рис. 4 у вигляді осцилограм блоку Result1. На рис. 4а показана залежність зміни вихідної напруги від часу, які спричиняють зміну коефіцієнта завантаженості випрямлячів (рис. 4б). Динаміка зміни кількості ввімкнених випрямляючих модулів показана на рис. 4в. Як видно з результатів моделювання, коефіцієнт завантаженості випрямлячів знаходиться в межах заданого оптимального діапазону (0,5...0,8) за виключенням кількох амплітудних значень.

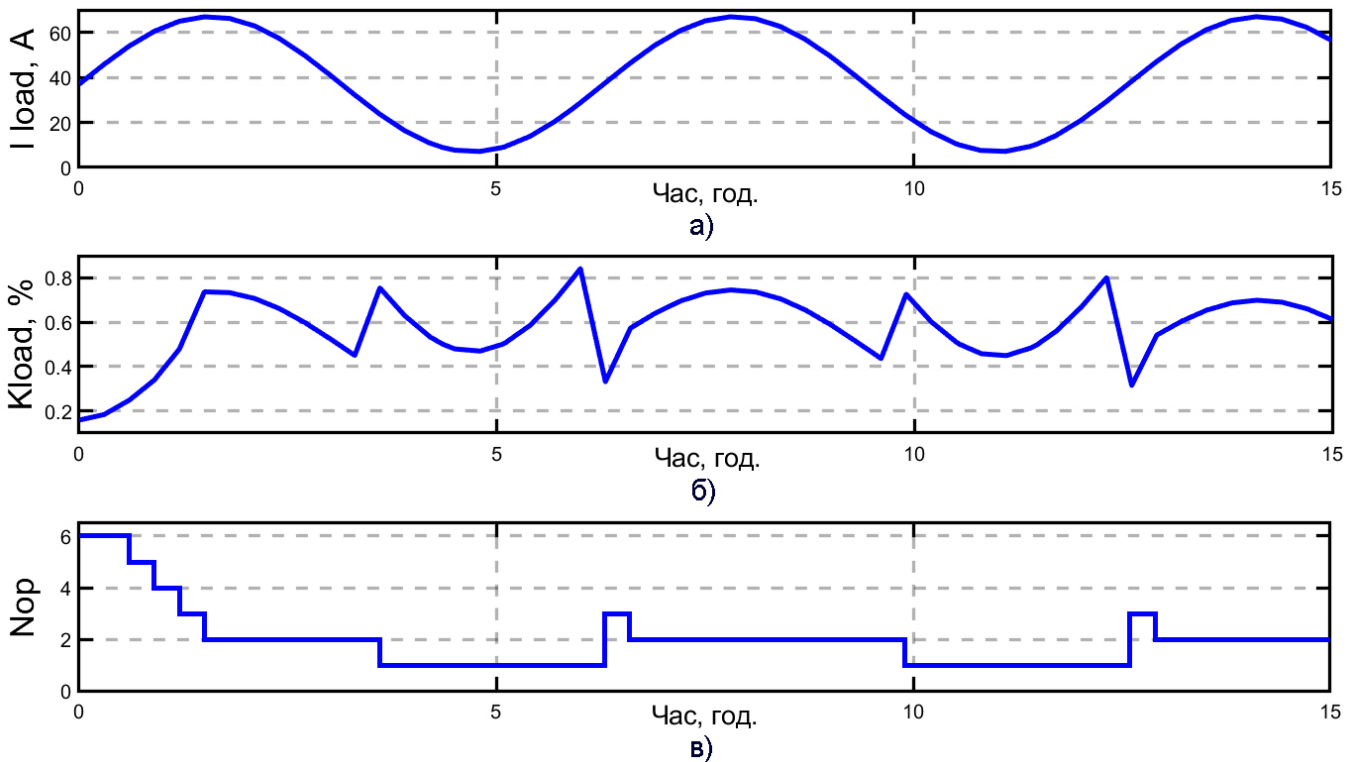


Рисунок 4 – Результати моделювання системи керування для модульного ДБЖ в режимі адаптивного регулювання навантаженості випрямлячів

Комутація випрямляючих модулів здійснюється таким чином, щоб принаймні один з них завжди залишався у ввімкненому стані. В результаті імітаційного моделювання був відпрацьований алгоритм енергоефективного керування випрямляючими модулями ДБЖ. Результати продемонстрували, що в процесі зміни вхідних сигналів система підбирає таку кількість ввімкнених випрямляючих модулів, яка забезпечує перебування коефіцієнта навантаженості системи в межах наперед заданого оптимального діапазону значень. Завдяки цьому забезпечується енергоефективний режим роботи випрямлячів ДБЖ, що було підтверджено експериментальними дослідженнями (рис. 11), результати яких представлені в четвертому розділі.

Для підвищення надійності функціонування ДБЖ запропонований метод керування випрямляючими модулями, який передбачає адаптивне циклічне зміщення активних випрямлячів. Суть цього методу полягає у послідовному включенні в роботу кожного наступного модуля з числа їх ненавантаженого резерву та відключенні попереднього. Алгоритм, який реалізує цей метод, починає виконуватися при дотриманні умов  $N_{op} < N_{all}$  та  $N_{op} \geq 1$ . Під час здійснення чергового циклу зміщення випрямлячів, спочатку відбувається ввімкнення наступного модуля, а через короткий проміжок часу, який відповідає тривалості перехідного процесу і становить кілька десятків секунд, здійснюється вимкнення попереднього. Після цього етапу процес зміщення випрямляючих модулів переходить в режим очікування на період, який задається в параметрах налаштувань і може становити від кількох годин до кількох діб. Після завершення цього етапу, процес повторюється з наступним випрямляючим модулем і т. д.

Результати імітаційного моделювання показали, що запропоновані методи забезпечують рівномірний час роботи випрямляючих модулів та зниження загальної тривалості їх роботи. Були проведені експериментальні дослідження, в межах яких дослідна установка модульного ДБЖ тестувалася в лабораторних умовах з імітуванням екстремальних умов експлуатації (зміни навантаження, напруги живлення, температури, циклів включень-виключень та ін.). Після опрацювання статистичних даних, отриманих в результаті проведених досліджень, було виявлено, що при застосуванні запропонованих методів середній час напрацювання на відмову випрямляючих модулів ДБЖ збільшується на 5-8 %.

Метою **третього розділу** дисертації є удосконалення методів інтелектуального керування модульними джерелами безперебійного живлення на основі використання адаптивних алгоритмів з застосуванням технологій штучних нейронних мереж. Запропоновано метод адаптивного ПІД-регулювання процесу заряду акумуляторних батарей та метод короткострокового прогнозування споживання електроенергії обладнанням, яке живиться від ДБЖ.

Однією з основних функцій центрального керуючого модуля джерела безперебійного живлення є управління процесом регулювання рівня вихідної напруги випрямляючих модулів. Крім того, важливою задачею ДБЖ є керування процесом заряду / розряду акумуляторних батарей відповідно до рекомендованих режимів їх роботи, зокрема, щодо обмеження струму заряду. Тому центральний керуючий модуль можна вважати компонентом замкненої системи керування зі зворотнім зв'язком по струму в колі АБ.

В традиційних ДБЖ для захисту вихідних кіл акумуляторних батарей та випрямляючих модулів від значних перепадів струму під час їх комутації, використовується алгоритм пропорційно-інтегрально-диференціального (ПІД) регулювання для управління вихідною напругою випрямляючих модулів. З метою адаптації закону ПІД-регулювання для застосування в комп'ютеризованій системі керування ДБЖ, дискретна передаточна керуюча функція ПІД-регулятора була приведена до вигляду, який зручно реалізувати на мікроконтролері:

$$u_t = u_{t-1} + A_P \cdot i_t + A_I \cdot i_{t-1} + A_D \cdot i_{t-2},$$

де  $A_P$ ,  $A_I$ ,  $A_D$  – коефіцієнти відповідно пропорційної, інтегральної і диференціальної складових, які визначаються за формулами:

$$\begin{aligned} A_P &= K_P \cdot \left( 1 + \frac{T_0}{2 \cdot K_I} + \frac{K_D}{T_0} \right), \\ A_I &= -K_P \cdot \left( 1 - \frac{T_0}{2 \cdot K_I} + \frac{2 \cdot K_D}{T_0} \right), \\ A_D &= \frac{K_P \cdot K_D}{T_0}. \end{aligned}$$

де  $K_P$ ,  $K_I$  і  $K_D$  – відповідно пропорційний, інтегральний і диференціальний коефіцієнти,  $T_0$  – період квантування, який може змінюватись програмно.

В результаті дискретна передаточна керуюча функція контролера для регулювання струму заряду АБ ДБЖ була приведена до виразу:

$$W_P(z) = K_P \left[ 1 + \frac{T_0 \cdot (1 + z^{-1})}{2 \cdot K_I \cdot (1 - z^{-1})} + \frac{K_D}{T_0} \cdot (1 - z^{-1}) \right].$$

Коефіцієнти  $K_P$ ,  $K_I$  і  $K_D$  потребують оптимального налаштування в залежності від типу і стану АБ, параметрів випрямляючих модулів, характеру навантаження і т. п. ПІД-регулятор забезпечує відмінну якість управління тільки при певних стабільних параметрах системи. У динамічних процесах зі змінними параметрами, нелінійностями і завадами досить важко забезпечити оптимальні налаштування коефіцієнтів для усіх режимів роботи системи, тому якість регулювання істотно падає.

Система живлення телекомунікаційного обладнання зазвичай функціонує в умовах невизначеності та стохастичних змін споживання електроенергії. Тому актуальною задачею є синтез підсистеми керування ДБЖ на базі адаптивних ПІД-регуляторів. В дисертаційній роботі запропоновано метод управління процесом заряду акумуляторних батарей ДБЖ на основі використання технологій штучних нейронних мереж (ШНМ). Для керування компонентами ДБЖ, яке забезпечує електропостачання обладнання телекомунікаційних комплексів, запропонована схема нейромережевого управління з адаптивним налаштуванням коефіцієнтів ПІД-регулювання, яка показана на рис. 5.

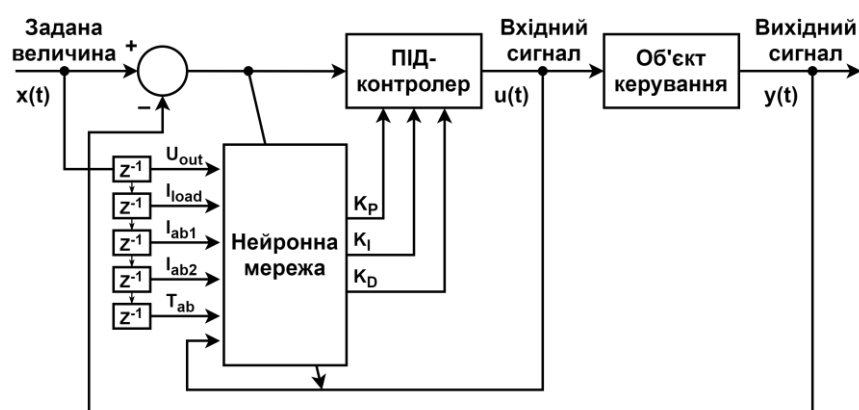


Рисунок 5 – Схема нейромережевого управління компонентами ДБЖ з адаптивним налаштуванням ПІД-коефіцієнтів

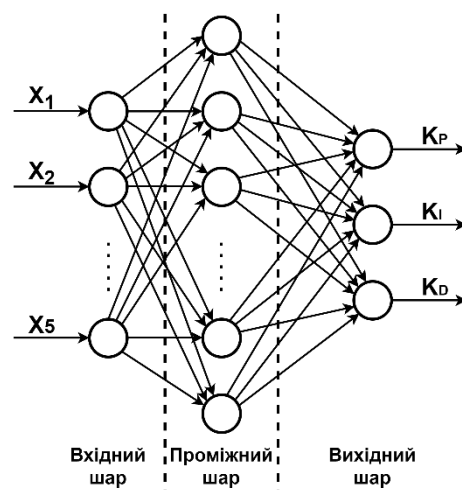


Рисунок 6 – Структура ШНМ для ПІД-регулювання

Для системи керування ДБЖ на основі нейроконтролера засобами імітаційного моделювання виконано пошук топології ШНМ, яка була б найбільш ефективною за критеріями точності регулювання, а також вибрано алгоритм її навчання і навчаючі послідовності, що найкраще виконують поставлену задачу.

Для завдання управління параметрами джерела безперебійного живлення було використано просту ШНМ з прямим розповсюдженням сигналу та зворотним поширенням помилки (рис. 6), синтезовану в середовищі Neural Network Toolbox. Вхідний шар містить п'ять нейронів а проміжний – десять. Для проміжного шару проектованої ШНМ використано функцію активації – гіперболічний тангенс, а для вихідного шару – лінійну. Вихідні нейрони мережі формують масштабовані коефіцієнти ПІД-регулятора  $K_P$ ,  $K_I$  і  $K_D$ . Правило знаходження вагових коефіцієнтів ШНМ:

$$\Delta w_{ji}(t+1) = -\eta \delta_j O_i + \alpha \Delta w_{ji}(t),$$

$$\delta_j = \frac{\partial E}{\partial net_j} = \sum_k \delta_k w_{kj} O_j (1 - O_j).$$

де  $\eta$  – параметр, що визначає швидкість і стійкість процесу навчання,  $O$  – вихід  $k$ -го нейрона вихідного шару.

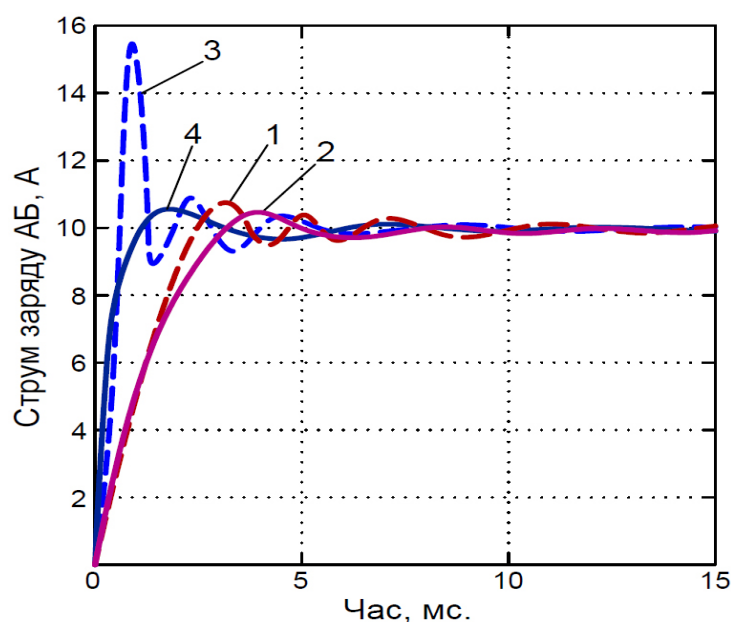


Рисунок 7 – Залежність струму в колі АБ від часу в момент їх комутації

(крива 2). Проте, при зміні параметрів системи живлення ПД-регулятор демонструє значно більшу помилку регулювання (крива 3) порівняно з адаптивним регулятором на основі ШНМ (крива 4).

Для навчання штучної нейронної мережі використовувались дані з реального ДБЖ, отримані експериментальним шляхом. На входи ШНМ подавалась навчальні послідовності, які являють собою значення електричних параметрів ДБЖ: вихідної напруги, струму навантаження, струму заряду двох груп АБ, температури АБ. Для перевірки ефективності синтезованої ШНМ були проведені дослідження на тестових послідовностях.

З графіків (рис. 7) видно, що помилка регулювання струму заряду АБ незначна як для оптимізованого ПД-регулятора (крива 1) так і для адаптивного регулятора на базі ШНМ

В подальших дослідженнях розглядалися підходи до застосування ШНМ для задач прогнозування в системі електропостачання з застосуванням модульних ДБЖ. Необхідність прогнозування рівня споживання електроенергії на середньострокову та короткострокову перспективу пов'язана зі знаходженням компромісу між потребою забезпечення високих показників надійності ДБЖ шляхом резервування його компонентів та потребою досягнення високої енергоефективності шляхом підвищення рівня завантаженості випрямляючих модулів та збільшення, таким чином, їхнього ККД. Це стане можливим завдяки прийняттю випереджаючих рішень щодо підключення або відключення необхідної кількості випрямляючих модулів, що дасть змогу запобігти появі проблем недостатнього рівня завантаженості випрямлячів та їх надмірного завантаження.

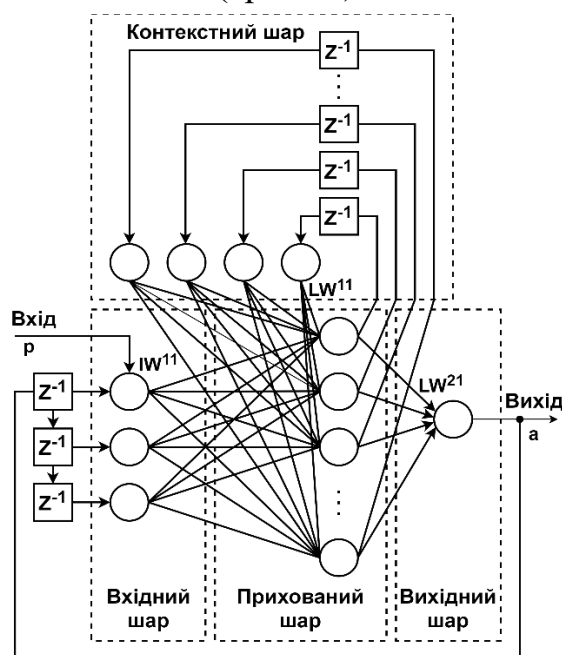


Рисунок 8 – Структура модифікованої ШНМ Елмана з додатковими зворотними зв'язками

обрано рекурентну нейронну мережу Елмана, важливою особливістю якої є можливість запам'ятовування послідовностей. Запропонована ШНМ містить один нейрон у вихідному шарі та десять нейронів у проміжному шарі а також відповідну кількість ліній затримки у контекстному шарі. До типової структури ШНМ Елмана було внесено зміни шляхом додавання зворотних зв'язків через лінії динамічної затримки  $z^{-1}$  від виходу до вхідних нейронів, як показано на рис. 8.

Для реалізації задачі прогнозування, було

Стан нейронів контекстного шару ШНМ описується формулами:

$$\begin{cases} n^1(k) = LW^{11} \cdot a^1(k-1) + IW^{11} \cdot p + b^1, & a^1(0) = a_0^1; \\ a^1(k) = \text{tansig}(n^1(k)). \end{cases},$$

де  $n$  – виходи суматорів нейронів відповідного шару,  $k$  – часові відліки ітерацій налаштування ШНМ,  $a$  – виходи нейронів після активаційної функції у  $k$ -й ітерації,  $p$  – вектор вхідного сигналу,  $b$  – вектор зміщень, які додаються до зважених входів нейронів,  $IW^{11}$ ,  $LW^{11}$  – матриці синаптичних вагових коефіцієнтів, які налаштовуються під час навчання ШНМ відповідно для вхідного вектора  $p$  та рекурентних зв'язків. Вихідний шар ШНМ описується за допомогою формул:

$$\begin{cases} n^2(k) = LW^{21} \cdot a^1(k) + b^2; \\ a^2(k) = \text{purelin}(n^2(k)). \end{cases}$$

Послідовність значень вихідного сигналу розузгодження подається на лінію зворотного зв'язку із затримкою, яка містить  $N - 1$  блоків запізнення  $z^{-1}$ . Виходи лінії затримки формуються із вхідних значень в моменти часу  $k, k - 1, \dots, k - N - 1$  і описуються формулою:

$$a(k) = \sum_{i=1}^k w_{1i} \cdot a(k - i + 1) + b.$$

Використання зовнішніх зворотних зв'язків дозволило детальніше враховувати передісторію процесів, які відбуваються в ДБЖ, і накопичувати в них інформацію. Результати дослідження роботи синтезованої ШНМ (рис. 9) продемонстрували, що запропонована ШНМ з Елмана з додатковими зворотними зв'язками дала змогу підвищити точність прогнозування рівня споживання електроенергії обладнанням, яке живиться від ДБЖ.

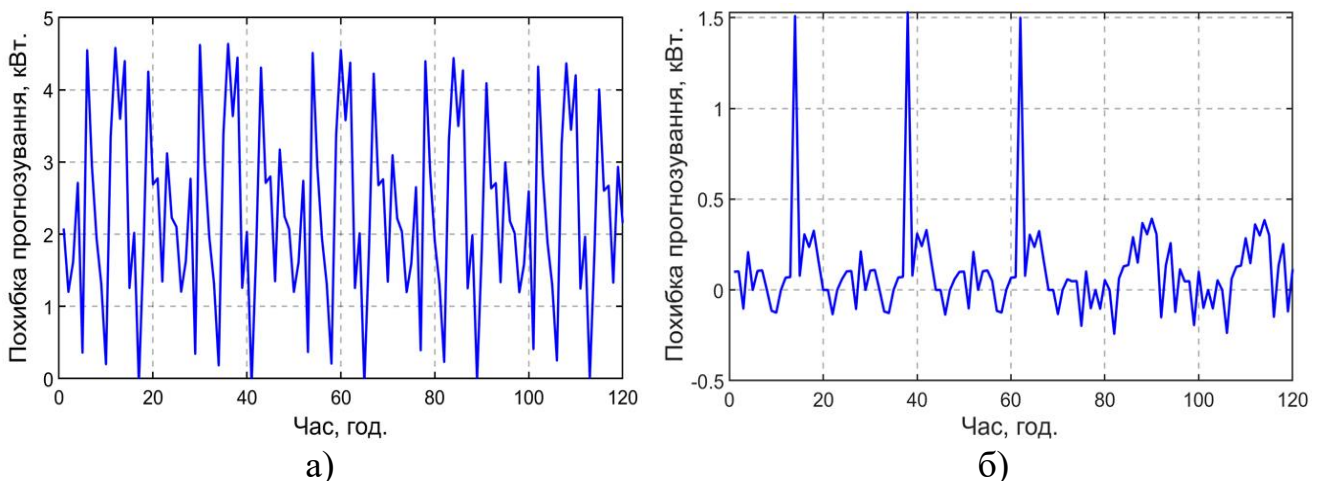


Рисунок 9 – Похибка прогнозування споживання електроенергії обладнанням, яке живиться від ДБЖ з застосуванням: а) типової ШНМ Елмана; б) модифікованої ШНМ Елмана з додатковими зворотними зв'язками

У **четвертому розділі** описаний завершальний етап дисертаційного дослідження – практична реалізація комп'ютеризованої системи для керування та моніторингу джерел безперебійного живлення.

Для підвищення ефективності перетворення електроенергії та покращення якості вихідної напруги у випрямляючих модулях ДБЖ було запропоновано використати резонансні імпульсні перетворювачі, які характеризуються малими втратами енергії та адаптивною цифровою фільтрацією імпульсних завад у колі керування. Як видно з осцилограм, приведених на рис. 10, впровадження резонансних перетворювачів у випрямляючих модулях ДБЖ забезпечило зниження рівня імпульсних завад та психофотометричного шуму, що надзвичайно важливо при електропостачанні обладнання телекомунікаційних комплексів, в яких здійснюється опрацювання звукових сигналів в режимі реального часу.

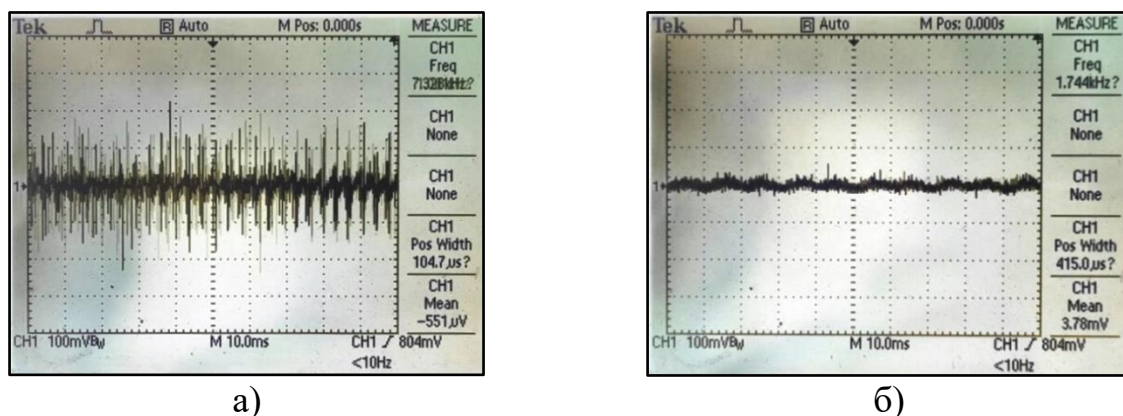


Рисунок 10 – Осцилограми сигналів на виходах випрямляючих модулів при навантаженні 20 А з застосуванням: а) звичайних ШІМ-перетворювачів; б) запропонованих резонансних перетворювачів

Розроблений метод адаптивного регулювання рівня завантаженості випрямляючих модулів був впроваджений в реальній системі керування модульним джерелом безперебійного живлення. В результаті експериментальних досліджень (рис. 11) було встановлено, що застосування запропонованого методу (крива 1) підвищує ККД джерела безперебійного живлення на 3-4 % в порівнянні з традиційними методами керування компонентами ДБЖ, які характеризуються низьким рівнем завантаженості (крива 2).

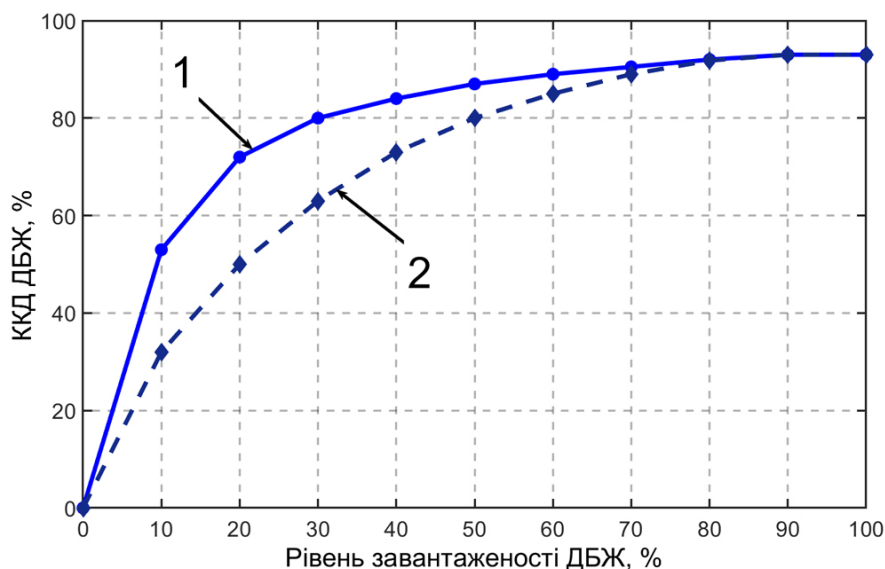


Рисунок 11 – ККД джерела безперебійного живлення при застосуванні різних методів керування випрямляючими модулями



З метою реалізації запропонованих методів розроблено апаратне забезпечення комп'ютеризованої системи для керування та моніторингу ДБЖ. Зокрема прототип центрального керуючого модуля ДБЖ (рис. 12) та модуль керування випрямлячами.

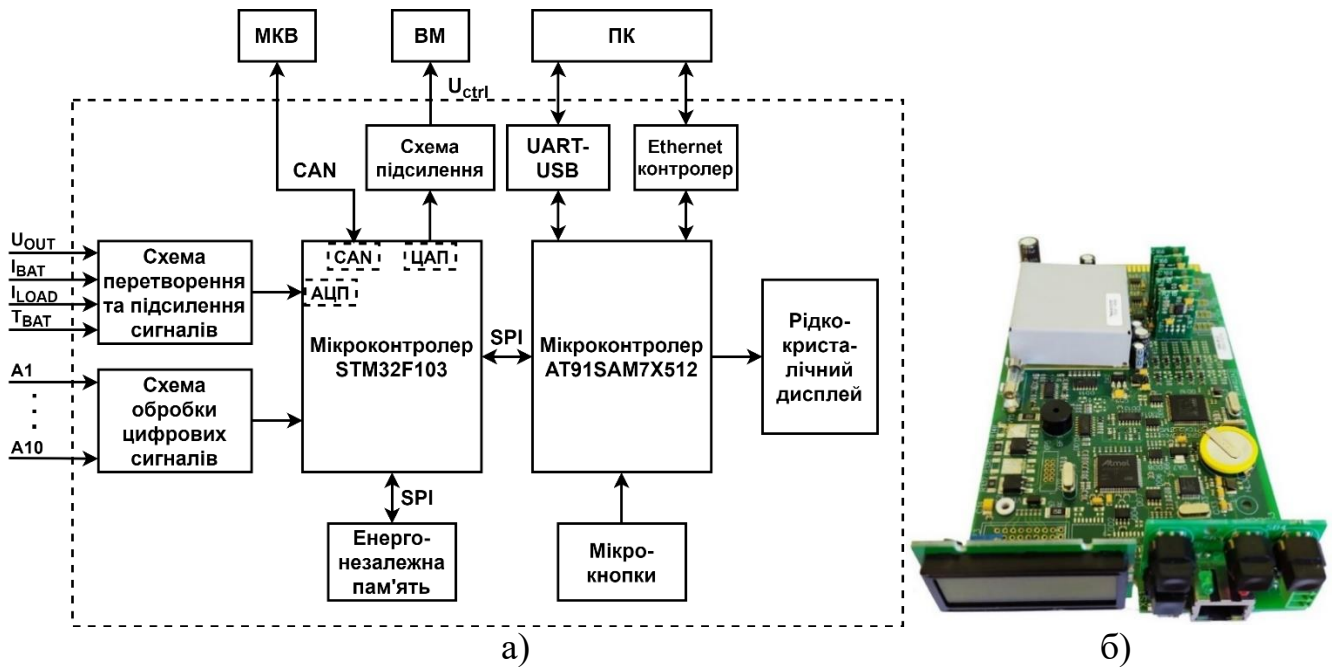


Рисунок 12 – Центральний керуючий модуль ДБЖ: а) структурна схема; б) прототип

З метою реалізації ефективної роботи апаратних засобів комп'ютеризованої системи на основі запропонованих в дисертації моделей та методів розроблене відповідне програмне забезпечення для мікроконтролерів центрального керуючого модуля, модуля керування випрямлячами (рис. 13), а також спеціалізоване ПЗ для дистанційного моніторингу стану та електричних параметрів ДБЖ з графічним інтерфейсом користувача, яке призначене для візуалізації процесів функціонування системи, перегляду архівних даних, вибору режимів роботи та зміни параметрів.

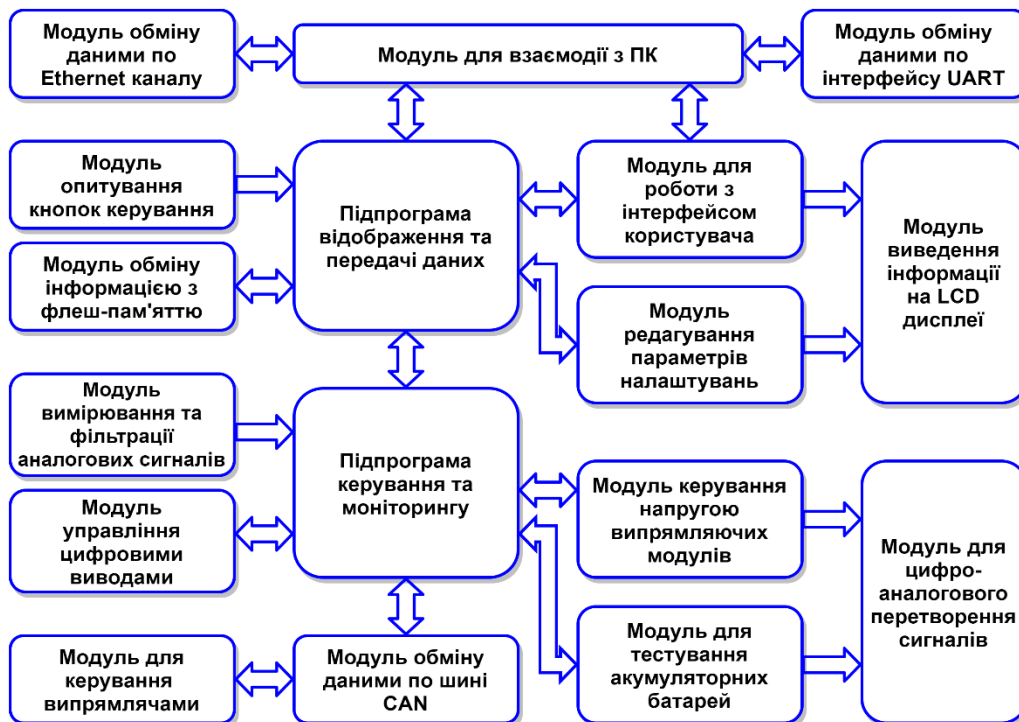


Рисунок 13 – Структура програмного забезпечення для мікроконтролерів

## ВИСНОВКИ

У дисертаційній роботі вирішено актуальну науково-практичну задачу, яка полягає в розробці нових і вдосконаленні існуючих методів та засобів покращення технічних характеристик інтелектуальних систем безперебійного живлення для телекомунікаційних комплексів. Дана задача розв'язана з метою підвищення енергоефективності та надійності роботи джерел безперебійного живлення. Проведені в дисертаційній роботі дослідження дали змогу отримати наукові висновки і практичні результати, які полягають у наступному:

1. В результаті огляду та аналізу сучасних комп'ютеризованих систем керування та моніторингу джерел безперебійного живлення показано, що одним з найперспективніших напрямків вдосконалення існуючих систем керування ДБЖ є розробка нових моделей та методів управління та діагностики з їх впровадженням у вигляді програмно-апаратних модулів цієї системи для покращення показників надійності та енергоефективності ДБЖ.

2. Розроблено імітаційну модель системи управління компонентами джерела безперебійного живлення, яка, за рахунок врахування стохастичності зміни споживання електроенергії телекомунікаційним обладнанням, імітації зовнішніх і внутрішніх дестабілізуючих факторів на функціонування ДБЖ, дала змогу дослідити їх вплив та покращити якість показників електропостачання.

3. Удосконалено метод адаптивного регулювання рівня завантаженості випрямляючих модулів джерела безперебійного живлення в межах наперед заданого оптимального діапазону значень, який відрізняється від відомих можливістю зміни кількості навантажених випрямлячів в режимі реального часу, що дало змогу знизити втрати від роботи випрямляючих модулів та підвищити, таким чином, енергоефективність ДБЖ на 3-4 %.

4. Удосконалено метод керування випрямляючими модулями джерела безперебійного живлення шляхом адаптивного циклічного зміщення активних випрямлячів, що дало змогу підвищити показник надійності системи живлення, зокрема, середній час напрацювання на відмову на 5-8 %, без зниження показників енергоефективності.

5. Розроблено метод керування компонентами джерел безперебійного живлення на основі використання нейромережевих технологій, який відрізняється від існуючих застосуванням адаптивного ПД-регулювання процесу заряду акумуляторних батарей та короткострокового прогнозування споживання електроенергії, що дало змогу за рахунок ефективнішого управління покращити технічні характеристики системи безперебійного живлення при стохастичних змінах навантаження.

6. Виконано практичне впровадження результатів дисертаційної роботи шляхом розробки на основі запропонованих моделей, методів та засобів апаратного, алгоритмічного та програмного забезпечення компонентів комп'ютеризованої системи керування та моніторингу джерел безперебійного живлення, що підтвердило ефективність запропонованих теоретичних рішень.

## СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

1. Palamar A., Pettai E., Beldjajev V. Control System for a Diesel Generator and UPS Based Microgrid. *Electrical, Control and Communication Engineering*. Riga, Latvia. 2010. Vol. 26, No. 1. P. 48–53. (*Web of Science*).
2. Palamar A., Karpinskyu M., Vodovozov V. Design and Implementation of a Digital Control and Monitoring System for an AC/DC UPS. *7th International Conference-Workshop «Compatibility and Power Electronics» (CPE 2011)*, Tallinn, Estonia. 2011. P. 173–177. (*Scopus, Web of Science*).
3. Palamar A. Control system simulation by modular uninterruptible power supply unit with adaptive regulation function. *Scientific Journal of the Ternopil National Technical University*, Ternopil, Ukraine. 2020. Vol. 98, No 2. P. 129–136. (*Index Copernicus*).
4. Palamar A. Methods and means of increasing the reliability of computerized modular uninterruptible power supply system. *Scientific Journal of the Ternopil National Technical University*, Ternopil, Ukraine. 2020. Vol. 99, No 3. P. 133–141. (*Index Copernicus*).
5. Паламар М., Пастернак Ю., Паламар А. Дослідження динамічних похибок системи прецизійного керування антеною з асинхронним електроприводом. *Вісник ТНТУ*. Тернопіль: ТНТУ. 2014. Вип. 76, № 4. С. 164–173. (*Index Copernicus*).
6. Vasylykivskiy I., Ishchenko V., Pohrebennyk V., Palamar M., Palamar A. System of water objects pollution monitoring. *International Multidisciplinary Scientific GeoConference Surveying Geology and Mining Ecology Management (SGEM 2017)*, Vienna, Austria. 2017. Vol. 17, No. 33. P. 355-362. (*Scopus*).
7. Паламар М. І., Паламар А. М. Система керування і моніторингу пристроїв гарантованого електроживлення. *Праці II Міжнародної науково-технічної конференції «Світлотехніка й електротехніка: історія, проблеми й перспективи»*, Тернопіль. 2005. С. 135–139.
8. Palamar A., Pettai E. Microgrid for the Department of Electrical Drives and Power Electronics. *8th International Symposium «Topical Problems in the Field of Electrical and Power Engineering»*, Pärnu, Estonia. 2010. P. 54–61.
9. Palamar A., Laugis J. Control System for Multiple Buildings Microgrid. *Матеріали міжнародної науково-технічної конференції «Фундаментальні та прикладні проблеми сучасних технологій»*, Тернопіль. 2010. С. 376–377.
10. Palamar A., Pettai E. Control Algorithm for a Diesel Generator Based Microgrid in Different Operation Modes. *9th International Symposium «Topical Problems in the Field of Electrical and Power Engineering»*, Pärnu, Estonia. 2010. P. 89–94.
11. Palamar A., Karpinskyu M. Control of an Uninterruptible Power Supply in a DC Microgrid System. *10th International Symposium «Topical Problems in the Field of Electrical and Power Engineering»*, Pärnu, Estonia. 2011. P. 80–84.
12. Паламар А. М., Пастернак Ю. В. Модуль керування пристроєм гарантованого електроживлення постійного струму. *Матеріали Міжнародної науково-технічної конференції молодих учених та студентів «Актуальні задачі сучасних технологій»: збірник тез доповідей*, Тернопіль. 2013. С. 217.
13. Паламар А. М., Пастернак Ю. В., Паламар Я. М. Двох-процесорна інформаційно-вимірювальна система керування пристроєм безперебійного електроживлення. *Матеріали III Міжнародної науково-технічної конференції молодих учених та студентів «Актуальні задачі сучасних технологій»: збірник тез доповідей*, Тернопіль. 2014. С. 211–212.

14. Паламар А. М., Осов'як І. І. Комп'ютерна інформаційно-вимірювальна система для моніторингу пристроїв безперебійного електроживлення. *Матеріали V Міжнародної науково-технічної конференції «Світлотехніка й електротехніка: історія, проблеми, перспективи»*, Тернопіль. 2015. С. 111–112.

15. Паламар А. М., Паламар М. О. Методи та засоби підвищення енергоефективності джерел безперебійного живлення для телекомунікаційних систем. *Матеріали XIX наукової конференції ТНТУ ім. І. Пулюя*, Тернопіль. 2016. С. 169–170.

16. Паламар А. М. Комп'ютерна система для моніторингу параметрів джерел безперебійного живлення на основі технології Internet of Things. *Матеріали IV Міжнародної науково-технічної конференції «Теоретичні та прикладні аспекти радіотехніки, приладобудування і комп'ютерних технологій»*, Тернопіль. 2019. С. 208–209.

17. Паламар А. М. Програмно-апаратний комплекс для дистанційного моніторингу стану джерел безперебійного електроживлення. *Матеріали VII науково-технічної конференції Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя «Інформаційні моделі, системи та технології»*, Тернопіль. 2019. С. 132.

18. Паламар А. М. Моделювання алгоритму керування модульним джерелом безперебійного живлення з використанням діаграми станів. *Матеріали міжнародної науково-технічної конференції «Фундаментальні та прикладні проблеми сучасних технологій» до 60 річчя з дня заснування ТНТУ*, Тернопіль. 2020. С. 172-173.

19. Паламар А. М. Функціональна схема інтелектуальної системи моніторингу джерел безперебійного живлення. *Проблеми та перспективи розвитку сучасної науки: збірник тез доповідей Міжнародної науково-практичної конференції молодих науковців, аспірантів і здобувачів вищої освіти*, Рівне. 2020. С. 141-143.

20. Паламар А. М. Метод керування системою безперебійного живлення на основі прогнозування з використанням рекурентної нейронної мережі. *Матеріали IX міжнародної науково-практичної конференції студентів, аспірантів та молодих вчених «Молодь у світі сучасних технологій» за тематикою: «Використання інформаційних та комунікаційних технологій в сучасному цифровому суспільстві»*, Херсон. 2020. С. 153-155.

21. Palamar A. Intelligent control and monitoring module for uninterruptible power supply system. *II International Scientific and Practical Conference «Theoretical and Applied Aspects of Device Development on Microcontrollers and FPGAs» (MC&FPGA-2020)*, Kharkiv, Ukraine. 2020. P. 12-13.

22. Паламар А. М., Паламар М. О. Метод підвищення надійності компонентів модульної комп'ютеризованої системи безперебійного живлення. *Матеріали міжнародної наукової конференції «Іван Пулюй: життя в ім'я науки та України» (до 175-ліття від дня народження)*, Тернопіль. 2020. С. 91-92.

23. Palamar M. I., Karpinsky M. P., Palamar A. M. Neural network use in control system of antenna complex for information receive of earth remote sensing. *Електронне наукове фахове видання «Науковий вісник Донбасу»: Технічні науки. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://nvd.luguniv.edu.ua/archiv/NN6/08pmiers.pdf>*. 2008. Вип. 6, № 2.

24. Palamar M., Pasternak Y., Palamar A., Poikhalo A. Precision tracking of the trajectory LEO satellite by antenna with induction motors in the control system. *Proceedings of the 2017 IEEE 9th International Conference on Intelligent Data Acquisition and Advanced Computing Systems: Technology and Applications (IDAACS 2017)*, Bucharest, Romania. 2017. Vol. 2, P. 1051-1055. (*Scopus, Web of Science*).

## АНОТАЦІЯ

**Паламар А. М. Методи і засоби покращення технічних характеристик інтелектуальних систем безперебійного живлення для телекомунікаційних комплексів.** – На правах рукопису.

*Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.13.05 – комп'ютерні системи та компоненти.* – Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, Тернопіль, 2021.

Дисертаційна робота присвячена вирішенню важливої науково-практичної задачі, яка полягає в розробленні та дослідженні моделей, методів та програмно-апаратних засобів для інтелектуальних систем керування та моніторингу джерел безперебійного живлення з метою підвищення показників їх надійності та енергоефективності.

Удосконалено метод адаптивного регулювання рівня завантаженості випрямляючих модулів джерела безперебійного живлення, що дало змогу підвищити його ККД. Удосконалено метод керування випрямляючими модулями шляхом адаптивного циклічного зміщення, що дало змогу підвищити середній час напрацювання на відмову. Розроблена комп'ютеризована система на основі використання нейромережових технологій з застосуванням прогнозування споживання електроенергії та адаптивного ПІД-регулювання процесу заряду акумуляторних батарей дозволила покращити технічні характеристики системи безперебійного живлення.

**Ключові слова:** комп'ютеризована система керування, джерело безперебійного живлення, імітаційне моделювання, штучні нейронні мережі, програмне забезпечення.

## АННОТАЦИЯ

**Паламар А. М. Методы и средства улучшения технических характеристик интеллектуальных систем бесперебойного питания для телекоммуникационных комплексов.** – На правах рукописи.

*Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.13.05 – компьютерные системы и компоненты.* – Тернопольский национальный технический университет имени Ивана Пулюя, Тернополь, 2021.

Диссертация посвящена решению важной научно-практической задачи, которая заключается в разработке и исследовании моделей, методов и программно-аппаратных средств для интеллектуальных систем управления и мониторинга источников бесперебойного питания с целью повышения показателей их надежности и энергоэффективности.

Усовершенствован метод адаптивного регулирования уровня загрузки выпрямительных модулей ИБП, что позволило повысить его КПД. Усовершенствован метод управления выпрямителями путем адаптивного циклического смещения, что позволило повысить среднее время наработки на отказ. Разработана компьютеризованная система на основе использования нейросетевых технологий с применением прогнозирования потребления электроэнергии и адаптивного ПИД регулирования процесса заряда аккумуляторных батарей позволило улучшить технические характеристики системы бесперебойного питания.

**Ключевые слова:** компьютеризованная система управления, источник бесперебойного питания, имитационное моделирование, искусственные нейронные сети, программное обеспечение.

**ABSTRACT**

**Palamar A. M. Methods and means of improving the technical characteristics of intelligent uninterruptible power supply systems for telecommunication complexes.** – On the rights of the manuscript.

*Thesis for a candidate degree in technical science on specialty 05.13.05 – computer systems and components. – Ternopil Ivan Puluj National Technical University, Ternopil, 2021.*

The thesis is devoted to solving an important scientific and practical problem, which consists in the development of methods and means for improving the technical characteristics of intelligent uninterruptible power systems for telecommunication complexes in distributed local power networks.

A method for adaptive load level regulation of the UPS rectifier modules within a predetermined optimal range of values has been developed. It is made possible to reduce losses in the rectifier modules and thus increase the energy efficiency of the UPS. The main idea of this method is to implement an algorithm to control the process of their inclusion and deactivation to achieve the optimal value of their load factor and maintain its level in a certain optimal range.

The development and implementation of a method of the rectifiers operation control for the modular uninterruptible DC power supply unit in order to increase its reliability is proposed. The main idea of the method is to control the process of cyclic shifting of the switched-on power modules of the uninterruptible power supply by series switching into operation of each subsequent module from their unloaded reserve and switching out the previous one. The computerized control system structure is improved. In addition to the central control module, it is proposed to add the control unit for rectifier modules, which is responsible for implementing the process of their switching on and monitors their condition.

The implementation of the developed method, due to the uniform reduction of the period during which the power modules of the uninterruptible power supply are on the switched-on loaded state, makes it possible to increase their operating time to failure, which in turn increases its reliability without deteriorating energy efficiency.

In order to investigate the effectiveness of the proposed method, a simulation model describing the power modules control logic is developed. The simulation results demonstrate the efficiency of the developed algorithm in various system operation modes.

The computerized control and monitoring system of uninterruptible power supplies based on the neural network technologies is developed. The short-term forecasting of electricity consumption and adaptive PID control of the battery charge process are implemented in the system. It has made it possible to improve the technical characteristics of the uninterruptible power supply system due to more efficient management.

The practical implementation of the research results by developing based on the proposed models, methods and means of hardware, algorithmic and software components of a computerized control and monitoring system for the modular uninterruptible DC power supply unit confirmed the effectiveness of the proposed theoretical solutions.

**Key words:** computerized control system, uninterruptible power supply, simulation modeling, artificial neural networks, software.