

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
ТЕРНОПІЛЬСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
ІМЕНІ ІВАНА ПУЛЮЯ  
ФАКУЛЬТЕТ ПРИКЛАДНИХ ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ ТА  
ЕЛЕКТРОІНЖЕНЕРІЇ  
КАФЕДРА ЕЛЕКТРИЧНОЇ ІНЖЕНЕРІЇ

**ГОДУНКО МИКОЛА СЕРГІЙОВИЧ**

УДК 621.3

**ПІДВИЩЕННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНИХ СИСТЕМ  
ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ**

141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка

**Автореферат**

дипломної роботи на здобуття освітнього ступеня «магістр»

Тернопіль  
2018

Роботу виконано на кафедрі електричної інженерії Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя Міністерства освіти і науки України

**Керівник роботи:** кандидат технічних наук, старший викладач  
**Поталіцин Сергій Юрійович,**  
Тернопільський національний технічний університет  
імені Івана Пулюя

**Рецензент:** кандидат технічних наук, старший викладач  
кафедри фізики  
**Сіткар Оксана Андріївна,**  
Тернопільський національний технічний університет  
імені Івана Пулюя

Захист відбудеться 24 грудня 2018 р. о 14<sup>00</sup> годині на засіданні екзаменаційної комісії №36 у Тернопільському національному технічному університеті імені Івана Пулюя за адресою: 46001, м. Тернопіль, вул. Микулинецька, 46, навчальний корпус №7, ауд. 310

## ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

**Актуальність теми роботи.** Надзвичайно важливим в енерговикористанні є поняття енергоефективності [33, 34]. Енергоефективність передбачає мінімізацію витрат енергетичного ресурсу (первинного, вторинного) при одержанні такого ж самого корисного ефекту. Частково внаслідок науково-технічного прогресу питоме енергоспоживання приладів та обладнання зменшується, створюються більш ефективні технології, одночасно при цьому постійно зростають існуючі потреби та з'являються інші (нові прилади та пристрої), що в свою чергу призводить до неухильного зростання рівня енергоспоживання. У випадку перетворення енергетичного ресурсу у форму кінцевого споживання, енергоефективність визначається як мінімізація втрат енергії на всіх етапах перетворення та транспортування.

Згідно з концепцією розвитку енергетики Smart Grid, крім класичних виробників та споживачів енергії, передбачається широке застосування активних споживачів (АС) – просюмерів (prosumer), поява яких обумовлена наявністю джерел розосередженої генерації (РГ), накопичувачів енергії та систем керування навантаженням (СКН), які в свою чергу можуть стати активною складовою системи керування (СК) попитом (Demand Side Management – DSM). Розвиток та поширення інтелектуальних енергетичних систем призводить до суттєвих змін в керуванні енергетикою і взаємодією учасників як на ринку електроенергії, так і на рівні локальних систем енергопостачання (ЛСЕ). Причиною цього є тенденція децентралізації як СК, так і генеруючих потужностей.

Однією з ключових складових концепції Smart Grid є клієнтоорієнтований підхід, що визначив необхідність застосування методологічних підходів до зміни ролі споживача на ринку електроенергії і формування методів реалізації його активної поведінки. Такі вчені, як Б.С. Стогній, О.В. Кириленко, А.В. Праховник, С.П. Денисюк, С.В. Дубовський, П.Д. Лежнюк, В.В. Кулик, М.І. Воропай, В.В. Дорофеев, Б.Б. Кобець, В.В. Бушуєв, Ф.В. Веселов, І.О. Волкова, О.А. Третьяк, Brandon Davito, Namayun Tai, Robert Uhlener, Subhes C. Bhattacharyya, Rudolfo Dufolopez у своїх дослідженнях показують необхідність залучення споживачів електроенергії до оптимізації процесів функціонування енергетичної системи. Важливим аспектом при формуванні механізмів DSM є вивчення передумов споживчої поведінки. Дослідження таких вчених, як В.Н. Бурков, М.В. Губко, Д.А. Новиков, Є.О. Сальнікова, S. Pullins; A. Faruqi, R. Hledik, S. George, J. Vode, P. Mangasarian, I. Rohmund, G. Wikler, D. Ghosh, S. Yoshida показують, що поведінка споживачів визначається не тільки ціною на електроенергію, а й заповненням власного графіка споживання електроенергії, що ґрунтується на принципі максимізації корисного ефекту як для споживача, так і для енергопостачальної компанії.

Зміна традиційної поведінки споживачів на активну потребує вирішення низки проблем, спричинених тим, що вся енергетична система України є централізованою, з електростанціями великої потужності, і орієнтованою на пасивних споживачів

електроенергії. Потребують перегляду питання участі АС у створенні послуг для енергетичної системи, системної інтеграції в мережу як самих АС.

Тому розробка, вдосконалення та підвищення енергоефективності інтелектуальних систем електропостачання з метою оптимізації енергоспоживання АС є актуальною науково-технічною задачею.

**Мета роботи:** підвищення рівнів енергетичної ефективності систем електропостачання за рахунок інтеграції інтелектуальних систем керування.

**Об'єкт, методи та джерела дослідження.** Основним об'єктом дослідження є електротехнічні та енергетичні процеси в системах електропостачання. Методи виконання роботи: економіко-статистичний, графічний, порівняльний, математичного моделювання; теоретико-емпіричний.

#### **Наукова новизна отриманих результатів:**

Розроблено методологічне забезпечення оцінки потенціалу активних споживачів, за рахунок розширеної класифікації АС та аналізу потенціалу обладнання, яке може використовувати активний споживач, яке дає змогу оцінити потенціал активного споживача, ефекти від такої поведінки та можливості для його реалізації.

Створена загальна модель активного споживача (АС), яка дає змогу описувати будь-якого активного споживача електроенергії, за рахунок аналізу основних зв'язків між елементами СЕ та АС для різних варіантів їх взаємодії, що дозволило розробити загальну модель системи керування АС.

Запропоновано моделі взаємодії активного споживача із системою енергопостачання, а також моделі взаємодії обладнання активних споживачів між собою, за рахунок аналізу основних зв'язків між елементами та режимів їх роботи, що дозволило розробити основні алгоритми відповідних СК.

**Практичне значення отриманих результатів** роботи полягає у тому, що на підставі виконаних досліджень розв'язана задача оптимізації функціонування системи електропостачання. Запропоновано нормативно-методичне та програмно-алгоритмічне забезпечення для оптимізації режимів роботи АС, моделі систем керування та окремих елементів АС, що дало змогу розробити основні алгоритми для інтелектуальних систем керування.

#### **Апробація.**

1. Матеріали VII Міжнародної науково-технічної конференції молодих учених та студентів. Актуальні задачі сучасних технологій – Тернопіль 28-29 листопада 2018.- Т. 3. – 21.

**Структура роботи.** Робота складається з розрахунково-пояснювальної записки та графічної частини. Розрахунково-пояснювальна записка складається з вступу, 8 частин, висновків, переліку посилань. Обсяг роботи: розрахунково-пояснювальна записка – 129 арк. формату А4, графічна частина – 6 аркушів формату А1

## **ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ**

У вступі обґрунтовано актуальність теми наукових досліджень та охарактеризовано основні завдання, які необхідно вирішити .

**В аналітичній частині** проведено аналіз стану питання за літературними та іншими джерелами, виконано постановку задачі на дипломну роботу.

**В науково-дослідній частині** побудовано моделі активного споживача, проведено оптимізацію режимів його роботи.

**В технологічній частині** приведено розробку моделі системи керування споживачем. Досліджено вплив вищих гармонік на роботу системи електропостачання

**В конструкторській частині** проведено загальну оптимізацію задач вибору та узгодження режимів роботи споживача

**В спеціальній частині** запропоновано комплекс методик для реалізації потенціалу активного споживача. Розроблено алгоритм вибору режимів живлення активного споживача в залежності від стану встановленого обладнання

**В частині «Обґрунтування економічної ефективності»** проведено техніко-економічне дослідження ефекту впровадження інтелектуальних систем електропостачання.

**В частині «Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях»** розглянуто актуальні проблеми електробезпеки, вимоги до профілактичних медичних оглядів для працівників ПК, економічне значення заходів щодо покращення умов охорони праці.

**В частині «Екологія»** проаналізовано сучасний екологічний стан України, розглянуто питання забруднення довкілля, що виникає внаслідок реалізації технологічного процесу, а також запропоновано заходи зі зменшення забруднення довкілля.

**У загальних висновках щодо дипломної роботи** описано прийняті в проекті технічні рішення і організаційно-технічні заходи, які забезпечують виконання завдання на проектування; оригінальні технічні рішення, прийняті автором в процесі роботи; технічні рішення роботи, які можуть бути впроваджені у виробництво; техніко-економічні показники та їх порівняння з базовими.

## **ВИСНОВКИ**

1. Виконано аналіз потенціалу активного споживача електроенергії в енергетичній системі та особливості його взаємодії з іншими елементами системи енергопостачання, визначено потенціал та можливості активного споживача в локальній системі енергопостачання, що дає можливість розробити механізми інтеграції розосередженої генерації та активного споживача в систему енергопостачання і відповідні методики оцінки такої інтеграції та їхню доцільність.

2. Розроблено методологічне забезпечення оцінки потенціалу активних споживачів, за рахунок розширеної класифікації АС та аналізу потенціалу обладнання, яке може використовувати активний споживач, яке дає змогу оцінити потенціал активного споживача, ефекти від такої поведінки та можливості для його реалізації.

3. Створена загальна модель АС, яка дає змогу описувати будь-якого активного споживача електроенергії, за рахунок аналізу основних зв'язків між елементами ЛСЕ та АС для різних варіантів їх взаємодії, що дозволило розробити загальну модель СК АС.

4. Запропоновано моделі взаємодії активного споживача із системою енергопостачання, а також моделі взаємодії обладнання активних споживачів між собою, за рахунок аналізу основних зв'язків між елементами та режимів їх роботи, що дозволило розробити основні алгоритми відповідних СК.

5. Визначено можливі режими роботи окремого обладнання активного споживача, активного споживача в цілому та варіантів взаємодії активного споживача із системою енергопостачання чи іншими елементами ЛСЕ, що дає змогу вдосконалити алгоритми роботи систем керування та здійснювати автоматизоване керування режимами роботи таких систем, за рахунок вдосконалення основних алгоритмів СК.

6. Розроблено моделі систем керування обладнанням активного споживача, активними споживачами різних рівнів, об'єднанням активних споживачів, системою енергопостачання із активними споживачами, які дають можливість реалізувати ефективну взаємодію між активним споживачем та існуючою системою енергопостачання як у перехідний період, так і в інтелектуальній енергетичній системі.

7. Вдосконалено методологію вирівнювання графіків споживаної потужності у локальних системах енергопостачання, яка враховує нерівномірність споживання, суть якої полягає у визначенні параметрів коефіцієнтів пульсації по струму та напрузі та розрахунку реактивної потужності по Фризе й визначенні заходів для їх регулювання, що дозволить зменшити втрати електроенергії та створює можливість більш ефективного використання систем керування навантаженням споживачів.

8. Сформовано загальну оптимізаційну задачу, на основі врахування окремих оптимізаційних функцій елементів, як частинних складових із відповідними ваговими коефіцієнтами, з вибору та узгодження режимів роботи споживача та локальної системи енергопостачання із активними споживачами, що дає можливість розробити відповідні методики та алгоритми систем керування активними споживачами, віртуальною електростанцією та їх взаємодією із локальною системою енергопостачання.

9. Створено комплекс методик для оцінки енергоефективності систем енергопостачання за кількісними показниками енергоефективності, а також відповідні методики для оцінки ефективності ЛСЕ до та після впровадження заходів з енергозбереження, і до та після інтеграції джерел РГ, за рахунок ранжування показників енергоефективності за рівнями та зменшення обсягу аналізованої інформації, що дало можливість створити спрощену методику оцінки енергоефективності.

10. Запропоновано алгоритми вибору режимів живлення АС залежно від стану встановленого обладнання, що є складовою СК АС, яка дозволяє керувати функціонуванням будь-якого АС електроенергії, на основі сформованої загальної оптимізаційної задачі з вибору та узгодження режимів роботи АС, що дозволяє обирати режими роботи взаємодії СЕП із АС.

## **СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ АВТОРОМ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ РОБОТИ**

1. Годунко М.С. Проблеми управління та безпеки інтелектуальних мереж в електроенергетиці [Текст] / Поталіцин С.Ю., Годунко М. С Тези доповіді на VII

Міжнародної науково-технічної конференції молодих учених та студентів. Актуальні задачі сучасних технологій – Тернопіль 28-29 листопада 2018.- Т. 3. – 21.

### АНОТАЦІЯ

Розроблено методологічне забезпечення оцінки потенціалу активних споживачів, за рахунок розширеної класифікації АС та аналізу потенціалу обладнання, яке може використовувати активний споживач, яке дає змогу оцінити потенціал активного споживача, ефекти від такої поведінки та можливості для його реалізації.

Створена загальна модель активного споживача (АС), яка дає змогу описувати будь-якого активного споживача електроенергії, за рахунок аналізу основних зв'язків між елементами СЕ та АС для різних варіантів їх взаємодії, що дозволило розробити загальну модель системи керування АС.

Запропоновано моделі взаємодії активного споживача із системою енергопостачання, а також моделі взаємодії обладнання активних споживачів між собою, за рахунок аналізу основних зв'язків між елементами та режимів їх роботи, що дозволило розробити основні алгоритми відповідних СК.

**Ключові слова:** електропостачання, активний споживач, інтелектуальні системи керування.

### ANNOTATION

The methodological provision of the estimation of the potential of active consumers is developed, due to the expanded classification of the and the analysis of the potential of equipment, which can be used by the active consumer, which enables to assess the potential of the active consumer, the effects of such behavior and the possibilities for its realization.

A general model of the active consumer has been created, which allows describing any active consumer of electricity by analyzing the main connections between the elements of the and for different variants of their interaction, which allowed to develop a common model of the control system.

**Key words:** power supply, active consumer, intelligent control systems.