

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
«ХАРКІВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ»

**Черкашина Галина Ігорівна**

УДК 621.311

**ПІДВИЩЕННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ СИСТЕМИ  
ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ ЗА РАХУНОК УПРАВЛІННЯ  
ЕЛЕКТРИЧНИМ НАВАНТАЖЕННЯМ У ПОБУТОВОМУ СЕКТОРІ**

Спеціальність 05.14.02 – «Електричні станції, мережі і системи»

**Автореферат**

дисертації на здобуття наукового ступеня  
кандидата технічних наук

Харків – 2015

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана на кафедрі електричних станцій Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут» Міністерства освіти і науки України.

**Науковий керівник:** кандидат технічних наук, професор

**Лазуренко Олександр Павлович,**

Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», м. Харків, декан електроенергетичного факультету

**Офіційні опоненти:** доктор технічних наук, професор

**Денисюк Сергій Петрович,**

Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут», м. Київ, директор Інституту енергозбереження та енергоменеджменту

кандидат технічних наук, доцент

**Романченко Валентина Іванівна,**

пенсіонер

Захист дисертації відбудеться «08» жовтня 2015 р. о 14.00 годині на засіданні спеціалізованої вченої ради К 64.050.06 в Національному технічному університеті «Харківський політехнічний інститут» за адресою: Україна, 61002, м. Харків, вул. Фрунзе, 21.

З дисертацією можна ознайомитись у бібліотеці Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут» за адресою: 61002, м. Харків, вул. Фрунзе, 21.

Автореферат розісланий «05» вересня 2015 р.

Вчений секретар  
спеціалізованої вченої ради

С.Ю. Шевченко

## ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

**Актуальність теми.** Втрати активної потужності у розподільчих мережах побутового сектору є одним із проблемних питань сучасної енергетики. За даними Міністерства енергетики та вугільної промисловості України при передачі електричної енергії побутовим споживачам загальні втрати в мережах 0,4 кВ складають біля 30 %. При аналізі факторів виявлено, що така величина втрат в основному обумовлена специфікою побутового споживання електричної енергії, а саме нерівномірністю споживання електричної потужності у часі, а також несиметрією навантаження в різних фазах мережі. Окрім цього більшість з мереж 0,4 кВ проектувалися в 60-70 роки ХХ століття і за весь час роботи практично не модернізувалися, не проводилися заходи з перерозподілу навантаження за фазами системи. Разом з тим населення є надійним споживачем електричної енергії. За останні дев'ять років спостерігається стійке зростання корисного відпуску електричної енергії і потужності населенню з 19 % від загального споживання у 2005 р. до 29 % у 2014 році.

У таких умовах доцільно сприймати побутового споживача електричної енергії як активного учасника процесів генерації, передачі та споживання електричної енергії. Розробка та впровадження методів та заходів з вирівнювання графіку електричного навантаження та симетрування режимів споживання електричної енергії за рахунок побутових споживачів-регуляторів (СР) дозволяє отримати вагому альтернативу експлуатації блоків теплових електричних станцій у маневрених режимах, розвантаженню атомних електростанцій та ін. для підтримання балансу потужності в електроенергетичній системі України. Особливо в сучасних умовах впровадження концепції «Smart grid». Крім цього, це дозволяє отримати дієвий інструмент для підвищення енергоефективності процесів генерації, передачі та споживання електричної енергії, зокрема у побутовому секторі за рахунок зменшення загальних втрат.

Таким чином, задача оцінки отримання можливості управління електричним навантаженням у побутовому секторі як однієї з складових підвищення енергоефективності та якості роботи електроенергетичної системи України є актуальною та визначила напрям дисертаційного дослідження.

**Зв'язок роботи з науковими програмами та планами.** Дисертаційна робота виконана на кафедрі електричних станцій Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут» (НТУ «ХПІ») у рамках господарчо-договірних НДР: «Моделювання енергетичних систем республіки Таджикистану» (№ ДР 1313/07 (99759), «Баркітаджик», республіка Таджикистан), «Розробка алгоритмів управління температурними режимами теплоносія з метою енергозбереження при виробництві теплової енергії на ЗАТ «Харківська ТЕЦ-5» (№ ДР 0107U003014, ЗАТ «Харківська ТЕЦ-5», м. Харків) та держбюджетної НДР МОН України «Контроль стану, діагностика та управління обладнанням ТЕЦ на основі інформаційних технологій» (№ ДР 0106U005158), де здобувач була виконавцем окремих розділів.

**Мета і задачі дослідження.** Метою роботи є вдосконалення методів та засобів управління режимами споживання електричної енергії для підвищення енергоефективності режимів роботи розподільчих мереж в системах електропостачання побутового сектору.

Для досягнення мети у роботі поставлені наступні задачі:

- провести аналіз сучасного стану проблем, існуючих методів та засобів підвищення енергоефективності режимів роботи систем електроспоживання побутового сектору;
- виконати оцінку потенційного економічного ефекту від вирівнювання графіків електричного навантаження (ГЕН) в об'єднаній енергетичній системі (ОЕС) України за рахунок побутового сектору;
- визначити тип та необхідні характеристики побутових споживачів-регуляторів для обґрунтування можливості управління ними;
- удосконалити метод для вирівнювання ГЕН у системах електроспоживання побутового сектору;
- удосконалити методи управління при несиметричних режимах систем електроспоживання побутового сектору;
- удосконалити спосіб електропостачання побутових споживачів та запропонувати технічні засоби для його реалізації;
- провести оцінку заохочуючих заходів для побутових споживачів з регулювання обсягів електроспоживання в часі та визначити найбільш ефективніші з них.

*Об'єкт дослідження* – режими роботи систем електропостачання побутових споживачів як складової частини режимів роботи енергосистеми.

*Предмет дослідження* – методи та засоби управління режимами роботи систем електропостачання побутового сектору, ГЕН та зниження втрат електричної енергії у розподільчих мережах побутового сектору.

**Методи дослідження.** При виконанні дисертаційної роботи використані методи теорії математичного моделювання для проведення оцінки потенційного економічного ефекту від вирівнювання ГЕН ОЕС України за рахунок споживачів-регуляторів електричної енергії побутового сектору. Визначення характеристик споживачів, що дозволяють їм виконувати функції регуляторів, здійснювалося за допомогою методів математичної статистики. Методи розрахунків електричних кіл змінного струму, метод симетричних складових для визначення характеристик несиметричних режимів роботи систем електропостачання побутового сектору. Теорія нечітких множин, методи теорії математичного моделювання, методи теорії автоматичного керування – для розробки методу симетрування режимів електропостачання побутового сектору.

**Наукова новизна отриманих результатів:**

- визначені необхідні характеристики електричних водонагрівачів ємнісного типу (ЕВН ЄТ) на основі обробки статистичної інформації щодо споживання гарячої води в квартирах з різною кількістю мешканців для отримання можливості управління ними, а саме встановлена потужність та

об'єм ЕВН ЄТ – споживача-регулятора, необхідні для квартир з різною кількістю мешканців;

- розвинуто та пристосовано до умов побутового сектору пріоритетно-кроковий метод вирівнювання ГЕН, заснований на реалізації критерію оптимального розподілення включення споживачів-регуляторів на визначеному проміжку часу, що відрізняється врахуванням особливостей роботи побутових споживачів-регуляторів. Таким чином, підвищується енергоефективність режимів роботи систем електропостачання побутового сектору та зменшується навантаження на елементи систем електропостачання побутового сектору, що в свою чергу призводить до мінімізації капітальних витрат на розвиток мереж систем електропостачання побутового сектору;

- удосконалено метод симетрування режимів роботи мереж, які живлять побутових споживачів, що відрізняється використанням у якості симетруючого ресурсу навантаження самих споживачів-регуляторів побутового сектору. За рахунок впровадження методу підвищується якість електричної енергії та енергоефективність систем електропостачання побутових споживачів;

- вперше розроблена методика визначення плати за послуги регулювання побутовим споживачам-регуляторам, де плата розраховується за кількістю відмов на включення побутовим споживачам-регуляторам у відповідні зоні пікового або напівпікового споживання електричної енергії. Плата є заохочуючим інструментом для залучення побутових споживачів до процесу управління режимами роботи системи електропостачання.

**Практична цінність одержаних результатів роботи** для електроенергетичної галузі полягає в наступному:

- метод управління побутовими споживачами реалізований у вигляді програмного продукту, який дає змогу керувати пристроєм управління електричним навантаженням для вирівнювання ГЕН у побутовому секторі;

- розроблено пристрій управління електричним навантаженням (Патент України на корисну модель UA №52142, бюл №15 10.08.2010);

- удосконалено спосіб електропостачання побутових споживачів для реалізації управління режимами роботи систем електропостачання побутового сектору;

- розроблена методика розрахунку тарифу для побутових СР.

Практична цінність підтверджена актами про впровадження результатів дисертаційної роботи на АК «Харківобленерго» (м. Харків) та в Управлінні паливно-енергетичного комплексу обласної державної адміністрації Харківської області (м. Харків).

Результати дисертаційної роботи використані в навчальному процесі на кафедрі електричних станцій НТУ «ХП» для підготовки студентів зі спеціальностей 05070101 – «Електричні станції», 05070108 – «Енергетичний менеджмент».

**Особистий внесок здобувача.** Всі наукові положення і результати, наведені в дисертаційній роботі, отримані здобувачем особисто. Серед них: дослідження сучасних методів та засобів підвищення енергоефективності

систем електропостачання побутових споживачів; проведення оцінки заохочуючих заходів для регулювання рівнів електроспоживання в часі; визначення необхідних характеристик ЕВН ЄТ; визначення та розвиток пріоритетно-крокового методу вирівнювання ГЕН у побутовому секторі; удосконалення методу симетрування режимів мереж, які живлять побутових споживачів; удосконалення способу електропостачання побутових споживачів та розробка засобів для його реалізації; розробка методики визначення плати за послуги регулювання побутовим споживачам-регуляторам.

**Апробація роботи.** Результати досліджень доповідались та обговорювались на: Міжнародній науково-технічній конференції «Новітні технології та енергоефективність в світлотехніці та електроенергетиці» (Харків, 2007); V Міжнародній науково-практичній конференції «Нетрадиційні і поновлювальні джерела енергії як альтернативні первинним джерелам енергії в регіоні» (Львів, 2009); XIV, XV, XVI, XVII, XVIII, XIX, XX, XXI Міжнародних науково-практичних конференціях «Інформаційні технології: наука, техніка, технологія, освіта, здоров'я» (Харків, 2006 – 2014 рр.).

**Публікації.** Основний зміст дисертаційної роботи опубліковано в 13 наукових публікаціях, з них: 7 статей у наукових фахових виданнях України (1 – у міжнародній наукометричній базі даних), 1 патент України на корисну модель, 5 – у матеріалах наукових конференцій.

**Структура та обсяг дисертації.** Дисертаційна робота складається зі вступу, п'яти розділів, висновків, списку науково-технічних джерел, 1 додатку. Загальний обсяг дисертації становить 165 сторінок, з них: 25 рисунків по тексту; 28 таблиць по тексту; списку використаних науково-технічних джерел 154 найменувань на 15 сторінках; 1 додаток на 4 сторінках.

## ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У **вступі** обґрунтовано актуальність теми дисертаційної роботи, вказано зв'язок роботи з науковими програмами, планами та темами. Сформульовано мету, задачі, об'єкт та предмет досліджень, зазначено методи виконання досліджень; показано наукову новизну, особистий внесок здобувача та практичне значення отриманих результатів.

У **першому розділі** проаналізовано методи й засоби управління режимів роботи систем електропостачання побутового сектору та їх ефективність.

Показано, що система електропостачання побутового сектору є динамічною структурою, в якій важливу роль відіграють питання управління графіком навантаження та покращення його параметрів. Відмічено, що управління може бути виконане найбільш ефективно шляхом використання споживачів-регуляторів. При цьому істотний вплив здійснюється і на підвищення надійності електропостачання, оскільки максимальне навантаження частково переноситься в години резерву потужності енергосистеми.

Доведено пряму залежність між вирівнюванням ГЕН, оптимальним розподіленням навантаження за фазними проводами системи електропостачання та технологічними втратами на вищих рівнях системи електропостачання побутового сектору. Наведені показники, що

характеризують функціональну ефективність діючої системи електропостачання і проаналізовані тенденції їх динаміки в залежності від ефективності регулювання ГЕН.

Проведений аналіз довів необхідність одночасного покращення процесу споживання електроенергії та реалізації процесу вирівнювання ГЕН, оптимального розподілення навантаження по фазам системи. Вказано, що реалізація даного підходу можлива лише за умови комплексного підходу та наявності технічних засобів. Доведено, що для розв'язання даної задачі доцільно користуватись пріоритетно-кроковим методом та апаратом нечіткої логіки.

У **другому розділі** визначено потенційний загальний ефект від вирівнювання ГЕН ОЕС України за рахунок побутових споживачів-регуляторів, як основа для подальшого удосконалення систем керування побутовим електроспоживанням. Проаналізовано механізм формування роздрібного тарифу на електричну енергію для побутових споживачів, проаналізовані складові, від який залежить тариф, визначені складові, які безпосередньо залежать від режимів споживання електричної енергії, а саме

$$\begin{cases} \mathcal{C}_P^{C3} = f(D_{\text{бр}}^{\text{мн}}, D_{\text{бр}}^{\text{розв}}) = f(D), \\ k_i = f(\Delta A_{\text{ЛЗі}}, \Delta A_{\text{ТЗі}}) = f(D; k_H), \end{cases} \quad (1)$$

де  $\mathcal{C}_P^{C3}$  – прогнозована середня закупівельна ціна електричної енергії у розрахунковому місяці, на який встановлюються роздрібні тарифи на електричну енергію;  $D_{\text{бр}}^{\text{мн}}$  – плата електростанції за маневреність;  $D_{\text{бр}}^{\text{розв}}$  – плата за розвантаження станції нижче мінімально допустимого складу устаткування станції;  $k_i$  – економічний коефіцієнт нормативних технологічних втрат електричної енергії відповідного класу напруги;  $\Delta A_{\text{ЛЗі}}, \Delta A_{\text{ТЗі}}$  – змінні втрати електричної енергії від сумарного перетікання енергії по ЛЕП та трансформаторах відповідного ступеня напруги;  $D$  – дисперсія потужності;  $k_H$  – коефіцієнт несиметрії струмів.

При використанні ресурсу побутових споживачів-регуляторів загальний ефект для енергосистеми складається із:

1) зниження  $D_{\text{бр}}^{\text{мн}}$  ТЕС (згідно даних на 04.05.2013 р., взятих з офіційного сайту ОРЕ України), з урахуванням загальної потужності побутових споживачів-регуляторів (4950 МВт), дає ефект 2417,843 тис. грн./добу, або 0,5 грн./кВт (табл.1).

Таблиця 1 – Техніко-економічний ефект від зниження плати за маневреність

$K_{3\text{ГЕН}}$	0,824 (факт 04.05.13)	0,841	0,858	0,867	0,88 (з урахуванням потужності побутових СР)
$D_{\text{бр}}^{\text{оп}}$ (грн/добу)	8300716	7495896	6551133	6304060	5882873
$\Delta D_{\text{бр}}^{\text{оп}}$ (грн)	–	804820	1749583	1996656	2417843
$\Delta D_{\text{бр}}^{\text{оп}}$ (%)	–	9,70	21,08	24,05	29,13

2) збільшення частки генерації електричної енергії АЕС (згідно даних періоду з 01.05.2013 по 10.05.2013 взятих з офіційного сайту ОРЕ України).

Збільшення коефіцієнту заповнення ГЕН до 0,88 дає змогу збільшити частку покриття АЕС з 46 до 49,9 %, що за умови меншої вартості ЕЕ від АЕС дає ефект у розмірі 4780,6 тис. грн./добу, або 0,97 грн./кВт.

У якості СР обрані ЕВН ЄТ. Ресурс цих електроприймачів у побуті є значним і має тенденцію до зростання (рис. 1).

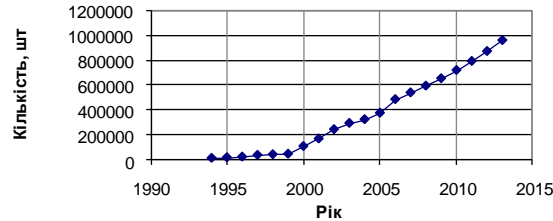


Рисунок 1 – Статистика продажу електричних водонагрівачів ємнісного типу ЕВН ЄТ

Окрім цього ЕВН ЄТ, виходячи з принципу роботи, призначені для частих комутацій та мають здатність до акумулювання теплової енергії води.

Для отримання можливості залучення споживачів-регуляторів побутових користувачів ЕЕ до управління режимами енергетичної системи розроблено методику визначення плати за послуги «регулювання».

Перенесення часу роботи електроприймачів на час поза пікового споживання передбачає відмову на його включення у визначених проміжках часу. Таким чином, критерієм оцінки дискомфорту кінцевого споживача є вартість однієї відмови на включення у відповідній позапіковій зоні («пік» або «напівпік»),  $C_{Bi}$ . Плата за послуги «регулювання»  $P_p$ , визначається

$$P_p = \sum n_i \cdot C_{Bi}, \quad (2)$$

де  $n_i$  – кількість відмов на включення у відповідній зоні позапікового споживання («пік» або «напівпік»).

У свою чергу

$$C_{Bi} = \frac{E_i}{N_i}, \quad (3)$$

де  $N_i$  – сумарна кількість незадоволених запитів на включення у відповідній зоні;  $E_i$  – вартість переносу потужності з відповідної зони.

Загальний вигляд виразу для визначення вартості переносу потужності

$$E = c \cdot \frac{R \cdot W^2 \cdot k_H \cdot (1 + \operatorname{tg}^2(\varphi))}{1,05 \cdot U_{\text{НОМ}}^2 \cdot T_p} \cdot \Delta d, \quad (4)$$

де  $c$  – поточний тариф на електричну енергію, грн.;  $R$  – еквівалентний опір мережі;  $W$  – сумарне перетікання енергії по мережі за розрахунковий період  $T_p$ ;  $k_H$  – коефіцієнт збільшення втрат через нерівномірність розподілу навантаження по фазах мережі;  $\operatorname{tg}(\varphi)$  – коефіцієнт реактивної потужності;  $U_{\text{НОМ}}$  – номінальна напруга мережі;  $d$  – дисперсійний коефіцієнт збільшення втрат електроенергії через нерівномірність ГЕН;  $\Delta d$  – різниця між значеннями дисперсійних коефіцієнтів збільшення втрат електричної енергії через нерівномірність ГЕН до та після вирівнювання.



При регулюванні навантаження проаналізовано два випадки:

1) частка спожитої енергії переноситься з зони максимального споживання в зону мінімального. При цьому поточні значення максимального, мінімального і середнього навантажень набувають вигляду:

$$P'_{max} = P_{max} - \Delta, \quad P'_{min} = P_{min} + \Delta, \quad \bar{P} = const, \quad (5)$$

де  $P'_{max}$ ,  $P'_{min}$  – поточні значення максимального та мінімального навантаження після переносу;  $\bar{P}$  – середнє навантаження за розрахунковий період;  $\Delta$  – кількість перенесеної енергії з зони максимального в зону мінімального споживання.

Функція дисперсійного коефіцієнта від кількості перенесеної енергії з зони максимального в зону мінімального споживання при умовах (5) має вигляд

$$d_{II} = \left[ 1 + \frac{((P_{max} - \Delta) - \bar{P})^2 \cdot (\bar{P} - (P_{min} + \Delta))}{2 \cdot \bar{P}^2 \cdot ((P_{max} - \Delta) - \bar{P}) + (\bar{P} - (P_{min} + \Delta))} \right] = f(\Delta). \quad (6)$$

Для значень  $P_{max}$  та  $P_{min}$  функція  $d_{II} = f(\Delta)$  буде визначена на інтервалі  $\bar{P} < P'_{max} \leq P_{max}$ ;  $0 \leq P'_{min} < \bar{P}$ .

2) частка спожитої енергії переноситься з зони напівпікового споживання в зону мінімального. При цьому поточні значення максимального, мінімального і середнього навантажень набувають вигляду:

$$P'_{max} = P_{max}, \quad P'_{min} = P_{min} + \Delta, \quad \bar{P} = const. \quad (7)$$

Функція дисперсійного коефіцієнту від кількості перенесеної енергії в зону мінімального споживання при умовах (8) має вигляд

$$d_{III} = \left[ 1 + \frac{((P_{max} - \bar{P})^2 \cdot (\bar{P} - (P_{min} + \Delta)))}{2 \cdot \bar{P}^2 \cdot ((P_{max} - \bar{P}) + (\bar{P} - (P_{min} + \Delta)))} \right] = f(\Delta). \quad (8)$$

Для значень  $P_{min}$  функція  $d_{III} = f(\Delta)$  буде визначатися на інтервалі  $0 \leq P'_{min} < \bar{P}$ .

Остаточно підставляючи вирази (6), (8) в (4) отримані значення вартості переносу потужності, відповідно з зони максимального та напівпікового в зону мінімального споживання:

$$E_{II} = c \cdot \frac{R \cdot W^2 \cdot k_H \cdot (1 + tg(\varphi)^2)}{1,05 \cdot U_{НОМ}^2 \cdot T_p} \cdot \left( -\Delta^2 \frac{k}{3} + \Delta \frac{2 \cdot k}{9} \cdot (2 \cdot P_{max} + \bar{P} + P_{min}) \right),$$

$$E_{III} = c \cdot \frac{R \cdot W^2 \cdot k_H \cdot (1 + tg(\varphi)^2)}{1,05 \cdot U_{НОМ}^2 \cdot T_p} \cdot \left( k \cdot \Delta \frac{2 \cdot (P_{max} - \bar{P})^3}{(2 \cdot P_{max} - \bar{P} - 13)^2} \right). \quad (9)$$

Можливість керування побутовими споживачами-регуляторами для отримання технічного ефекту у вигляді вирівнювання графіку покриття дасть змогу знизити оптову закупівельну ціну на електричну енергію за рахунок зниження плати за маневреність, плату за розвантаження станції нижче мінімально допустимого складу обладнання станції, плату за робочу потужність, крім аварійних випадків, збільшити частку покриття ГЕН АЕС. Орієнтовна цифра загального ефекту, якою об'єднана енергетична система

може поділитися зі споживачами у якості плати за послуги «системного регулювання» склала 7198,443 грн./добу або 1,47 грн./кВт. Оцінка загального ефекту у порівнянні з витратами на систему керування побутовим електроспоживанням дасть відповідь щодо доцільності впровадження такої системи.

Розроблена методика дасть можливість пропорційно розподілити економію між споживачами-регуляторами, за часткою участі їх у процесі вирівнювання ГЕН на рівні електропостачальних компаній.

У третьому розділі визначені характеристики споживачів-регуляторів, необхідні для можливості управління ними, виконано розробку методу управління електричним навантаженням споживачів у побуті (на основі пріоритетно-крокового методу) для вирівнювання ГЕН та зменшення втрат електричної енергії.

Для визначення робочого об'єму бака ЕВН ЄТ виконані вимірювання об'ємів витрати гарячої води у квартирах з різною кількістю мешканців. З 20 об'єктів у яких проживало 63 людини була взята вибірка з 2420 окремих значень витрат (рис.2).

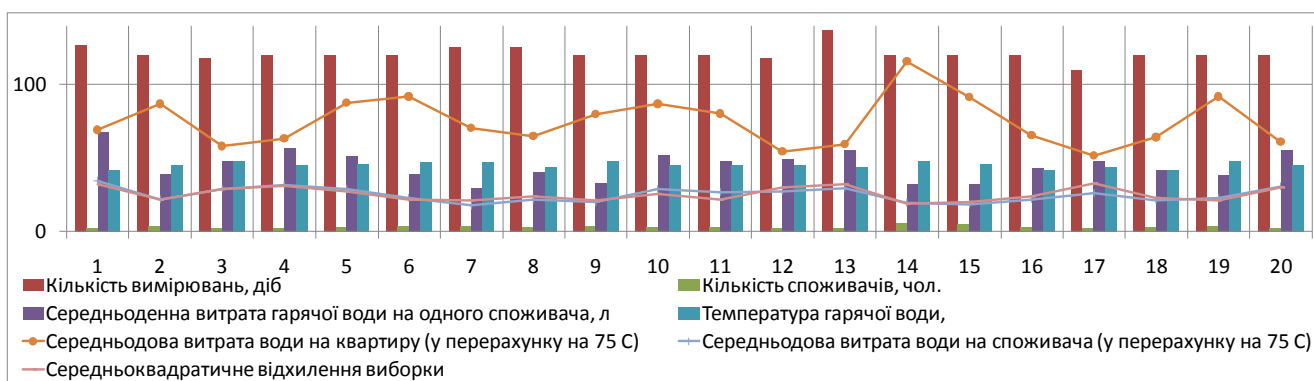


Рисунок 2 – Дані вимірювань витрати гарячої води

У результаті обробки статистичних даних (рис. 2) визначено довірчий інтервал для середнього значення витрати гарячої води при температурі 75°C для заданого значення вірогідності 0,95, який склав  $\mu = 23,99 - 26,07$ .

Середня витрата гарячої води на одну людину за добу складає від 23 до 26 л. При цьому 90 % людей витрачають від 18 до 33 л на день і тільки 5 % – більше 35 л. Таким чином, для визначення об'єму робочого бака ЕВН ЄТ за основу прийнята середньодобова витрата води 35 л на людину.

Виявлено, що відносна розбіжність сумарної витрати гарячої води зменшується зі зростанням кількості споживачів на один ЕВН ЄТ ( $n$ ) (рис. 3). Таким чином, припущено, що об'єм ЕВН ЄТ зменшується зі зростанням  $n$ . Виходячи з цього, статистичним методом знайдено значення яке визначає розбіжність витрат води, використовуючи у якості міри будь-яке значення середньоквадратичного відхилення. Розподіл розбіжностей прийнято нормальним, враховуючи те, що на витрату гарячої води впливає значна кількість факторів. Оскільки середньоквадратичне відхилення  $\sigma_x$  розбіжності

витрат є функцією від кількості людей, які одночасно забезпечуються гарячою водою, то, обробивши результати вимірів, визначено функцію

$$\sigma_x = \frac{C}{\sqrt{n}}, \quad (10)$$

де  $C$  – постійна, яка залежить від середньоквадратичних відхилень функції розподілення витрати гарячої води на одну людину та знаходиться методом найменших квадратів.

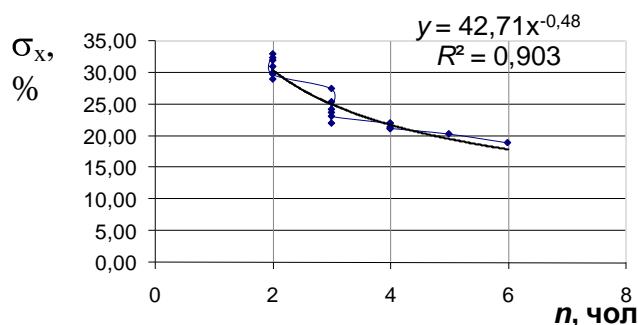


Рисунок 3 – Залежність середньоарифметичного довірчого інтервалу середньоквадратичних відхилень окремих об'єктів від кількості людей, які обслуговуються 1-м ЕВН ЄТ

При розгляді функції розподілення добового споживання гарячої води від одного ЕВН ЄТ виявлено, що для будь-якої витрати є певна частота, а саме в діапазоні між  $(\mu - \sigma_x)$  та  $(\mu + \sigma_x)$  розташовуються 68 % усіх вимірних витрат гарячої води, в діапазоні  $(\mu - 2\sigma_x)$  та  $(\mu + 2\sigma_x)$  – 95,5 %. Таким чином, прийнята гранична умова для визначення об'єму ЕВН ЄТ,  $V$ .

$$V = n \cdot 35 \left(1 + \frac{2\sigma_x}{100}\right). \quad (11)$$

В результаті розрахунків одержані наступні об'єми ЕВН ЄТ(табл.2)

Таблиця 2 – Результати розрахунків

Кількість споживачів	Розрахунковий об'єм ЕВН ЄТ, л	Стандартний об'єм ЕВН ЄТ, що випускається, л
2	112,3	100, 115, 117, 120
3	156,8	150, 160
4	199,8	200
5	241,9	250
6	283,2	280, 295

Рішення задачі вирівнювання групового графіка навантаження  $P(t) = \sum_{r=1}^n p_r(t)$  складається в завданні зрушень  $t_{rs}$  між моментами включення електроприймачів (ЕП), які призводять до мінімуму кореляційної складової дисперсії.  $D_k(t_{rs}) = 2 \sum_{r < s} Kp_{rs}(t_{rs})$ , де  $Kp_{rs}(t_{rs})$  – взаємно кореляційні моменти ГЕН  $r$ -го и  $s$ -го електроприймачів;  $t_{rs}$  – зрушення у часі між графіками  $p_r(t)$  и  $p_s(t)$ , тобто зрушення між моментами включення (відключення) ЕП, для яких визначається взаємно кореляційна функція відносно обраного початку відліку.

В умовах побуту невідомо які саме споживачі будуть включатися, що обумовлено людським фактором, тобто визначити взаємно кореляційні моменти ГЕН  $r$ -го и  $s$ -го електроприймачів (СР) не є можливим. У таких умовах доцільно враховувати кореляційні моменти групового графіка навантаження та ГЕН електроприймача. Для спрощення здійснено перехід до понять дисперсії та сформульовано наступну умову

$$\sum_{r=1}^n (DP_{\text{ГЕН}} + Dp_r(t_{\text{ГЕН}r})) \rightarrow \min, \quad (12)$$

що є умовою вирішення задачі вирівнювання ГЕН у побуті.

Для реалізації (12) розвинуто пріоритетно-кроковий метод та загальний підхід реалізовано поетапно за схемою:

Зміст етапу	Графічне зображення	Формула для розрахунку
1. Обчислюється дисперсія ГЕН кожного зі СР, які беруть участь у процесі вирівнювання		$DP = p_{ck}^2 - p_c^2$
2. Згідно отриманих значень дисперсій будується пріоритетний ряд ГЕН СР за умови зменшення значень дисперсії, тобто за умови виконання умови $DP_i > DP_{i+1}$ , де $i$ – порядковий номер ГЕН СР у пріоритетному ряду. Пріоритетний ряд будується на обраному інтервалі часу.		$D_1 > D_2 > \dots > D_n$
3. Покроково у порядку пріоритетного ряду обирається момент включення СР у груповий ГЕН на обраному інтервалі часу за умови виконання (12).		$\sum_{r=1}^n (DP_{\text{ГЕН}} + Dp_r(t_{\text{ГЕН}r})) \rightarrow \min$

Для управління використовувалися двохступінчаті моделі графіків навантаження СР – ЕВН ЄТ, які визначаються формулою:

$$P(t) = \begin{cases} P_1, & 0 \leq t \leq t_1, \\ P_2, & t_1 \leq t \leq t_2, \end{cases} \quad (13)$$

$$[0; t_1] = f(t_k - t_0),$$

де  $P_1$  – величина потужності першої ступені, дорівнює потужності ЕВН ЄТ, кВт;  $P_2$  – величина потужності другої ступені, дорівнює 0, кВт;  $[0; t_1]$  – період роботи ЕВН ЄТ з потужністю  $P_1$ ;  $[t_1; t_2]$  – період простою –  $P_2$ ;  $t_k$  – задана температура нагріву води для ЕВН ЄТ;  $t_0$  – фактична температура води у баку ЕВН ЄТ.

Робота побутових СР має випадковий характер, але відомі значення  $P_1, P_2$  які визначаються потужністю СР, інтервал часу  $[0; t_1]$  за умови, що відома різниця  $[t_k - t_0]$ . А також обраний інтервал часу – час позапікового споживання електричної енергії в енергетичній системі споживача.

Таким чином, у розділі визначені основну характеристику для СР (ЕВН ЄТ) – об'єм робочого баку. З табл. 2 видно, що для кожного з розрахованих об'ємів можливо підібрати ЕВН ЄТ, який випускається наразі промисловістю. Розвиток пріоритетно-крокового методу дозволило пристосувати його до умов побуту для вирівнювання ГЕН. Метод передбачає перенесення роботи СР у період позапікового споживання електричної енергії в енергетичній системі споживача та вирівнювання сумарного ГЕН СР у цій зоні. Це призводить до зменшення ранішніх та вечірніх «піків», підвищення рівня «позапікового споживання». Для тестування методу був розроблений програмний продукт. Вхідні дані програми –  $n$  потужностей  $P_1, P_2$  двохступеневого ГЕН ЕВН ЄТ, тривалість кожної зі ступеней. Де  $n$  – кількість ЕВН ЄТ, які беруть участь у процесі вирівнювання ГЕН. На виході – вирівняний груповий ГЕН споживачів-регуляторів.

У четвертому розділі розроблена узагальнена процедура для управління розподілом навантаження по фазним дротам системи електропостачання на основі апарата нечіткої логіки, визначені умови, за яких процес симетрування є нестійким.

Ідея методу полягає у наступному. З переліку побутових побутових електроприймачів виділяються СР, які будуть виконувати функцію симетруючого ресурсу. Для симетрування режимів ці споживачі під'єднуються до найменш або від'єднуються від найбільш завантаженої фази системи. Необхідність комутації визначається на основі поточних значень коефіцієнту несиметрії струму за нульовою послідовністю,  $k_{(0)}$  та швидкості зміни даного коефіцієнта  $V_{k_{нес}}$  (рис. 4).

Доведено, що доцільно процес симетрування виконувати на рівні трансформаторної підстанції. Оскільки розподіл навантаження здійснюється у режимі реального часу, то розроблений метод був реалізований з використанням апарата нечіткої логіки.

При проведенні досліджень розглядається фаззі-регулятор з двома вхідними та одним вихідним параметрами.



Рисунок 4 – Симетрування режимів роботи системи електропостачання побутового сектору

До вхідних параметрів регулятора відносяться  $k_{0(1)}$  та  $V_{k_{нec}}$  :

$$k_{0(1)i} = \frac{\sqrt{3} \cdot I_{0(1)i}}{I_{1(1)i}}, \quad (14)$$

$$V_{k_{нec}} = \frac{dk_{нec}}{dt}, \quad (15)$$

де  $I_{0(1)i}$  – струм нульової послідовності, А;  $I_{1(1)i}$  – струм прямої послідовності, А.

Вихідним параметром є значення потужності  $P$ , яку необхідно відключити/підключити від/до найбільш/найменш завантаженої фази.

Для визначення значення вихідного параметру досліджені режими споживання електричної енергії за симетрією навантаження фаз у чотирьох - дротяних системах, що притаманно для побутових мереж електропостачання, тобто  $k_{0(1)i} = f(\Delta I)$ , де за  $\Delta I$  прийнято відхилення мінімально завантаженої від максимально завантаженої фази системи електропостачання. В процесі дослідження проаналізовані випадки режимної несиметрії, що відповідали умові  $0 \leq k_{0(1)i} \leq 4$ . (рис. 5)

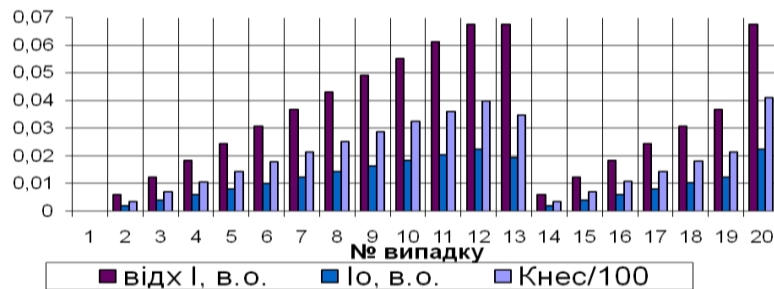


Рисунок 5 – Залежність коефіцієнту несиметрії за нульовою послідовністю від відхилення значень струму по фазних дротах системи електропостачання

На основі методу симетричних складових для виділення прямої та нульової послідовностей струму у роботі в системі Matlab розроблено фільтр симетричних складових.

Виходячи з отриманих результатів, максимальне значення потужності регулюючого ресурсу в нормально допустимих границях має бути 4 % від максимально завантаженої фази, в граничнодопустимих – 7 %.

Випадок, коли  $k_{0(1)i} > 4$ , вважаємо постійною несиметрією завантаження фаз системи електропостачання, яка може бути ліквідована перерозподілом навантаження по фазним дротам системи.

Для лінгвістичних змінних фаззі-регулятора  $k_{0(1)i}$ ,  $V_{k_{нec}}$  визначаються нечіткі множини з відповідними ідентифікаторами для функцій належності  $\mu(k_{0(1)i})$ ,  $\mu(V_{k_{нec}})$  і формуються дві функції належності. В одному випадку аргументом є параметр  $k_{0(1)i}$  та  $V_{k_{нec}}$  (рис. 6). Для  $\mu(k_{0(1)i})$  ідентифікатори формулюються наступним чином: «нульовий» ( $k_{нec\_0}$ ), «маленький» ( $k_{нec\_мал}$ ), «допустимий» ( $k_{нec\_дон}$ ), «гранично-допустимий» ( $k_{нec\_сп-дон}$ ), «недопустимий»

$(k_{k_{нес\_недоп}})$ ; для  $\mu(V_{k_{нес}})$  – «негативна велика» ( $V_{k_{нес\_нег\_вел}}$ ), «негативна» ( $V_{k_{нес\_нег}}$ ), «негативна маленька» ( $V_{k_{нес\_нег\_мал}}$ ), «нульова» ( $V_{k_{нес\_0}}$ ), «позитивна маленька» ( $V_{k_{нес\_поз\_мал}}$ ), «позитивна» ( $V_{k_{нес\_поз}}$ ), «позитивна велика» ( $V_{k_{нес\_поз\_вел}}$ ).

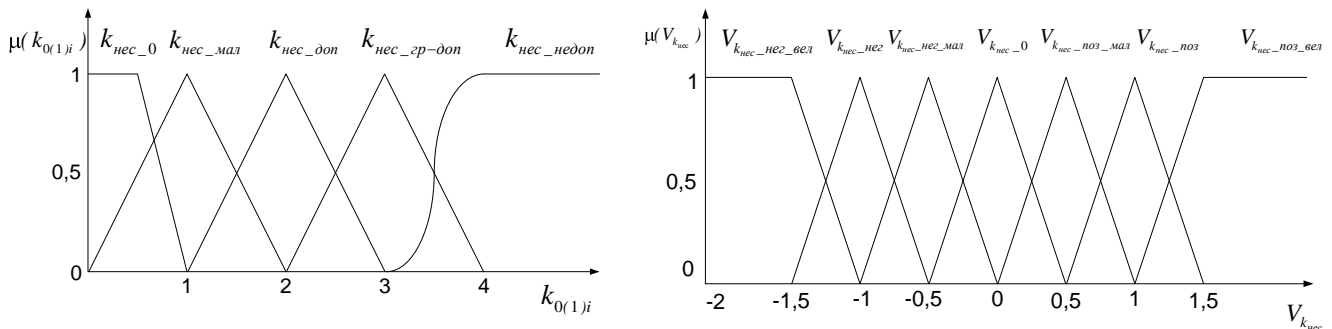


Рисунок 6 – Вхідні лінгвістичні функції належності

За допомогою функції належності (рис. 7) задається необхідна кількість навантаження, що підключається до найменш завантаженої фази.

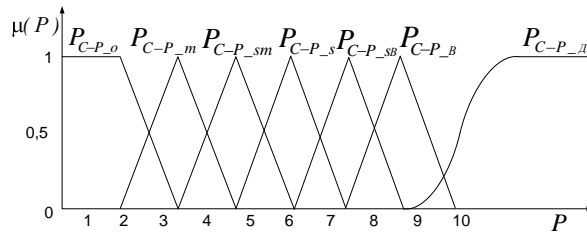


Рисунок 7 – Вихідна лінгвістична функція належності

Нечіткі змінні мають ідентифікатори: «нульова» ( $P_{C-P_o}$ ), «маленька» ( $P_{C-P_m}$ ), «середня маленька» ( $P_{C-P_sm}$ ), «середня» ( $P_{C-P_s}$ ), «середня велика» ( $P_{C-P_sb}$ ), «велика» ( $P_{C-P_b}$ ), «дуже велика» ( $P_{C-P_дв}$ ).

За результатами експериментів сформовано систему логічних висновків

$$\bigcup_{p=1}^{k_j} [\bigcap_{i=1}^n (x_i = a_i^{jp})] \rightarrow d_j, j = 1, m. \quad (16)$$

Реалізація нечіткого виводу та композиція виконані відповідно на основі виразів Заде та Мамдані

$$\bigcup_{p=1}^{k_j} [\bigcap_{i=1}^n (x_i \circ (a_i^{jp} \times d_j))] \rightarrow d_j. \quad (17)$$

Система управління навантаженням здатна ефективно працювати при будь-яких значеннях струму, що є важливою технічною особливістю даної розробки, а також не потребує постійної переналадки й налаштування, в умовах зміни електроприймачів та конфігурації системи електропостачання.

У п'ятому розділі наведена система для реалізації можливості управління електричним навантаженням побутового сектору, виконана верифікація розроблених методів на реальному об'єкті для оцінки їх працездатності.

Спосіб електропостачання побутових споживачів, полягає у тому, що споживачі-регулятори до джерела живлення підключаються за допомогою

окремого додаткового проводу, який за допомогою вимикача з прийомним пристроєм підключається на будь-яку з фаз на розподільчій установці трансформаторної підстанції рис.9.

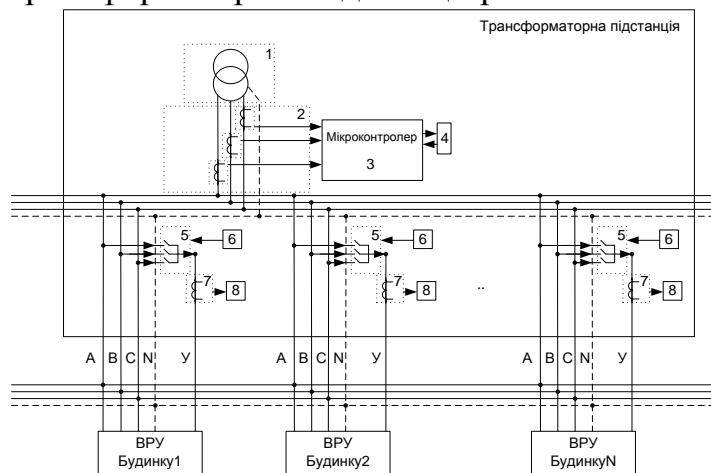
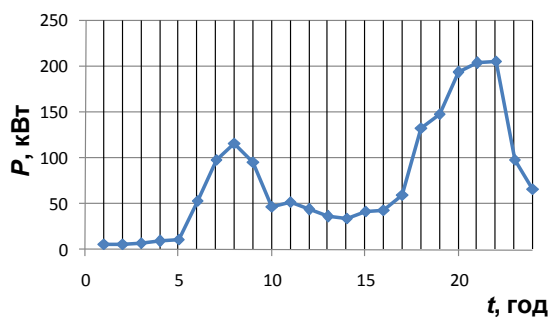


Рисунок 9 – Схема системи електропостачання побутових споживачів з можливістю управління ними

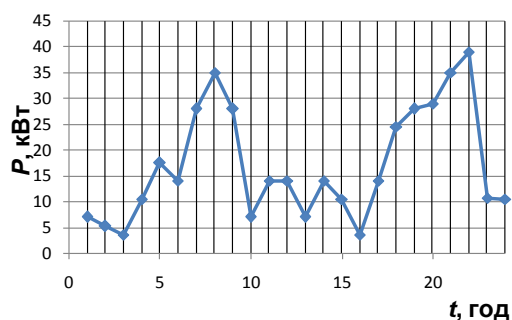
На рис.9 позначено: понижуючий трансформатор 1, відно-розподільчі пристрої в будинків (1, 2 ..n), в яких некеровані споживачі електричної енергії підключені до фазних проводів А, В, С, а керовані споживачі-регулятори – до окремого проводу У, датчики струму 7 з передавальними пристроями 8, які посилають сигнал на приймально-передавальний пристрій 4 мікроконтролера 3. Вимикачі 5 з приводами підключають кероване

навантаження до фаз лінії 0,4 кВ з прийомними пристроями 6. Датчики струму 2, встановлені на шини 0,4 кВ трансформаторної підстанції подають сигнал на аналогові входи мікроконтролера 3. Перемикання окремого проводу з однієї фази на іншу здійснюється на трансформаторній підстанції.

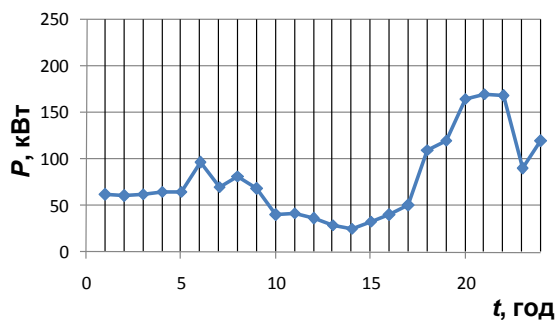
Верифікація методів виконана на житловому багатоквартирному будинку. Результати застосування пріоритетно-крокового методу вирівнювання наведено на рис. 10



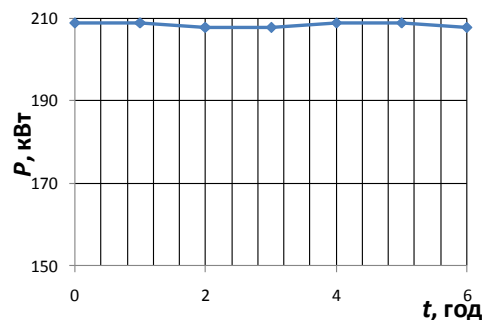
а)



б)



в)



г)

а – типовий ГЕН житлового будинку; б) графік навантаження CP (ЕВН ЄТ); в) графік споживання електричної потужності електроприймачами житлового будинку після вирівнювання

Рисунок 10 – Результати застосування пріоритетно-крокового методу



За результатами розрахунків по графікам рис. 10 отримані значення:

$$K_{\text{ф до вирівнюван ня}} = 1,35, K_{\text{ф після вирівнюван ня}} = 1,15,$$

$$P_{\text{ср}} = 2,11 \text{ грн/ЕВН ЄТ } 1,5 \text{ кВт}.$$

На рис. 11 наведено добовий ГЕН будинку до та після симетрування.

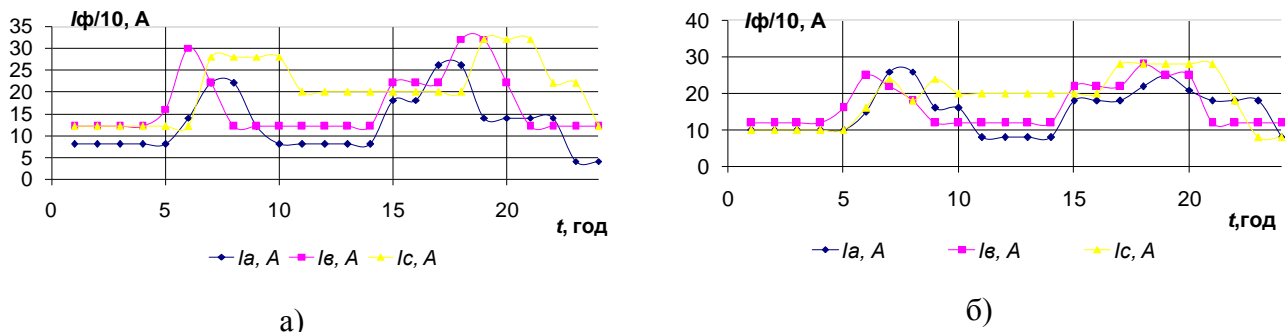


Рисунок 11 – Графіки електричного навантаження за струмом 9-ти поверхового будинку до симетрування (а) та після (б)

Відхилення найбільш завантаженої фази від найменш завантаженої до та після симетрування наведено на рис. 12

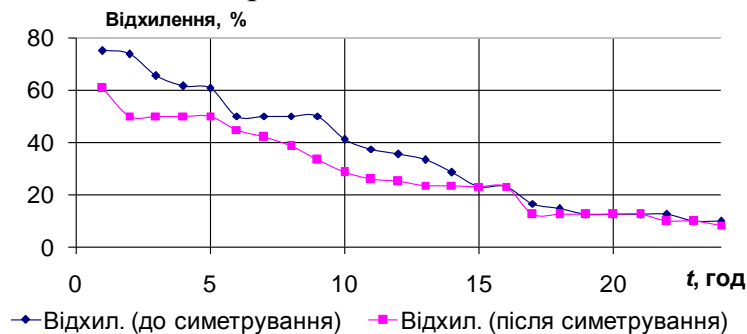


Рисунок 12 – Відхилення найбільш завантаженої фази від найменш завантаженої до та після симетрування

Середньодобовий коефіцієнт несиметрії за нульовою послідовністю до симетрування склав 4,13, після – 2,75. Кількість зекономленої на протязі доби електричної енергії за рахунок симетрування склало 19,54 кВт·год при добовому споживанні електричної енергії користувачами житлового будинку 524,17 кВт·год.

Верифікація розроблених методів показала їх працездатність та ефект від реалізації, який відображений у зменшенні коефіцієнту форми ГЕН та коефіцієнту несиметрії системи електропостачання будинку.

## ВИСНОВКИ

У дисертаційній роботі вирішена науково-практична задача підвищення енергоефективності режимів роботи розподільчих мереж систем електропостачання у побутовому секторі за рахунок розроблених методів вирівнювання ГЕН та симетрування режимів споживання електричної енергії за фазами системи у побуті за рахунок ресурсу побутових споживачів-регуляторів.

1. Проведений детальний аналіз сучасних методів та засобів підвищення енергоефективності режимів роботи систем електропостачання побутових споживачів, на основі якого зроблено висновок, що найбільш

ефективними з них є методи активного керування кінцевими споживачами для можливості активного впливу на рівень втрат електричної енергії у відповідних системах. Також виявлено, що серед побутових СР ЕВН ЄТ є найбільш поширенішими та за своїми характеристиками є найбільш зручними для залучення їх до процесу керування.

2. Виконана оцінка потенційного економічного ефекту від вирівнювання ГЕН в ОЕС України за рахунок побутового сектору, яка у порівнянні з витратами на систему керування побутовим електроспоживанням дала відповідь щодо доцільності впровадження такої системи.

3. Визначені тип (електричні водонагрівачі ємнісного типу) та необхідні характеристики (об'єм робочого баку) побутових СР для обґрунтування можливості управління ними при процесах вирівнювання ГЕН та симетрування режимів систем електропостачання побуту. Виявлено, що у вищенаведених процесах можуть брати участь ЕВН ЄТ, які наразі випускаються промисловістю.

4. На основі аналізу існуючих методів вирівнювання ГЕН визначено, що найбільш ефективним з них для умов споживання побутового сектору є пріоритетно-кроковий метод, який був удосконалений та пристосований до умов побуту. На основі цього отримана можливість управління споживачами-регуляторами в цьому секторі.

5. Удосконалений метод управління при несиметричних режимах систем електроспоживання побутового сектору за рахунок ресурсу побутових СР, який дає можливість в режимі реального часу рівномірно розподілити споживання за фазами системи електропостачання побуту.

6. Удосконалено спосіб електропостачання побутових споживачів та запропоновані засоби для його реалізації, що дало можливість втілити розроблені вище методи на реальному об'єкті 9-ти поверховому житловому будинку.

7. Проведена оцінка заохочуючих заходів для регулювання рівнів електроспоживання в часі. Виявлено, що найбільш ефективним заохочувальним заходом регулювання побутового електроспоживання є матеріальні стимули. На основі цього розроблена методика визначення плати за послуги регулювання побутовим споживачам-регуляторам.

8. Результати наукових досліджень, а також практичних розробок, які виконані у дисертаційній роботі, втілені в проектну та експлуатаційну практику АК «Харківобленерго», Управління паливно-енергетичного комплексу Харківської обласної державної адміністрації, а також в навчальний процес для підготовки студентів-електроенергетиків спеціальностей 7.05070101 – «Електричні станції», 7.05070108 – «Енергетичний менеджмент».

## **СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ**

1. Черкашина Г.И. Новый подход к классификации потребителей электрической энергии / А. П. Лазуренко, Г. И. Черкашина, Д. С. Лисичкина // Світлотехніка та електроенергетика. – Харків: ХНАМГ. – 2008 р. – №1. – С. 76 – 80.

*Здобувачем запропонована нова класифікація споживачів електричної енергії з урахуванням класифікаційної ознаки щодо можливості керування ними.*

2. Черкашина Г. И. Аккумуляирование энергии в бытовом секторе / А. П. Лазуренко, Г. И. Черкашина // Світлотехніка та електроенергетика. – Харків: ХНАМГ. – 2008 р. – №4(16). – С. 57 – 63.

*Здобувачем проведений огляд можливостей та технічних рішень по акумулюванню енергії у побутовому секторі, визначені технічні можливості вирішення задачі вирівнювання графіка електричного навантаження енергосистеми за рахунок побутових споживачів-накопичувачів енергії.*

3. Черкашина Г. И. Определение возможного экономического эффекта от выравнивания графика электрической нагрузки (ГЭН) объединенной энергетической системы Украины / А. П. Лазуренко, Г. И. Черкашина // Світлотехніка та електроенергетика. – Харків: ХНАМГ. – 2009 р. – №1(17). – С. 4 – 12.

*Здобувачем визначений можливий економічний ефект від вирівнювання графіка електричного навантаження об'єднаної енергетичної системи України, у тому числі за рахунок побутових споживачів-регуляторів.*

4. Черкашина Г. И. Анализ характеристик электропотребления жилого дома / А.П. Лазуренко, Г.И. Черкашина // Вісник НТУ «ХПІ». – Харків: НТУ «ХПІ» – 2010. – №1.– С. 113 – 118.

*Здобувачем виконаний розрахунок характеристик споживання електричної енергії житлового будинку, проаналізований та розрахований вплив кожної з них на втрати електричної енергії.*

5. Лазуренко О.П., Черкашина Г.І. Щодо визначення вартості електричної енергії для побутових споживачів//Вісник НТУ «ХПІ». – Харків: НТУ «ХПІ». – 2014. – №24(1067). – 146 с., С. 50 – 55.

*Здобувачем проаналізований механізм формування тарифу на електричну енергію для побутових споживачів, виявлені фактори, які безпосередньо впливають на розмір тарифу, визначений реальний тариф на електричну енергію для побутових споживачів.*

6. Лазуренко О.П., Черкашина Г.І. Щодо визначення об'єму робочого баку електричного водонагрівача ємнісного типу // Вісник НТУ «ХПІ». – Харків: НТУ «ХПІ». – 2014. – № 56 (1098). – С. 83–90.

*Здобувачем виконаний розрахунок та визначені характеристик побутових електричних водяних нагрівачів для можливості участі їх в процесі вирівнювання графіка електричного навантаження енергосистеми.*

7. Черкашина Г.И. Симметрирование режимов работы системы электроснабжения бытового сектора // Энергетика. Энергосбережение. Энергоаудит.: –Харків : 2015. – №4. – С. 28-33.

*Здобувачем розроблено нечітку модель управління електричним навантаженням побутового сектору та нечіткий метод управління для можливості симетрування режимів електроспоживання систем електропостачання побутового сектору. Удосконалено спосіб*

*електропостачання побутових споживачів для реалізації управління режимами роботи систем електроспоживання побутового сектору.*

8. Черкашина Г.І. Пристрій керування електричним навантаженням / Лазуренко О.П., Черкашина Г.І. // Патент України на корисну модель UA №52142, 10.08.2010, бюл №15.

*Здобувач запропонувала конструкцію та принцип дії пристрою управління електричним навантаженням для вирівнювання ГЕН у побуті.*

9. Черкашина Г.І. Реформирование регионального рынка тепловой энергии: неизбежность и перспективы / Г. К. Вороновский, С. А. Сергеев, Г. И. Черкашина // Экономическая безопасность государства и интеграционные формы ее обеспечения / Под общ. редакцией Г. К. Вороновского, И. В. Недина. – Киев: Знання України. – 2007. – С. 133 – 153.

*Здобувачем досліджено можливості реформування регіонального ринку теплової енергії з урахуванням застосування електричного нагріву для потреб гарячого водопостачання та необхідності керування цими джерелами.*

10. Черкашина Г. И. Бытовой потребитель как активный участник новой модели рынка электрической энергии Украины / А. П. Лазуренко, Г. И. Черкашина // Праці 5-ї Міжнародної науково-практичної конференції «Нетрадиційні і поновлювальні джерела енергії як альтернативні первинним джерелам енергії в регіоні». – Львів, НУ «ЛПІ». – 2009. – С. 41-46.

*Здобувачем визначено передумови та перспективи переходу побутових споживачів зі статусу «пасивний» до статусу «активний» споживач електричної енергії.*

11. Черкашина Г.И. Техничко-економический эффект от выравнивания графика электрической нагрузки за счет бытовых потребителей-регуляторов / С.Ф. Артюх, А.П. Лазуренко, Г.И. Черкашина / Материалы Международной научно-практической конференции «Современные научные достижения и их практическое применение (20-22 октября, 2014)». – К. : Знання України, 2014. – 131 [1] с.: іл., табл. – С. 7 – 15.

*Здобувачем визначений техніко-економічний ефект від вирівнювання ГЕН за рахунок побутових СР, запропонований можливий шлях оплати послуг «регулювання» побутових СР.*

12. Черкашина Г.І. Щодо визначення плати побутовим споживачам-регуляторам за надання послуг «системного регулювання» / О.П. Лазуренко, К.В. Махотіло, Г.І. Черкашина / Proceedings of the International Scientific and Practical Conference «Science and Education – Our Future (November 24-26, 2014) Abu Dhabi». – Dubai.: Rost Publishing, 2014. p.24-32.

*Здобувачем розроблено методіку визначення плати побутовим СР за надання ними послуг «системного регулювання».*

13. Черкашина Г.І. Вирівнювання графіку електричного навантаження у побутовому секторі // Proceedings of the International Scientific and Practical Conference «Methodology of modern research (21-22 march, 2015) Abu Dhabi». – Dubai.: Rost Publishing, 2015. p.24-32.

*Здобувачем розроблено метод управління СР для вирівнювання ГЕН у побуті.*

## АНОТАЦІЇ

**Черкашина Г.І. Підвищення енергоефективності системи електропостачання за рахунок управління електричним навантаженням у побутовому секторі.** – На правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.14.02 – електричні станції, мережі і системи. – НТУ «ХПІ». – Харків, 2015.

Дисертацію присвячено теоретичному обґрунтуванню і вирішенню наукового завдання стосовно розробки методів керування електричним навантаженням в системах електропостачання побутових споживачів, які доведені до стадії практичного застосування та можуть використовуватись для вирівнювання ГЕН та симетрування режимів електропостачання у побутовому секторі. Для цього розроблена нова схема системи електропостачання побутових споживачів з можливістю управління виділеним навантаженням. Визначені тип та основні характеристики побутових споживачів-регуляторів, що дозволяють керувати ними на протязі доби. Заохочення побутових споживачів до надання «послуг з регулювання» здійснюється за рахунок методики визначення плати побутовим СР за послуги регулювання. Проведена оцінка загального ефекту від вирівнювання ГЕН ОЕС України, значення якого в порівнянні з вартістю розробленої системи управління дає відповідь щодо економічної доцільності її впровадження.

*Ключові слова:* енергоефективність, побутовий сектор, система електропостачання, графік електричного навантаження, споживач-регулятор, коефіцієнт форми, коефіцієнт несиметрії, фаззи-регулятор.

**Черкашина Г.И. Повышение энергоэффективности системы электроснабжения за счет управления электрической нагрузкой в бытовом секторе.** – На правах рукописи.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.14.02 – электрические станции, сети и системы. – НТУ «ХПИ». – Харьков, 2015.

Диссертация посвящена теоретическому обоснованию и решению научной задачи по разработке методов управления электрической нагрузкой в системах электроснабжения бытовых потребителей, которые доведены до стадии практического применения и могут использоваться для выравнивания ГЭН и симметрирования режимов электроснабжения в бытовом секторе с целью повышения энергоэффективности режимов работы распределительных сетей систем электроснабжения бытового сектора. В основу метода выравнивания ГЭН в быту положен приоритетно-шаговый метод, который был разработан ученым Гордеевым В.И. Метод симметрирования режимов работы систем электроснабжения бытового сектора основан на использовании нечеткой логики, что позволяет использовать его в режиме реального времени. В качестве ресурса выравнивания и симметрирования используется ресурс потребителей-регуляторов. Для реализации возможности управления разработана новая схема системы электроснабжения бытовых потребителей с

возможностью управления выделенной нагрузкой, которая содержит кроме фазных, нулевого рабочего и защитного проводов дополнительный провод для питания потребителей-регуляторов. Процесс выравнивания ГЭН осуществляется на уровне источника питания жилого дома, процесс симметрирования режимов работы систем электроснабжения бытового сектора – на уровне питающей трансформаторной подстанции. Определены тип (электрические водонагреватели емкостного типа) и основные характеристики (рабочий объем бака) бытовых ПР, что позволяет управлять ими на протяжении суток. В ходе расчетов выявлено, что в процессе управления могут быть задействованы ЭВН ЕТ, которые массово выпускаются промышленностью. Мотивация бытовых потребителей к оказанию «услуг по регулированию» осуществляется за счет методики определения платы бытовым потребителям-регуляторам за услуги регулирования. Плата рассчитывается исходя из разницы дисперсионных коэффициентов увеличения потерь электрической энергии из-за неравномерности графика электрической энергии до и после выравнивания. В работе проведена оценка общего эффекта от выравнивания графика электрической нагрузки объединенной энергетической системы Украины, значение которого по сравнению со стоимостью разработанной системы управления дает ответ об экономической целесообразности ее внедрения.

*Ключевые слова:* энергоэффективность, бытовой сектор, система электроснабжения, график электрической нагрузки, потребитель-регулятор, коэффициент формы, коэффициент несимметрии, фаззи-регулятор.

**Cherkashyna G.I. Improvement of electrical system energy efficiency via power load management in the residential sector.** Manuscript.

The dissertation for the degree of technical sciences candidate by specialty 05.14.02 – power plants, networks and systems. – NTU "KhPI". – Kharkiv, 2015.

The dissertation is devoted to theoretical substantiation and scientific problem solution concerning designing techniques of residential consumers' electric load management. The techniques are brought to the stage of practical application to result in electric load leveling and power supply mode balancing in the residential sector. To solve this problem, a new residential power supply scheme is worked out with the ability to control the load assigned. The type and the main characteristics of household consumers-regulators are specified to allow controlling them through the day. Household consumers' motivation for rendering of the "regulation services" is based on a proposed payment methodology taking into account participation in the load management. The overall effect of the electric load leveling based on the developed load management techniques within the United Power System of Ukraine is assessed and compared with the introduced management system cost to show the economic expediency of its implementation.

*Key words:* energy efficiency, household sector, power supply system, electric load schedule, consumer-regulator, shape factor, unbalance factor, fuzzy-regulator.