

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

БАЗЮК ТАРАС МИКОЛАЙОВИЧ

УДК 621.31

ПІДВИЩЕННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ ЛОКАЛЬНИХ СИСТЕМ
ЕНЕРГОПОСТАЧАННЯ З АКТИВНИМИ СПОЖИВАЧАМИ ТА
РОЗОСЕРЕДЖЕНОЮ ГЕНЕРАЦІЄЮ

05.14.01 – Енергетичні системи та комплекси

Автореферат
дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Київ – 2016

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана у Національному технічному університеті України «Київський політехнічний інститут» Міністерства освіти і науки України.

Науковий керівник: доктор технічних наук, професор
Денисюк Сергій Петрович,
Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут», директор Інституту енергозбереження та енергоменеджменту.

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, старший науковий співробітник
Дубовський Сергій Васильович,
Інститут технічної теплофізики НАН України,
провідний науковий співробітник відділу теплофізичних основ енергоощадних технологій;

кандидат технічних наук, старший науковий співробітник
Блінов Ігор Вікторович,
Інститут електродинаміки НАН України,
старший науковий співробітник відділу моделювання електроенергетичних об'єктів та систем

Захист відбудеться «20» грудня 2016 р. о 14³⁰ годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 26.002.20 у Національному технічному університеті України «Київський політехнічний інститут» Міністерства освіти і науки України за адресою: 03056, м. Київ, Проспект Перемоги, 37, корп. 22, ауд. 316.

З дисертацією можна ознайомитись у бібліотеці Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут» Міністерства освіти і науки України за адресою: 03680, м. Київ, проспект Перемоги, 56.

Автореферат розісланий «__» листопада 2016 р.

Учений секретар
спеціалізованої вченої ради



А.М.Ковальчук

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Провідні країни світу (США, Японія, Канада, країни ЄС) широко впроваджують моделі стійкої енергетики із залученням нетрадиційних та відновлюваних джерел енергії (НВДЕ) з мінімізованим негативним впливом на довкілля, здійсненням монополізації не тільки виробництва, а й постачання та споживання енергії. 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 SmartGrid 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. Дорофєєв, Б.Б. Кобець, В.В. Бушуєв, Ф.В. Веселов, І.О. Волкова, О.А. Третьяк, Brandon Davito, Namayun Tai, Robert Uhlaner, Subhes C. Bhattacharyya 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. Faruqui, R. Hledik, S. George, J. Bode, 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 і 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, так і джерел РГ.

Тому розробка і вдосконалення методів інтеграції джерел РГ у мережу енергопостачання, підвищення ефективності функціонування РГ, у тому числі й на основі НВДЕ, а також використання потенціалу АС з метою оптимізації енергоспоживання та підвищення енергоефективності ЛСЕ, її елементів та систем енергопостачання (СЕП) в цілому є актуальною науково-технічною задачею.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Виконані у роботі дослідження відповідають напряму «Енергетика та енергоефективність» Закону України № 2519-VI від 09.09.2010 р. «Про пріоритетні напрями розвитку науки і техніки», комплексній програмі Національного технічного університету

України «Київський політехнічний інститут» (НТУУ «КПІ») «Енергетика сталого розвитку». Дисертаційне дослідження виконувалося згідно з планом наукових робіт кафедри електропостачання НТУУ «КПІ» у рамках науково-дослідних робіт № 2668-п «Розвиток методологічних засад інтелектуалізації процесів генерації та розподілу електроенергії в інтегрованих системах з активним споживачем» (№ ДР 0113U002489) та «Мультиагентні інтелектуальні енергетичні системи генерації, передачі та розподілу електроенергії з активним (кваліфікованим) споживачем» (№ ДР 0114U006363).

Мета і задачі дослідження. Метою дослідження є підвищення рівнів енергетичної ефективності локальних систем енергопостачання за рахунок інтеграції джерел розосередженої генерації та реалізації потенціалу активних споживачів.

Для досягнення поставленої мети в роботі розв'язано такі **основні задачі**:

1) проаналізувати особливості побудови, функціонування та перспективні шляхи розвитку і вдосконалення ЛСЕ з АС та РГ, а також особливості формування та реалізації енергетичного потенціалу локального району (території) з використанням низькопотенціальних енергетичних ресурсів;

2) оцінити ефективність роботи джерел РГ та АС, зокрема, звизначенням місця інтеграції джерел РГ та оцінки ефективності роботи ЛСЕ та її елементів;

3) вдосконалити способи підвищення ефективності концентрації енергетичних потоків на прикладі малопотужних вітроенергетичних установок із визначенням їх впливу на обсяги виробництва електроенергії;

4) розробити уточнені математичні моделі активних споживачів та моделі їх функціонування, моделі системи оперативного керування АС з врахуванням його взаємодії із всіма елементами ЛСЕ;

5) сформулювати узагальнений критерій оптимізаційної задачі функціонування ЛСЕ із АС та РГ та її окремих елементів із врахуванням всіх значимих факторів;

6) розробити алгоритм прийняття рішень для СКАС при різних режимах його роботи та взаємодії із централізованою чи локальною системою енергопостачання та алгоритм вибору стратегії поведінки АС (законів керування) і структури систем керування взаємодією інтегрованих елементів у складі існуючих СЕП.

7) розробити нормативно-методичне забезпечення оцінки енергетичної ефективності споживачів електричної енергії та ЛСЕ за кількісними показниками енергоефективності.

Об'єктом дослідження дисертаційної роботи є енергетичні процеси локальних систем енергопостачання з активними споживачами та розосередженою генерацією.

Предметом дослідження є методи і засоби підвищення енергетичної ефективності в локальних системах енергопостачання із активними споживачами та розосередженою генерацією.

Методи дослідження. Науково-методичну основу виконаних досліджень склали такі методи: математичне моделювання; методи багатокритеріальної оптимізації та прийняття рішень; комп'ютерне моделювання; теорія графів; об'єктно-орієнтований аналіз.

Перевірка достовірності й ефективності запропонованих методів ґрунтується на результатах експериментів та підтверджується отриманими актами впровадження.

Наукова новизна одержаних результатів:

Вперше:

- розроблено алгоритми взаємодії між основним обладнанням АС, на основі яких запропоновано моделі взаємодії обладнання АС, що дало змогу розробити моделі та алгоритми функціонування систем керування АС різних рівнів, СК взаємодією між АС та з мережею енергопостачання;
- розроблено методологію оцінки енергоефективності роботи ЛСЕ та окремих одиниць обладнання АС, у тому числі й джерел РГ, яка полягає у комплексній оцінці окремих кількісних показників енергоефективності за рівнями, що дає змогу оцінити ефективність роботи інтегрованих джерел РГ й обладнання АС, та їхній вплив на показники енергоефективності ЛСЕ.

Вдосконалено:

- спосіб оптимізації режиму роботи для будь-якого АС, який формується залежно від його потенціалу активної поведінки та можливостей споживача реалізувати такий потенціал, що дало змогу отримати максимальні вигоди для учасників такої взаємодії та обрати найбільш ефективні режими роботи;
- алгоритми прийняття рішень системою керування поведінкою будь-якого споживача при взаємодії з іншими елементами ЛСЕ за рахунок вибору оптимального режиму взаємодії на основі вирішення комплексної оптимізаційної задачі, що дало змогу розробити алгоритми роботи СК;
- моделі концентраторів вітрового потоку, які дають змогу зосереджувати енергію потоку повітря з меншою швидкістю та перетворювати її в енергію потоку повітря з більшою швидкістю, що створює можливість для реалізації невикористовуваного потенціалу низькопотенціальних вітрових потоків, у тому числі й в забудованому середовищі, а використання вітроенергетичних установок із такими концентраторами вітрового потоку дають змогу реалізовувати потенціал АС за рахунок їхнього встановлення безпосередньо біля споживачів.

Набули подальшого розвитку:

- метод підвищення ефективності ВЕУ шляхом концентрації вітрового потоку та розширення діапазону ефективних швидкостей вітру, за рахунок використання вдосконалених концентраторів вітрового потоку, що дає змогу підвищити ефективність ВЕУ та створює можливості для створення інтегрованих систем енергопостачання (ІСЕ) споживачів, та реалізації потенціалу АС;
- методика визначення місць інтеграції джерел РГ та АС у ЛСЕ, за рахунок використання спрощеної методики аналізу ЛСЕ, що дало змогу запропонувати метод аналізу системи енергопостачання до/та після інтеграції джерел РГ та АС.

Практичне значення одержаних результатів

Практична цінність результатів роботи полягає у тому, що на підставі виконаних досліджень розв'язана задача оптимізації функціонування та, як наслідок, підвищення енергоефективності ЛСЕ, що полягає у виборі місць оптимального розміщення джерел РГ, площа розташування яких розширюється за рахунок використання запропонованих малопотужних вітроенергетичних установок із концентраторами потоку та ІСЕ на їх основі, і реалізації потенціалу активної поведінки будь-яких споживачів електроенергії. Запропоновано нормативно-методичне та програмно-алгоритмічне забезпечення для оптимізації режимів роботи

АС, моделі СК та окремих елементів АС дали змогу розробити основні алгоритми для СК окремими АС та їхніми об'єднаннями на різних рівнях.

- представлені методичні підходи та алгоритми застосовані як елементи концепції «Інтелектуальне місто», на основі котрої запропоновано заходи з реконструкції та модернізації інженерних комунікацій, впровадженню сучасних систем обліку, впровадження НВДЕ в систему електропостачання міста Мукачево (акт впровадження від 12.04.2013 р.);

- розроблені методики оцінки енергоефективності ЛСЕ, до/та після інтеграції джерел РГ і обладнання АС дають змогу проводити ефективну та комплексну оцінку потенціалу АС у вибраній місцевості, доцільності та ефективності його реалізації, а також результати моделювання впливу концентраторів вітрового потоку на параметри вітроустановок (ТОВ «Полісся-Інвест» акт про впровадження від 05.06.2013 р. та ПП Кодола І.А. акт про впровадження від 12.02.2014 р.);

- розроблену методику визначення перспективних місць інтеграції джерел РГ в СЕП, методику визначення потенціалу АС та основні алгоритми вибору режиму функціонування АС передано для дослідної експлуатації у ПАТ «Прикарпаття-обленерго» (акт про впровадження від 04.04.2015 р.), а також модель СК взаємодією системи енергопостачання та АС передано для промислової експлуатації в НКРЕКП (акт про впровадження від 26.07.2016 р.).

Результати дисертаційної роботи використовуються в навчальному процесі Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут».

Особистий внесок здобувача. Дисертація є завершеною науковою працею. Наукові положення, які є в дисертації отримані автором самостійно. У наукових працях, опублікованих у співавторстві, безпосередньо дисертанту належить: [2] – аналіз впливу нерівномірності споживання електроенергії; [3] – аналіз особливостей інтеграції НВДЕ в ЛСЕ; [4, 25] – аналіз стану використання енергетичних ресурсів, розвинуто підхід до концентрації енергетичних потоків; [5] – аналіз вигод для споживача та енергопостачальних компаній від інтеграції джерел РГ та реалізації потенціалу АС в умовах України; [6] – моделі АС, модель взаємодії АС, алгоритм вибору оптимальних режимів роботи АС, алгоритм визначення потенціалу активної поведінки споживача електроенергії; [9] – аналіз критеріїв оптимального відбору потужності, оцінка потенціалу керованого навантаження споживачів електроенергії; [11] – аналіз кількісних показників енергоефективності, оцінка та систематизація інформаційних потоків для розрахунку показників енергоефективності; [12] – аналіз зміни реактивної потужності при зміні навантаження споживача; [13] – алгоритм вибору взаємовигідного режиму роботи АС та СЕП, вдосконалений загальний оптимізаційний критерій взаємодії; [14] – аналіз впливу джерел РГ на систему СЕП, аналіз особливостей формування віртуальних електростанцій; [15] – аналіз можливостей використання джерел РГ в межах міста; [16] – систематизація кількісних показників енергоефективності та інформації для їхнього розрахунку; [17] – узагальнений критерій оптимізаційної функції АС, алгоритм регулювання та балансування інтересів всіх зацікавлених сторін; [18] – алгоритм оцінки енергоефективності побудови ІСЕ із РГ за кількісними показниками енергоефективності; [19] – аналіз особливостей формування мікромереж із АС та РГ; [20] – аналіз зміни реактивної потужності при зміні навантаження споживача; [21] – аналіз проблем оцінювання енергоефективності підприємства; [22] – класифікація

АС, алгоритм оцінки потенціалу АС; [23, 24] – моделі АС, модель взаємодії АС, алгоритм вибору оптимальних режимів роботи АС, алгоритм визначення потенціалу АС, аналіз особливостей поведінки АС; [25, 26] – запропоновано і розвинуто ідею групування показників енергоефективності та групування потрібної для їх розрахунків інформації; [27] – обґрунтування способу влаштування та регулювання дахових вітроенергетичних установок. Результати досліджень, що викладені в [1–26], були отримані в Національному технічному університеті України «Київський політехнічний інститут».

Апробація результатів дисертації. Основні положення роботи та її результати доповідалися, обговорювалися та були схвалені на таких міжнародних науково-технічних конференціях: «IEEE International Conference on Intelligent Energy and Power Systems (IEPS-2014)» (м. Київ, 2014); «Інтелектуальні енергетичні системи – ІЕС» (м. Мукачеве, 2013; м. Київ, 2016); «Проблеми енергетичного менеджменту: стан та перспективи розвитку» (м. Київ, 2014–2016); «Оптимальне керування енергетичними установками (ОКЕУ)» (м. Вінниця, 2013, 2015); «Інноваційні та інвестиційні проекти з метою реалізації енергетичної стратегії України на період до 2030 року» (сmt. Миколаївка, АР Крим, 2013); «Системи енергетичного менеджменту» (м. Київ, 2015, 2016). «Нафтогазова енергетика: проблеми та перспективи» (м. Івано-Франківськ, 2009); «Проблеми сучасного виробництва» (м. Полтава, 2012); «Енергетика. Екологія. Людина.» (м. Київ, 2013 – 2016); «Енергозбереження на залізничному транспорті та в промисловості» (сmt. Воловець, Закарпатської області, 2013, 2014); «Аспірантські читання пам'яті А.В. Праховника» (м. Київ, 2013).

Публікації. Матеріали дисертаційної роботи опубліковані у 27 наукових працях, серед яких: 1 монографія; 12 статей – у наукових фахових виданнях України за переліком ВАК України, з яких 2 у виданнях України, які включені до міжнародних наукометричних баз (Index Copernicus); 12 доповідей у збірниках матеріалів конференцій та 2 статті в інших виданнях.

Структура та обсяг роботи. Дисертаційна робота складається зі вступу, п'яти розділів, висновків, списку використаних джерел (180 найменувань) і 6 додатків. Основний зміст викладений на 164 сторінках друкованого тексту, містить 40 рисунків, 30 таблиць. Загальний обсяг дисертації – 222 сторінки.

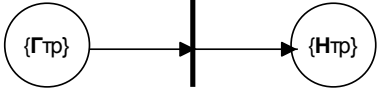
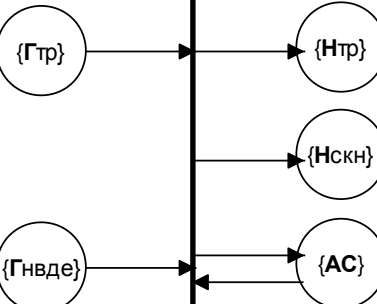
ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У **вступі** обґрунтовано актуальність теми дисертації, сформульовано мету та задачі дослідження. Описано наукову новизну та практичну цінність отриманих результатів, а також наведено відомості щодо апробації роботи. Зазначено зв'язок роботи з науковими програмами та темами.

У **першому розділі** здійснено аналіз тенденцій розвитку світової енергетики у ХХІ столітті, а також основних проблем функціонування ЛЕС.

Актуальною на сьогодні є побудова енергетичної системи, яка б відповідала вимогам сталого розвитку галузі та суспільства в цілому. Формування ринкових відносин в енергетиці та широке розповсюдження систем автоматизованого обліку і управління електроспоживанням сприяли тому, що споживачі почали використовувати джерела РГмалої та середньої потужності й накопичувачі енергії як окремо, так і в складі ІСЕ та ЛСЕ. Зміна в структурі ЛСЕ представлена в табл. 1.

Таблиця 1. Узагальнені моделі ЛСЕ

Узагальнена блок-схема	Математичний опис енергетичних процесів
Структура традиційної ЛСЕ	
	$\sum P_{\Gamma} = \sum P_{\text{Н}}; \quad \sum W_{\Gamma} + W_{\text{втрат}} = \sum W_{\text{Н}};$ $W_{\text{втрат}} = \text{const}$
Структура ЛСЕ із РГ та АС	
	$\sum P_{\Gamma} + \sum P_{\Gamma(\text{НВДЕ})} = \sum P_{\text{Н}} + \sum P_{\text{Н(СКН)}} \pm \sum P_{\text{АС}};$ $\sum W_{\Gamma} + \sum W_{\Gamma(\text{НВДЕ})} + W_{\text{втрат}} = \sum W_{\text{Н}} + \sum W_{\text{СКН}} \pm \sum W_{\text{АС}};$ $W_{\text{втрат}} \rightarrow \min$

Під ЛСЕ маються на увазі системи енергопостачання окремих підприємств або населених пунктів, які містять джерела РГ комбінованого типу та розподільні електричні та теплові мережі обмеженої протяжності, які мають лінії зв'язку з централізованими мережами і можуть працювати як в автономному режимі, так і спільно з централізованими СЕП, також до їх складу можуть входити й АС.

Баланс енергії для АС у загальному випадку може бути записаний у вигляді:

$$\sum P_{\Gamma(\text{АС})} = \sum P_{\text{Н(АС)}} \pm \sum P_{\text{АБ(АС)}} \pm \sum P_{\text{мережі}},$$

$$W_{\text{втрат}} = \sum W_{\Gamma(\text{АС})} + \sum W_{\text{Н(АС)}} + \sum W_{\text{АБ(АС)}} + \sum W_{\text{лінії}}, \quad W_{\text{втрат}} \rightarrow 0.$$

де $P_{\Gamma(\text{АС})}$ – генерована потужність власними генераторами АС; $P_{\text{Н(АС)}}$ – споживана потужність навантаженнями АС; $P_{\text{АБ(АС)}}$ – потужність акумуляторних батарей АС; $P_{\text{мережі}}$ – потужність що споживається/генерується з/в мережі/у.

Для реалізації потенціалу активної поведінки споживачів потребують вдосконалення питання підвищення ефективності джерел РГ та ефективного керування навантаженнями, РГ та взаємодією між елементами ЛСЕ. Приклад перспективної структури ІСЕ з різномірними джерелами РГ та зв'язком із ЛСЕ, яка може бути активним АС, наведено на рис. 1.

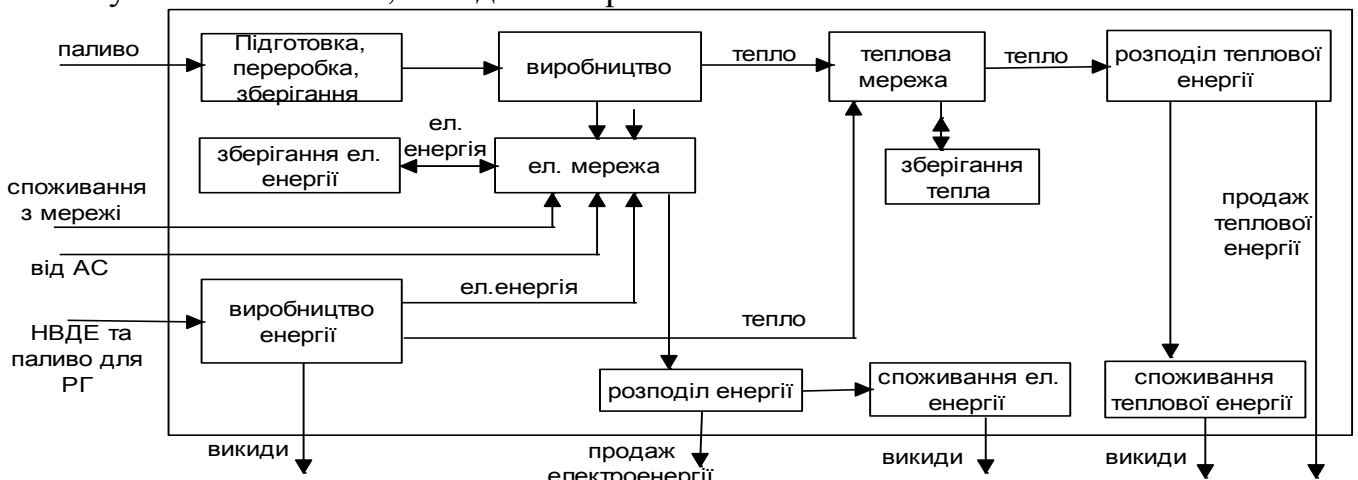


Рис. 1. ІСЕ із РГ та АС

Оскільки розподільні мережі в Україні проектувалися без можливості керування їх режимами за наявності потоків енергії від джерел РГ, тому існує ряд питань, які треба вирішити для побудови нової інтелектуальної системи енергопостачання України відповідно до концепції Smart Grid. Проведений аналіз РГ показав, що основними факторами, які стримують розвиток ІСЕ на їх основі, є відсутність технічних можливостей ефективного використання переваг РГ споживачами малої та середньої потужності, а також їх низькою конкурентоспроможністю. Це зумовлено невідповідністю графіків електричного і теплового навантаження споживачів графікам генерації, добовою і сезонною нерівномірністю та ін., а також відносно високою вартістю самих джерел РГ.

Таким чином, актуальним є питання впливу на параметри енергетичного потоку з метою збільшення ефективності його використання джерелами РГ. Крім того інтеграція в мережу значної кількості елементів РГ потребує розробки нових систем, законів керування та взаємодії елементів системи енергопостачання, відповідних механізмів взаємодії та методів прийняття рішень СК АС, СК інтегрованими об'єктами і СК ЛСЕ, а також розглянути можливість підвищення ефективності використання НВДЕ у складі ІСЕ.

У **другому розділі** запропоновано підхід до оцінки енергетичного потенціалу локального району (території) енергопостачання з метою визначення можливостей підвищення ефективності РГ. Вирішено питання формування ІСЕ з РГ на основі НВДЕ що використовують низькопотенціальні енергетичні ресурси шляхом їх концентрації. Проведено моделювання концентраторів вітрового потоку.

Сучасний розвиток технологій дає змогу розробляти і використовувати ті ресурси, які вважалися неперспективними або економічно не вигідними. Доцільним є визначення можливостей використання таких ресурсів локального району енергопостачання. Для цього запропоновано підхід, який дає змогу врахувати низькопотенціальні та вторинні енергетичні ресурси, а також споживчий потенціал локального району (території):

$$E = (R^{TP} + R^{HВДЕ} + r) U P U (G^{TP} + G^{HВДЕ} + G^r) U T U S, \quad (1)$$

де R^{TP} , $R^{HВДЕ}$ – традиційні енергетичні ресурси та ресурси нетрадиційних і відновлювальних джерел енергії відповідно; r – ресурси низькопотенціальних джерел енергії та вторинні енергетичні ресурси; G^{TP} – традиційні генеруючі потужності; $G^{HВДЕ}$ – генеруючі потужності НВДЕ; $G^{HВДЕ} \in f(R^{HВДЕ})$; G^r – генеруючі потужності низькопотенціальних джерел енергії $G^r \in f(r)$; S – споживчий потенціал. Реалізація існуючого енергетичного та споживчого потенціалу дають змогу більш ефективно використовувати доступні енергетичні потоки, залучення яких може стати ще одним стимулом розвитку РГ.

Більшість сучасних технологій перетворення НВДЕ мають досить високу нижню межу використовуваного енергетичного потенціалу, яка може бути знижена за рахунок застосування різного роду концентраторів енергетичного потоку. Недооціненими залишаються концентратори вітрового потоку більшою мірою через те, що вони є досить об'ємними. Одним із способів вирішення ряду проблем розвитку ЛСЕ на основі джерел РГ є формування ІСЕ, що поєднують в собі джерела енергії різної потужності (в тому числі й на основі НВДЕ), накопичувачі енергії та СКН споживача (рис.2).

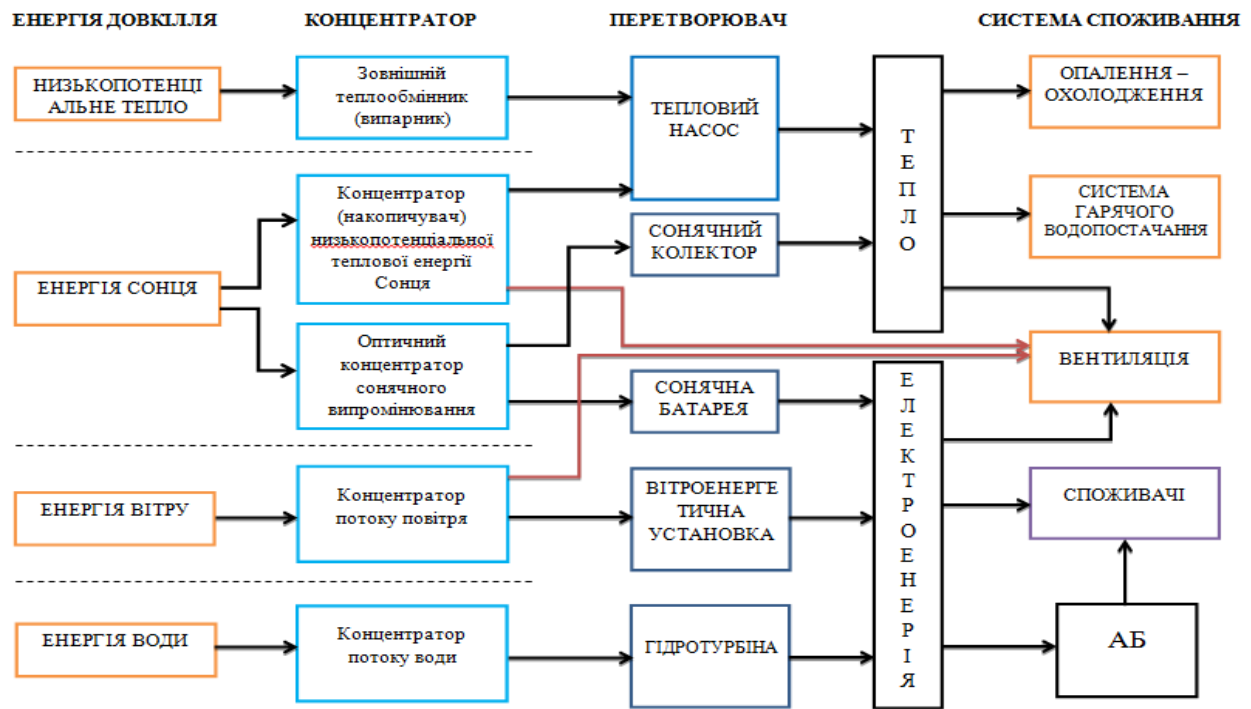


Рис. 2. Схема комплексного використання низькопотенціальних ресурсів

У місцях плавного звуження трубки течії потоку повітря виникає ефект Вентурі, в яких спостерігається зниження тиску та збільшення швидкості потоку:

$$\begin{aligned} \rho_1 \cdot S_1 \cdot V_1 &= \rho_2 \cdot S_2 \cdot V_2, \\ \text{при } \rho_1 &= \rho_2 = \text{const}, S_1 > S_2, V_2 > V_1, \\ P &= \frac{1}{2} \cdot C_p \cdot \rho \cdot S \cdot V^3, \end{aligned} \quad (2)$$

де ρ – густина повітря; S_1, S_2 – вхідний і вихідний переріз трубки течії відповідно; V_1, V_2 – швидкість потоку повітря у відповідному перерізі трубки течії; C_p – коефіцієнт ефективності вітроколеса; ρ – густина повітря ($\text{м}^3/\text{с}$); S – площа вітроколеса (м^2); V – швидкість вітру біля вітроколеса ($\text{м}/\text{с}$). Потужність ВЕУ із концентратором такого типу визнаатиметься за формулою (2).

Результати комп'ютерного моделювання параметрів потоку в зоні робочого вітроколеса для концентратора конфузорного та дифузорного типів (табл. 2), опрацьовані у вигляді графіків, та наведені на рис. 3.

Таблиця 2 – Результати комп'ютерного моделювання концентратора потоку

Відносна довжина	Кут розходження концентратора							
					конфузорного (β) дифузорного (α)		типу (град)	
L	0°	5°	10°	15°	20°	30°	40°	50°
L=1	1/1	$\frac{1,15}{1,03}$	$\frac{1,2}{1,05}$	$\frac{1,25}{1,07}$	$\frac{1,3}{1,095}$	$\frac{1,36}{1,12}$	$\frac{1,43}{1,15}$	$\frac{1,5}{1,165}$
L=2	1/1	$\frac{1,18}{1,055}$	$\frac{1,23}{1,07}$	$\frac{1,36}{1,09}$	$\frac{1,475}{1,13}$	$\frac{1,61}{1,195}$	$\frac{1,75}{1,25}$	$\frac{1,85}{1,29}$
L=4	1/1	$\frac{1,35}{1,07}$	$\frac{1,5}{1,123}$	$\frac{1,7}{1,17}$	$\frac{1,85}{1,22}$	$\frac{2,1}{1,287}$	$\frac{2,35}{1,34}$	$\frac{2,5}{1,395}$

За результатами моделювання концентратор забезпечує надходження більшої кількості повітря, що впливає на збільшення швидкості потоку і, як наслідок, підвищення потужності й ефективності роботи ВЕУ. Відповідно збільшується можливість використання ВЕУ в місцях із низьким вітроенергетичним потенціалом, які в значній кількості є по всій Україні.

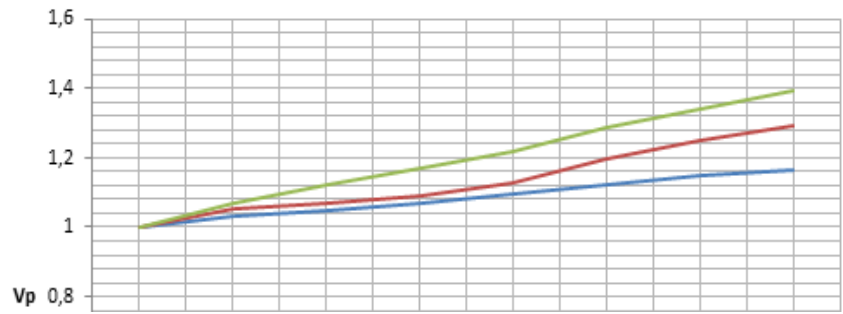


Рис. 3. Графіки залежностей V_p для концентратора потоку конфуз орного типу

Реалізації функції керування завантаженням джерел РГ потребує вирішення завдання їх технічної, технологічної та комерційної інтеграції, яка може відбуватися кількома способами. Якісна характеристика інтеграції представлена в табл. 4., де $\{A\}$ та $\{B\}$ – множини характеристик інтегрованих елементів, $\{C\}$ – множина характеристика інтегрованих елементів що узгоджуються / не узгоджуються.

Таблиця 4 Способи інтеграції елементів у систему

Незалежна	Взаємодоповнення	Взаємокомпенсація	Поглинання	Взаємовиключення	Заперечення
$\{A\} \notin \{B\}$	$\{A\} \cup \{B\}$	$((\{A\} \cap \{B\}) \cup C)$	$\{A\} \supset \{B\}$	$((\{A\} \cap \{B\}) \notin C)$	$\{A\} \cap \{B\}; B \notin A$

Запропонований спосіб прийняття рішення при взаємодії інтегрованих елементів з існуючою системою енергопостачання, а також узгодження їх алгоритмів функціонування наведено на рис.4. Представимо вимоги і правила у вигляді множини окремих завдань $Z = \{Z_l\}, l = (1, 2, \dots, L)$, які мають бути вирішені. Їм відповідає множина окремих алгоритмів технічного завдання $A = \{A_l\}, l = (1, 2, \dots, L)$.

Кожен з них вирішує частину загального завдання і дає змогу зв'язати із кожним окремим алгоритмом A_l кілька множин його вихідних і результуючих змінних $\theta'_{\text{вх}l}, \theta'_{\text{вих}l}$. Наведений алгоритм можна використовувати при розробці СК ІСЕ та схем енергопостачання споживачів як від мережі, так і від кількох різних джерел РГ або ж і від мережі, і від РГ.

При цьому при розробці таких багатоагентних СК мають бути враховані наступні складові кожного елемента: $Ag = \{G, S, A, Q\}$, де G цільова функція елемента; $S = \{S_1, S_2, \dots\}$ набір параметрів стану; $A = \{A_1, A_2, \dots\}$ набір сценаріїв поведінки; $Q = \{Q_1, Q_2, \dots\}$ - набір зовнішніх керуючих впливів.

У **третьому розділі** розглядається інтеграція в систему енергопостачання АС, що потребує аналізу ряду питань щодо забезпечення процесу розвитку споживачів від «пасивних» до «кваліфікованих/солідарних» або ж одразу до АС.



Рис.4. Узгодження алгоритмів функціонування СЕП та інтегрованих елементів багатоагентних СК

Для узгодження функціонування та ефективної роботи обладнання АС необхідним є створення СК АС. Можливими є такі варіанти взаємодії: 1) прямий енергетичний зв'язок та пряма взаємодія на рівні власних СК АС; 2) прямий енергетичний зв'язок та взаємодія на інформаційному рівні через СК вищого рівня; 3) прямий інформаційний зв'язок та взаємодія через мережу енергопоста-

Для розробки механізмів реалізації та стимулювання «активної» поведінки споживача розроблено класифікацію споживачів з точки зору потенціалу «активної» поведінки, а також відповідні методики для оцінки такого потенціалу і вибору необхідного обладнання для його реалізації. Показано, що зміщення в часі моменту включення навантаження стає можливим при наявності відповідних СК: 1) для пасивних та кваліфікованих споживачів – СКН; 2) для відповідальних (солідарних) споживачів – СК об'єднаннями споживачів; 3) для активних споживачів – СК обладнанням АС (СК АС) та об'єднаннями АС.

На основі аналізу обладнання, яке дає змогу споживачеві впливати на власний графік енергоспоживання та створювати додаткові послуги для інших учасників системи енергопостачання, було створено модель АС (рис. 5), яку можна описати в наступному вигляді:

$$AC \{K4, E3, \{Is\}, t\} = 0,$$

де 1 – навантаження; 2 – джерела РГ; 3 – акумуляторна батарея; 4 – СКН; АС $\{\cdot\}$ – динамічний нелінійний оператор над векторами: Pv – прямий зв'язок; Is – інформаційний зв'язок.

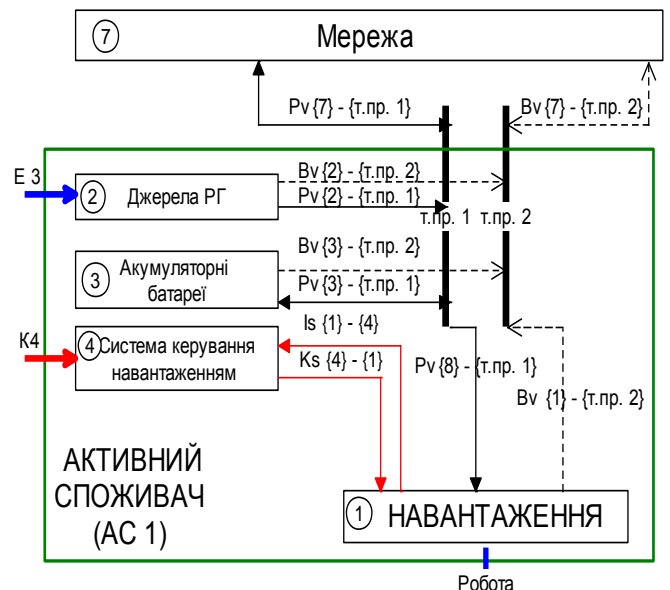


Рис. 5 – Модель АС

чання; 4) зв'язок АС через СК вищого рівня та взаємодія через мережу енергопостачання. Як видно і рис. 5, без формування інформаційних зв'язків із мережею та іншими елементами ЛСЕ реалізувати потенціал АС повною мірою буде неможливо, тому актуальним є розробка оптимізаційної функції АС та СК АС, яка враховуватиме параметри: $\{P_v; I_s; B_v\}$. Аналіз режимів роботи і взаємодії основного обладнання АС наведено в табл.5.

Таблиця 5. Режими роботи обладнання АС

Режим АС відносно мережі	№ режиму АС	Режими обладнання АС		Баланс потужностей АС	Примітка
		Γ_{AC}	H_{AC}		
Г генерация	I	Г	В	$P_{AC}^G = P(\Gamma_{AC}^G)$	$P_{генерация} > 0; P_{споживания} = 0$
	II	Г	С	$P_{AC}^I = P(\Gamma_{AC}^I) - P(H_{AC}^C)$	$P_{ген.} > P_{спож.} > 0$
С споживання	III	Г	С	$P_{AC}^C = P(\Gamma_{AC}^I) - P(H_{AC}^C)$	$P_{спож.} > P_{ген.} > 0$
	IV	В	С	$P_{AC}^C = P(H_{AC}^C)$	$P_{ген.} = 0; P_{спож.} > 0$
	V	С	С	$P_{AC}^C = P(\Gamma_{AC}^C) + P(H_{AC}^C)$	$P_{спож.} = P(\Gamma_{AC}^C) + P(H_{AC}^C) > 0$
В* Відключення від мережі	I	Г	В	$P_{AC}^G = P(\Gamma_{AC}^G)$	Потрібне акумуляування $P_{генерация} > 0; P_{споживания} = 0;$
	II	Г	С	$P_{AC}^G = P(\Gamma_{AC}^G) - P(H_{AC}^C)$	Потрібне акумуляування $P_{ген.} > P_{спож.} > 0$
	III	Г	С	$P_{AC}^C = P(\Gamma_{AC}^G) - P(H_{AC}^C)$	$P_{спож.} > P_{ген.} > 0$
	VI	Г	С	$P(\Gamma_{AC}^I) = P(H_{AC}^C)$	$P_{ген.} = P_{спож.}$

У четвертому розділі з метою оптимізації режимів взаємодії (табл. 5) було створено модель АС, сформовано оптимізаційну задачу для вибору режиму його функціонування та взаємодії з іншими елементами, розроблено модель системи керування активним споживачем.

Цільова функція «активного» споживача є сумою прибутку від споживання (різниці вигоди від споживання і вартості відібраної з мережі електроенергії) і прибутку від власної генерації (різниці доходу від продажу електроенергії в мережу і собівартості генерації) і має такий вигляд:

$$f(\overline{g}, \overline{g}^I, \overline{g}^E, P_n^{спож}(\cdot), c^E(\cdot),) \rightarrow \max,$$

де $\overline{g}_t^I / \overline{g}_t^E$ – обсяг генерації, що спрямовується на внутрішнє/зовнішнє споживання; \overline{g}_t – загальний обсяг виробництва енергії РГ; $P_n^{спож}(\cdot)$ – споживана потужність; $c^I(\cdot) / c^E(\cdot)$ – ціна на електроенергію, споживану з мережі, що віддається в мережу. Однак при максимізації користі для споживача не враховуються інтереси ЛСЕ, тому потрібно розробити таку оптимізаційну функцію, яка це врахує.

Розроблена модель функціонування АС та ЛСЕ передбачає формування таких складових оптимізаційної задачі: 1) мінімізація витрат на електроенергію; 2) максимізація прибутку від продажу електроенергії та надання окремих системних послуг; 3) оптимальний графік споживання електроенергії; 4) оптимальна конфігурація мережі; 5) оптимальні режими роботи обладнання мережі/споживача; 6) оптимізація режимів роботи системи енергопостачання за економічними

критеріями; 7) оптимальне виробництво та використання електроенергії, виробленої від джерел РГ; 8) мінімальний вплив споживача/ енергокомпанії на екологію тощо.

Залежно від особливостей та можливостей того чи іншого споживача, а також потреб системи електропостачання формується власна цільова функція для кожного споживача (3):

$$F(X) = \alpha_1 F_1(X) + \alpha_2 F_2(X) + \dots + \alpha_n F_n(X) \quad (3)$$

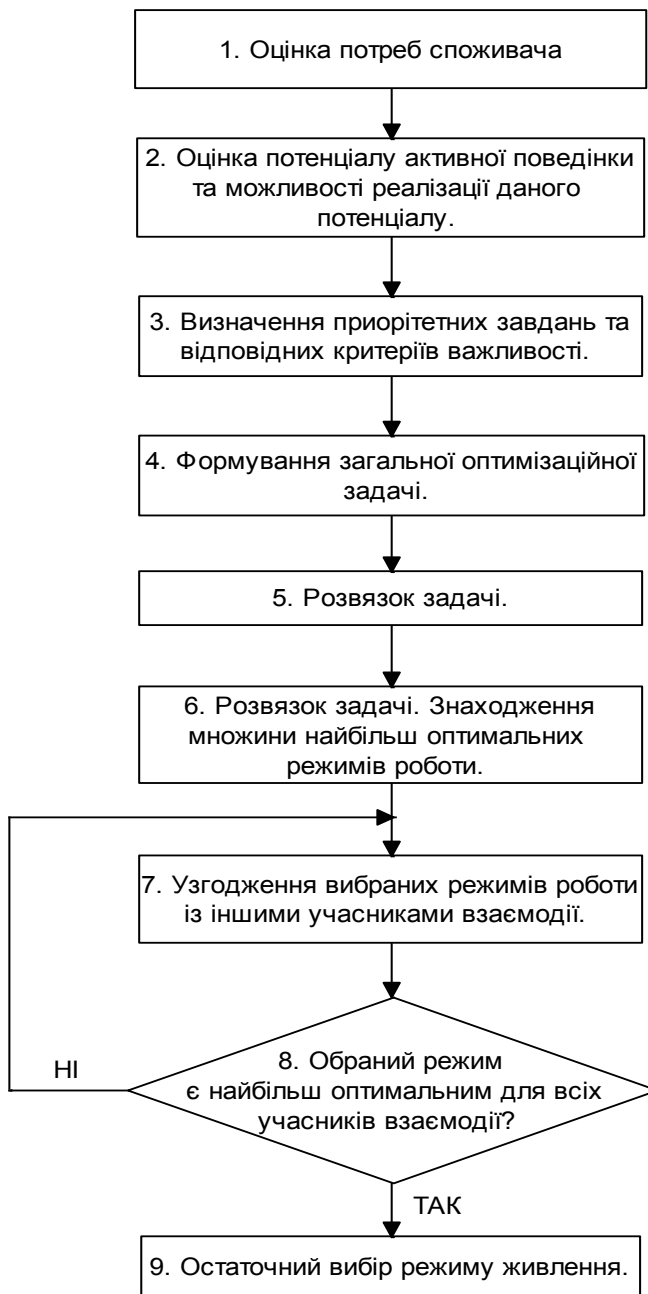


Рис. 6. Алгоритм визначення

Для кожного окремого споживача кількість критеріїв та ступінь важливості окремих складових задачі можуть відрізнятися залежно від індивідуальних умов. Тому вибір цих складових, а також критеріїв важливості кожної з них, варто проводити експертним методом для кожного споживача окремо. Для ефективної взаємодії елементів СЕП потрібно здійснювати узгодження алгоритмів функціонування як обладнання споживачів, так і джерел РГ та АС між собою. Узгодження взаємодії між АС має ґрунтуватися на виборі взаємовигідних режимів роботи, тобто на вирішенні власної окремої цільової функції, яка обов'язково має бути складовою оптимізаційної задачі ЛСЕ.

Алгоритм вибору оптимальних режимів роботи АС ґрунтується на розв'язанні описаної вище загальної оптимізаційної задачі (рис.6).

Такий підхід потребує досить частих перемикань комутаційних апаратів та зміни режимів роботи обладнання, тому доцільно розробити алгоритми для здійснення відповідних перемикань окремих навантажень системою керування (блок перемикання навантажень) на РГ та мережу залежно від умов оптимальності згідно з розв'язком оптимізаційної задачі та зовнішніми керуючими сигналами.

Модель системи керування АС

описується рівнянням:

$СК\ АС\ \{K, Z, Z', Is(\{1\} \rightarrow \{5\}), Is(\{4\} \rightarrow \{5\}), Is(\{5\} \leftrightarrow \{6\}), Is(\{3\} \rightarrow \{5\}), Is(\{2\} \rightarrow \{5\}), t\} = 0$
де СК АС $\{\cdot\}$ – динамічний нелінійний оператор над такими векторами: зовнішніх керуючих сигналів ($K = K(t_k + 1)$); інформаційних сигналів від навантаження $Is(\{1\} \rightarrow \{5\})$ (якщо є такі) або від системи керування навантаженням $Is(\{4\} \rightarrow \{5\})$;

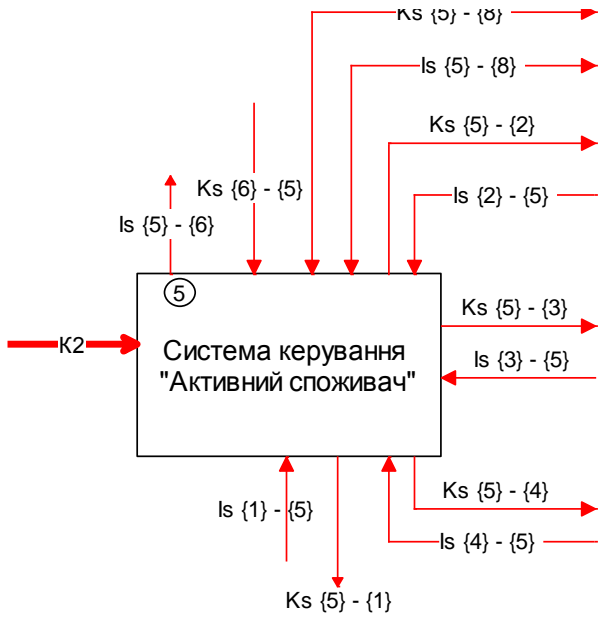


Рис. 7. Модель системи керування АС

t_k , то вектори $Ks(\{5\} \rightarrow \{\dots\})$ є асинхронними, в інших випадках – слідкуючими, синхронними чи програмованими. Виділивши з виду оператора СК АС $\{\cdot\}$ регулятор контрольованих параметрів вихідних сигналів, отримаємо програмовані вектори сигналів керування $Ks(\{5\} \rightarrow \{\dots\})$ режимами роботи АС2, РГ, АБ, СКН.

Важливою складовою регулювання споживання електроенергії є усунення реактивних режимів роботи електричних систем. Струм навантаження для довільного інтервалу часу $[0..t]$ можна представити як суму активного струму $i_{At}(t)$ та реактивного струму $i_{Pt}(t)$, при цьому:

$$i_{At}(t) = \left(\int_0^t u(t)i(t)dt \right) u(t) / \int_0^t u^2(t)dt;$$

$$i_{Pt}(t) = i_t(t) - \left(\int_0^t u(t)i(t)dt \right) u(t) / \int_0^t u^2(t)dt.$$

Міра відхилення величини струму $\int_0^t i^2(t)dt$ від його мінімально можливого значення $\int_0^t i_{At}^2(t)dt$ для заданої величини активної енергії, яка передається в навантаження на інтервалі часу $[0..t]$, характеризується реактивною потужністю $Q_{\Phi t}$. Компенсація реактивної потужності $Q_{\Phi t}$ призводить до зменшення витрат електроенергії, а також покращення її якості.

З метою врахування впливу вищих гармонік на повну споживану потужність необхідно визначити особливості зміни Q_{Φ} при різних співвідношеннях між значенням струму та напруги першої і вищих гармонік:

$$Q_{\Phi} = \sqrt{S_1^2 \cdot (K_{pi}^2 + K_{pu}^2 - 2\delta_p)},$$

$$\text{де } \delta_p = K_{\Pi u} \cdot K_{\Pi i} = \frac{P_{\infty}}{U_1 \cdot I_1}.$$

Як видно з рисунку 8, існує таке співвідношення коефіцієнтів пульсації струму та напруги, при якому значення реактивної потужності по Фризе набуває мінімального або нульового значення при значеннях кута $\varphi = 0$. Також для будь-якого значення коефіцієнта пульсації по струму можна визначити значення коефіцієнта пульсації за напругою і навпаки, при якому зміна значення Q_{Φ} відносно

змінних стану СК АС ($Z=Z(t)$), сигналів стану обладнання іншого АС; $(Is(\{8\} \leftrightarrow \{6\}) = Is(\{8\} \leftrightarrow \{6\}) (t))$, для випадку використання власних джерел РГ ($Is(\{2\} \rightarrow \{5\}) = Is(\{2\} \rightarrow \{5\}) (t)$), для випадку використання власних акумуляторних батарей ($Is(\{3\} \rightarrow \{5\}) = Is(\{3\} \rightarrow \{5\}) (t)$); $S\{\cdot\}$ – імпульсний алгебраїчний оператор виходу, який відображає властивий тому чи іншому елементу загальної моделі системи електропостачання АС вид модуляції вектора Z ; $Ks(\{5\} \rightarrow \{\dots\})$ – вектори сигналів керування на k -му інтервалі ($t_{k-1}; t_k$). Якщо завдяки оператору СК АС $\{\cdot\}$ визначаються всі моменти комутації

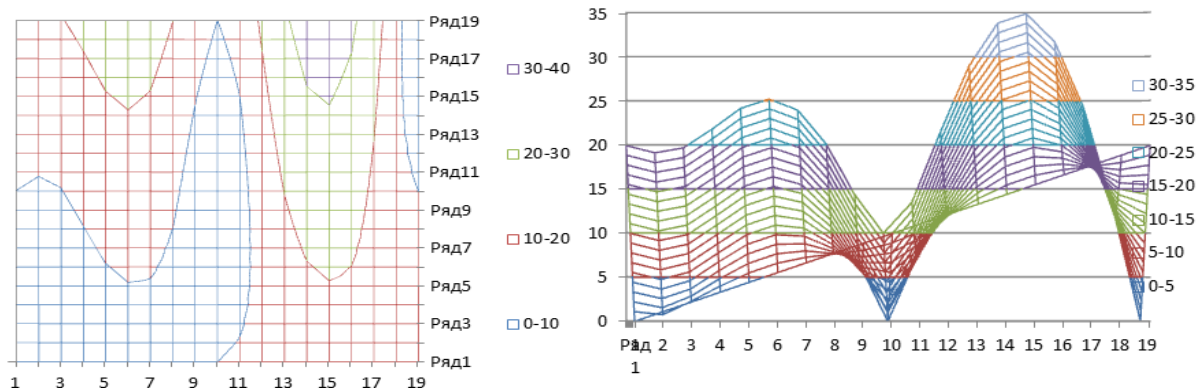


Рис. 8. Залежність $Q\phi(\phi)$ при зміні $K_{\Pi u}$ та $K_{\Pi i}$ від 0 до 20%, де $\phi \in [-360; 360]$

кута ϕ буде залишатися мінімальною або не змінюватиметься взагалі у випадку, коли один із коефіцієнтів пульсації буде рівним нулю.

Отже, існує таке співвідношення коефіцієнтів пульсації струму та напруги, при якому значення $Q\phi$ може набувати значення 0 або ж знаходитися в межах допустимих значень при більш широкому діапазоні співвідношень коефіцієнтів пульсації. Регулювання коефіцієнтів пульсації струму та напруги з метою дотримання значення $Q\phi$ на допустимому рівні може бути використане для мінімізації втрат, оптимізації роботи та керування режимами роботи ЛСЕ.

У п'ятому розділі запропоновано методику оцінки ефективності ЛСЕ із джерелами РГ та АС, суть якої полягає у розрахунку кількісних показників енергоефективності для відповідного елемента та рівня системи енергопостачання, що розглядається, визначенні тих показників, на які впливають джерела РГ та АС, і відповідне порівняння отриманих значень показників енергоефективності до/та після інтеграції джерел РГ та АС у ЛСЕ. За результатами розрахунків визначено пріоритетні заходи з енергозбереження та вибрано потужність ВЕУ, що за результатами розрахунків дозволить зменшити рівень втрат теплової енергії на 5 %, а електричної енергії на 4 %. Моделювання концентратора вітрового потоку для вибраної ВЕУ показало, що потенціал збільшення виробітку електроенергії ВЕУ може зрости на 15 - 20 % (акт про впровадження ТОВ «Полісся-Інвест» від 05.06.2013 р.). Моделювання концентратора вітрового потоку ВЕУ для ПП Кодола І.А. показало, що потенціал збільшення виробітку електроенергії ВЕУ для існуючих умов експлуатації може зрости на 12 - 19 % (акт про впровадження ПП Кодола І.А. від 12.02.2014 р.).

Розроблена методика визначення місць інтеграції джерел РГ полягає в аналізі графу ЛСЕ та визначенні тих вузлів системи енергопостачання в яких є дефіцит потужності, а також тих ліній електропередачі, пропускна спроможність яких є недостатньою чи буде такою після інтеграції джерел РГ, та подальшій оцінці визначених елементів на основі оціночних коефіцієнтів. Запропонована методика дозволяє визначити необхідну потужність джерел РГ та місце їхньої інтеграції в ЛСЕ, а також визначити сучасний стан та потенціал або ж дефіцит пропускної спроможності ліній електропередачі, на основі чого може бути прийняте рішення про їх розвиток чи модернізацію. Методика оцінка потенціалу АС полягає у визначенні його впливу на графік енергоспоживання, шляхом аналізу потенціалу існуючого обладнання споживача та потенціалу обладнання АС, яке може бути встановлене у

вибраного споживача електроенергії, на основі чого проводиться співставний аналіз та визначається найбільш ефективна комбінація обладнання та його вплив.

Запропонований підхід дозволив отримати наступні результати: коефіцієнт ефективності всієї системи розподілу збільшився на 3%; коефіцієнт ефективності системи розподілу електроенергії від *i-go* джерела енергії зріз на 5%; коефіцієнт забезпеченості споживача електроенергією збільшився на 18 %. Отримані результати передані для експлуатації НКРЕКП (акт про впровадження від 26.07.2016 р.).

Приклад розв'язку оптимізаційної задачі ЛСЕ наведено на рис 9.

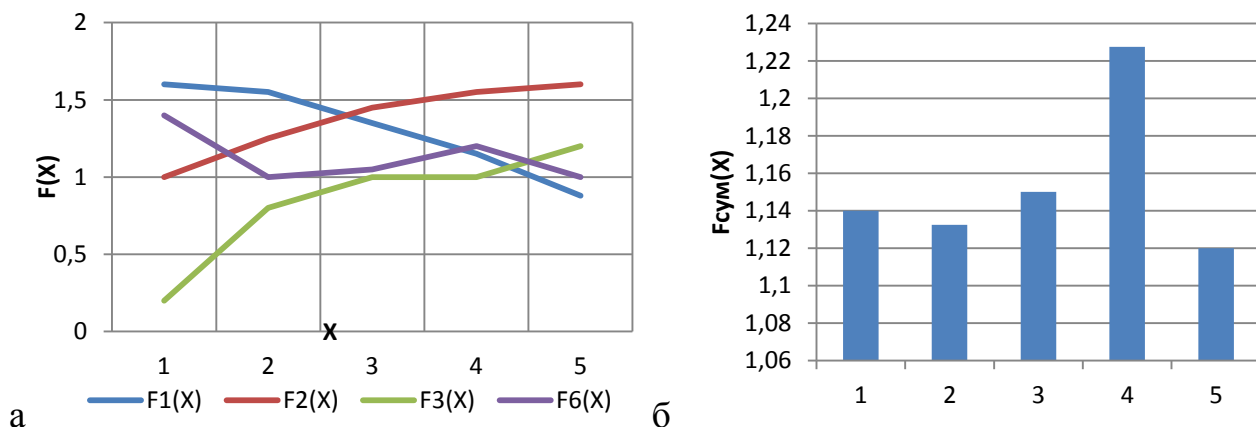


Рис 9. Значення частинних складових (а) та загальний показник (б)

Проведений розрахунок потенціалу впровадження АС в ЛСЕ ПАТ «Прикарпаттяобленерго» показав, що вибір правильного режиму роботи АС та узгодження його роботи із системним оператором дозволить зменшувати пікове навантаження в досліджуваному вузлі на 8-15%, залежно від сценаріїв поведінки споживачів електроенергії та параметрів джерел РГ. Результати розрахунку потужності РГ та сценаріїв поведінки АС, а також вибору місця встановлення були проведені для ПАТ «Прикарпаттяобленерго» (акт впровадження від 04.04.2014 р.).

Комплексне використання запропонованих в роботі підходів дозволить оцінити існуючий стан енергоефективності споживачів електроенергії, оцінити потенціал активної поведінки основного обладнання та споживача в цілому, визначити найбільш оптимальні заходи та технологію для підвищення енергоефективності й реалізацію потенціалу активної поведінки, а також провести оцінку ефективності запропонованих заходів після реалізації. передано для промислової експлуатації в НКРЕКП (акт про впровадження від 26.07.2016 р.).

Представлені в роботі методичні підходи та алгоритми застосовані як елементи концепції «Інтелектуальне місто» на основі якої запропоновано заходи з реконструкції та модернізації інженерних комунікацій, впровадженню сучасних систем обліку, інтеграцію НВДЕ в систему електропостачання міста та ін. у м. Мукачево (акт впровадження від 12.04.2013 р.). Очікуваний ефект від реалізації заходів може становити до 18,5 % відносно загального споживання.

ВИСНОВКИ

У дисертаційній роботі вирішено науково-прикладну задачу підвищення ефективності СЕП, яка зараз є актуальною. Суть отриманого рішення цієї задачі полягає у вдосконаленні методів інтеграції джерел РГ та АС енергії в ЛСЕ, а також розширенні можливостей їхнього використання.

1. Розроблено методику оцінки ефективності ЛСЕ та ефекту від інтеграції джерел РГ та АС, використання якої дає можливість попередньо оцінити ЛСЕ, визначити потенційні місця приєднання джерел РГ, а також оцінити їх вплив.

2. Запропоновано методику оцінки ефективності СЕП 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, а також реалізації потенціалу АС енергії.

3. Створено загальну модель АС та загальну модель СК, що дасть змогу описувати будь-якого АС електроенергії, а також сформовано загальну оптимізаційну задачу з вибору та узгодження режимів роботи АС та вибору режимів роботи системи енергопостачання із АС та РГ. Це дає можливість розробити відповідні методики та алгоритми функціонування СК.

4. Запропоновано моделі взаємодії АС із системою енергопостачання, а також моделі взаємодії обладнання АС між собою, узагальнено та проаналізовано режими роботи окремого обладнання АС, АС в цілому та варіантів взаємодії АС із системою енергопостачання, що дає змогу вдосконалити алгоритми роботи СКН та здійснити автоматизоване керування режимами роботи таких систем. Підтверджено необхідність розробки відповідних систем керування та запропоновано основні алгоритми таких систем.

5. Запропоновано моделі СК обладнанням АС, АС різних рівнів, об'єднанням АС, системою енергопостачання із АС, які дають можливість реалізувати ефективну взаємодію між АС та існуючою системою енергопостачання як у перехідний період, так і в новій інтелектуальній енергетичній системі.

6. Запропоновано алгоритм інтеграції НВДЕ в систему енергопостачання (розподільні мережі), використання якого дає можливість більш ефективно здійснювати інтеграцію джерел РГ на рівні узгодження алгоритмів функціонування.

7. Підтверджено, що існує можливість реалізації використання низькопотенціальних вітрових потоків швидкостями менше 3 м/с, які наявні по всій території України, в безпосередній близькості від споживачів. Запропоновано основні положення побудови інтегрованих систем енергозабезпечення на основі НВДЕ з концентраторами енергетичного потоку, що дає змогу створювати ефективні комплексні системи енергопостачання з використанням саме тих енергетичних ресурсів, доступ до яких є в кінцевих споживачів.

8. Проведено моделювання концентраторів вітрового потоку у вигляді дифузора та конфузора, а також їхніх комбінацій у програмному комплексі SolidWorks. Досліджено залежність швидкості вітрового потоку від параметрів концентратора.

СПИСОКОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

1. Інтелектуальні електричні мережі: елементи та режими [Текст] / Базюк Т.М., Білінов І.В., Буткевич О.Ф., Гончаренко І.С., Денисюк С.П. та ін.; за заг. ред. акад. НАН України О.В. Кириленка / Інститут електродинаміки НАН України. – К.: Ін-т електродинаміки НАН України, 2016. – 400 с. – ISBN 978-966-02-7913-1.

2. Денисюк С.П. Аналіз впливу нерівномірності споживання електроенергії [Текст] / С.П. Денисюк, Т.М. Базюк // Східно-європейський журнал передових

технологій. – 2013. – № 8(64). – С. 9–13. – ISSN 1729-3774.

3. Денисюк С.П. Оцінка ефективності сумісної роботи розосереджених джерел генерації електроенергії, включаючи відновлювальні, в електроенергетичних системах [Текст] / С.П. Денисюк, Т.М. Базюк, Д.Г. Дерев'янка // Вісник Кременчуцького національного університету імені Михайла Остроградського –2013. – №3(80). – С. 54–59. – ISSN 1995-0519.

4. Праховник А.В. Ефективне використання енергетичних ресурсів та концентрація потоку енергії низькопотенціальних джерел [Текст] / А. В. Праховник, Т.М. Базюк // Енергетика : економіка, технології, екологія : науковий журнал. – 2013. – № 1. – С. 39–46. – ISSN 1813-5420.

5. Денисюк С.П. Активний споживач електроенергії. Проблеми та перспективи його функціонування в Україні [Текст]/ С.П. Денисюк, Т.М. Базюк // Енергетика та електрифікація. – 2013. – №11. – С. 38–42. – ISSN 0424-9879.

6. Кириленко О.В. Інформаційне та нормативне забезпечення організації мультиагентного керування електроенергетичної системи із активним споживачем[Текст] / О.В. Кириленко, С.П. Денисюк, С.Є. Танкевич, Т. М. Базюк // Інформаційні технології та комп'ютерна інженерія. –2016. – № 1. – С. 29–34. – ISSN 1999-9941.

7. Базюк Т.М. Підвищення ефективності інтеграції розосереджених джерел енергії в мережах систем електропостачання [Текст] / Т.М. Базюк // Зб. пр. Ін-ту електродинаміки. Спец. вип. – 2012. – С. 98–102. – ISSN 1727-9895.

8. Базюк Т.М. Системна інтеграція джерел розосередженої генерації в мережах із активним споживачем [Текст]/ Т.М. Базюк // Зб. пр. Ін-ту електродинаміки. Спец. вип. – 2013. – С. 136–143. – ISSN 1727-9895.

9. Денисюк С.П. Оптимальний відбір потужності в системах електропостачання[Текст] / С.П. Денисюк, Т.М. Базюк // Енергетика : економіка, технології, екологія. –2013. – № 2. – С. 50–57. – ISSN 1813-5420.

10. Базюк Т.М. Особливості оцінки енергетичного потенціалу та зміни енергетичного балансу регіону [Текст] / Т.М. Базюк // Спецвипуск журналу "Енергетика: економіка, екологія, технології". –2013. – С. 17–23. – ISSN 1813-5420.

11. Базюк Т.М. Оптимізація інформаційних потоків при визначенні показників енергоефективності на підприємстві [Текст] / Т.М. Базюк, О.М. Огієвич // Енергетика : економіка, технології, екологія. – 2014. – № 2(36). – С. 129–135. – ISSN 1813-5420.

12. Денисюк С.П. Особливості формування активного споживача в сучасних електромережах [Текст] / С.П. Денисюк, Т.М. Базюк // Вісник Вінницького політехнічного інституту. –2014. – № 3. – С. 75–79. – ISSN 1997-9274.

13. Базюк Т.М. Оптимізація режимів споживання активним споживачем електричної енергії з мережі [Текст] / Т.М. Базюк, І.В. Притискач // Енергетика: економіка, технології, екологія. – 2014. – № 1. –С. 95–100. – ISSN 1813-5420.

14. Денисюк С.П. Аналіз впливу джерел розосередженої генерації на електромережу та особливості побудови віртуальних електростанцій [Текст] / С.П. Денисюк, Т.М. Базюк // Електрифікація транспорту. – 2012. – № 4. – С. 23–29.

15. Денисюк С.П. Використання відновлювальних джерел енергії в місті [Текст] / Т.М. Базюк, С.П. Денисюк // Журнал "Экология плюс". – 2013. – № 2 (35). – С. 4–7.

16. Ранжування показників енергоефективності для побудови інтегрованих систем енергопостачання [Текст]/ Т.М. Базюк, Ю.М. Чернуха // Зб. праць конференції

«Енергетика. Екологія. Людина.» – 2013. – С. 357–367. Режим доступу до журналу: <http://en.lee.kpi.ua/files/2013/konference2013.pdf>

17. SergiiDenysiuk. Algoritms For Optimal Mode Selection Of Energy Prosumer[Текст] / SergiiDenysiuk, TarasBaziuk // Conference Proceedings [2014 IEEE International Conference on Intelligent Energy and Power Systems] (June 2-6, 2014, Kyiv, Ukraine), p. 171–177.Режим доступу до журналу:<http://ieeexplore.ieee.org/document/6874174/?reload=true>

18. Базюк Т.М. Застосування показників енергоефективності для побудови інтегрованих систем енергопостачання [Текст] Зб. праць конференції [«Енергозбереження на залізничному транспорті та в промисловості» (6-7 червня 2013 р., смт. Жденієво, Закарпатської обл.) / Т.М. Базюк, Ю.М Чернуха / ДНУЗТ – 2013. – С. 6.

19. Базюк Т.М.Мікромережі як альтернативний підхід до системної інтеграції джерел розосередженої генерації та активного споживача [Текст] Зб. праць конференції [«Сучасні проблеми систем електропостачання промислових та побутових об'єктів» (2013 р., м. Донецьк)] / Т.М. Базюк, Д.С. Трохимчук / – С. 154.

20. Денисюк С.П. Особливості формування активного споживача в сучасних електромережах [Текст] Зб. праць конференції [«Оптимальне керування електроустановками» (жовтня 2013, м. Вінниця)] / С.П. Денисюк, Т.М. Базюк / – ВНТУ – 2013. – С. 36.

21. Денисюк С.П. Класифікація активних споживачів відповідно до ступеня їх залученості та наявного потенціалу [Текст] Зб. праць конференції [«Енергозбереження на залізничному транспорті та в промисловості»] (11-14 червня 2014 р. смт. Воловець, Закарпатської обл.) / С.П. Денисюк, Т.М. Базюк, В.П. Опришко / –2014. – С. 55–56.

22. Кириленко О.В. Особливості функціонування активних споживачів електроенергії при клієнтоорієнтованому підході [Текст]Зб. праць конф. [«Оптимальне керування електроустановками (ОКЕУ-2015)», (14-15 жовтня 2015 р., м. Вінниця) / О.В. Кириленко, С.П. Денисюк, С.Є. Танкевич, Т.М. Базюк / ВНТУ .– 2015.– С.78–79.

23. Кириленко О.В. Інформаційне та нормативне забезпечення організації мультиагентного керування електроенергетичної системи із активним споживачем [Текст] Зб. праць конф. [«Оптимальне керування електроустановками (ОКЕУ-2015)», (14-15 жовтня 2015 р., м. Вінниця) / О.В. Кириленко, С.П. Денисюк, С.Є. Танкевич, Т.М. Базюк/ ВНТУ .– 2015.– С. 24–26.

24. Бориченко О.В.Система показників для оцінювання енергетичної ефективності в системі енергетичного менеджменту [Текст] : Зб. тез допов. міжнар. наук.-практ. конф. [«Енергетичний менеджмент: стан та перспективи розвитку – 2015»], (19–21 травня 2015 р., м. Київ) / О.В. Бориченко, Т.М. Базюк, В.А. Вишняков, Я.В. Рибінська/ НТУУ «КПІ». – 2015. С. 23-24. Режим доступу до журн.: http://pems.kpi.ua/thesis/PEMS_2015/

25. Базюк Т.М. Дослідження можливостей підвищення ефективності вітроенергетичних установок різної потужності [Текст] Зб. праць. конференції [«Енергетика. Екологія. Людина.»] (травень 2015, м. Київ) /Т.М. Базюк, Д.С. Горенко/– НТУУ «КПІ» – 2015р.

26. Бориченко О.В.Система показників для оцінювання енергетичної

ефективності[Текст]: Зб. тез допов. міжнар. наук.-практ. конф. [«Енергетичний менеджмент: стан та перспективи розвитку – 2016»], (30 травня–1 червня 2016 р., м. Київ)/ О.В. Бориченко, Т.М. Базюк, В.А. Вишняков, Я.В. Рибінська/ – НТУУ «КПІ» 2016.С. 64-65. Режим доступу до журн.: http://pems.kpi.ua/thesis/PEMS_2016/

27. Михайлів М.І. Основні положення влаштування дахових вітроенергетичних установок [Текст] Матеріали міжнародної науково-технічної конференції [«Нафтогазова енергетика: проблеми та перспективи»],.(м. Івано-Франківськ, 2009 р.) / М.І. Михайлів, Т.М. Базюк, І.М. Михайлів/ – ІФНТУНГ– 2009 р.

АНОТАЦІЯ

Базюк Т. М. Підвищення енергоефективності локальних систем енергопостачання із активними споживачами та розосередженою генерацією. – На правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.14.01 – енергетичні системи та комплекси. – Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут», Київ, 2016.

У дисертаційній роботі вирішено науково-прикладну задачу підвищення енергоефективності локальних систем енергопостачання. Суть отриманого рішення цієї задачі полягає у вдосконаленні методів інтеграції джерел розосередженої генерації та активних споживачів енергії в систему енергопостачання, а також розширенні можливостей їхнього використання.

Запропоновано методики які дають змогу визначити потенціал підвищення ефективності джерел розосередженої генерації, потенціалактивної поведінки споживачів. Розроблено математичні моделі з метою визначення та аналізу можливих режимів роботи активного споживача і вивчення взаємодії як між окремими його компонентами (складовими), так і з мережами енергопостачання, а також системи керування роботою окремих активних споживачів та їх груп з урахуванням їх взаємодії з системою централізованого енергопостачання. Розроблено методичний базис для комплексної оцінки ефективності роботи окремих складових активних споживачів та локальних систем енергопостачання в цілому за рахунок одночасного врахування сукупності кількісних та якісних показників енергоефективності використання обладнання.

Ключові слова: активний споживач, розосереджена генерація, енергоефективність.

ABSTRACT

Baziuk T. M. Energy efficiency improvement for local energy power systems with prosumers and distributed generation. – As the manuscript.

The dissertation on competition of a scientific degree of a Candidate of Engineering Sciences (Ph. D.) on speciality 05.14.01 – energy systems and complexes. – National Technical University of Ukraine "Kyiv Polytechnic Institute", Kyiv, 2016.

The scientific problems of energy efficiency and power supply of local energy systems are solved in this thesis. The essence of the solution to this problem is to improve the methods of integration of DG sources and active energy consumers in energy supply process and to promote their use.

The methods that allow to identify the potential of energy efficiency of DG sources and the potential of active behavior of the consumer are developed in this thesis. The mathematical models presented in this thesis allow to identify and analyze possible modes

of prosumers and study interaction between its individual components as well as with energy supply network. The methodical basis for a comprehensive assessment of the effectiveness of the individual components of active consumers and local power systems as a whole are presented in this study. The new design of wind flow hubs of complex shapes that increase the efficiency of low-grade wind flow concentrators create conditions for attracting wind turbines in the built environment, which increases the energy potential of active consumers as part of integrated power systems.

Keywords: prosumer, distributed generation, energy efficiency.

АННОТАЦИЯ

Базюк Т. Н. Повышение энергоэффективности локальных систем энергоснабжения с активными потребителями и распределенной генерацией. – На правах рукописи.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.14.01 – энергетические системы и комплексы. – Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт», Киев, 2016.

В диссертационной работе решена научно-прикладная задача повышения энергоэффективности локальных систем энергоснабжения. Суть полученного решения данной задачи состоит в совершенствовании методов интеграции источников распределенной генерации и активных потребителей энергии в систему энергоснабжения, а также расширении возможностей их использования.

Предложены методики позволяющие определить потенциал повышения эффективности источников рассредоточенной генерации, потенциал активного поведения потребителей. Разработаны математические модели для определения и анализа возможных режимов работы активного потребителя и изучения взаимодействия как между отдельными его компонентами (составляющими), так и с сетями энергоснабжения, а также системы управления работой отдельных активных потребителей и их групп с учетом их взаимодействия с системой централизованного энергоснабжения. Разработан методический базис для комплексной оценки эффективности работы отдельных составляющих активных потребителей и локальных систем энергоснабжения в целом за счет одновременного учета совокупности количественных и качественных показателей энергоэффективности использования оборудования.

Предложены новые конструкции построения (схемы функционирования) концентраторов ветрового потока сложной формы, которые повышают эффективность использования низкопотенциальных ветровых потоков и создают условия для использования ветроэнергетических установок в условиях города, что повышает энергетический потенциал активного потребителя в составе интегрированных систем энергоснабжения. Согласно концепции развития энергетики Smart Grid, кроме классических производителей и потребителей энергии, предполагается широкое применение активных потребителей, использование которых обусловлено наличием источников распределенной генерации, накопителей энергии и систем управления нагрузкой, которые в свою очередь могут стать активной составляющей системы управления спросом (Demand Side Management - DSM).

Ключевые слова: активный потребитель, распределенная генерация, энергоэффективность.

Підписано до друку 17.11.2016 р. Формат 60х84/16.
Папір офсетний.
Ум. друк. арк. 0,9.
Наклад 100 прим. Зам. № 28

Надруковано в друкарні «Наш формат»
м. Київ, вул. Фрунзе, 86