

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ  
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ ІМЕНІ  
ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»**

**НАХОДОВ ВОЛОДИМИР ФЕДОРОВИЧ**



УДК 621.311

**УПРАВЛІННЯ РЕЖИМАМИ СПОЖИВАННЯ ТА  
ЕФЕКТИВНІСТЮ ВИКОРИСТАННЯ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ  
В ЕНЕРГЕТИЧНИХ СИСТЕМАХ**

05.14.01 – енергетичні системи та комплекси

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

**Київ – 2018**

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана на кафедрі електропостачання Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського» Міністерства освіти і науки України.

Науковий консультант: доктор технічних наук, професор

**Денисюк Сергій Петрович,**  
Національний технічний університет України  
«Київський політехнічний інститут імені  
Ігоря Сікорського»,  
директор інституту енергозбереження та  
енергоменеджменту.

Офіційні опоненти:

член-кореспондент НАН України, доктор технічних  
наук, старший науковий співробітник  
**Новосельцев Олександр Вікторович,**  
Інститут технічної теплофізики НАН України,  
провідний науковий співробітник відділу  
теплофізичних основ енергоощадних технологій;

доктор технічних наук, старший науковий співробітник  
**Нікітін Євген Євгенійович,**  
Інститут газу НАН України,  
провідний науковий співробітник відділу процесів  
горіння;

доктор технічних наук, професор  
**Каплун Віктор Володимирович,**  
Київський національний університет технологій та  
дизайну, проректор з наукової та інноваційної  
діяльності.

Захист відбудеться «12» червня 2018 р. о 15<sup>00</sup> годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 26.002.20 при Національному технічному університеті України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського» за адресою: 03056, м. Київ-56, вул. Борщагівська, 115, корп. 22, ауд. 316.

З дисертацією можна ознайомитись у Науково-технічній бібліотеці ім. Г.І.Денисенка Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського» за адресою: 03056, м. Київ-56, проспект Перемоги, 37.

Автореферат розісланий «11» травня 2018 р.

Вчений секретар  
спеціалізованої вченої ради



А.І.Замулко

## ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

**Актуальність теми.** В умовах недостатньої забезпеченості власними паливно-енергетичними ресурсами (ПЕР), систематичного зростання цін на вітчизняні та імпортовані енергоресурси, для України дедалі більш нагальною стає необхідність практичного вирішення завдань енергозбереження в усіх ланках національної економіки і, зокрема, у паливно-енергетичному комплексі (ПЕК), який завжди був і залишається одним з найбільших споживачів палива та енергії всіх видів.

Досягнення значних результатів у сфері енергозбереження дозволило б зменшити зовнішню енергетичну залежність України, зберігати власні енергоресурси як національне багатство, зменшити шкідливий вплив енергетичних об'єктів на навколишнє середовище, а також більш раціонально витратити кошти на розвиток ПЕК.

Однією з складових ПЕК є енергетична система, важливою підсистемою якої є електроенергетична система. Тому вирішення проблем раціонального використання енергетичних ресурсів, мінімізації втрат енергії у процесі її виробництва, перетворення, передавання та споживання натеper є актуальними для вітчизняної економіки.

Підвищення ефективності використання ПЕР в електроенергетичному секторі значною мірою залежить від можливості формування та підтримання енергетично ефективних режимів виробництва і передачі електроенергії в енергосистемі. Однак формуванню та підтриманню таких режимів роботи енергосистеми перешкоджає наявність численних проблем, однією з найбільш очевидних та відчутних з яких є проблема покриття нерівномірного попиту споживачів на електричну потужність.

Необхідність покриття нерівномірного навантаження неминуче пов'язана зі зниженням надійності та економічності функціонування енергетичної системи, а також з погіршенням якості електричної енергії.

Відомо, що енергетична галузь України у різні періоди свого існування тією чи іншою мірою завжди була дефіцитною, що викликало необхідність періодичного застосування адміністративних обмежень попиту споживачів на електричну потужність та енергію. Необхідність таких обмежень, з одного боку, можна пояснити періодичною недостатністю палива на електростанціях. З іншого боку, ситуація, що склалася в електроенергетичній галузі України, ускладнюється ще й тим, що значна частина генеруючого обладнання та електричних мереж вже давно вичерпала свій ресурс і є фізично зношеною.

Однак головним чином необхідність періодичних обмежень попиту споживачів на електроенергію викликана тією обставиною, що в об'єднаній енергетичній системі (ОЕС) України існує дефіцит електричної потужності, причиною якого є несприятлива структура генеруючих потужностей енергосистеми. Мова йде про недостатню кількість в ОЕС маневрених енергоблоків, які були б здатними швидко виходити на робочий режим з гарячого або навіть з холодного резерву, а також у широкому діапазоні змінювати величину електричної потужності, що ними виробляється.

Саме з цієї причини в умовах, коли попит споживачів на електроенергію швидко та суттєво змінюється у часі, енергетична система далеко не завжди здатна оперативно підтримувати баланс потужності, що генерується і споживається. Таким чином, не зважаючи на наявність у об'єднаній енергосистемі значного потенціалу не завантажених генеруючих потужностей, надійне та якісне забезпечення попиту

споживачів на електричну енергію стає все більш складним завданням для енергетичної галузі.

Найбільш очевидним шляхом вирішення питання збільшення маневрених потужностей в ОЕС України є побудова нових гідроакumuлюючих електростанцій (ГАЕС), спорудження та використання парогазових та газотурбінних генеруючих установок (ПГУ та ГТУ), а також модернізація існуючого обладнання гідроелектростанцій (ГЕС) з підвищенням діапазону регулювання потужності гідроагрегатів. Але цей шлях створення в українській енергосистемі оптимальної структури генеруючих потужностей потребує значних фінансових та матеріальних витрат, а також тривалого часу.

Враховуючи особливості електроенергетики, слід розуміти, що можливість досягнення енергетично ефективних режимів виробництва і передачі електричної енергії суттєво залежить від формування та підтримання відповідних режимів її споживання. Тому вирішення проблеми покриття нерівномірного навантаження енергосистеми потрібно шукати не тільки у напрямку створення і введення в експлуатацію додаткових маневрених генеруючих потужностей «великої» енергетики. Помітного покращення режимів виробництва і передачі електроенергії в об'єднаній енергосистемі, підвищення надійності та економічності її функціонування можна досягти також шляхом ефективного управління режимами електроспоживання, тобто попитом споживачів на електричну потужність. Таке управління на сьогоднішній день здійснюється у багатьох країнах. Можна стверджувати, що такий шлях вирішення зазначеної проблеми на сьогоднішній день слід вважати найменш витратним, найбільш швидким і реальним для української енергетики.

Очевидно, що в ринкових умовах перевагу слід надавати економічним методам управління електроспоживанням, які повинні шляхом створення економічної заінтересованості залучати споживачів до активної участі у вирівнюванні графіків навантаження енергосистеми.

Значний внесок у створення та розвиток механізмів функціонування енергетичної галузі, зокрема і методів управління електроспоживанням, зробили численні науковці, зокрема: А.Я.Аврух, В.В.Михайлов, В.І.Едельман, В.Р.Окороков, Ю.М.Руденко, М.Н.Розанов, Ш.Ч.Чокін, О.К.Шидловський, Б.С.Стогній, О.В.Кириленко, Г.Л.Багієв, Ю.Б.Гук, Л.П.Падалка, В.І.Гордєєв, С.В.Дімаров, В.Г.Дерзський, Є.Г.Куренний, І.В.Жежеленко, М.П.Ковалко, А.В.Праховник, В.Г.Кузнєцов, І.В.Недін та інші.

Разом з тим, не дивлячись на багаторічну роботу та значну кількість наукових праць в цьому напрямку, проблема удосконалення та подальшого розвитку ринкових механізмів управління режимами споживання електричної потужності в енергосистемі, здатних ефективно залучати споживачів до участі у вирівнюванні графіків її навантаження, на сьогоднішній день є дуже актуальною.

З іншого боку, вирішуючи проблему підвищення ефективності використання ПЕР в електроенергетичній галузі, слід приймати до уваги, що невід'ємною складовою частиною енергетичної системи є численні системи електропостачання споживачів, які пов'язані з електроенергетичною системою відповідними мережами та розподільними пристроями, а також нерозривністю процесів виробництва, передачі, розподілу і споживання електричної енергії. До того ж, можна стверджувати, що значна частка потенціалу енергозбереження, що існує у електроенергетичній системі, припадає на системи електропостачання споживачів.



Таким чином, вирішення задач енергозбереження та енергоефективності у процесах споживання електроенергії, у тому числі і на енергетичних підприємствах, має велике значення для підвищення ефективності використання ПЕР у електроенергетичній галузі, а також у державі в цілому.

Безумовно, основною запорукою успішного вирішення проблеми підвищення енергетичної ефективності національної економіки має бути формування та практична реалізація стратегії енергозбереження на державному рівні. Для цього потрібно вирішити чимало проблем технічного, економічного, організаційного, законодавчого характеру. Однак для досягнення бажаних результатів у сфері енергозбереження не менш важливим є здійснення систематичного управління (в тому числі й оперативного) цією діяльністю як на рівні держави та її регіонів, так і на рівні підприємств, організацій та установ, їх підрозділів і навіть окремих технологічних процесів, агрегатів чи установок.

Однією з першочергових функцій такого управління є систематичний контроль та аналіз рівня ефективності використання електричної енергії у споживачів. Питаннями розробки методів побудови та аналізу електробалансів, а також здійснення контролю енергоефективності займалася низка відомих дослідників, зокрема: В.І.Вейц, А.А.Тайц, І.В.Гофман, Б.Н.Авілов-Карнаухов, Б.Н.Константінов, С.Д.Волобринський, А.В.Праховник, О.В.Новосельцев, С.П.Денисюк, Є.Є.Нікітін, В.В.Каплун, С.І.Випанасенко та інші.

Результати попередніх, а також сучасних досліджень дозволяють стверджувати, що об'єктивна кількісна оцінка, контроль та аналіз ефективності використання електроенергії являють собою проблему, яка до цього часу не вирішена на задовільному рівні.

Без вирішення цієї проблеми не можуть успішно виконуватись і практично не виконуються в Україні, зокрема, такі функції управління енергозбереженням та енергоефективністю, як створення та обґрунтоване застосування системи економічного стимулювання ефективного використання електроенергії, впровадження енергозберігаючого / енергоефективного обладнання, технологій і заходів; створення й функціонування дієвого механізму залучення інвестицій у сферу енергозбереження; визначення потенціалу енергозбереження, економічної доцільності й пріоритетності здійснення енергозберігаючих проектів; здійснення моніторингу реально досягнутих результатів впроваджених заходів з енергозбереження, забезпечення повернення інвестованих коштів тощо.

Таким чином, вирішення проблеми об'єктивної кількісної оцінки, контролю та аналізу рівня ефективності використання електричної енергії (в тому числі і на підприємствах електроенергетики) є необхідним підґрунтям для виконання практично всіх основних функцій управління, що виникають у сфері енергозбереження, і тому являє собою актуальний та важливий для України напрям наукових досліджень.

**Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.** Дисертаційна робота виконана на кафедрі електропостачання КПІ ім. Ігоря Сікорського відповідно до пріоритетного напрямку розвитку науки і техніки «Енергетика та енергоефективність» (Закон України від 12.10.2010 р. № 2519 – 17 «Про пріоритетні напрямки розвитку науки і техніки»), стратегічних пріоритетних напрямів інноваційної діяльності в Україні на 2003-2013 роки «Новітні ресурсозберігаючі технології» (Закон України від 16.01.2003 р. № 433-IV «Про пріоритетні напрями інноваційної діяльності в Україні»), пріоритетних тематичних напрямків «Способи

застосування сучасного енергоменеджменту. Технології забезпечення енергобезпеки» (Постанова Кабінету Міністрів України від 07.09.2011 р. № 942 «Про затвердження переліку пріоритетних тематичних напрямів наукових досліджень і науково-технічних розробок на період до 2020 року»), Комплексної програми НТУУ «КПІ» «Енергетика сталого розвитку» і направленості тематики НДР кафедри електропостачання КПІ ім. І.Сікорського.

Зокрема, результати дисертаційної роботи одержано під час виконання держбюджетних НДР: №7-1106 «Науково-методичне обґрунтування впровадження Єдиної державної системи нормування питомих витрат ПЕР у суспільному виробництві та розроблення рекомендацій щодо її впровадження» (номер держреєстрації 0106U010690), №2258-п «Розробка сучасної концепції, методологічних засад та заходів забезпечення сталого розвитку енергетики України» (номер держреєстрації 0109U002587), №2437-п «Розробка моделей та методів управління інтегрованими системами енергозабезпечення та контроль ефективності енерговикористання» (номер держреєстрації 0111U002484), № 2668-п «Розвиток методологічних засад інтелектуалізації процесів генерації та розподілу електроенергії в інтегрованих системах з активним споживачем» (номер держреєстрації 0113U002489).

Результати виконаних в дисертаційній роботі досліджень одержано також в процесі проведення госпдоговірних НДР, що виконувалися на кафедрі електропостачання: «Аналіз проблеми управління режимами виробництва і споживання електричної енергії в ОЕС України» та «Розробка проекту концепції формування потенціалу маневреної електричної потужності в об'єднаній енергетичній системі України (на замовлення ДП «Національна енергетична компанія «Укренерго»», №14/05 «Проведення енергетичного обстеження та збір вихідних даних, необхідних для розробки методики нормування питомих витрат ПЕР на підприємстві «Запорізький завод кольорових сплавів» (на замовлення ТОВ НВП «ПРОМ-СІТАЛ», м. Київ), №86 «Аналіз основних причин нерівномірності попиту споживачів на електричну потужність та енергію» та «Управління попитом споживачів на електричну потужність та енергію шляхом подальшого розвитку системи диференційованих за часом тарифів» (на замовлення відокремленого підрозділу «Головдерженергонагляд» ДП «Національна енергетична компанія «Укренерго»»).

**Мета і задачі дослідження.** Метою дисертаційної роботи є удосконалення і подальший розвиток методів управління режимами споживання та ефективністю використання електричної енергії, направлених на підвищення економічності функціонування електроенергетичних систем шляхом залучення споживачів до вирівнювання графіків їх навантаження та здійснення оперативного контролю енергоефективності.

Для досягнення зазначеної мети було поставлено та вирішено такі завдання:

- дослідити результати застосування діючої в Україні системи тарифів на електроенергію як засобу управління режимами споживання електричної потужності;
- проаналізувати існуючу в Україні систему контролю ефективності використання електричної енергії, яка базується на визначенні її питомих витрат;
- проаналізувати традиційну методологію побудови та функціонування систем контролю і планування електроспоживання (систем КіП) як прототипу для

створення більш досконалих систем оперативного контролю ефективності використання електричної енергії;

- розробити методологію оцінювання характеру та ступеню впливу основних груп споживачів на нерівномірність добових графіків електричного навантаження енергосистеми;

- створити науково-методичні засади аналізу відповідності встановлених тарифних зон доби сучасним потребам управління попитом споживачів на електричну потужність;

- розробити методичні основи дослідження характеру і ступеню щогодинної протидії зміни навантаження споживачів, що використовують диференційовані за зонами доби тарифи на електроенергію, зміні попиту на потужність споживачів, які не використовують такі тарифи;

- запропонувати методичні засади оцінювання потенціалу економії витрат електроенергетичної системи на виробництво електроенергії, що досягається за рахунок поступового вирівнювання добових графіків її навантаження;

- створити загальну методологію побудови і застосування механізму адресного управління режимами споживання електричної потужності, який дозволить дієво залучати споживачів та електропередавальні організації до участі у вирівнюванні добових графіків навантаження енергосистеми;

- розробити методологію застосування ймовірно-статистичних методів для побудови достовірних та обґрунтованих балансів споживання електричної енергії в умовах недостатніх та нечітко визначених вихідних даних;

- розробити методичні засади визначення оптимального складу чинників, які необхідно враховувати при побудові математичних моделей обсягів електроспоживання, та створити методологію вибору найбільш «прийнятних» моделей на основі їх конкурентного відбору;

- запропонувати методичні основи встановлення цільових змінних споживання електричної енергії в системах оперативного контролю ефективності її використання, що базується на побудові довірчих інтервалів до відповідних математичних моделей;

- створити методологію та науково-методичні засади контролю виконання встановлених цільових змінних електроспоживання, які ґрунтуються на використанні методів статистичного контролю якості продукції;

- запропонувати концепцію побудови та застосування інтегрованих систем контролю ефективності використання електричної енергії, яка базується на поєднанні існуючої системи нормування її питомих витрат та удосконалених локальних систем оперативного контролю енергоефективності.

*Об'єктом дослідження* є процеси управління режимами споживання та ефективністю використання електричної енергії в енергетичних системах.

*Предметом дослідження* є методи і способи управління попитом споживачів на електричну потужність та контролю ефективності використання електроенергії в енергетичних системах.

**Методи дослідження.** Методичною основою дисертаційного дослідження є комплекс загальнонаукових та спеціальних методів, зокрема: методи теорії ймовірності та математичної статистики, кореляційного, регресійного і дисперсійного аналізу, методи експертного опитування, імітаційного моделювання, метод сценаріїв, методи моделювання графіків електричного навантаження, методи

оптимального програмування, методи нечіткої логіки, методи статистичного контролю якості продукції.

**Наукова новизна одержаних результатів** полягає в наступному:

Вперше:

- розроблено методологію статистичного аналізу впливу груп споживачів на нерівномірність навантаження енергетичної системи з використанням введених вперше індивідуальних коефіцієнтів впливу та протидії зміні навантаження, яка дозволяє об'єктивно визначати характер та ступінь впливу груп споживачів на нерівномірність добових графіків навантаження енергетичної системи; відповідність встановлених тарифних зон доби потребам управління попитом споживачів на електричну потужність; досліджувати характер та ступінь впливу на нерівномірність навантаження енергосистеми щогодинної зміни попиту на потужність споживачів, що використовують диференційовані за зонами доби тарифи на електроенергію;

- створено альтернативний метод адресного управління режимами споживання електричної потужності, який завдяки встановленню плати за конфігурацію графіків навантаження та її адресному спрямуванню дає змогу, у порівнянні з діючими диференційованими за зонами доби тарифами на електроенергію, більш ефективно залучати споживачів до участі у вирівнюванні добових графіків навантаження енергосистеми;

- розроблено методологію застосування ймовірісно-статистичних методів для побудови балансів споживання електричної енергії в умовах недостатніх та нечітко визначених вихідних даних, яка дозволяє скласти електробаланси, шляхом заміни нечітких даних їх найбільш ймовірними значеннями;

- науково обґрунтовано та систематизовано процедури контролю та аналізу виконання цільових змінних електроспоживання, які дозволяють оперативно визначати моменти невідповідного зниження або підвищення ефективності електровикористання;

- створено методологічні основи побудови та функціонування інтегрованих систем контролю ефективності використання електричної енергії.

Удосконалено методологічні засади:

- встановлення обґрунтованих цільових змінних споживання електричної енергії в системах оперативного контролю ефективності її використання, що базується на побудові довірчих інтервалів до відповідних математичних моделей;

- визначення оптимального складу чинників, які мають бути включені до математичних моделей електроспоживання, що ґрунтується на врахуванні відносної важливості цих чинників та додаткових обмежень, пов'язаних зі здійсненням збору та обробки відповідних статистичних даних;

- вибору математичних моделей обсягів споживання електроенергії і методів їх побудови, який передбачає направлений конкурентний відбір цих моделей за показниками їх адекватності та за низкою додаткових критеріїв.

**Практичне значення одержаних результатів** полягає у тому, що розроблена в дисертаційній роботі методика розширеного дослідження результатів використання диференційованих за зонами доби тарифів на електроенергію дозволяє об'єктивно визначати характер та ступінь впливу груп споживачів на нерівномірність добових графіків навантаження енергетичної системи, аналізувати відповідність встановлених тарифних зон доби потребам управління попитом споживачів на електричну потужність, а також досліджувати характер та ступінь



впливу на нерівномірність навантаження енергосистеми щогодинної зміни попиту на потужність споживачів, що використовують диференційовані за зонами доби тарифи на електроенергію. Необхідність практичного застосування запропонованого комплексу методик обґрунтовано у науково-дослідній роботі, що виконувалася на замовлення відокремленого підрозділу «Головдерженергонагляд» ДП «Національна енергетична компанія «Укренерго».

Зазначені методики прийнято «Головдерженергонаглядом» для подальшого використання в процесі аналізу режимів споживання електричної енергії в об'єднаній енергетичній системі України.

Створені концепція та методологічні основи побудови механізму адресного управління режимами споживання електричної потужності являють собою принципово новий напрямок розвитку ринкових методів управління режимами споживання електричної потужності в енергосистемі, застосування якого не потребує зміни діючої системи тарифів на електричну енергію та існуючих нормативних і законодавчих документів у цій сфері. Використання розробленого механізму управління дає змогу створити значно більш дієвий «інструмент» залучення споживачів електроенергії та електропередавальних організацій до активної участі у вирівнюванні добових графіків навантаження енергосистеми, ніж існуючі диференційовані за зонами доби тарифи на електроенергію.

Доцільність практичного створення та застосування запропонованого механізму адресного управління режимами споживання електричної потужності і його впровадження в об'єднаній енергетичній системі України підтримана Українським національним комітетом Асоціації «СІГРЕ – Україна» міжнародної ради по великим електроенергетичним системам, яким направлено основні результати дисертаційної роботи з відповідними рекомендаціями щодо подальшого їх використання до Міністерства енергетики та вугільної промисловості України, до Оптового ринку електричної енергії України (ДП «Енергоринок»), до Національної комісії, що здійснює державне регулювання у сфері енергетики та комунальних послуг.

Практична цінність результатів дисертаційної роботи полягає також у розробці нових, більш досконалих методик складення балансів споживання електричної енергії, які базуються на застосуванні ймовірно-статистичних методів і дозволяють будувати достовірні та обґрунтовані електробаланси в умовах недостатніх та нечітко визначених вихідних даних.

Ефективність практичного застосування запропонованої методики побудови оптимальних розрахункових моделей балансів споживання електричної енергії експериментально доведено в процесі виконання науково-дослідної роботи зі встановлення норм питомих витрат ПЕР для ТОВ «Запорізький завод кольорових сплавів». Одержані результати свідчать, що баланси споживання електричної енергії, складені з використанням зазначеної методики, є більш обґрунтованими та достовірними у порівнянні з електробалансами, які одержуються розрахунково-аналітичним методом.

Розроблену в дисертаційній роботі методику побудови балансів споживання електроенергії на основі застосування ймовірно-статистичних методів прийнято ТОВ НВП «ПРОМ-СІТАЛ» (м. Київ) для подальшого використання.

Можливість практичного використання розробленого комплексу методик складення електробалансів на основі ймовірно-статистичного підходу експериментально підтверджено також в результаті виконання розрахунків з

побудови балансів споживання електричної енергії за видами продукції та за агрегатами, які виконувались на підприємстві КТ «Завод високовольтної апаратури» (м. Запоріжжя).

Практичну цінність має також розроблена в дисертаційній роботі методика створення та функціонування удосконалених систем оперативного контролю ефективності використання електричної енергії. Застосування запропонованої методології встановлення цільових змінних електроспоживання та здійснення контролю їх виконання дасть змогу визначати науково обґрунтовані показники ефективності використання електричної енергії, підвищити оперативність та об'єктивність контролю енергоефективності і здійснювати на цій основі коректне та дієве управління енергозбереженням у процесах виробництва і споживання електроенергії. Таким чином, отримані в дисертаційній роботі результати дозволять удосконалити діючу в Україні систему контролю ефективності використання електричної енергії в суспільному виробництві та забезпечити реалізацію одного з можливих напрямів її подальшого розвитку.

Результативність практичного застосування розробленої методології побудови та функціонування локальних систем оперативного контролю ефективності використання електроенергії технологічними об'єктами експериментально перевірено на підприємстві КТ «Завод високовольтної апаратури» (м. Запоріжжя), а також на підприємстві «JSC Lietpak» (м. Вільнюс, Литва).

Запропоновану методологію створення систем оперативного контролю ефективності використання електричної енергії прийнято для подальшого використання ДП «Центральне агентство з енергетичних обстежень».

Доцільність практичного застосування зазначених результатів дисертаційної роботи підтверджена також довідками НДІ «Енергія» та ТОВ «Укренергоефект».

За результатами дисертаційної роботи одержано свідоцтва про реєстрацію авторського права на наукові твори: «Методика побудови оптимальних розрахункових моделей балансів споживання електричної енергії виробничо-господарських об'єктів» (свідоцтво № 38503, дата реєстрації 26.05.2011р.), «Методика встановлення обґрунтованих «стандартів» споживання електроенергії та здійснення об'єктивного контролю їх виконання в системах статистичного контролю ефективності енерговикористання» (свідоцтво № 38504, дата реєстрації 26.05.2011 р.), «Механізм цільового управління режимами споживання електричної потужності в ОЕС України» (свідоцтво № 68051, дата реєстрації 29.09.2016 р.), «Ймовірісно-статистичний підхід до побудови балансів електроспоживання на підприємствах теплоенергетики» (свідоцтво №69589, дата реєстрації 04.01.2017 р.).

Основні теоретико-методичні та практичні результати дисертаційного дослідження використовуються в навчальному процесі кафедри електропостачання КПІ ім. Ігоря Сікорського в дисциплінах, що викладаються для студентів та слухачів курсів підвищення кваліфікації відповідних фахівців, при підготовці магістерських та кандидатських дисертацій, зокрема, в дисциплінах «Контроль ефективності енерговикористання», «Методи контролю ефективності енерговикористання», а також «Маркетингові дослідження в енергетиці».

**Особистий внесок здобувача.** Основні наукові положення, теоретичні та практичні результати, які виносяться на захист, і наведені в дисертаційній роботі, отримані автором самостійно у період 1994 – 2017 рр., під час виконання досліджень в Інституті енергозбереження та енергоменеджменту КПІ ім. Ігоря Сікорського.

У друкованих працях, які були опубліковані у співавторстві, здобувачеві належать наступні результати. У роботі [1] – запропоновано ідею побудови в Україні багатофункціональної системи тарифів на електричну енергію, визначено склад основних її функцій та динаміку поступового їх включення до системи тарифів. У роботах [5, 25, 26, 28, 34] – створено науково-методичні засади встановлення складових багатофункціональної системи тарифів та електроенергію. У роботах [51 – 55] – розроблено методики виконання розрахунків, необхідних для встановлення та застосування відповідних складових багатофункціональної системи тарифів на електричну енергію. У роботах [2, 3, 7, 18, 27, 29, 33, 56] – обґрунтовано необхідність управління використанням електричної енергії в енергетичній системі, визначено основні шляхи та методи здійснення такого управління, сформульовано роль тарифів на електроенергію як одного з основних засобів управління електроспоживанням, проаналізовано світовий досвід формування та застосування тарифів на електроенергію. У роботах [4, 22] – запропоновано та удосконалено методичні засади оцінки та аналізу впливу на нерівномірність навантаження енергетичної системи зміни попиту споживачів на електричну потужність. У роботах [6, 32] – обґрунтовано необхідність встановлення та використання диференційованих за періодами часу тарифів як засобу управління режимами споживання електричної енергії в енергосистемі, визначено структуру та методи побудови таких тарифів. У роботах [19, 23, 46] – запропоновано методичні засади оцінки та аналізу результатів застосування в Україні диференційованих за зонами доби тарифів на електричну енергію, визначено першочергові напрямки удосконалення та подальшого розвитку цих тарифів. У роботах [9, 12, 21] – проаналізовано діючі в Україні методики нормування питомих витрат електричної енергії, визначено напрями та методи удосконалення та подальшого розвитку цих методик. У роботах [10, 13, 20, 36, 37, 39, 40, 44, 45, 47, 49, 57, 60] – запропоновано ймовірісно-статистичний підхід до побудови балансів споживання електричної енергії, створено методологію складення електробалансів в умовах невизначеності вихідної інформації з застосуванням нечіткої логіки, ймовірісно-статистичних та оптимізаційних методів. У роботах [8, 11, 15, 35, 38] – обґрунтовано важливість здійснення об'єктивного контролю ефективності використання паливно-енергетичних ресурсів для систематичного управління енергозбереженням та практичного вирішення задач у цій сфері. У роботі [17] – розроблено методологічні засади комплексного вирішення задачі визначення оптимального складу чинників, які необхідно враховувати в процесі побудови та застосування систем оперативного контролю ефективності використання електричної енергії. У роботах [14, 16, 41, 58] – обґрунтовано необхідність застосування багатфакторних нелінійних математичних моделей обсягів електроспоживання електричної енергії, створено методологію визначення найбільш прийнятних математичних моделей споживання електроенергії при побудові систем оперативного контролю ефективності її використання. У роботах [30, 42, 43, 50] – розроблено методологію здійснення оперативного контролю виконання встановлених цільових змінних споживання електричної енергії в системах оперативного контролю ефективності енерговикористання. У роботах [24, 48] – визначено основні складові додаткових витрат енергосистеми на покриття нерівномірного попиту споживачів на електричну потужність, створено методологічні засади оцінки можливого зменшення цих витрат в результаті вирівнювання графіків навантаження енергетичної системи. У роботі [59] – запропоновано ідею створення механізму адресного управління

режимами споживання електричної потужності в енергосистемі, розроблено методологію побудови та застосування цього механізму.

**Апробація результатів дисертації.** Основні положення дисертаційної роботи та її окремі результати були оприлюднені на: міжнародній конференції «Енергозбереження, екологія, ефективність: шляхи зниження енергозалежності України» (м. Київ, 2008 р.); III міжнародній науково-практичній конференції «Енергоефективність великого промислового регіону» (м. Донецьк, 2008 р.); XXIII міжнародній конференції UKR-POWER 2008 «Комплексне вирішення проблем енергозбереження в промисловій та комунальній енергетиці» (м. Ялта, 2008 р.); IV міжнародній науково-практичній конференції «Енергетична безпека та енергозбереження на транспорті: технології та інвестиції» (м. Одеса, 2009 р.); науково-технічній конференції «Енергетика, гірництво: економіка, технології, екологія» присвяченій вшануванню 90 років від дня народження В.М. Винославського (м. Київ, 2010 р.); міжнародній науково-технічній конференції викладачів, аспірантів і студентів «ДВНЗ» ДонНТУ (м. Донецьк, 2013 р.); IV міжнародній науково-практичній конференції «Энергосбережение на дорожном транспорте и промышленности» Д.ДНУЖТ (м. Київ, 2013 р.); міжнародній науково-технічній конференції «Автоматический контроль и автоматизация производственных процессов» (м. Мінськ, 2015 р.); міжнародній науково-технічній конференції «Information, Electronic and Electrical Engineering (AIEEE), 2015 IEEE 3rd Workshop» (м. Рига, 2015 р.); XIV міжнародній науково-технічній конференції молодих вчених та спеціалістів «Електромеханіка та енергетичні системи, методи моделювання та оптимізації» (м. Кременчук, 2016 р.); III міжнародній науково-технічній та навчально-методичній конференції «Енергетичний менеджмент: стан та перспективи розвитку «PEMS'16» (м. Київ, 2016 р.); міжнародній науково-практичній та навчально-методичній конференції «Сталий енергетичний розвиток: сучасні тенденції, технології та рішення» (м. Київ 2016 р.); міжнародній науково-технічній конференції «Information, Electronic and Electrical Engineering (AIEEE), eStream» (м. Вільнюс, 2016 р.); міжнародній науково-технічній конференції «Information, Electronic and Electrical Engineering (AIEEE), 2015 IEEE 4rd Workshop» (м. Вільнюс, 2016 р.); а також на науково-технічних конференціях молодих дослідників, аспірантів та студентів «Енергетика. Екологія. Людина» (Київ, НТУУ «КПІ», 2006 – 2017 рр.).

**Публікації.** За результатами досліджень опубліковано 60 наукових праць, у тому числі: 24 – у наукових фахових виданнях України (з них 8 – у виданнях України, які включені до міжнародних наукометричних баз, 1 – у іноземному виданні), 6 – в інших наукових виданнях, 20 – тези доповідей у збірниках матеріалів конференцій, 6 – депоновані рукописи, 4 – свідоцтва про реєстрацію авторського права на науковий твір.

**Структура та обсяг дисертації.** Дисертаційна робота складається зі вступу, шести розділів, висновків, списку використаної літератури та додатків. Загальний обсяг роботи складає 432 сторінки, у тому числі, 318 сторінок основного тексту, 55 рисунків, 16 таблиць, список використаних джерел з 340 найменувань та 7 додатків.

## ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У **вступі** обґрунтовано актуальність вибраної теми дисертації, показано зв'язок роботи з науковими програмами, темами та планами, сформульовано мету, завдання, об'єкт та предмет досліджень, наведено методи виконання досліджень,



зазначено наукову новизну та практичне значення отриманих в дисертації результатів, а також особистий внесок здобувача, наведено дані щодо апробації результатів роботи та їх публікації.

У **першому розділі** наведено характеристику електроенергетичного комплексу України, його особливості та роль у підвищенні ефективності використання ПЕР в державі. Доведено, що необхідність практичного вирішення завдань енергозбереження в усіх ланках національної економіки і, зокрема, у паливно-енергетичному комплексі, який є одним з найбільших споживачів палива та енергії всіх видів стає дедалі більш актуальною.

Можливість підвищення ефективності використання ПЕР в електроенергетичному секторі значною мірою залежить від формування та підтримання енергетично ефективних режимів виробництва і передачі електроенергії в енергосистемі, які, у свою чергу, головним чином визначаються режимами її споживання. Отже, управління електроспоживанням в енергетичній системі є важливим засобом підвищення енергетичної ефективності вітчизняної електроенергетики.

Однією з найбільших відчутних проблем електроенергетичної галузі України є нерівномірність добових графіків попиту споживачів на електричну потужність, що у поєднанні з дефіцитом маневрених генеруючих потужностей спричиняє значний негативний вплив на функціонування об'єднаної енергетичної системи. Помітного покращення режимів виробництва і передачі електричної енергії в енергосистемі, підвищення надійності та економічності її функціонування можна досягти, зокрема, шляхом залучення до вирішення цієї проблеми споживачів електроенергії. Такий шлях вирішення зазначеної проблеми на сьогоднішній день слід вважати найменш витратним, найбільш швидким і реально досяжним для української електроенергетики.

Участь споживачів електричної енергії у регулюванні графіків навантаження енергосистеми є можливою тільки за умови створення економічної заінтересованості у цьому самих споживачів. Як свідчить світовий досвід, основним «інструментом» економічного впливу енергетичної галузі будь-якої держави на споживачів є тарифи на електричну енергію, зокрема, тарифи, диференційовані за періодами часу, які мають бути дієвим засобом управління режимами електроспоживання.

В Україні, починаючи з 1995 року, і донині єдиним засобом економічного управління попитом споживачів на електричну потужність є одноставочні тарифи на електроенергію, диференційовані за зонами доби. Однак на сьогоднішній день існує нагальна потреба аналізу результатів застосування цих тарифів, оскільки протягом тривалого періоду вони залишаються практично незмінними, у той час як в державі відбулися значні зміни в структурі виробництва і споживання електричної енергії.

У **другому розділі** досліджено результати використання діючих в Україні диференційованих за зонами доби тарифів на електроенергію. Зокрема, проаналізовано динаміку зміни кількості споживачів, що використовують такі тарифи («дифтарифних» споживачів).

Загальна кількість «дифтарифних» споживачів в Україні, що систематично збільшувалась протягом 2002–2013 років, за період з 2013 до 2016 року значно зменшилась (рис.1).

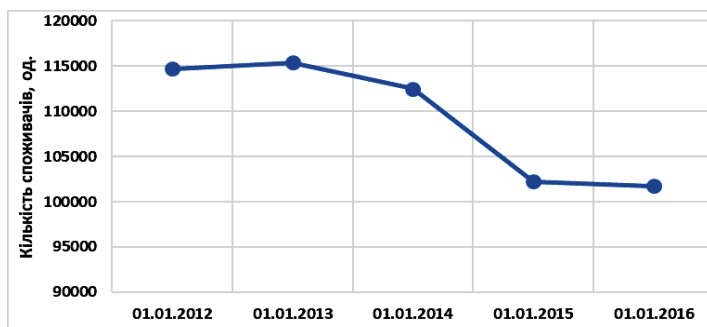


Рисунок 1 – Динаміка зміни загальної кількості споживачів електроенергії, що використовують диференційовані за зонами доби тарифи (2012–2016 роки)

споживається домогосподарствами, слід очікувати, що «дифтарифні» споживачі, які відносяться до групи «Населення», у найближчому майбутньому можуть здійснювати все більш значний вплив на конфігурацію графіків електричного навантаження ОЕС України.

Кількість споживачів, які використовують диференційовані за часом тарифи на електроенергію та відносяться до групи «Промисловість», протягом тривалого часу залишалася практично незмінною, однак після 2013 року спостерігається тенденція до її зниження. Це свідчить, що можливості впливу «дифтарифних» споживачів цієї групи на режими споживання електроенергії в ОЕС України в умовах діючих диференційованих за добовими зонами тарифів поступово зменшуються.

Загальний попит на електроенергію споживачів, які використовують диференційовані за зонами доби тарифи, що систематично зростав протягом 2002–2006 років, після 2009 року почав поступово зменшуватись. Особливо різке його зниження відбулося в 2014 році (рис. 2). Домінуючу частину (близько 90 %) загальної витрати електроенергії «дифтарифними» споживачами

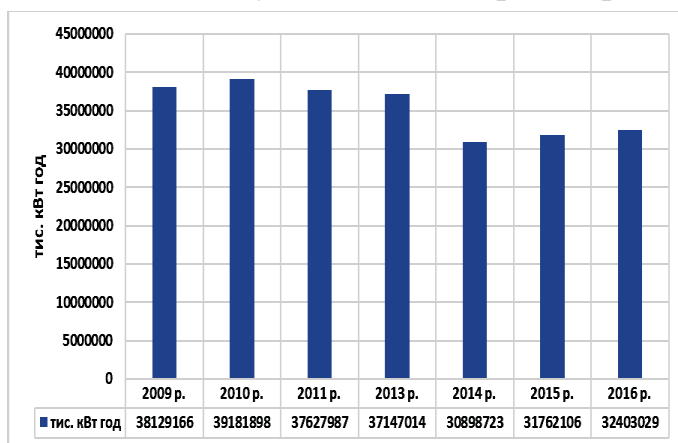


Рисунок 2 – Динаміка зміни попиту на електроенергію «дифтарифних» споживачів протягом 2009–2016 років

відмовою їх частини від подальшого використання диференційованих за зонами доби тарифів. Ця обставина дає змогу припустити, що в економічних умовах, створених діючими диференційованими за зонами доби тарифами на

Переважна більшість споживачів електроенергії, що використовують диференційовані за зонами доби тарифи (близько 85 %), належать до групи «Населення». «Дифтарифні» споживачі цієї групи являють собою велику кількість малих, головним чином побутових споживачів, одинична електрична потужність яких незначною. Проте, приймаючи до уваги кількість цих споживачів, а також помітне збільшення одиничної електричної потужності, що

протягом десяти попередніх років і до сьогодні складає попит на електроенергію промислових споживачів, що використовують зонні тарифи. Дана ситуація дає можливість припустити, що ця група споживачів протягом всього періоду, що аналізується, найбільш суттєво впливала на режими споживання електроенергії в ОЕС України.

Однак, попит на електроенергію «дифтарифних» споживачів, що відносяться до групи «Промисловість», починаючи з 2009 року, поступово зменшується, що, зокрема, пов'язано з

електроенергію, можливості впливу «дифтарифних» промислових споживачів на режими споживання електричної потужності в ОЕС поступово зменшуються.

Про загальні результати застосування використання в Україні диференційованих за зонами доби тарифів на електроенергію можна зробити висновок, аналізуючи зміни конфігурації добових графіків навантаження енергосистеми (рис. 3). Наведені на цьому рисунку графіки свідчать, що використання диференційованих тарифів у початковий період (протягом 1995–2002 років) значною мірою сприяло зниженню нерівномірності графіків навантаження ОЕС, і відповідно, покращенню режимів генерації електроенергії, підвищенню надійності та економічності функціонування енергосистеми.

Проте, не дивлячись на систематичне збільшення кількості споживачів, що використовують диференційовані за зонами доби тарифи, а також обсягів їх електроспоживання, протягом наступних 15 років подальшого помітного вирівнювання добових графіків електричного навантаження об'єднаної енергетичної системи не спостерігалось. Таким чином, можна стверджувати, що діючі в Україні диференційовані за зонами доби тарифи на електроенергію вже давно вичерпали можливості ефективного стимулювання споживачів до подальших змін характеру їх попиту на електричну потужність та не сприяють залученню нових споживачів до участі у вирівнюванні добових графіків навантаження енергосистеми.

3 метою визначення напрямків цілеспрямованого удосконалення та

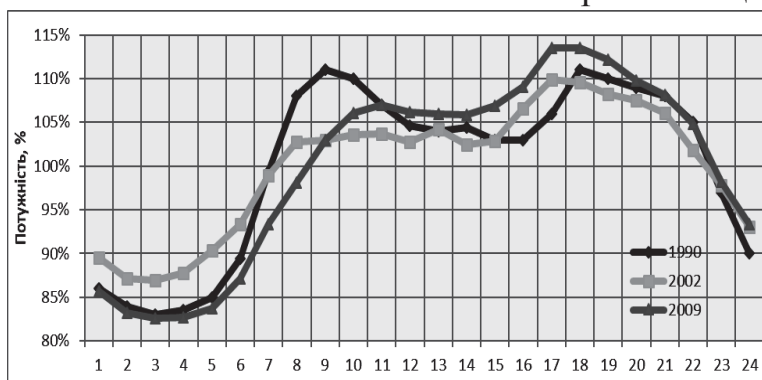


Рисунок 3 – Добові графіки електричного навантаження ОЕС України для середнього робочого дня грудня 1990, 2002 та 2009 років (у % до середньої добової потужності)

подальшого розвитку існуючих диференційованих за зонами доби тарифів на електроенергію розроблено методологію розширеного аналізу результатів їх застосування, в рамках якого досліджено характер та ступінь впливу попиту на електричну потужність основних груп споживачів на нерівномірність добових графіків навантаження енергосистеми, проаналізовано відповідність встановлених меж та тривалості діючих тарифних зон доби сучасним потребам

управління режимами електроспоживання, а також досліджено вплив на нерівномірність добових графіків навантаження енергосистеми щогодинної зміни попиту на потужність споживачів, що використовують диференційовані тарифи.

Дослідження характеру та ступеню впливу зміни попиту споживачів на електричну потужність на нерівномірність навантаження енергосистеми можна виконувати шляхом визначення їх коефіцієнтів впливу ( $K_{впл.}$ ):

$$K_{впл.i} = \frac{D_{cn.i} + \sum_{k=1}^C cov_k(P_{cn.ij} P_{cn.lj})}{D_{ec}}, \quad (1)$$

де  $D_{cn.i}$  та  $D_{ec}$  – відповідно дисперсія графіка електричного навантаження  $i$ -ї групи споживачів і енергосистеми;  $C$  – кількість попарних коваріацій, що не повторюються, між значеннями погодинного навантаження  $i$ -ї групи споживачів

( $P_{cn.ij}$ ) та величинами погодинного навантаження кожної з інших груп споживачів, наприклад,  $l$ -ї групи ( $P_{cn.lj}$ ), які розглядаються одночасно.

Однак найбільш доцільно застосовувати з цією метою запропоновані в дисертаційній роботі коефіцієнти індивідуального впливу ( $K_{інд.впл.}$ ), які розраховуються простіше, ніж подібні до них коефіцієнти (1), і величини яких є менш залежними від зміни характеру попиту на електричну потужність інших груп споживачів, що розглядаються одночасно:

$$K_{інд.впл. i} = \frac{D_{ес.факт} - D_{ес.зм.i}}{D_{ес.факт}}, \quad (2)$$

де  $D_{ес.факт.}$  – дисперсія реального графіка навантаження енергосистеми у відповідний режимний день;  $D_{ес.зм.i}$  – дисперсія штучно зміненого графіка навантаження енергосистеми, побудованого шляхом заміщення фактичного графіка навантаження  $i$ -ї групи споживачів ідеально рівним графіком, в якому всі годинні значення потужності дорівнюють фактичному середньому навантаженню цієї групи.

На підставі числових значень зазначених коефіцієнтів, розрахованих для 2012–2016 років, можна стверджувати, що основний (домінуючий) вплив на нерівномірність добових графіків електричного навантаження енергосистеми здійснює попит на потужність групи споживачів «Населення». Значно менший, але помітний вплив на конфігурацію графіків навантаження енергосистеми мають споживачі, що відносяться до групи «Промисловість».

З метою аналізу коректності встановлення меж та тривалості тарифних зон доби доцільно використовувати розроблений в дисертації метод групування годинних значень електричного навантаження, який базується на застосуванні критерію Стюдента і дозволяє визначати реальні зони доби зі статистично різним рівнем електричного навантаження. При цьому слід аналізувати одночасно як добові графіки навантаження енергосистеми в цілому, так і відповідні графіки навантаження «дифтарифних» та «недифтарифних» (тих, що не використовують зонні тарифи) споживачів. Результати дослідження зазначених графіків (табл. 1) свідчать, що існуючі тарифні зони доби не відповідають сучасним потребам управління попитом споживачів на електричну потужність.

Аналіз впливу «дифтарифних» споживачів на зменшення нерівномірності графіків навантаження енергосистеми (зокрема, і дані табл. 1) підтверджують, що протягом доби в цілому цей вплив є позитивним, але недостатнім, через відносно невелику сумарну потужність цієї групи споживачів. Однак, для коректного визначення періодів доби, які б відповідали сучасним потребам управління режимами електроспоживання, не достатньо базуватися тільки на аналізі конфігурації добових графіків навантаження в цілому. Для цього необхідно також додатково дослідити вплив на нерівномірність добових графіків навантаження енергосистеми щогодинної зміни попиту на потужність споживачів, що використовують диференційовані тарифи.

Характер і ступінь протидії «дифтарифних» споживачів зміні попиту на потужність всіх інших споживачів, що не використовують диференційовані тарифи на електроенергію, окремо для кожної ( $j$ -ї) години доби можна оцінити за допомогою запропонованого в дисертаційній роботі показника, який може бути названо коефіцієнтом протидії ( $K_{прот.}$ ), і числові значення якого розраховуються



подібно до наведеного вище коефіцієнта індивідуального впливу споживачів на нерівномірність графіка навантаження енергосистеми:

$$K_{\text{прот.}j}^{\text{диф.}} = \frac{(\Delta D_{\text{с.факт.}j} - \Delta D_{\text{с.зм.}j}^{\text{диф.}})}{\Delta D_{\text{с.факт.}j}}, \quad (3)$$

де  $\Delta D_{\text{с.факт.}j}$  – складова дисперсії реального графіка навантаження енергосистеми, визначена для окремо взятої  $j$ -ї години відповідної режимної доби;  $\Delta D_{\text{с.зм.}j}^{\text{диф.}}$  – аналогічна складова дисперсії, обчислена для тієї ж  $j$ -ї години тієї ж режимної доби, але для штучно зміненого графіка навантаження енергосистеми, що одержується за умови, що попит на потужність «дифтарифних» споживачів в дану ( $j$ -ту) годину порівняно з попередньою годиною доби не змінився.

Таблиця 1 – Результати порівняння меж існуючих тарифних зон доби та фактичних зон зі статистично різним рівнем електричного навантаження, визначених для режимного дня 21.12.2016 року

Год. доби	Існуючі тарифні зони доби	Зони доби з різним рівнем навантаження енергосистеми	Зони доби з різним рівнем навантаження «недифтарифних» споживачів	Зони доби з різним рівнем навантаження «дифтарифних» споживачів
1		Середнє навантаження	Середнє навантаження	Середнє навантаження
2				
3		Мінімальне навантаження	Мінімальне навантаження	Максимальне навантаження
4	Нічна зона			Середнє навантаження
5				Максимальне навантаження
6				
7				Середнє навантаження
8	Напівпікова зона	Середнє навантаження		
9				Мінімальне навантаження
10	Пікова зона			
11		Максимальне навантаження	Середнє навантаження	
12				
13		Середнє навантаження		
14				Середнє навантаження
15				
16	Напівпікова зона			
17		Максимальне навантаження		
18			Максимальне навантаження	
19				
20				Мінімальне навантаження
21	Пікова зона			
22		Середнє навантаження	Середнє навантаження	
23	Напівпікова зона			Середнє навантаження
24	Нічна зона			

Результати аналізу впливу на нерівномірність добових графіків навантаження енергосистеми щогодинної зміни попиту на потужність «дифтарифних» споживачів, виконаного за режимними графіками кількох попередніх років шляхом розрахунку зазначених коефіцієнтів (3), свідчать, що ця група споживачів в окремі години доби чинить як позитивний, так і негативний вплив на нерівномірність навантаження енергосистеми (рис. 4).

При цьому слід зазначити також, що протягом доби практично неможливо визначити будь-які достатньо компактні зони, у межах яких вплив «дифтарифних» споживачів на нерівномірність навантаження енергосистеми має однаковий характер (позитивний або негативний).

Наведені результати дослідження дозволяють стверджувати, що в процесі удосконалення існуючих методів управління режимами споживання електричної енергії в ОЕС України слід взагалі відмовитись від такого поняття як «тарифні зони доби». Більш того, подальший розвиток методів управління режимами електроспоживання доцільно здійснювати у напрямках, альтернативних простому удосконаленню існуючих диференційованих за зонами доби тарифів на електроенергію.

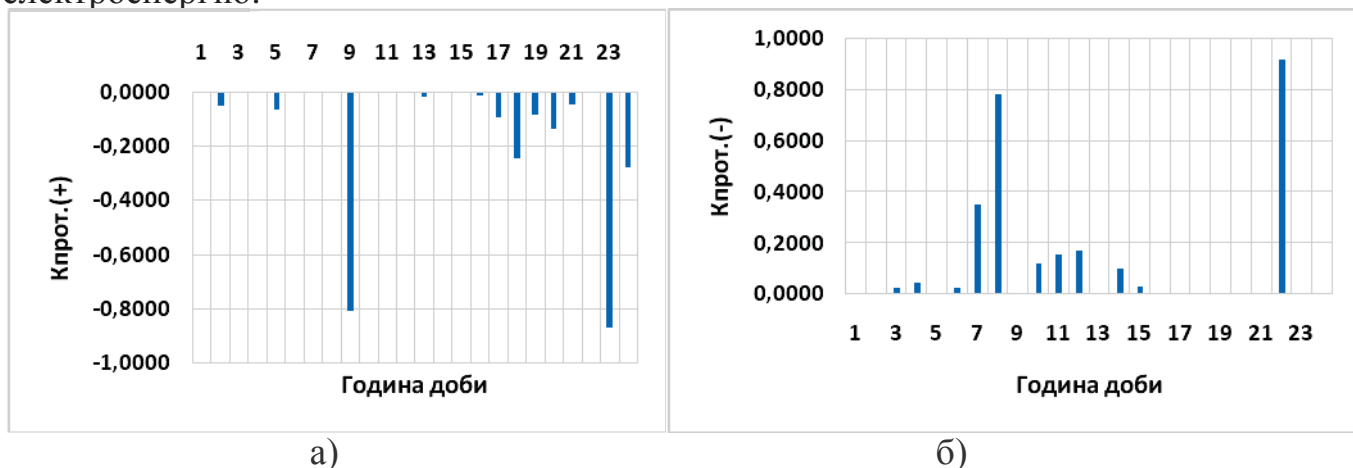


Рисунок 4 – Коефіцієнти протидії для годин доби, в які зміна попиту на потужність «дифтарифних» споживачів впливає позитивно (а) або негативно (б) на нерівномірність графіку навантаження енергосистеми (зимовий режимний день 21.12.2016 року)

Розроблений в дисертаційній роботі комплекс методик розширеного дослідження результатів використання диференційованих за зонами доби тарифів на електроенергію прийнято відокремленим підрозділом «Головдерженергонагляд» ДП «Національна енергетична компанія «Укренерго» для подальшого використання в процесі аналізу режимів споживання електричної енергії в об'єднаній енергетичній системі України.

У **третьому розділі** показано, що одним із можливих напрямів удосконалення ринкових методів управління попитом споживачів на електричну потужність є створення нових, більш ефективних механізмів залучення електропередавальних організацій (обленерго) і споживачів до участі у вирівнюванні графіків електричного навантаження енергосистеми. Розроблено концепцію та методологічні основи побудови і використання одного з таких механізмів, так званого механізму адресного управління режимами споживання електричної потужності в об'єднаній енергетичній системі України, безпосередньою метою створення якого є формування дієвих стимулів до активної участі електропередавальних організацій і споживачів в управлінні режимами виробництва і передачі електричної енергії в ОЕС України.

Побудова та застосування такого механізму являє собою окремий напрямок (окремий Проект) розвитку ринкових методів управління попитом споживачів на електричну потужність, незалежний від вже існуючих інших способів такого управління та досягнутих результатів їх застосування. Тобто, цей механізм не замінює існуючу систему диференційованих за зонами доби тарифів на електроенергію і не створює будь-яких перепон для подальшого їх використання, удосконалення та розвитку.

Підтримання необхідного балансу виробництва та споживання електричної потужності в енергосистемі зараз забезпечують спільно енергоблоки теплових і

гідравлічних електростанцій (ТЕС і ГЕС), що призводить до суттєвого ускладнення диспетчерського управління режимами функціонування ОЕС. При цьому покриття нерівномірного попиту споживачів на електричну потужність в енергетичній системі здійснюється головним чином за рахунок використання маневрених можливостей енергоблоків ТЕС. Очевидно, що вимушене використання енергоблоків теплових електростанцій у якості маневрених генеруючих потужностей енергосистеми пов'язано зі значними додатковими витратами на щодобові їх пуски, а також безпосередньо на виробництво електроенергії цими енергоблоками.

Тому створення та використання механізму адресного управління режимами споживання електричної потужності має забезпечити не тільки (і не стільки) покращення режимів виробництва і передачі електричної енергії в енергетичній системі, але й досягнення кінцевої мети: зниження витрат органічного палива (природного газу, мазуту, вугілля), інших матеріальних та фінансових ресурсів на виробництво електроенергії шляхом подальшого вирівнювання добових графіків навантаження енергосистеми.

Отже, функціонування механізму управління режимами електроспоживання, що пропонується, базується на визначенні величини економії додаткових витрат на виробництво електроенергії, що виникає в енергетичній системі в результаті поступового зменшення нерівномірності попиту споживачів на електричну потужність. В дисертаційній роботі розроблено методологічні засади оцінювання потенціалу скорочення зазначених додаткових витрат енергосистеми, загальна величина якого ( $\Delta Z_{\text{дод.заг.}}$ ) включає наступні основні складові:

$$\Delta Z_{\text{дод.заг.}} = \Delta Z_{\text{дод.пуск}} + \Delta Z_{\text{дод.реж.}} + \Delta Z_{\text{вир.}} + \Delta Z_{\text{дод.рем.}} \quad (4)$$

де  $\Delta Z_{\text{дод.пуск}}$  – зменшення додаткових витрат ТЕС на щодобові пуски їх енергоблоків, які виводяться з роботи на нічний період;  $\Delta Z_{\text{дод.реж.}}$  – скорочення додаткових витрат на паливо, пов'язаних з енергетично неефективними режимами роботи частини енергоблоків ТЕС, що використовуються в регульованій частині графіків навантаження енергосистеми;  $\Delta Z_{\text{вир.}}$  – зменшення витрат на виробництво електроенергії в результаті заміщення частини теплових енергоблоків відповідною потужністю енергоблоків АЕС;  $\Delta Z_{\text{дод.рем.}}$  – скорочення додаткових витрат на поточні ремонти енергоблоків ТЕС, що використовуються в якості маневрених генеруючих потужностей енергосистеми.

У якості нового, більш дієвого «інструмента» залучення споживачів до активної участі у вирівнюванні добових графіків навантаження енергосистеми пропонується встановлювати та використовувати плату за профіль електричної потужності, тобто за певну конфігурацію добових графіків навантаження електропередавальних організацій, окремих споживачів або їх груп. Принципова особливість такої плати полягає в тому, що вона має здійснюватись продавцями електроенергії її споживачам за надання послуги, яка полягає в тому, що споживачі формують та підтримують заздалегідь погоджену з енергосистемою конфігурацію добових графіків свого електричного навантаження.

Однією з основних переваг запропонованого механізму управління режимами споживання електричної потужності є те, що економічне стимулювання участі електропередавальних організацій і споживачів у Проекті вирівнювання добових графіків навантаження енергосистеми здійснюється адресним шляхом, тобто

виключно по відношенню до тих з них, які заздалегідь дали згоду на участь у цьому Проекті, а також реально сприяли вирішенню поставленої задачі.

В дисертаційній роботі розроблено загальний алгоритм побудови та функціонування запропонованого механізму управління режимами споживання електричної потужності, який сприятиме залученню електропередавальних організацій і споживачів до активної участі у вирівнюванні добових графіків навантаження енергосистеми шляхом встановлення адресної плати за профіль їх електричної потужності. Згідно цього алгоритму функціонування механізму адресного управління попитом споживачів на електричну потужність відбувається на трьох рівнях (об'єднана енергосистема, електропередавальна організація, споживач електроенергії), і може бути розділене на три етапи (підготовчий, етап планування та етап остаточних розрахунків). Основні дії, що виконуються на кожному етапі функціонування запропонованого механізму, наведено на рис. 5.



Рисунок 5 – Основні дії, що виконуються на кожному етапі побудови та функціонування механізму адресного управління попитом споживачів на електричну потужність

Однією з основних дій, яка має бути виконана на підготовчому етапі функціонування механізму, що пропонується, є формування для всіх споживачів (або для їх груп), що дали згоду на участь у Проекті, набору можливих добових графіків їх попиту на електричну потужність (так званого «меню» профілів навантаження), які тією чи іншою мірою сприятимуть вирівнюванню графіків навантаження енергосистеми. Першим кроком формування таких «меню» є визначення «оптимальних» графіків навантаження: спочатку для кожної електропередавальної організації (обленерго), а далі – для кожного зі споживачів (або їх груп), що погодилися на участь у Проекті.

Для знаходження «оптимальних» графіків навантаження відповідних обленерго на рівні об'єднаної енергетичної системи вирішується оптимізаційна задача, яка має наступні цільову функцію та обмеження:

$$\sum_{j=1}^{24} (P_{ec.j} - P_{ec.cер.})^2 \rightarrow \min, \quad P_{обл.ij.min} \leq P_{обл.ij} \leq P_{обл.ij.max}, \quad (5)$$

де  $P_{ec.j}$  – можлива величина електричного навантаження енергосистеми в  $j$ -ту годину доби, що визначається на кожному кроці рішення оптимізаційної задачі;  $P_{ec.cер.}$  – середньодобове навантаження енергосистеми;  $P_{обл.ij.min}$  та  $P_{обл.ij.max}$  – відповідно мінімально та максимально можлива величина електричного навантаження  $i$ -го обленерго в  $j$ -ту годину доби (визначаються кожною обленерго,



що приймає участь у Проекті, до початку вирішення зазначеної оптимізаційної задачі).

Після знаходження «оптимальних» графіків навантаження відповідних обленерго на рівні кожної з цих електропередавальних організацій визначаються «оптимальні» графіки навантаження кожного зі споживачів (або їх груп), що погодилися на участь у Проекті. З цією метою у кожній обленерго вирішується оптимізаційна задача, яка має наступні цільову функцію та обмеження:

$$\sum_{j=1}^{24} (P_{обл.j} - P_{опт.обл.j})^2 \rightarrow \min, P_{спож.ij.min} \leq P_{спож.ij} \leq P_{спож.ij.max}, \quad (6)$$

де  $P_{обл.j}$  – можлива величина електричного навантаження в  $j$ -ту годину доби обленерго, яка бере участь у Проекті, що визначається на кожному кроці вирішення оптимізаційної задачі;  $P_{опт.обл.i,j}$  – навантаження даної обленерго в  $j$ -ту годину доби у відповідності з раніше визначеним для неї на рівні енергосистеми «оптимальним» добовим графіком;  $P_{спож.ij.min}$  та  $P_{спож.ij.max}$  – відповідно мінімально та максимально можлива величина електричного навантаження в  $j$ -ту годину доби  $i$ -го споживача, який є приєднаним до мереж даної електропередавальної організації та приймає участь у Проекті (визначаються кожним споживачем, що бере участь у Проекті, до початку вирішення зазначеної оптимізаційної задачі).

Для кожного зі споживачів (або їх груп) перехід від існуючих до «оптимальних» графіків їх електричного навантаження реально може відбуватися поступово, у кілька етапів. Для кожного з таких етапів необхідно визначити відповідний проміжний графік навантаження. Набір таких проміжних графіків являє собою певне «меню» бажаних для енергосистеми профілів електричного навантаження споживачів (або їх груп), один з яких (найбільш реальний для формування та підтримання у відповідному періоді) пропонується вибрати самим споживачам.

На етапі планування, виходячи зі складу споживачів, що приймають участь у Проекті, й обраних ними графіків (профілів) їх електричного навантаження, кожна електропередавальна організація формує свій плановий добовий графік навантаження, який буде підтримуватися нею на протязі відповідного планового періоду (наприклад, місяця чи кварталу). При цьому на підставі графіків електричного навантаження, обраних споживачами, що приймають участь у Проекті, окремо для кожного з них розраховується кількісний показник, що характеризує ступінь участі даного споживача у формуванні планового графіка навантаження відповідної електропередавальної організації (плановий коефіцієнт участі споживача). Числові значення таких коефіцієнтів участі визначаються, з використанням залежностей, подібних до наведених вище формул розрахунку коефіцієнтів індивідуального впливу  $K_{інд.впл.}$  споживачів на нерівномірність графіка навантаження енергосистеми (2) та коефіцієнтів протидії  $K_{прот.}$  (3).

Кожна обленерго, що приймає участь у Проекті, надає оптовому постачальнику електроенергії сформований нею плановий добовий графік свого електричного навантаження. На підставі планових добових графіків попиту на електричну потужність, наданих всіма електропередавальними організаціями, що приймають участь у Проекті, формується плановий графік електричного навантаження ОЕС України.

Виходячи з планових графіків навантаження електропередавальних організацій, що приймають участь у Проекті, окремо для кожної обленерго

розраховується кількісний показник, що характеризує ступінь її участі у формуванні планового добового графіка навантаження енергосистеми (плановий коефіцієнт участі обленерго).

Для планового добового графіку навантаження об'єднаної енергетичної системи із використанням розробленої в дисертаційній роботі методології визначається планова величина економії додаткових витрат енергосистеми, що виникає у випадку формування та підтримання кожною з енергопостачальних організацій, що приймають участь у Проекті, планових графіків їх електричного навантаження.

Розрахована таким чином загальна величина планової економії додаткових витрат ОЕС розподіляється між всіма обленерго, що приймають участь у Проекті, пропорційно плановим коефіцієнтам їх участі у формуванні планового графіка навантаження енергосистеми.

Визначена таким чином загальна величина планової винагороди кожної електропередавальної організації, яка може бути отримана нею за умови формування та підтримання відповідного планового добового графіка її попиту на електричну потужність, розподіляється між усіма споживачами (або їх групами), що приймають участь у Проекті, пропорційно плановим коефіцієнтам їх участі в формуванні планового графіка навантаження відповідної обленерго. Тим самим визначається розмір запланованої винагороди кожного споживача, що приймає участь у Проекті, яка може бути отримана ним за умови формування та підтримання вибраного ним проміжного графіка попиту на електричну потужність.

Після завершення відповідного планового періоду, тобто на етапі остаточних розрахунків, всіма учасниками Проекту виконуються практично такі ж дії, як і на етапі планування. Єдина відмінність полягає у тому, що всі споживачі електроенергії (або їх групи), що приймають участь у Проекті, надають відповідним електропередавальним організаціям фактичні добові графіки свого електричного навантаження. Після чого всі обленерго, що беруть участь у Проекті, надають фактичні добові графіки свого навантаження оптовому постачальнику електроенергії.

На підставі зазначених фактичних графіків розраховуються фактичні коефіцієнти участі кожної обленерго, яка приймає участь у Проекті, у формуванні фактичного графіка навантаження енергосистеми, а також фактичні коефіцієнти участі кожного споживача, що бере участь у Проекті, у формуванні фактичного графіка навантаження відповідної електропередавальної організації.

Виходячи з фактичного добового графіку навантаження об'єднаної енергетичної системи визначається фактична економія додаткових витрат енергосистеми, що була реально одержана в результаті формування та підтримання всіма учасниками Проекту фактичних графіків їх електричного навантаження (якщо у відповідному періоді відбулося вирівнювання добових графіків навантаження енергосистеми, у порівнянні з її графіками навантаження за попередні періоди).

Визначена таким чином загальна фактична економія додаткових витрат ОЕС розподіляється між всіма обленерго, що приймають участь у Проекті, а далі – між усіма споживачами (або їх групами), що беруть участь у Проекті, пропорційно фактичним коефіцієнтам їх участі в формуванні відповідних фактичних графіків електричного навантаження.

Приклад результатів розрахунку винагороди для окремих груп споживачів, яка має бути отримана ними за формування та підтримання відповідних фактичних

добових графіків її попиту на електричну потужність, наведено у табл. 2 (загальна економія витрат енергосистеми, одержана в результаті вирівнювання добових графіків її навантаження, у зазначеному прикладі становила 4,1 млрд. грн. на рік).

Наведені у табл. 2 результати розрахунків дозволяють стверджувати, що застосування запропонованого механізму адресного управління режимами споживання електричної потужності, у порівнянні з діючими диференційованими за зонами доби тарифами на електроенергію, дасть змогу створити більш дієві стимули до активної участі електропередавальних організацій і споживачів в управлінні режимами виробництва та передачі електричної енергії в ОЕС України.

Таблиця 2 – Коефіцієнти участі груп споживачів у фактичному вирівнюванні добових графіків навантаження енергосистеми та розмір їх фактичної винагороди

Обленерго	Дисперсія існуючого графіка навантаження обленерго	Групи споживачів	Дисперсія графіка навантаження обленерго, сформованого в результаті змінення графіка навантаження групи споживачів	Фактичні коефіцієнти участі груп споживачів у змінненні графіка навантаження обленерго	Розмір фактичної винагороди груп споживачів, млрд. грн. на рік
Київобленерго	2716	Промислові	709	0,738	1,112
		Побутові	1474	0,457	0,694
Харківобленерго	18799	Промислові	14806	0,212	0,166
		Побутові	5201	0,723	0,566
Дніпрообленерго	16149	Промислові	21148	0,309	0,629
		Побутові	23452	0,452	0,918

Основні положення розробленої в дисертаційній роботі методології створення та застосування механізму адресного управління режимами споживання електричної потужності в об'єднаній енергетичній системі за підтримки Українського національного комітету Асоціації «СІГРЕ – Україна» направлено для розгляду та подальшого використання до Міністерства енергетики та вугільної промисловості України, до Оптового ринку електричної енергії України (ДП «Енергоринок»), до Національної комісії, що здійснює державне регулювання у сфері енергетики та комунальних послуг. Потенціал зменшення витрат на виробництво електроенергії в результаті вирівнювання добових графіків електричного навантаження енергосистеми, якого можна досягти завдяки використанню зазначеного механізму управління, в середньому складає 5 млрд. грн. на рік. При цьому скорочення витрат природного газу тільки на щодобові пуски енергоблоків ТЕС дорівнюватиме 1,5 млрд. м<sup>3</sup> на рік, а потенційна винагорода груп споживачів за активну участь у зменшенні нерівномірності навантаження енергосистеми в середньому може сягати від 200 млн. до 1 млрд. грн. на рік.

У **четвертому розділі** розглянуто проблему кількісної оцінки та контролю ефективності використання ПЕР. Доведено, що для досягнення необхідних результатів у сфері енергозбереження потрібно здійснювати управління цими процесами як на державному рівні, так і на рівні галузей, окремих виробничо-господарських об'єктів (підприємств, організацій, установ), а також на рівні окремих технологічних об'єктів (агрегатів, установок технологічних процесів). При цьому обов'язковою і надзвичайно важливою функцією такого управління є систематичний контроль та аналіз ефективності використання ПЕР на відповідних об'єктах.

Виконання зазначеної функції управління енергозбереженням є неможливим без вирішення проблеми об'єктивної кількісної оцінки рівня ефективності використання паливно-енергетичних ресурсів для різних технологічних і виробничо-господарських об'єктів, яка на сьогоднішній день не може вважатись вирішеною задовільно. Єдиним «інструментом», який практично застосовується зараз в Україні з метою кількісної оцінки та контролю рівня ефективності використання ПЕР в усіх галузях та сферах суспільного виробництва, є відновлена у 1996 році система нормування питомих витрат палива та енергії.



Рисунок 6 – Основні недоліки існуючої системи нормування питомих витрат електроенергії

Результати виконаного в дисертаційній роботі аналізу існуючої системи нормування питомих витрат електричної енергії як засобу контролю ефективності її використання свідчать, що ця система має низку суттєвих недоліків (рис. 6), які не дозволяють встановлювати достатньо обґрунтовані норми питомої витрати електроенергії, що не дає змоги на їх основі здійснювати об'єктивний контроль енергоефективності, а також якісне та дієве управління енергозбереженням.

Однак, відмова від існуючої в Україні системи нормування питомих витрат паливно-енергетичних ресурсів, попри всі її недоліки, не є доцільною, принаймні, найближчим часом. Отже, діюча система нормування потребує якнайскорішого удосконалення та подальшого розвитку. Виходячи з зазначених недоліків існуючої системи нормування питомих витрат електричної енергії (рис. 6), одним з першочергових напрямків удосконалення методів оцінки та контролю ефективності енерговикористання має бути подальший розвиток методології побудови балансів споживання електричної енергії.

На сьогоднішній день для складання балансів споживання електричної енергії на виробничо-господарських об'єктах практично використовується лише один з відомих методів – розрахунково-аналітичний. Однак, як свідчать результати багаторічного його застосування, цей метод не дає змоги одержувати достатньо достовірні та обґрунтовані електробаланси.

Для більшості вітчизняних виробничо-господарських об'єктів характерними є значна кількість технологічного обладнання, що використовується в різних режимах, і на обсяги електроспоживання якого впливають численні чинники. При цьому зазначені об'єкти, здебільшого, не оснащені потрібною кількістю приладів технічного обліку споживання електроенергії, а також параметрів технологічних процесів, що суттєво ускладнює задачу побудови електробалансів.

З зазначених причин обсяги електроспоживання виробничих об'єктів, а також числові значення багатьох чинників, що на них впливають, потрібно розглядати як



випадкові величини. Виходячи з цього, слід припустити, що можливості удосконалення та подальшого розвитку методології побудови балансів споживання електроенергії на виробничо-господарських об'єктах необхідно шукати в напрямку застосування ймовірнісно-статистичних методів вирішення зазначеної задачі, а саме експертних методів, методів теорії ймовірності та математичної статистики, а також нечіткої логіки та математики.

При цьому можна стверджувати, що саме такий, ймовірнісно-статистичний підхід до побудови електробалансів дозволить найбільш успішно враховувати випадковий характер зміни обсягів споживання електроенергії, величин виробничих параметрів, а також інші особливості вітчизняних підприємств і дасть змогу в умовах недостатніх та нечітко визначених вихідних даних, у порівнянні з застосуванням розрахунково-аналітичного методу, будувати більш достовірні та обґрунтовані баланси споживання електричної енергії, що, у свою чергу, дозволить здійснювати більш об'єктивний контроль та аналіз ефективності використання електроенергії у суспільному виробництві на основі відповідних норм її питомої витрати.

Однак, з іншого боку, виходячи з вітчизняного та зарубіжного досвіду, очевидним є, що в нашій державі необхідно активізувати наукові дослідження та розробки у напрямку створення і застосування методів контролю ефективності використання палива та енергії, альтернативних нормуванню їх питомих витрат, які з часом змогли б успішно доповнити або замінити існуючу систему нормування енергоспоживання. Одним з можливих напрямів розвитку альтернативних підходів до оцінки та контролю енергоефективності є створення методології побудови та функціонування локальних систем оперативного контролю ефективності використання електричної енергії. При цьому прототипом для створення таких систем можуть послужити існуючі методики побудови та застосування традиційних систем контролю та планування енергоспоживання (систем КіП), що є складовою частиною систем енергетичного менеджменту і у зарубіжній практиці відомі під назвою *Monitoring and Targeting Systems*.

Зарубіжний досвід створення і застосування систем КіП свідчить, що з практичної точки зору такі системи, без сумніву, являють інтерес для вітчизняних фахівців з енергозбереження та енергетичного менеджменту як один з можливих напрямків подальшого розвитку методів контролю ефективності енерговикористання. Методологія побудови і функціонування систем КіП приваблює, перш за все, простотою та незначними витратами часу на здійснення контролю енергоефективності, що дозволяє оперативно вирішувати цю задачу одночасно на багатьох об'єктах. При чому проміжки часу, через які здійснюється такий контроль, в традиційних системах КіП, в принципі, можуть бути дуже короткими. Наприклад, контроль ефективності використання палива чи енергії на відповідних об'єктах може здійснюватись щодобово або навіть щогодини.

Однак, у теоретичному та методологічному відношенні методики створення та функціонування таких систем, що традиційно використовуються у зарубіжних країнах, мають низку недоліків, спрощень та невирішених питань, які не дозволяють отримувати достатньо об'єктивну кількісну оцінку рівня ефективності енерговикористання. Через наявність зазначених недоліків побудова та функціонування традиційних систем КіП не дає змоги отримувати достатньо об'єктивну кількісну оцінку рівня ефективності використання електричної енергії на технологічних, а тим більше, на виробничо-господарських об'єктах. З цієї причини

результати контролю енергоефективності, що одержуються за допомогою таких систем, не можуть служити підґрунтям для здійснення коректного та дієвого управління ефективністю використання електроенергії у суспільному виробництві.

Таким чином, можна стверджувати, що з зазначених причин безпосереднє, «механічне» застосування існуючих методик побудови і функціонування систем контролю і планування енергоспоживання на вітчизняних підприємствах не видається можливим та доцільним. Отже існує потреба створення та використання більш досконалих систем оперативного контролю енергоефективності, які є невід'ємною частиною систем енергетичного менеджменту, що вже запроваджуються на українських виробничо-господарських об'єктах. І вирішення цієї задачі, в першу чергу, має бути спрямовано на усунення недоліків традиційних систем контролю і планування енергоспоживання.

У **п'ятому розділі** показано, що для побудови балансів споживання електроенергії на виробничо-господарських об'єктах в умовах недостатніх та нечітко визначених вихідних даних щодо значень технологічних параметрів, показників умов виробництва, а також обсягів електроспоживання, коли застосування традиційного розрахунково-аналітичного методу є практично неможливим, слід використовувати методи теорії ймовірності та математичної статистики. Розроблено загальні принципи застосування ймовірнісно-статистичного підходу до побудови балансів споживання електричної енергії в зазначених умовах.

Наявність на виробничих об'єктах численного та різноманітного обладнання, яке працює у різних режимах, складність та розгалуженість технологічних процесів значно ускладнюють процедуру побудови елетробалансів. З метою спрощення цієї задачі в дисертаційній роботі запропоновано застосовувати ієрархічний підхід, який передбачає послідовне її вирішення спочатку за видами продукції, а потім за агрегатами, що задіяні у процесі виробництва кожного з видів продукції.

Можливість і доцільність застосування тих чи інших методів побудови електробалансів насамперед залежить від наявності, повноти та достовірності вихідних даних, зокрема, про фактичні обсяги споживання електроенергії, а отже, від рівня оснащення відповідними приладами обліку. Найбільш розповсюдженими на виробничо-господарських об'єктах України є умови, коли наявними є лише прилади комерційного обліку електроспоживання. Такі умови є найбільш складними для визначення статей витратної частини електробалансів, оскільки вирішення задачі відбувається практично за відсутності вихідних даних про фактичні обсяги споживання електричної енергії підрозділами підприємства, кожною одиницею технологічного обладнання чи на виробництво кожного виду продукції.

Важливу додаткову інформацію для складення електробалансів, у принципі, можна отримати на основі статистичних даних про параметри технологічних процесів та про обсяги виробництва продукції чи виконання певних робіт. Однак на практиці облік необхідних виробничих і технологічних параметрів здійснюється далеко не на всіх підприємствах.

Виходячи з зазначеного, у дисертаційній роботі створено методологію складення балансів споживання електроенергії на основі ймовірнісно-статистичного підходу для різних характерних умов та випадків (Ситуацій) їх побудови (рис. 7), яка у порівнянні з традиційним розрахунково-аналітичним методом, дозволяє одержувати більш достовірні і обґрунтовані електробаланси, структура витратної частини яких є найбільш ймовірною.

Найскладнішим випадком побудови електробалансів є Ситуація 1 (рис. 7), коли єдиною вихідною інформацією для вирішення цієї задачі є обсяг споживання електроенергії на підприємстві в цілому, а також технологічні схеми виробництва кожного виду продукції. В зазначених умовах для знаходження обсягів електроспоживання окремих агрегатів застосовують спрощену розрахунково-аналітичну формулу:

$$W_i = P_{\text{вст.}i} k_{3.i} T_i, \quad (7)$$

де  $P_{\text{вст.}i}$  – встановлена потужність  $i$ -ї одиниці обладнання;  $k_{3.i}$  – середній коефіцієнт завантаження цього обладнання;  $T_i$  – тривалість його роботи.



Рисунок 7 – Характерні умови побудови електробалансів виробничих об'єктів

При цьому числові значення величин  $k_{3.i}$  та  $T_i$ , як правило, є невідомими або нечітко визначеними параметрами. Тому першим кроком побудови електробалансів у зазначених умовах є визначення найбільш ймовірних значень показників  $k_{3.i}$  та  $T_i$ . З цією метою пропонується будувати та використовувати гістограми частот появи можливих значень цих параметрів, які визначаються на основі реальних статистичних даних, отриманих з застосуванням методу моментних спостережень, або псевдореальних даних, отриманих з застосуванням методів експертного опитування та імітаційного моделювання.

Побудовані гістограми частот можливих значень  $k_{3.i}$  та  $T_i$  дають можливість визначати закони розподілу цих показників, а враховуючи рівняння (7), також закони розподілу можливих обсягів електроспоживання для кожної технологічної установки. Після цього шляхом об'єднання законів розподілу електроспоживання окремих агрегатів, що задіяні у виробництві відповідної продукції, визначаються закони розподілу обсягів споживання електроенергії на кожен її вид.

Для Ситуації 1 (рис. 7) задача визначення невідомої структури витратної частини електробалансу за видами продукції полягає в знаходженні найбільш ймовірних значень витрат електроенергії на виробництво кожного з видів продукції. Пошук таких значень пропонується здійснювати шляхом вирішення оптимізаційної задачі, цільова функція та обмеження якої мають вигляд:

$$z = \prod_{i=1}^n f(W_i^{\text{np}}) \rightarrow \max; \quad W_{i\min}^{\text{np}} \leq W_i^{\text{np}} \leq W_{i\max}^{\text{np}}, \quad \sum_{i=1}^n W_i^{\text{np}} = W^{\text{під}}, \quad (8)$$

де  $f(W_i^{\text{пр}})$  – ймовірність появи певного значення електроспоживання на виробництво  $i$ -го виду продукції, визначена за відповідним законом розподілу;  $W_i^{\text{пр}}$  – можливий обсяг споживання електроенергії на виробництво  $i$ -го виду продукції (змінна оптимізації);  $W^{\text{під}}$  – загальний обсяг споживання електричної енергії на підприємстві, відомий за даними комерційного обліку.

Наступним кроком вирішення задачі в Ситуації 1 (рис. 7) є визначення витратних частин електробалансів за агрегатами, задіяними у випуску кожного окремого виду продукції, що здійснюється шляхом вирішення низки оптимізаційних задач з такими цільовими функціями та обмеженнями:

$$z = \prod_{i=1}^n f(W_i^{\text{ар}}) \rightarrow \max; \quad W_{i\min}^{\text{ар}} \leq W_i^{\text{ар}} \leq W_{i\max}^{\text{ар}}, \quad \sum_{i=1}^n W_i^{\text{ар}} = W^{\text{пр}}, \quad (9)$$

де  $f(W_i^{\text{ар}})$  – ймовірність появи певної величини обсягу електроспоживання  $i$ -го агрегату, визначена за відповідним законом розподілу;  $W_i^{\text{ар}}$  – можливі обсяги споживання електроенергії  $i$ -м агрегатом (змінна оптимізації);  $W^{\text{пр}}$  – найбільш ймовірний обсяг споживання електричної енергії на виробництво  $i$ -го виду продукції, визначений у результаті побудови електробалансу за видами продукції.

Таким чином, електробаланси за видами продукції та агрегатами, побудовані у Ситуації 1 з застосуванням ймовірнісно-статистичних методів на основі даних тільки про фактичні обсяги споживання електроенергії на виробничо-господарському об'єкті в цілому, у порівнянні з балансами, одержаними розрахунково-аналітичним способом, є більш обґрунтованими та достовірними, оскільки вони базуються на даних додаткових вибіркового спостережень або на результатах опитування відповідних фахівців-експертів, а також на встановленні законів розподілу нечітко визначених показників.

Однак, на більшості виробничо-господарських об'єктів, крім обліку загального електроспоживання, здійснюється також облік обсягів виробництва продукції, що створює більш сприятливі умови для побудови електробалансів (Ситуація 2, рис. 7). У цьому випадку вирішення зазначеної задачі починається з побудови попереднього електробалансу за видами продукції, який може бути отримано шляхом побудови лінійної багатофакторної математичної моделі:

$$W = b_1 Q_1 + b_2 Q_2 + \dots + b_n Q_n, \quad (10)$$

де  $W$  – загальний обсяг електроспоживання за даними комерційного обліку;  $Q_1, Q_2, \dots, Q_n$  – обсяги виробництва продукції кожного виду;  $b_1, b_2, \dots, b_n$  – коефіцієнти рівняння регресії.

Для числових значень коефіцієнтів моделі (10) відомими статистичними методами можуть бути встановлені довірчі інтервали, фізичним змістом яких є діапазони можливих значень питомої витрати електроенергії на виробництво кожного виду продукції. Такі довірчі інтервали визначаються за виразами:

$$[d_{i.\min} = d_i - t(\alpha, n - m) s_{d_i}; d_{i.\max} = d_i + t(\alpha, n - m) s_{d_i}], \quad (11)$$



де  $d_i$  – значення  $i$ -го коефіцієнта регресійної моделі;  $t(\alpha, n-m)$  – коефіцієнт розподілу Стюдента за двосторонньої імовірності  $\alpha$  і кількості ступенів свободи  $n-m-1$ ;  $n$  – кількість даних у вибірці;  $m$  – кількість незалежних змінних у математичній моделі;  $s_{d_i}$  – середньоквадратичне відхилення значень відповідного коефіцієнта регресії.

Після цього побудову остаточного електробалансу за видами продукції в умовах Ситуації 2 (рис. 7) пропонується здійснювати в цілому за наведеним вище алгоритмом, розробленим для вирішення цієї задачі у Ситуації 1. Однак при вирішенні оптимізаційної задачі побудови електробалансу за видами продукції з цільовою функцією (9), діапазони можливих обсягів споживання електроенергії на виробництво кожного виду продукції в нерівностях (9) додатково обґрунтовуються та уточнюються на основі побудованих довірчих інтервалів (11) до параметрів регресійної моделі (10). Далі побудова електробалансів за агрегатами, що задіяні у виробництві кожного з видів продукції, здійснюється аналогічно вирішенню цієї задачі у Ситуації 1.

Таким чином, запропонований підхід до побудови електробалансів виробничо-господарських об'єктів у Ситуації 2 дає змогу за відомими фактичними обсягами споживання електроенергії та виробництва продукції одержувати значно більш достовірні та обґрунтовані електробаланси за видами продукції, оскільки вони додатково базуються на побудові та використанні адекватних математичних моделей залежності між обсягами виробництва продукції та обсягами електроспоживання.

На деяких виробничо-господарських об'єктах спостерігається ситуація, коли для всіх технологічних процесів відомими є аналітичні залежності між обсягами споживання електричної потужності або енергії, обсягами виробництва продукції та іншими технологічними параметрами (Ситуація 3, рис. 7). Наявність зазначених залежностей, в принципі, вже дає змогу будувати достатньо достовірні та обґрунтовані електробаланси з застосуванням розрахунково-аналітичного методу. Однак на практиці числові значення багатьох виробничих параметрів, що використовуються у відповідних аналітичних залежностях, також є нечітко визначеними величинами, для яких є відомими певні інтервали можливих їх значень. Тому для Ситуації 3 розроблена спеціальна процедура побудови балансів електроспоживання, застосування якої дає змогу визначати найбільш ймовірні значення відповідних нечітких параметрів, і тим самим підвищує достовірність і обґрунтованість витратної частини електробалансів, одержаних на основі розрахунково-аналітичного методу.

Застосування зазначеної процедури дає можливість вирішувати задачу побудови балансів електроспоживання за агрегатами на основі поєднання розрахунково-аналітичного та ймовірнісно-статистичного підходів. На відміну від алгоритму, запропонованого для Ситуації 1, замість вирішення відповідної оптимізаційної задачі з цільовою функцією і обмеженнями (9) застосовується алгоритм імітаційного моделювання можливих значень нечітко заданих технологічних параметрів. Далі шляхом комбінування можливих значень цих параметрів і використання відомих аналітичних залежностей будуються псевдореальні (можливі) баланси споживання електричної енергії на об'єкті, які відповідають загальному обсягу електроспоживання, одержаному за даними комерційного обліку. Для кожного з побудованих таким чином псевдореальних

балансів споживання електроенергії на виробничо-господарському об'єкті, що розглядається, визначається ймовірність появи цього балансу, виходячи з ймовірностей появи відповідних можливих значень всіх нечітко заданих технологічних параметрів. При цьому у якості остаточного електробалансу за агрегатами в Ситуації 3 (рис. 7) приймається найбільш ймовірний з побудованих псевдореальних балансів.

Таким чином, застосування ймовірнісно-статистичних методів для складення балансів споживання електричної енергії на виробничо-господарських об'єктів, для яких є відомими аналітичні залежності між обсягами електроспоживання, виробництва продукції та параметрами технологічних процесів (Ситуація 3), дає змогу в умовах невизначеності окремих вихідних даних, що використовуються у таких залежностях, у порівнянні з розрахунково-аналітичним способом, будувати більш достовірні, технічно та технологічно обґрунтовані електробаланси, структура витратної частини яких є найбільш ймовірною.

Крім того, побудова достатньо обґрунтованих та достовірних електробалансів виробничих об'єктів з застосуванням запропонованого ймовірнісно-статистичного підходу дозволяє одержувати окремо для кожного агрегату чи технологічного процесу розрахункову статистику обсягів їх електроспоживання, необхідну для здійснення оперативного контролю ефективності використання електроенергії відповідними технологічними об'єктами.

Розроблену в дисертаційній роботі методику побудови балансів споживання електроенергії на основі застосування ймовірнісно-статистичних методів прийнято ТОВ НВП «ПРОМ-СІТАЛ» (м. Київ) та ТОВ «Запорізький завод кольорових сплавів» (м. Запоріжжя) для подальшого використання. Практичне застосування зазначеної методики дозволяє, у порівнянні з традиційним розрахунково-аналітичним методом, будувати більш обґрунтовані та достовірні електробаланси, що є важливим, зокрема, для коректного вирішення задач нормування питомих витрат електричної енергії у суспільному виробництві.

У **шостому розділі** створено методологію побудови та функціонування локальних систем оперативного контролю ефективності використання електричної енергії. Розроблено методологічні засади визначення складу найбільш важливих чинників, що мають бути включені до математичних моделей обсягів споживання електричної енергії, які дають змогу комплексно вирішувати задачу встановлення оптимального набору виробничих параметрів з урахуванням їх відносної важливості та додаткових обмежень, пов'язаних з організацією збору та обробки відповідних статистичних даних. Для вирішення цієї задачі у виробничих умовах пропонується застосовувати процедуру, схема якої наведена на рис. 8.

З метою попереднього оцінювання ступеню впливу тих чи інших чинників на зміну обсягу електроспоживання будь-якого технологічного об'єкту найбільш доцільно здійснювати експертне опитування з використанням апарату нечіткої логіки, що дозволяє вирішувати зазначену задачу з застосуванням лінгвістичних змінних, які на відміну від бальних оцінок, є більш зручними і зрозумілими для експертів.

Необхідність врахування в математичних моделях обсягу електроспоживання технологічних об'єктів певного набору чинників, попередньо визначеного з застосуванням експертного опитування, повинна бути додатково підтверджена за допомогою ймовірнісно-статистичних методів, які дозволяють виявити та кількісно оцінити тісноту і характер стохастичного зв'язку між електроспоживання та

відповідними чинниками, а також між самими чинниками. Вирішення цієї задачі у виробничих умовах доцільно здійснювати на основі аналізу відповідних статистичних даних з використанням статистичних методів, що реалізовані в багатьох відомих програмних продуктах (Matlab, Statistica, Unscrambler), які дозволяють одержувати необхідний результат «від початку до кінця», не вимагаючи при цьому від фахівців-виробників ні додаткових спеціальних знань, ні значних витрат робочого часу. Зокрема, одним з достатньо поширених та науково обґрунтованих таких методів є Principal Component Analysis (PCA), який в вітчизняній літературі відомий під назвою Методу Головних Компонент (МГК). Застосування цього методу дозволяє здійснювати аналіз великих масивів статистичних даних, виявляти приховані зв'язки між ними та інтерпретувати одержані результати в залежності від мети дослідження.

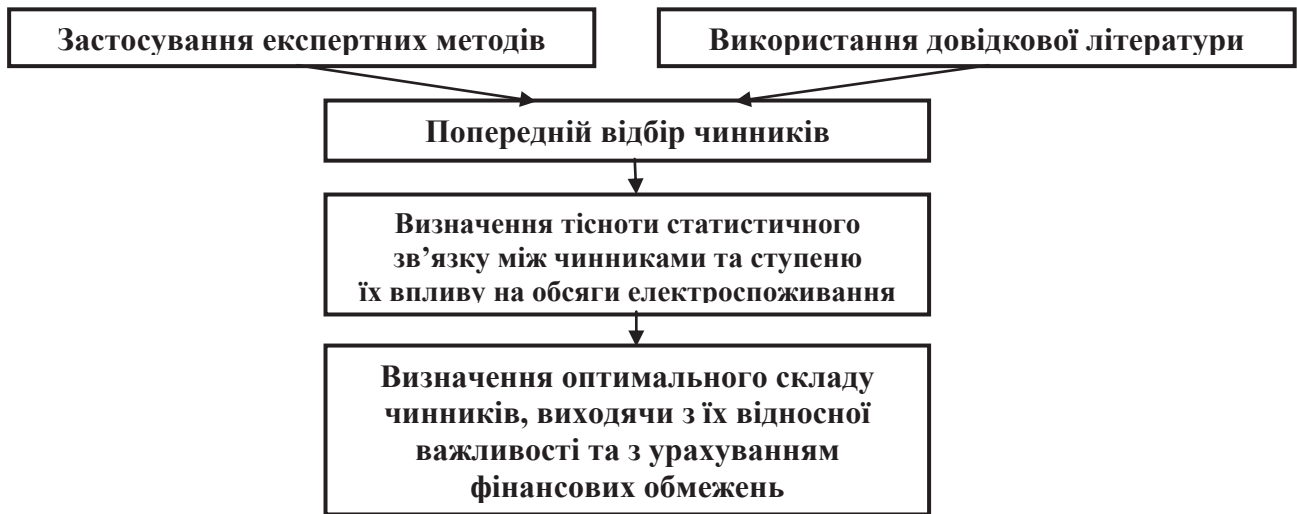


Рисунок 8 – Схема реалізації комплексного підходу до визначення складу чинників, які необхідно враховувати при побудові математичних моделей електроспоживання

Кількість виробничих показників, які потрібно враховувати при побудові математичних моделей обсягу споживання електричної енергії реальними технологічними об'єктами, може виявитись значною, навіть після попереднього експертного відбору відповідних чинників та їх додаткового «відсіву» за результатами аналізу тісноти статистичного зв'язку цих чинників з електроспоживанням та між собою. При цьому забезпечення можливості врахування великої кількості чинників у математичних моделях електроспоживання, здебільшого, вимагає значних витрат на додаткові прилади обліку та на збір необхідних статистичних даних.

Фінансові ресурси будь-якого виробничо-господарського об'єкту є обмеженими. Тому комплексна процедура, що пропонується (рис. 8), передбачає можливість оптимізації складу чинників, виходячи з їх відносної важливості для побудови адекватних математичних моделей електроспоживання з урахуванням додаткових обмежень, зокрема, фінансових. З цією метою в дисертаційній роботі сформульовано відповідну оптимізаційну задачу:

$$\sum_{i=1}^N k_i x_i \rightarrow \max, \text{ при обмеженні } \sum_{i=1}^N 3_i x_i \leq C, \quad (12)$$

де  $k_i$  – значення коефіцієнтів відносної важливості врахування чинників, що визначаються з використанням ітераційного алгоритму ранжирування оцінок

експертів;  $x_i$  – числові значення змінних оптимізації ( $x_i = 1$ , якщо чинник враховується, або  $x_i = 0$ , якщо чинник не враховується);  $Z_i$  – витрати, необхідні для здійснення обліку значень даного,  $i$ -го чинника;  $C$  – загальний обсяг коштів, що можуть бути витрачені на облік технологічних параметрів на відповідному об'єкті.

Для вирішення такої задачі можуть бути використані методи комбінаторної оптимізації, одним з прикладів яких є вирішення відомої «задачі про ранець».

Технологічні процеси, процеси енергоспоживання, виробничі умови, а також склад чинників, що визначають обсяг споживання електричної енергії, на кожному технологічному об'єкті є специфічними і мають «індивідуальні» особливості. Навіть для однорідних за виробничим призначенням об'єктів неможливо знайти «універсальний» метод математичного моделювання чи вид математичної моделі, який був би однаково придатним для визначення «базових ліній» електроспоживання для будь-якого з таких об'єктів.

Тому в дисертаційній роботі створено методологію вибору найбільш «прийнятних» математичних моделей обсягів електроспоживання та методів їх побудови, яка дозволяє у виробничих умовах здійснювати так звану «конкурентну оцінку моделей» як за показниками їх адекватності, так і за низкою додаткових критеріїв, зокрема, таких як витрати часу, трудових та інших ресурсів, необхідних для побудови та подальшого використання відповідних математичних моделей. Отже, визначення найбільш «прийнятних» математичних моделей електроспоживання для створення локальних систем оперативного контролю ефективності використання електричної енергії являє собою достатньо складну багатокритеріальну задачу. Вирішувати таку задачу у виробничих умовах повинні спеціалісти-практики, які, зазвичай, не мають відповідних спеціальних знань та досвіду. Тому у зазначених умовах з цією метою необхідно використовувати достатньо прості методи, для реалізації яких існують потрібні програмні засоби. Одним з таких досить простих методів багатокритеріальної оптимізації, зокрема, є так званий DEA аналіз (Data Envelopment Analysis). У відчизняних публікаціях він є відомим під назвою методу аналізу середовища функціонування.

Цей метод базується на визначенні узагальненого критерію ефективності (доцільності) деяких рішень або дій ( $f_k$ ), числові значення якого визначаються шляхом співставлення певних показників якості досягнутих результатів (вихідних характеристик  $Y_i$  об'єкту, що розглядається) і обсягів відповідних ресурсів  $X_j$ , необхідних для одержання цих результатів. Таким чином, знаходження найкращого рішення за узагальненим критерієм ефективності для будь-якого багатовимірного об'єкта, що має численні внутрішні зв'язки, з використанням DEA аналізу здійснюється шляхом максимізації наведеного нижче функціоналу при відповідних обмеженнях:

$$f_k = \max_{u_i, v_j \in G} \frac{u_1 Y_1 + u_2 Y_2 + \dots + u_n Y_n}{v_1 X_1 + v_2 X_2 + \dots + v_m X_m}; \quad \frac{u_1 Y_1 + u_2 Y_2 + \dots + u_n Y_n}{v_1 X_1 + v_2 X_2 + \dots + v_m X_m} \leq 1. \quad (13)$$

Залежності (13) визначають задачу нелінійного програмування. Рішенням такої задачі для будь-якого ( $k$ -го) технологічного об'єкта є відповідні вагові коефіцієнти  $u_i = \{u_1, u_2, \dots, u_n\}$  і  $v_i = \{v_1, v_2, \dots, v_m\}$ , які максимізують значення узагальненого показника «ефективності»  $f_k$ .



При цьому найбільш «прийнятною» для того чи іншого технологічного об'єкту слід вважати ту з математичних моделей, для якої числове значення узагальненого показника ефективності  $f_k$  (13) буде найбільшим.

Таким чином, універсальна процедура вибору найбільш «прийнятної» математичної моделі для встановлення цільових змінних електроспоживання в системі оперативного контролю енергоефективності, що створюється для будь-якого технологічного об'єкту, представлена у вигляді схеми на рис. 9.

Математичні моделі обсягу споживання електричної енергії, на застосуванні яких базується здійснення оперативного контролю енергоефективності технологічних об'єктів, мають певну залишкову похибку. Отже, обґрунтовані цільові змінні електроспоживання, необхідні для здійснення оперативного контролю енергоефективності, слід встановлювати на основі визначення меж довірчих інтервалів до багатофакторних математичних моделей обсягу споживання електричної енергії відповідними технологічними об'єктами. Для кожного з індивідуальних значень будь-якого випадкового параметру, зокрема, обсягу електроспоживання  $W(p)$ , що визначаються на підставі деякого рівняння лінійної багатофакторної математичної моделі, можна побудувати довірчий інтервал, межі якого визначаються за формулою:

$$W(p) = W_{\text{розн}}(p) \pm T\left(\frac{\alpha}{2}, f_e\right) S_e \sqrt{[X(p)][D][X(p)]^T}, \quad (14)$$

де  $p$  – момент часу, для якого встановлюються межі довірчого інтервалу;  $W_{\text{розн}}(p)$  – розрахункове значення витрат електроенергії, одержане на підставі відповідної математичної моделі;  $T\left(\frac{\alpha}{2}, f_e\right)$  – квантиль розподілу Стюдента при двосторонній ймовірності  $\alpha$  і числі ступенів свободи  $f_e$ ;  $S_e$  – середньоквадратичне відхилення індивідуальних значень фактичних витрат електроенергії від результатів їх моделювання за допомогою визначеного рівняння регресії (залишкова похибка моделювання);  $[X(p)]$  – матриця значень незалежних змінних (чинників) для моменту часу  $p$ , які використовуються у математичній моделі;  $[X(p)]^T$  – транспонована матриця  $[X(p)]$ ;  $[D]$  – коваріаційно-дисперсійна матриця значень параметрів (констант) рівняння математичної моделі.

Однак, визначення меж довірчих інтервалів для нелінійних багатофакторних математичних моделей являє собою більш складну задачу. Одним з підходів до вирішення такої задачі є застосування методів імітаційного моделювання. Такий спосіб визначення меж довірчих інтервалів є більш універсальним, оскільки його використання та одержувані результати не залежать від закону розподілу випадкової величини, що розглядається. Зокрема, з цією метою може бути застосовано так званий бутстреп-метод (Bootstrap), який дає можливість отримати достатньо точні межі довірчих інтервалів для складних нелінійних математичних моделей. Причому побудова довірчих інтервалів таким способом є можливою для рівнянь регресії будь-якого вигляду і, навіть, за відсутності самих цих рівнянь.

При застосуванні підходу до встановлення цільових змінних, що пропонується, можна стверджувати, що використання електричної енергії на деякому об'єкті з достатньо високою ймовірністю слід вважати неефективним лише

за умови, якщо фактичний обсяг електроспоживання перевищує верхнє граничне значення відповідного довірчого інтервалу, або констатувати, що рівень ефективності використання електроенергії на об'єкті є вищим від запланованого у випадку, якщо фактичний обсяг її витрати є меншим від нижнього граничного значення цього довірчого інтервалу.

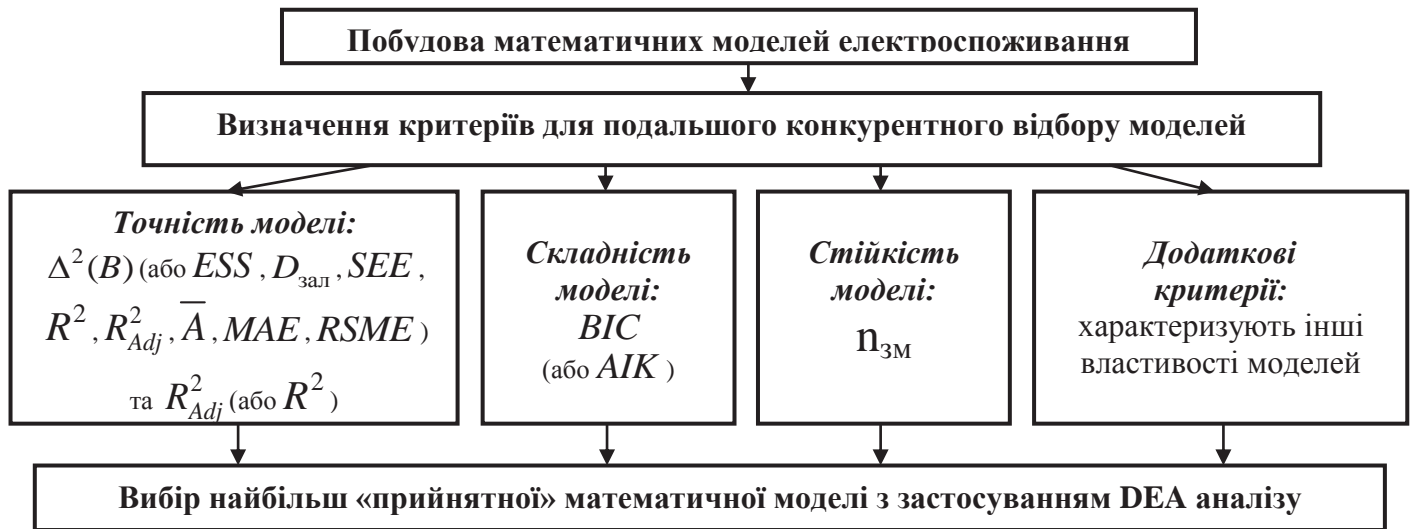


Рисунок 9 – Універсальна процедура вибору найбільш прийнятної математичної моделі для встановлення «базових ліній» електроспоживання технологічних об'єктів

Приймаючи до уваги випадковий характер фактичних обсягів споживання електроенергії та запропонований спосіб встановлення відповідних цільових змінних, очевидним є, що процес контролю їх виконання також має базуватися на застосуванні ймовірнісно-статистичних методів. Зокрема, з цією метою можуть бути застосовувані методи статистичного контролю якості продукції. Не менш очевидним є також, що протягом зазначеного періоду необхідно здійснювати безперервно. Серед відомих методів статистичного контролю якості продукції, що можуть бути використані для вирішення задачі оперативного контролю ефективності використання електроенергії на технологічних об'єктах, єдино прийнятним є застосування послідовного аналізу, який має назву методу Вальда.

В дисертаційній роботі створено методологію контролю виконання встановлених цільових змінних електроспоживання, яка ґрунтується на використанні методу послідовного аналізу Вальда. При цьому з метою контролю ефективності використання електроенергії на тому чи іншому технологічному об'єкті необхідно встановити так званий план контролю, тобто визначати мінімальну та максимальну граничну кількість випадків невиконання відповідних цільових змінних електроспоживання ( $p_0$  і  $p_1$ ), а також встановити ймовірності прийняття за результатами контролю помилкових рішень, так звані ймовірності помилки першого та другого роду ( $\alpha$  та  $\beta$ ), які визначаються за спеціальною операційною характеристикою.

Графічна ілюстрація здійснення послідовного контролю ефективності використання електроенергії з застосуванням методу Вальда наведена на рис. 10. При цьому горизонтальна вісь відповідного графіка відображає кількість виконаних етапів контролю  $n$ , а вертикальна вісь – кількість випадків невиконання встановлених цільових змінних електроспоживання  $m$ .

На цьому рисунку прямі  $M_0$  і  $M_1$ , які називають картою контролю, являють собою лінії, що відображають числові значення граничних величин  $p_0$  та  $p_1$  кількості випадків невиконання встановлених цільових змінних електроспоживання. Параметри рівнянь цих прямих  $h_0$ ,  $h_1$  та  $s$  визначають за наступними залежностями:

$$h_0 = \frac{\ln \frac{\beta}{1-\alpha}}{\ln \frac{p_1}{p_0} - \ln \frac{1-p_1}{1-p_0}}; h_1 = \frac{\ln \frac{1-\beta}{\alpha}}{\ln \frac{p_1}{p_0} - \ln \frac{1-p_1}{1-p_0}}; s = \frac{\ln \frac{1-p_0}{1-p_1}}{\ln \frac{p_1}{p_0} - \ln \frac{1-p_1}{1-p_0}}. \quad (15)$$

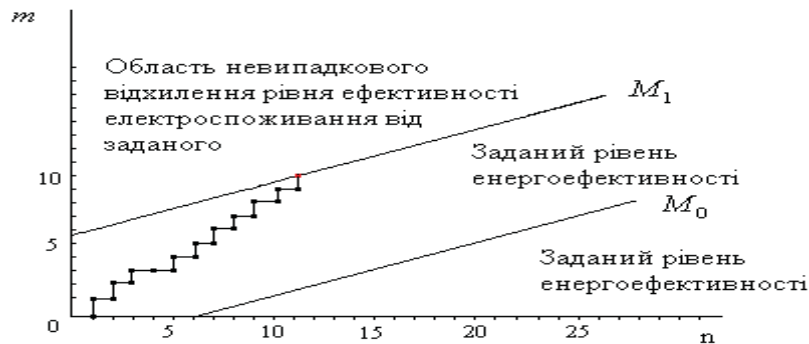


Рис. 10 – Графічна ілюстрація процесу послідовного контролю за методом Вальда

Таким чином, після проведення кожного етапу контролю ефективності використання електричної енергії на будь-якому технологічному об'єкті необхідно на наведеному вище графіку позначити кількість випадків  $m$  невиконання встановлених цільових змінних електроспоживання, яка накопичилася з початку здійснення контролю енергоефективності на цьому об'єкті до моменту останнього контролю (ступінчаста лінія) і перевірити, чи не перетнула ця ступінчаста лінія пряму  $M_1$ , що відображає верхнє граничне значення кількості таких випадків.

Якщо при цьому в результаті проведення  $n$  етапів контролю для загальної кількості  $m$  зареєстрованих ситуацій невиконання цільових змінних є справедливою нерівність  $m \geq h_1 + sn$ , можна стверджувати, що реальний рівень ефективності використання електроенергії на даному об'єкті невикладковим чином відрізняється від запланованого її рівня, який визначають відповідні цільові змінні електроспоживання. Якщо зазначена нерівність не виконується, то приймається, що рівень ефективності електровикористання на об'єкті відповідає заданому її рівню, а всі зафіксовані в процесі контролю ситуації невиконання цільових змінних слід вважати випадковими.

Очевидно, що в процесі контролю енергоефективності необхідно одночасно вирішувати дві задачі. А саме, на кожному етапі контролю потрібно реєструвати як можливе зниження, так і можливе підвищення ефективності використання електричної енергії на даному об'єкті відносно запланованого її рівня. З цією метою слід побудувати і одночасно застосовувати дві карти послідовного контролю, подібні до наведеної на рис. 10. При цьому, якщо план контролю невикладкового

підвищення або зниження рівня енергоефективності об'єкту є однаковим, то граничні лінії  $M_0$  і  $M_1$  для обох контрольних карт будуть також однаковими.

Таким чином, запропонована процедура контролю виконання встановлених цільових змінних електроспоживання, що базується на застосуванні методу послідовного аналізу Вальда, дає змогу оперативно визначати моменти невідповідного підвищення або зниження ефективності використання електричної енергії на технологічних об'єктах, своєчасно здійснювати необхідні заходи для підтримання запланованого її рівня, а також кількісно оцінювати обсяги економії або перевитрати електроенергії, яка відбувалася протягом відповідного періоду.

Як було зазначено, одним з недоліків традиційних систем контролю і планування енергоспоживання, а отже і більш досконалих систем оперативного контролю енергоефективності, що базуються на методології створення та застосування систем КіП, є непридатність таких систем для вирішення задач оцінки та контролю рівня ефективності використання електричної енергії на великих виробничо-господарських об'єктах (на рівні держави, її регіонів, у галузях суспільного виробництва, на підприємствах, в організаціях та у їх підрозділах). Разом з тим, в Україні існує система нормування питомих витрат паливно-енергетичних ресурсів, що на сьогодні є єдиним «інструментом» контролю ефективності використання ПЕР в усіх галузях та сферах економіки, який також є дуже недосконалим.

Приймаючи до уваги переваги та недоліки кожного з цих підходів до вирішення задачі оцінки та контролю ефективності використання ПЕР, можна стверджувати, що одним з можливих та доцільних напрямів подальшого розвитку діючої в нашій державі системи контролю ефективності використання електричної енергії в суспільному виробництві може бути поєднання існуючої теорії та практики нормування її питомих витрат з побудовою та застосуванням удосконалених систем оперативного контролю ефективності електровикористання. В дисертаційній роботі запропоновано концепцію та створено методологію побудови на виробничо-господарських об'єктах так званих інтегрованих систем контролю ефективності використання електроенергії, яка базується на поєднанні двох зазначених підходів до контролю енергоефективності.

Розроблену методологію побудови та функціонування локальних систем оперативного контролю ефективності використання електроенергії технологічними об'єктами прийнято для подальшого використання ДП «Центральне агентство з енергетичних обстежень» (м. Київ), НДІ «Енергія» та ТОВ «Укренергоефект» (м. Київ). За відомими оцінками практичне застосування подібних систем оперативного контролю ефективності енерговикористання дозволяє заощаджувати від 5 до 15 відсотків обсягу енергетичних ресурсів, що споживається на відповідних об'єктах до впровадження зазначених систем контролю.

## ВИСНОВКИ

1. У дисертації сформульовано та наведено нове вирішення наукової проблеми відсутності достатньо коректних та дієвих методів управління режимами споживання і ефективністю використання електричної енергії в енергетичних системах, створення та застосування яких дасть змогу підвищити надійність та економічність функціонування енергосистем, зокрема, завдяки зменшенню обсягів споживання органічного палива, скороченню фінансових та матеріальних витрат на



виробництво електроенергії, а також уповільненню динаміки капітальних видатків на розвиток генеруючих потужностей та електричних мереж.

2. Розроблена методологія розширеного аналізу результатів застосування єдиного існуючого засобу управління режимами електроспоживання – диференційованих за зонами доби тарифів на електроенергію, завдяки використанню вперше запропонованих показників та відповідних статистичних методів дає змогу: визначати характер та ступінь впливу груп споживачів на нерівномірність добових графіків навантаження енергетичної системи; аналізувати відповідність встановлених тарифних зон доби сучасним потребам управління попитом споживачів на електричну потужність; досліджувати характер та ступінь впливу на нерівномірність навантаження енергосистеми щогодинної зміни попиту на потужність споживачів, які використовують диференційовані за зонами доби тарифи на електроенергію.

3. Результати аналізу фактичних графіків електричного навантаження, зафіксованих у режимні дні кількох попередніх років, свідчать, що основний негативний вплив на нерівномірність добового навантаження об'єднаної енергетичної системи України здійснює група споживачів «Населення» (близько 90 %), в той час як вплив промислових споживачів в середньому не перевищує 10 %.

4. Результати досліджень фактичних добових графіків електричного навантаження об'єднаної енергосистеми, виконаних з застосуванням розробленої методології, дозволяють стверджувати, що діючі диференційовані за зонами доби тарифи на електроенергію на сьогоднішній день вичерпали свої можливості з точки зору дієвого стимулювання споживачів до подальших змін характеру їх попиту на електричну потужність, не сприяють залученню нових, достатньо потужних споживачів до участі у вирівнюванні добових графіків електричного навантаження енергосистеми і не відповідають сучасним потребам управління електроспоживанням.

5. Створений альтернативний метод управління режимами споживання електричної потужності завдяки встановленню плати за профіль (конфігурацію) графіків навантаження та її адресному спрямуванню дає змогу, у порівнянні з діючими диференційованими за зонами доби тарифами на електроенергію, більш ефективно залучати електропередавальні організації та групи споживачів до активної участі у вирівнюванні добових графіків навантаження енергосистеми.

6. Результати розрахунків, виконаних за реальними графіками навантаження об'єднаної енергетичної системи, підтверджують, що економія витрат на виробництво електроенергії, яка може бути одержана у разі вирівнювання добових графіків її електричного навантаження, в середньому складає 5 млрд. грн. на рік (при цьому скорочення витрат природного газу тільки на щодобові пуски енергоблоків ТЕС дорівнюватиме 1,5 млрд. м<sup>3</sup> на рік), а потенційна винагорода груп споживачів за активну участь у досягненні цього вирівнювання в середньому може сягати від 200 млн. до 1 млрд. грн. на рік.

7. Управління ефективністю використання електроенергії її споживачами, яке дає змогу уповільнювати динаміку капітальних видатків на розвиток генеруючих потужностей та електричних мереж, вимагає здійснення систематичного контролю та аналізу ефективності використання електроенергії на всіх рівнях господарювання, що не може успішно виконуватись без вирішення проблеми об'єктивної кількісної оцінки рівня ефективності використання енергії,

основою розв'язання якої має бути розвиток методології побудови електробалансів виробничо-господарських об'єктів.

8. Розроблена в дисертаційній роботі методологія використання ймовірісно-статистичних методів для побудови балансів споживання електричної енергії в умовах недостатніх та нечітко визначених вихідних даних завдяки заміні нечітких даних їх найбільш ймовірними значеннями, дозволяє у порівнянні з розрахунково-аналітичним методом, скласти більш обґрунтовані та достовірні баланси споживання електроенергії на виробничо-господарських об'єктах, (за результатами експериментальних розрахунків, зокрема при побудові електробалансів за видами продукції, похибка визначення їх статей не перевищувала 6,5%), а також одержувати вихідні дані, необхідні для створення та функціонування локальних систем оперативного контролю ефективності використання електричної енергії.

9. Запропонований комплексний підхід до вибору чинників, які потрібно враховувати при побудові математичних моделей, необхідних для встановлення «базових ліній» електроспоживання технологічних об'єктів, завдяки використанню експертних методів, апарату нечіткої логіки та аналізу багатовимірних статистичних даних, дозволяє з урахуванням додаткових обмежень визначати оптимальний склад таких чинників.

10. Розроблена універсальна процедура вибору найбільш «прийнятних» математичних моделей електроспоживання технологічних об'єктів та методів їх побудови завдяки чіткому визначенню критеріїв адекватності моделей, застосуванню експертних методів для встановлення додаткових критеріїв, а також використанню відносно простих методів багатокритеріальної оптимізації дає змогу спеціалістам-практикам, які не мають відповідних спеціальних знань та досвіду, у виробничих умовах успішно вирішувати зазначену задачу.

11. Запропоновані методологічні основи встановлення цільових змінних обсягу споживання електроенергії технологічними об'єктами, необхідних для здійснення оперативного контролю їх енергоефективності, завдяки застосуванню ймовірісно-статистичних методів визначення меж довірчих інтервалів до відповідних математичних моделей електроспоживання дозволяють враховувати залишкову похибку моделювання і тим самим встановлювати більш об'єктивні та обґрунтовані величини зазначених цільових змінних.

12. Розроблена процедура контролю виконання встановлених цільових змінних електроспоживання завдяки застосуванню методу послідовного аналізу Вальда дає змогу оперативно визначати моменти невідповідності підвищення або зниження ефективності використання електричної енергії на технологічних об'єктах, своєчасно планувати та здійснювати заходи, необхідні для підтримання заданого її рівня, а також кількісно оцінювати обсяги економії або перевитрати електроенергії, яка відбувалася протягом відповідних періодів.

13. Створення інтегрованих систем контролю завдяки поєднанню існуючої теорії та практики нормування питомих витрат електроенергії з побудовою та застосуванням удосконалених систем оперативного контролю дозволить значно підвищити оперативність та об'єктивність контролю ефективності використання електричної енергії як численним технологічним обладнанням, так і на виробничо-господарських об'єктах в цілому, створюючи тим самим умови для дієвого управління енергозбереженням і сприяючи підвищенню ефективності функціонування енергетичної системи в цілому.

## СПИСОК ПУБЛІКАЦІЙ ЗДОБУВАЧА ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

1. Праховник А.В. Создание многофункциональной системы розничных тарифов на электрическую энергию / А. В. Праховник, В. Ф. Находов. // Энергетика и электрификация. –1996. –№1. –С. 40–42. *Здобувачем запропоновано ідею побудови в Україні багатofункціональної системи тарифів на електричну енергію, визначено склад основних її функцій та динаміку поступового їх включення до системи тарифів.*
2. Праховник А. В. Проблеми, методи та засоби управління використанням електричної енергії / А. В. Праховник, В. Ф. Находов. // Наукові вісті НТУУ «КПІ». –1997. –№1. –С. 41–48. *Здобувачем обґрунтовано необхідність управління використанням електричної енергії в енергетичній системі, визначено основні шляхи та методи здійснення такого управління, сформульовано роль тарифів на електроенергію як одного з основних засобів управління електроспоживанням, проаналізовано світовий досвід формування та застосування тарифів на електроенергію.*
3. Находов В. Ф. Тарифы на электрическую энергию как средство управления энергоснабжением-энергопотреблением в рыночных условиях / В. Ф. Находов, А. И. Замулко, Л. Н. Федоренко. // Энергетика и электрификация. –1998. –№2–3. –С. 46–48. *Здобувачем обґрунтовано необхідність управління використанням електричної енергії в енергетичній системі, визначено основні шляхи та методи здійснення такого управління, сформульовано роль тарифів на електроенергію як одного з основних засобів управління електроспоживанням, проаналізовано світовий досвід формування та застосування тарифів на електроенергію.*
4. Находов В.Ф. Визначення впливу споживачів на нерівномірність електричного навантаження енергетичної системи / В.Ф. Находов, А.І. Замулко. // Наукові вісті НТУУ «КПІ». –1998. –№3. –С. 19–21. *Здобувачем запропоновано та удосконалено методичні засади оцінки та аналізу впливу на нерівномірність навантаження енергетичної системи зміни попиту споживачів на електричну потужність.*
5. Находов В.Ф. Дифференцирование тарифов на электроэнергию по уровням питающего напряжения потребителей / В.Ф. Находов, А.И. Замулко. // Промышленная энергетика. –1998. –№ 9. –С. 39–43. *Здобувачем створено науково-методичні засади встановлення складових багатofункціональної системи тарифів та електроенергію.*
6. Находов В.Ф. Система оптовых та роздрібних тарифів на електричну енергію, диференційованих за періодами часу / В.Ф. Находов, А.І. Замулко. // Наукові вісті НТУУ «КПІ». –1998. –№ 1. –С. 22–26. *Здобувачем обґрунтовано необхідність встановлення та використання диференційованих за періодами часу тарифів як засобу управління режимами споживання електричної енергії в енергосистемі, визначено структуру та методи побудови таких тарифів.*
7. Праховник А.В. Маневрене електричне навантаження споживачів як засіб «компенсації» зростання нерегульованих генеруючих потужностей атомних енергоблоків / А.В. Праховник, В.Ф. Находов, А.І. Замулко. // «Промислова електроенергетика та електротехніка» Промелектро: інформ. зб. –2006. –№2. *Здобувачем обґрунтовано необхідність управління використанням електричної енергії в енергетичній системі, визначено основні шляхи та методи здійснення такого управління, сформульовано роль тарифів на електроенергію як одного з*



основних засобів управління електроспоживанням, проаналізовано світовий досвід формування та застосування тарифів на електроенергію.

8. Находов В.Ф. Энергосбережение и проблема контроля эффективности энергоиспользования // «Промислова електроенергетика та електротехніка» Промелектро: інформ. зб. –2007. –№ 1. –С. 34–42. Здобувачем обґрунтовано важливість здійснення об'єктивного контролю ефективності використання паливно-енергетичних ресурсів для систематичного управління енергозбереженням та практичного вирішення задач у цій сфері.

9. Находов В.Ф. Аналіз діючих в Україні методик нормування питомих витрат паливно-енергетичних ресурсів / В.Ф. Находов, О.В. Бориченко, К.К. Кочетова // «Промислова електроенергетика та електротехніка» Промелектро : інформ. зб. –2007. –№2. –С. 42–48. Здобувачем проаналізовано діючі в Україні методики нормування питомих витрат електричної енергії, визначено напрями та методи удосконалення та подальшого розвитку цих методик.

10. Находов В.Ф. Ймовірно-статистичний підхід до побудови енергобалансів виробничо-господарських об'єктів / В.Ф. Находов, О.В. Бориченко // «Промислова електроенергетика та електротехніка» Промелектро: інформ. зб. –2007. –№ 6. –С. 45–54. Здобувачем запропоновано ймовірно-статистичний підхід до побудови балансів споживання електричної енергії, створено методологію складення електробалансів в умовах невизначеності вихідної інформації з застосуванням нечіткої логіки, ймовірно-статистичних та оптимізаційних методів.

11. Праховник А.В. Контроль ефективності енерговикористання – ключова проблема управління енергозбереженням / А.В. Праховник, В.Ф. Находов, О.В. Бориченко // Энергосбережение, энергетика, энергоаудит. – 2009. – №8(66). – С. 41–54. Здобувачем обґрунтовано важливість здійснення об'єктивного контролю ефективності використання паливно-енергетичних ресурсів для систематичного управління енергозбереженням та практичного вирішення задач у цій сфері.

12. Находов В.Ф. Удосконалення діючої системи нормалізації енергоспоживання на основі контролю і планування витрат електричної енергії/ В.Ф. Находов, О.В. Бориченко, О.В. Тишко // «Промислова електроенергетика та електротехніка» Промелектро : інформ. зб. – 2010. – № 3. – С. 51–58. Здобувачем проаналізовано діючі в Україні методики нормування питомих витрат електричної енергії, визначено напрями та методи удосконалення та подальшого розвитку цих методик.

13. Находов В.Ф. Побудова оптимальних розрахункових моделей електробалансів виробничо-господарських об'єктів / В.Ф. Находов, О.В. Бориченко // «Промислова електроенергетика та електротехніка» Промелектро: інформ. зб. –2010. –№ 6. –С. 47–51. Здобувачем запропоновано ймовірно-статистичний підхід до побудови балансів споживання електричної енергії, створено методологію складення електробалансів в умовах невизначеності вихідної інформації з застосуванням нечіткої логіки, ймовірно-статистичних та оптимізаційних методів.

14. Находов В.Ф. Вибір необхідного складу критеріїв адекватності математичних моделей енергоспоживання в системах оперативного контролю енергоефективності [Текст] / В.Ф. Находов, О.В. Бориченко, Д.О. Іванько // Энергетика: економіка, технології, екологія. – 2013. – № 3. – С. 68–77. Здобувачем обґрунтовано необхідність застосування багатофакторних нелінійних



математичних моделей обсягів електроспоживання електричної енергії, створено методологію визначення найбільш прийнятних математичних моделей споживання електроенергії при побудові систем оперативного контролю ефективності її використання.

15. Находов В.Ф. Контроль ефективності енерговикористання в системі енергетичного менеджменту [Текст] / В.Ф. Находов, О.В. Бориченко, Д.О. Іванько // Журнал «Вісник КНУТД». – 2013. – №6. – С. 67-77. *Здобувачем обґрунтовано важливість здійснення об'єктивного контролю ефективності використання паливно-енергетичних ресурсів для систематичного управління енергозбереженням та практичного вирішення задач у цій сфері.*

16. Находов В.Ф. Вибір найбільш прийнятної математичної моделі для встановлення стандартів енергоспоживання виробничих об'єктів. [Текст] / В.Ф. Находов, О.В. Бориченко, Д.О. Іванько // Наукові вісті НТУУ «КПІ». – 2014. – №1. – С. 20-29. *Здобувачем обґрунтовано необхідність застосування багатофакторних нелінійних математичних моделей обсягів електроспоживання електричної енергії, створено методологію визначення найбільш прийнятних математичних моделей споживання електроенергії при побудові систем оперативного контролю ефективності її використання.*

17. Находов В.Ф. Комплексний підхід до визначення складу чинників, що впливають на величину енергоспоживання при впровадженні систем оперативного контролю енергоефективності [Текст] / В.Ф. Находов, О.В. Бориченко, Д.О. Іванько, І.О. Єгорова // Енергетика: економіка, технології, екологія. – 2014. – №2. – С. 68–77. (Включена до міжнародної наукометричної бази даних Google Scholar). *Здобувачем розроблено методологічні засади комплексного вирішення задачі визначення оптимального складу чинників, які необхідно враховувати в процесі побудови та застосування систем оперативного контролю ефективності використання електричної енергії.*

18. Аль Шарари М. Энергетика Иордании: современное состояние и перспективы развития / М. Аль Шарари, В.Ф. Находов, Ю.Н. Исаенко. // Енергетика: економіка, технології, екологія. – 2014. – №4. – С. 83–91. (Включена до міжнародної наукометричної бази даних Google Scholar). *Здобувачем обґрунтовано необхідність управління використанням електричної енергії в енергетичній системі, визначено основні шляхи та методи здійснення такого управління, сформульовано роль тарифів на електроенергію як одного з основних засобів управління електроспоживанням, проаналізовано світовий досвід формування та застосування тарифів на електроенергію.*

19. Находов В. Ф. Определение первоочередных направлений совершенствования дифференцированных тарифов на электрическую энергию. / В. Ф. Находов, А. И. Замулко, Мохаммад Аль Шарари, Ю. Н. Исаенко. // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2015. – №1(78). – С. 24–32. (Включена до міжнародної наукометричної бази даних Index Copernicus). *Здобувачем запропоновано методичні засади оцінки та аналізу результатів застосування в Україні диференційованих за зонами доби тарифів на електричну енергію, визначено першочергові напрямки удосконалення та подальшого розвитку цих тарифів.*

20. Находов В.Ф. Виявлення «проблемних» ділянок схеми електропостачання для верифікації розрахункових електробалансів / В.Ф. Находов, О.В. Бориченко, Д.О. Іванько, І.В. Якобюк // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2015. – №2/8 (74). – С. 4–10. (Включена до міжнародної

наукометричної бази даних Index Copernicus). *Здобувачем запропоновано ймовірно-статистичний підхід до побудови балансів споживання електричної енергії, створено методологію складення електробалансів в умовах невизначеності вихідної інформації з застосуванням нечіткої логіки, ймовірно-статистичних та оптимізаційних методів.*

21. Находов В.Ф. Аналіз методики розрахунку нормативних витрат електричної енергії на виробництво і транспортування тепла [Текст] / В.Ф. Находов, О.В. Бориченко, Д.О. Іванько, Т.В. Мазаєва // Энергосбережение. Энергетика. Энергоаудит. – 2015. – № 6. – С. 2-11. (Включена до міжнародної наукометричної бази даних Google Scholar). *Здобувачем проаналізовано діючі в Україні методики нормування питомих витрат електричної енергії, визначено напрями та методи удосконалення та подальшого розвитку цих методик.*

22. Находов В. Ф. Оценка влияния изменения спроса потребителей на электрическую мощность на неравномерность суточных графиков нагрузки энергосистемы / В.Ф. Находов, А. И. Замулко, Мохаммад Аль Шарари, Д. А. Мединцева. // Наукові вісті НТУУ «КПІ». –2016. –№1. –С. 31–38. (Включена до міжнародної наукометричної бази даних Index Copernicus). *Здобувачем запропоновано та удосконалено методичні засади оцінки та аналізу впливу на нерівномірність навантаження енергетичної системи зміни попиту споживачів на електричну потужність.*

23. Находов В.Ф. Анализ длительности и границ существующих тарифных зон суток / В.Ф. Находов, А.И. Замулко, Мохаммад Аль Шарари, Д.А. Мединцева. // Энергетика: економіка, технології, екологія. –2016. –№ 2 –С. 88–97. (Включена до міжнародної наукометричної бази даних Google Scholar). *Здобувачем запропоновано методичні засади оцінки та аналізу результатів застосування в Україні диференційованих за зонами доби тарифів на електричну енергію, визначено першочергові напрями удосконалення та подальшого розвитку цих тарифів.*

24. Находов В.Ф. Оценка потенциала снижения затрат энергосистемы в результате выравнивания суточных графиков ее электрической нагрузки [Текст] / В.Ф. Находов, А.И. Замулко, Мохаммад Аль Шарари, В.В. Чекамова. // Вісник НТУ«ХПІ». –2016. –№ 4.(1176). –С. 21–31. (Включена до міжнародної наукометричної бази даних Ulrich's Periodicals Directory). *Здобувачем визначено основні складові додаткових витрат енергосистеми на покриття нерівномірного попиту споживачів на електричну потужність, створено методологічні засади оцінки можливого зменшення цих витрат в результаті вирівнювання графіків навантаження енергетичної системи.*

25. Праховник А. В. Экономические предпосылки повышения экологической безопасности объектов энергетики / А.В. Праховник, В.Ф. Находов, А. И. Замулко // Методические вопросы исследования больших систем энергетики – 1995. –№47. –С. 172–177. *Здобувачем створено науково-методичні засади встановлення складових багатofункціональної системи тарифів та електроенергії.*

26. Находов В.Ф. Определение скидки к оптовым рыночным тарифам на электрическую энергию за участие потребителей в снижении дефицита мощности энергосистемы / В. Ф. Находов, А. И. Замулко. // «Експрес новини: наука, техніка, виробництво», Нац.техн.ун-т. України «Київ.полит.ін-т.». –Київ. –1997. –14с. *Здобувачем створено науково-методичні засади встановлення складових багатofункціональної системи тарифів та електроенергії.*

27. Находов В.Ф. Экономические методы оперативного управления электрическими нагрузками / В.Ф. Находов, А.И. Замулко. // Вісник УБЕНТЗ. – 1998. – №6. – С. 112–114. *Здобувачем обґрунтовано необхідність управління використанням електричної енергії в енергетичній системі, визначено основні шляхи та методи здійснення такого управління, сформульовано роль тарифів на електроенергію як одного з основних засобів управління електроспоживанням, проаналізовано світовий досвід формування та застосування тарифів на електроенергію.*

28. Находов В.Ф. Функциональные зависимости платы потребителей за неравномерность спроса на электрическую мощность / В.Ф. Находов, А.И. Замулко. // Вісник УБЕНТЗ. – 1999. – № 1. – С. 49–52. *Здобувачем створено науково-методичні засади встановлення складових багатofункціональної системи тарифів та електроенергію.*

29. Праховник А.В. Актуальні питання управління попитом на електричну енергію та потужність / А.В. Праховник, В.Ф. Находов, А.І. Замулко. // Проблеми розвитку енергетики. Погляд громадськості. – 2010. – №7. – С. 191–193. *Здобувачем обґрунтовано необхідність управління використанням електричної енергії в енергетичній системі, визначено основні шляхи та методи здійснення такого управління, сформульовано роль тарифів на електроенергію як одного з основних засобів управління електроспоживанням, проаналізовано світовий досвід формування та застосування тарифів на електроенергію.*

30. Находов В.Ф. Контроль та аналіз виконання встановлених «стандартів» в системах статистичного контролю ефективності використання електричної енергії / В.Ф. Находов, О.В. Бориченко // «Промислова електроенергетика та електротехніка» Промелектро : інформ. зб. – 2011. – № 2. – С. 16–23. *Здобувачем розроблено методологію здійснення оперативного контролю виконання встановлених цільових змінних споживання електричної енергії в системах оперативного контролю ефективності енерговикористання.*

31. Находов В.Ф. Принципы формирования дифференцированных тарифов. О перспективах тарифных исследований для энергетики Украины // Тез. докл. семинара «Маркетинг в энергетике и его обеспечение». – Киев. – 1993. – С. 12–13. *Здобувачем обґрунтовано необхідність управління використанням електричної енергії в енергетичній системі, визначено основні шляхи та методи здійснення такого управління, сформульовано роль тарифів на електроенергію як одного з основних засобів управління електроспоживанням, проаналізовано світовий досвід формування та застосування тарифів на електроенергію.*

32. Находов В.Ф. Установление тарифных периодов для экономического управления потреблением электрической мощности / В.Ф. Находов, Фан Тхи Тхань Бинь. // Тез. докл. семинара «Концептуальные и методические вопросы формирования и реализации программ стабилизации энергетической отрасли. – Киев. – 1995. – С. 43–45. *Здобувачем обґрунтовано необхідність встановлення та використання диференційованих за періодами часу тарифів як засобу управління режимами споживання електричної енергії в енергосистемі, визначено структуру та методи побудови таких тарифів.*

33. Находов В.Ф. Стимулирование участия потребителей в повышении надежности электроснабжения посредством системы тарифов на электрическую энергию / В.Ф. Находов, А.И. Замулко. // Тез. семинара «Инвестиционные ресурсы для стабилизации функционирования систем энергетики». – Киев.: Общество



«Знание» Украины. –1996. –Т.2. –С. 23-25. *Здобувачем обґрунтовано необхідність управління використанням електричної енергії в енергетичній системі, визначено основні шляхи та методи здійснення такого управління, сформульовано роль тарифів на електроенергію як одного з основних засобів управління електроспоживанням, проаналізовано світовий досвід формування та застосування тарифів на електроенергію.*

34. Находов В.Ф., Замулко А.И. Формирование тарифных групп потребителей как способ сокращения неплатежей за использованную энергию / В.Ф. Находов, А.И. Замулко. // Тез.семинара «Организация обслуживания долгов в энергетике как фактор стабилизации ее функций». – Киев, 22-25 октября. –1996. – С. 36-39. *Здобувачем створено науково-методичні засади встановлення складових багатофункціональної системи тарифів та електроенергію.*

35. Находов В.Ф. Проблема контролю ефективності енерговикористання – основа практичного вирішення задач енергозбереження / В.Ф. Находов, О.В. Бориченко // Енергозбереження, екологія, ефективність: шляхи зниження енергозалежності України: міжнар. конф., 14 травня 2008 р. : тези доп. – К., 2008. – С. 55–57. *Здобувачем обґрунтовано важливість здійснення об'єктивного контролю ефективності використання паливно-енергетичних ресурсів для систематичного управління енергозбереженням та практичного вирішення задач у цій сфері.*

36. Находов В.Ф. Побудова енергобалансів виробничо-господарських об'єктів ймовірно-статистичним методом / В.Ф. Находов, О.В. Бориченко // Енергоефективність великого промислового регіону : III міжнар. наук.-практ. конф., 3–5 червня 2008 р. : тези доп. – Донецьк, 2008. – С. 150–155. *Здобувачем запропоновано ймовірно-статистичний підхід до побудови балансів споживання електричної енергії, створено методологію складення електробалансів в умовах невизначеності вихідної інформації з застосуванням нечіткої логіки, ймовірно-статистичних та оптимізаційних методів.*

37. Находов В.Ф. Побудова енергобалансів виробничо-господарських об'єктів на основі апарату нечіткої логіки та математики / В.Ф. Находов, О.В. Бориченко // UKR-POWER 2008 «Комплексне вирішення проблем енергозбереження в промисловій та комунальній енергетиці» : XXIII міжнар. конф., 17–21 червня 2008 р.: тези доп. – Ялта, 2008. – С. 43–47. *Здобувачем запропоновано ймовірно-статистичний підхід до побудови балансів споживання електричної енергії, створено методологію складення електробалансів в умовах невизначеності вихідної інформації з застосуванням нечіткої логіки, ймовірно-статистичних та оптимізаційних методів.*

38. Праховник А.В. Контроль ефективності енерговикористання – ключова проблема управління енергозбереженням / А.В. Праховник, В.Ф. Находов, О.В. Бориченко // Енергетична безпека та енергозбереження на транспорті: технології та інвестиції : IV міжнар. наук.-практ. конф., 10–12 червня 2009 р. : тези доп. – Одеса, 2009. – С. 86–103. *Здобувачем обґрунтовано важливість здійснення об'єктивного контролю ефективності використання паливно-енергетичних ресурсів для систематичного управління енергозбереженням та практичного вирішення задач у цій сфері.*

39. Находов В.Ф. Побудова оптимальних розрахункових моделей електробалансів виробничо-господарських об'єктів [Електронний ресурс] / В.Ф. Находов, О.В. Бориченко, О.О. Мусатова // «Енергетика, гірництво: економіка, технології, екологія» присвячена вшануванню 90 років від дня народження В.М. Винославського : наук.-техн. конф., 14–15 січня 2010 р. : тези доп. – К., 2010. – Режим доступу: [uek.kpi.ua](http://uek.kpi.ua) / BOOKS /



conferece\_energy.../Vinoslavskiy\_conference.docx. *Здобувачем запропоновано ймовірісно-статистичний підхід до побудови балансів споживання електричної енергії, створено методологію складення електробалансів в умовах невизначеності вихідної інформації з застосуванням нечіткої логіки, ймовірісно-статистичних та оптимізаційних методів.*

40. Находов В.Ф. Побудова балансів споживання електроенергії виробничих об'єктів з використанням ймовірісно-статистичних методів [Електронний ресурс] / В.Ф. Находов, О.В. Бориченко, О.О. Мусатова // Енергетика: економіка, технології, екологія : наук.-техн. конф. молодих дослідників, аспірантів та магістрантів, 20–21 травня 2010 р. : тези доп. – К., 2010. *Здобувачем запропоновано ймовірісно-статистичний підхід до побудови балансів споживання електричної енергії, створено методологію складення електробалансів в умовах невизначеності вихідної інформації з застосуванням нечіткої логіки, ймовірісно-статистичних та оптимізаційних методів.*

41. Находов В.Ф. Вибір методу математичного моделювання енергоспоживання в системах оперативного контролю енергоефективності [Текст] / В.Ф. Находов, О.В. Бориченко, Д.О. Іванько // Сучасні проблеми систем електропостачання промислових та побутових об'єктів. Збірник наукових праць I Міжнародної науково-технічної конференції викладачів, аспірантів і студентів: м. Донецьк: «ДВНЗ» ДонНТУ. – 2013. – 197 с. *Здобувачем обґрунтовано необхідність застосування багатofакторних нелінійних математичних моделей обсягів електроспоживання електричної енергії, створено методологію визначення найбільш прийнятних математичних моделей споживання електроенергії при побудові систем оперативного контролю ефективності її використання.*

42. Находов В.Ф. Удосконалення методологічних засад побудови систем оперативного контролю ефективності енерговикористання [Текст] / В.Ф. Находов, О.В. Бориченко, Д.О. Іванько // Энергозбережение на дорожном транспорте и промышленности. Материалы IV Международной научно-практической конференции «Энергозбережение на дорожном транспорте и промышленности» – Д.ДНУЖТ. – 2013. – 90 с. *Здобувачем розроблено методологію здійснення оперативного контролю виконання встановлених цільових змінних споживання електричної енергії в системах оперативного контролю ефективності енерговикористання.*

43. Nakhodov V. Development of methods for monitoring of energy efficiency in the energy management systems [Текст] / V. Nakhodov, N. Skeie, C.F. Pfeiffer, E. Borichenko, D. Ivanko // Міжнародна науково-практична та навчально-методична конференція «Сталий енергетичний розвиток: сучасні тенденції, технології та рішення» НТУУ «КПІ», ІЕЕ. – Київ: НТУУ «КПІ», ІЕЕ, 2014. – 61 с. *Здобувачем розроблено методологію здійснення оперативного контролю виконання встановлених цільових змінних споживання електричної енергії в системах оперативного контролю ефективності енерговикористання.*

44. Baskys A. Calculation of Electrical Energy Balances of Production Systems Based on Probabilistic-Statistical Approach / A. Baskys, V. Nakhodov, D. Ivanko, C.F. Pfeiffer // Information, Electronic and Electrical Engineering (AIEEE), 2015 IEEE 3rd Workshop on Advances in Riga – 2015. – P.1-6. *Здобувачем запропоновано ймовірісно-статистичний підхід до побудови балансів споживання електричної енергії, створено методологію складення електробалансів в умовах невизначеності вихідної інформації з застосуванням нечіткої логіки, ймовірісно-статистичних та оптимізаційних методів.*

45. Башкис А. Определение численных значений статей электробалансов производственных объектов в условиях неопределенности исходной информации [Текст] / А. Башкис, Д.О. Иванько, В.Ф. Находов // Минск: БГТУ, 2015. – Автоматический контроль и автоматизация производственных процессов, Минск: БГТУ. – 2015. – С. 142-146. *Здобувачем запропоновано ймовірісно-статистичний підхід до побудови балансів споживання електричної енергії, створено методологію складення електробалансів в умовах невизначеності вихідної інформації з застосуванням нечіткої логіки, ймовірісно-статистичних та оптимізаційних методів.*

46. Находов В.Ф. Анализ установленных зон суток существующих дифференцированных тарифов на электроэнергию / В.Ф. Находов, А.И. Замулко, Мохаммад Аль Шарари, Д.А. Мединцева. // В матеріалах III міжнародної науково-технічної та навчально-методичної конференції «Енергетичний менеджмент: стан та перспективи розвитку – 2016», Київ, 30 травня - 01 червня 2016 р., м. Київ: НТУУ «КПІ». – С. 84–85. *Здобувачем запропоновано методичні засади оцінки та аналізу результатів застосування в Україні диференційованих за зонами доби тарифів на електричну енергію, визначено першочергові напрямки удосконалення та подальшого розвитку цих тарифів.*

47. Находов В.Ф. Застосування ймовірісно-статистичного підходу для побудови балансів електроспоживання котельних [Текст] / В.Ф. Находов, О.В. Бориченко, Д.О. Иванько, А.В. Ройтер, Ю.В. Пахарев // III Міжнародна науково-технічна та навчально-методична конференція «Енергетичний менеджмент: стан та перспективи розвитку – PEMS'16», Київ, 30 травня - 01 червня 2016 р., м. Київ: НТУУ «КПІ». – С. 82-83. *Здобувачем запропоновано ймовірісно-статистичний підхід до побудови балансів споживання електричної енергії, створено методологію складення електробалансів в умовах невизначеності вихідної інформації з застосуванням нечіткої логіки, ймовірісно-статистичних та оптимізаційних методів.*

48. Находов, В. Ф. Дополнительные затраты энергосистемы на покрытие неравномерных графиков электрической нагрузки [Електронне видання] / В. Ф. Находов, А. И. Замулко, Мохаммад Аль Шарари, Д. А. Мединцева. // Збірка наукових праць VIII міжнар. наук.-техн. конф. молодих дослідників, аспірантів та студентів «Енергетика. Екологія. Людина», Київ, 1–3 червня 2016 р., Київ: НТУУ «КПІ». – С. 265–269. *Здобувачем визначено основні складові додаткових витрат енергосистеми на покриття нерівномірного попиту споживачів на електричну потужність, створено методологічні засади оцінки можливого зменшення цих витрат в результаті вирівнювання графіків навантаження енергетичної системи.*

49. Nakhodov V. Identification of technological equipment with significant impact on uncertainty of electrical balances [Текст] / V. Nakhodov, A. Baskys, C. Pfeiffer, D. Ivanko // Information, Electronic and Electrical Engineering (AIEEE), eStream Vilnius – 2016. – P.1-6. *Здобувачем запропоновано ймовірісно-статистичний підхід до побудови балансів споживання електричної енергії, створено методологію складення електробалансів в умовах невизначеності вихідної інформації з застосуванням нечіткої логіки, ймовірісно-статистичних та оптимізаційних методів.*

50. Nakhodov V. Application of sequential analysis of Wald for energy efficiency monitoring [Текст] / V. Nakhodov, A. Baskys, E. Borichenko, D. Ivanko // Information, Electronic and Electrical Engineering (AIEEE), 2016 IEEE 4rd Workshop on

Advances in Vilnius – 2016. – P.1-6. *Здобувачем розроблено методологію здійснення оперативного контролю виконання встановлених цільових змінних споживання електричної енергії в системах оперативного контролю ефективності енерговикористання.*

51. Находов В.Ф., Минкин А.Ю. Методика установления одноставочных тарифов на электрическую энергию, дифференцированных по периодам времени./ Киев.полит.ин-т, 1994.-33с.-Укр.-Деп. в ГНТБ України 18.04.94 №724-Ук94 // Аннот. в РЖ «Энергетика».-1994.-№10. *Здобувачем розроблено методики виконання розрахунків, необхідних для встановлення та застосування відповідних складових багатofункціональної системи тарифів на електричну енергію.*

52. Находов В.Ф., Праховник А.В., Замулко А.И. Методика установления экологической составляющей к тарифам на электрическую энергию / Нац.техн.ун-т Украины «КПИ» Киев, 1995.-31с.-Рус.-Деп.в ГНТБ України 04.09.95 №2054-Ук95 // Аннот.в РЖ «Энергетика».-1996.-№2. *Здобувачем розроблено методики виконання розрахунків, необхідних для встановлення та застосування відповідних складових багатofункціональної системи тарифів на електричну енергію.*

53. Находов В.Ф., Замулко А.И. Методика встановлення ступінчастих тарифів на електричну потужність, диференційованих за групами споживачів та періодами часу.- Київ: НТУУ «КПІ», 1997./Рукопис деп. в ДНТБ України 24.11.97 №576-Ук-97/. *Здобувачем розроблено методики виконання розрахунків, необхідних для встановлення та застосування відповідних складових багатofункціональної системи тарифів на електричну енергію.*

54. Находов В.Ф., Замулко А.И. Определение скидки к оптовым рыночным тарифам на электрическую энергию за участие потребителей в снижении дефицита мощности энергосистемы / Нац.техн.ун-т. Украины «Киев.полит.ин-т».-Киев,1997-14с-Рус.-Деп. в УкрИНТЭИ 07.02.97 №164-Уі97. *Здобувачем розроблено методики виконання розрахунків, необхідних для встановлення та застосування відповідних складових багатofункціональної системи тарифів на електричну енергію.*

55. Находов В.Ф., Замулко А.И. Методика встановлення ступінчастих тарифів на електричну енергію, диференційованих за обсягом електроспоживання / Нац.техн.ун-т України «КПІ», 1998.Рукопис деп. в ДНТБ України 09.03.98 №122-Ук-98. *Здобувачем розроблено методики виконання розрахунків, необхідних для встановлення та застосування відповідних складових багатofункціональної системи тарифів на електричну енергію.*

56. Праховник А.В. Анализ мировой тарифной политики в области электроэнергетики. Обоснование и формирование концепции ценообразования на электрическую энергию в Украине / А.В. Праховник, А.И. Замулко, В.Ф. Находов, В.А. Попов. // Нац. техн. ун-т Украины «Киев. политехн. ин-т». –Киев. –2000. –141 с. - Рус.- Рукопись деп. в ГНТБ України 11.12.2000 №215-Ук2000. *Здобувачем обґрунтовано необхідність управління використанням електричної енергії в енергетичній системі, визначено основні шляхи та методи здійснення такого управління, сформульовано роль тарифів на електроенергію як одного з основних засобів управління електроспоживанням, проаналізовано світовий досвід формування та застосування тарифів на електроенергію.*

57. Свідоцтво про реєстрацію авторського права на твір «Методика побудови оптимальних розрахункових моделей балансів споживання електричної енергії виробничо-господарських об'єктів» / В.Ф. Находов, О.В. Бориченко. – № 38503 ; заявл. 14.04.2011 ; зареєстр. 26.05.2011, Бюл. №25. *Здобувачем запропоновано ймовірно-*



*статистичний підхід до побудови балансів споживання електричної енергії, створено методологію складення електробалансів в умовах невизначеності вихідної інформації з застосуванням нечіткої логіки, ймовірно-статистичних та оптимізаційних методів.*

58. Свідоцтво про реєстрацію авторського права на твір «Методика встановлення обґрунтованих «стандартів» споживання електроенергії та здійснення об'єктивного контролю їх виконання в системах статистичного контролю ефективності енерговикористання» / В.Ф. Находов, О.В. Бориченко. – № 38504 ; заявл. 13.05.2011 ; зареєстр. 26.05.2011, Бюл. № 25. *Здобувачем обґрунтовано необхідність застосування багатofакторних нелінійних математичних моделей обсягів електроспоживання електричної енергії, створено методологію визначення найбільш прийнятних математичних моделей споживання електроенергії при побудові систем оперативного контролю ефективності її використання.*

59. Свідоцтво про реєстрацію авторського права на науковий твір «Механизм целевого управления режимами потребления электрической мощности в ОЭС Украины» / В.Ф. Находов, А.И. Замулко, Мохаммад Аль Шарари. - № 68051; заявка від 04.08.2016 р.; зареєстр. 29.09.2016 р. *Здобувачем запропоновано ідею створення механізму адресного управління режимами споживання електричної потужності в енергосистемі, розроблено методологію побудови та застосування цього механізму.*

60. Свідоцтво про реєстрацію авторського права на науковий твір «Ймовірно-статистичний підхід до побудови балансів електроспоживання на підприємствах теплоенергетики» / В.Ф. Находов, О.В. Бориченко, Д.О. Іванько – №69589; заявка від 04.11.2016 р.; зареєстр. 04.01.2017 р. *Здобувачем запропоновано ймовірно-статистичний підхід до побудови балансів споживання електричної енергії, створено методологію складення електробалансів в умовах невизначеності вихідної інформації з застосуванням нечіткої логіки, ймовірно-статистичних та оптимізаційних методів.*

## **АНОТАЦІЯ**

**Находов В.Ф. Управління режимами споживання та ефективністю використання електричної енергії в енергетичних системах.** – На правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.14.01 – енергетичні системи та комплекси. – Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського» МОН України, Київ, 2018.

Досліджено результати використання диференційованих за зонами доби тарифів на електроенергію. Створено концепцію та методологічні основи побудови нового, більш дієвого механізму адресного управління режимами споживання електричної потужності в енергосистемі.

Запропоновано новий, ймовірно-статистичний підхід до побудови електробалансів, розроблено методологію його використання в умовах недостатніх та нечітко визначених вихідних даних.

Розроблено методологію встановлення цільових змінних електроспоживання та оперативного контролю їх виконання на основі побудови довірчих інтервалів та використання методів статистичного контролю якості продукції.



Запропоновано концепцію побудови інтегрованих систем контролю ефективності використання електроенергії, яка базується на поєднанні системи нормування її питомих витрат з застосуванням удосконалених систем оперативного контролю енергоефективності.

**Ключові слова:** електроенергетична система, додаткові витрати на виробництво електроенергії, вирівнювання графіків навантаження енергосистеми, управління попитом споживачів на електричну потужність, диференційовані за часом тарифи на електроенергію, адресне управління режимами споживання електричної потужності, ймовірно-статистичний підхід до побудови електробалансів, оперативний контроль ефективності використання електроенергії, цільові змінні електроспоживання, інтегрована система контролю енергоефективності.

## АННОТАЦИЯ

**Находов В.Ф. Управление режимами потребления и эффективностью использования электрической энергии в энергетических системах.** – На правах рукописи.

Диссертация на соискание научной степени доктора технических наук по специальности 05.14.01 – энергетические системы и комплексы. – Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт имени Игоря Сикорского» МОН Украины, Киев, 2018.

Приведена общая характеристика электроэнергетического комплекса Украины, рассмотрены основные проблемы его функционирования, обоснована необходимость управления режимами потребления электроэнергии в энергосистеме.

Разработана методология расширенного исследования действующих дифференцированных по зонам суток тарифов на электроэнергию, проанализированы результаты использования в Украине этих тарифов.

Созданы концепция и методологические основы построения и использования нового механизма адресного управления режимами потребления электрической мощности в объединенной энергетической системе (ОЭС) Украины. Показано, что действенным «инструментом» привлечения потребителей к активному участию в выравнивании суточных графиков нагрузки энергосистемы может служить установление и использование платы за профиль (конфигурацию) графиков спроса на мощность электропередающих организаций (облэнерго), потребителей электроэнергии или их групп.

Разработаны методологические основы оценки снижения затрат энергосистемы в результате выравнивания графиков ее электрической нагрузки, которое является экономической основой адресного стимулирования облэнерго и потребителей за участие в решении данной задачи.

Доказано, что применение указанного механизма, по сравнению с действующими дифференцированными по зонам суток тарифами на электроэнергию, дает возможность создать более действенные стимулы к активному участию облэнерго и потребителей в управлении режимами производства и передачи электрической энергии в объединенной энергосистеме.

Рассмотрена проблема количественной оценки и контроля эффективности использования электроэнергии, проанализирована существующая в Украине система нормирования ее удельных расходов.

Показано, что одним из первоочередных направлений совершенствования методов оценки и контроля энергоэффективности является развитие методологии построения электробалансов производственно-хозяйственных объектов. Обосновано, что перспективным путем развития методов составления электробалансов является применение для этой цели вероятностно-статистического подхода, который, в отличие от расчетно-аналитического способа, позволяет в условиях недостаточных и нечетко определенных исходных данных получать достоверные и обоснованные балансы потребления электрической энергии. Разработана методология применения вероятностно-статистических методов для построения электробалансов в разных ситуациях и условиях решения данной задачи.

Показано, что одним из целесообразных направлений развития методов оценки и контроля эффективности использования электрической энергии, альтернативных нормированию ее удельных расходов, является совершенствование методологии построения локальных систем оперативного контроля энергоэффективности технологических объектов. Обосновано, что прототипом для создания таких систем могут служить системы контроля и планирования энергопотребления (системы КиП), известные в зарубежной практике под названием Monitoring and Targeting Systems.

Проанализирована существующая методика построения и использования традиционных систем КиП. Доказано, что такие системы имеют ряд недостатков, которые не позволяют получать достаточно объективную количественную оценку уровня эффективности использования, в частности, электрической энергии.

Предложен комплексный подход к определению оптимального состава факторов, которые следует учитывать при построении математических моделей, необходимых для установления «базовых линий» электропотребления, основанный на использовании экспертных методов, аппарата нечеткой логики и анализа многочисленных статистических данных.

Разработана универсальная процедура выбора наиболее «приемлемых» математических моделей электропотребления и методов их построения, которая позволяет осуществлять конкурентный отбор этих моделей как по показателям их адекватности, так и по ряду дополнительных критериев.

Созданы методологические основы установления более обоснованных целевых переменных расхода электроэнергии, которые базируются на построении доверительных интервалов к математическим моделям электропотребления.

Разработана методология контроля выполнения установленных целевых переменных электропотребления, основанная на использовании метода последовательного анализа Вальда, которая дает возможность оперативно определять моменты неслучайного повышения или снижения эффективности использования электроэнергии, своевременно осуществлять мероприятия по поддержанию заданного ее уровня, а также количественно оценивать величину экономии или перерасхода электроэнергии, полученных в течение соответствующих периодов.

Предложена концепция создания интегрированных систем контроля эффективности использования электрической энергии, которая базируется на объединении существующей системы нормирования ее удельных расходов с построением и применением усовершенствованных локальных систем оперативного контроля энергоэффективности.

**Ключевые слова:** электроэнергетическая система, дополнительные затраты на производство электроэнергии, выравнивание графиков нагрузки энергосистемы, управление спросом потребителей на электрическую мощность, дифференцированные по времени тарифы на электроэнергию, адресное управление режимами потребления электрической мощности, вероятностно-статистический подход к построению электробалансов, оперативный контроль эффективности использования электроэнергии, интегрированная система контроля энергоэффективности.

### ABSTRACT

**Nakhodov V.F. Management of consumption patterns and efficiency of electricity use in power systems.** – On the rights of manuscript.

Thesis for the degree of Doctor of Technical Sciences in specialty 05.14.01 – energy systems and complexes. – National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute ", Kyiv, 2018.

The results of time-differentiated electricity tariffs implementation are investigated. The concept and methodological bases of implementation of a new, more effective mechanism of address control of modes of power consumption in the electricity grid are created.

A new probabilistic-statistical approach to the calculation of electricity balances was proposed. The methodology for the use of this approach was developed in conditions of insufficient and unclearly defined output data.

The methodology of setting the targeted energy consumption variables and the operational control methodology of their implementation based on the constructing confidence intervals and the use of statistical quality control methods are developed.

The concept of construction of integrated systems for controlling the efficiency of electricity use which is based on the combination of the system of the normalization of its specific costs with the use of advanced systems of operational control of energy efficiency is proposed.

**Key words:** electric power system, additional expenses for electricity production, equalization of load schedules of power system, control of consumer's electricity demand, time-differentiated tariffs for electricity, address control of electricity consumption regimes, probabilistic-statistical approach to the calculation of electricity balances, operational control of the efficiency of electricity use, target energy consumption variables, integrated energy efficiency control system.

Підписано до друку 10.05.2018 р. Зам. № 159/05 Формат 60 × 84/16. Папір офсетний. Гарнітура Таймс. Друк різнограф. Ум. Друк. Арк.1,91. Наклад 120 пр.

---

Поліграфічний центр «АВЕРС»  
03055, м.Київ, вул. Польова, 21, тел. 277 49 35