

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність проблеми. Одне з найважливіших загальнодержавних завдань, що стоїть перед електроенергетикою України є завдання ефективного споживання паливно-енергетичних ресурсів. Створення системи управління з ефективного споживання електроенергії потребує узгоджених дій спеціалістів різних ієрархічних рівнів управління, починаючи з окремого споживача електричної енергії і закінчуючи об'єднаною ЕЕС України в цілому.

Відсутність у достатніх кількостях маневрених потужностей і нерівномірність режимів електроспоживання (РЕС) вимагає пошуку шляхів покриття і вирівнювання графіків електричного навантаження (ГЕН) енергосистем. Нерівномірність ГЕН енергосистем призводить до перевитрати палива, додатковим капітальним вкладенням в будівництво електростанцій, ліній електропередач, у видобуток палива і погіршенню стану довкілля.

Виробничі системи мають цілий ряд резервів з формування енергоефективних РЕС виробничих систем, які дозволяють знизити на 3-4% витрати електроенергії, максимальне навантаження на 5-10%, на 4-7% собівартість продукції за рахунок впровадження систем управління РЕС.

Отже, формування енергоефективних режимів виробничих систем в умовах використання автоматизованих систем управління (АСУ) за рахунок оптимального використання електричної енергії і потужності виробничих процесів за умов як чіткої так і нечіткої інформації з урахуванням особливостей функціонування виробничих і енергетичних систем є **науковою проблемою**, вирішення якої особливо актуально для електроенергетики України.

Розвиток теорії побудови систем управління РЕС виробничими системами дає змогу створення математичного забезпечення з формування енергоефективних РЕС, яке повинно базуватися на використанні адекватних оптимізаційних та прогнозних математичних моделей з урахуванням режимних обмежень ЕЕС, технологічних і технічних обмежень, обмежень з охорони праці і довкілля, обмежень з якості продукції.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.

Обраний напрямок дослідження виконаний відповідно до Законів України “Про електроенергетику” і “Про енергозбереження” пов'язаний із планом державної стандартизації України в частині міждержавної на 1993-2005 роки (позиція Програми державної стандартизації України на 2001 р. №04.2-038-2000, на 2004 р. №2.1.2.003-2004, №2.1.2.004-2004, №2.1.2.018-2004), планом Держкомітету енергозбереження України на 1995-2005 роки (номер держреєстрації 0103U002226, 0103U002224, 0104U007139), планом держбюджетних тем кафедри електропостачання (номер держреєстрації 0109U030515) за 2008—2010 роки, планом держбюджетних тем кафедри автоматизації управління електротехнічними комплексами (номер держреєстрації 0106U002322, 0113U001637) за 2005-2013 роки МОН України та МОНмолодьспорту, де автор був науковим керівником та виконавцем тем.

Мета і завдання досліджень. Основною метою дисертації є підвищення рівня ефективності використання електричної енергії і потужності за рахунок

управління режимами електроспоживання виробничих систем за різними енерго-економічними критеріями і ресурсними обмеженнями.

Для досягнення цієї мети в роботі поставлені і вирішені наступні наукові завдання:

1. Розробити методологію формування енергоефективних режимів електроспоживання виробничих систем, що включає в себе ядро системи, в яке входить об'єкт управління, функції управління, моделі і методи їх реалізації, а також оболонку, в яку входять складові системи державного регулювання: законодавчі акти, розділи державних і регіональних програм енергозбереження, система державного технічного регулювання.

2. Розробити моделі і методи прогнозування і планування режимів електроспоживання в енергетичних і виробничих системах з використанням оптимізаційних математичних моделей планування, розподілу електричної енергії і потужності, ефективних за швидкістю і точністю методів прогнозування електричної енергії і потужності з можливістю побудови людино-орієнтованого інтерфейсу.

3. Розробити моделі і методи оптимального управління РЕС виробничих систем, класифікації об'єктів управління, визначення оптимальних параметрів технологічних процесів виробничих систем на стадіях проектування і функціонування, оцінювання рівня енерго-економічної ефективності структури та процесу функціонування споживачів-регуляторів потужності.

4. Розробити складову системи державного технічного регулювання, що включає: класифікацію стандартів у сфері формування енергоефективних РЕС виробничих систем; розроблення стандартів пов'язаних з термінологією у сферах електроенергетики і енергозбереження, нормуванням споживання електроенергії на промислових підприємствах, побудовою і аналізуванням енергетичного балансу промислових підприємств, створенням системи енергетичного менеджменту, системи енергетичного аудиту, системи маркування електрообладнання за рівнями енергетичної ефективності, які спрямовані на формування енергоефективних РЕС виробничих систем.

Здійснити реалізацію розроблених положень, моделей і методів оптимального управління, аналізування РЕС у складі АСУ і АРМ - Енергетика, автоматизованої системи навчання персоналу, що приймає участь в формуванні енергоефективних РЕС.

Об'єктом дослідження є процеси формування енергоефективних режимів електроспоживання виробничих систем.

Предметом дослідження є показники ефективності використання електричної потужності і енергії, зв'язки між енергетичними і технологічними параметрами виробничих систем, а також співвідношення, властивості, характеристики, що дозволяють розробити вимоги до системи енергетичного аудиту, енергетичного менеджменту і енергетичного маркування електрообладнання.

Методи дослідження. Під час проведення досліджень використані теоретичні методи, у тому числі, методи *математичного програмування* – під час розроблення моделей розподілу електричної енергії і потужності виробничих

систем, визначенні оптимальних технологічних параметрів виробничих систем; методи *теорії розмитих множин і теорії ігор* – під час розроблення моделей планування режимів електроспоживання, а також моделей управління споживачами-регуляторами електричної потужності дискретної дії; метод *аналізу ієрархій* – під час визначення пріоритетності впливу на режим електроспоживання виробничих систем споживачів-регуляторів електричної енергії; методи *теорії прогнозування* – під час розроблення моделей випереджувального контролю і планування режимів електроспоживання виробничих систем; методи *теорії класифікації і розпізнавання образів* – під час розроблення методів комплексної оцінки рівня енергетичної ефективності функціонування виробничих систем; методи *математичного моделювання* – під час розроблення моделі оптимальної структури комплексу «Споживач – Споживач-регулятор потужності».

Основні наукові положення:

1. Підвищення рівня ефективності використання електричної потужності й енергії шляхом управління режимом електроспоживання виробничих систем на основі отриманих багатокритеріальних оптимізаційних моделей з врахування ресурсних обмежень різної фізичної природи, що є відміною від застосування детермінованих розрахункових моделей.

2. Застосування лінгвістичних змінних під час завдання функцій питомих збитків від обмежень режиму електроспоживання забезпечує визначення мінімуму електричних втрат в електричних мережах енергосистем у процесі управління режимом електроспоживання з використанням комплексу споживачів-регуляторів потужності.

Наукова новизна отриманих результатів:

– уперше розроблена методологія створює передумови побудови системи управління режимом електроспоживання виробничих систем, що враховує державне регулювання проблеми, містить у собі розроблення законодавчих актів, розділів програм енергозбереження, комплексу державних стандартів України у сфері енергозбереження, а також формування ядра системи управління з інформаційними зв'язками між функціями, що на відміну в порівнянні з відомими методологіями побудови систем управління РЕС. Для досягнення поставлених цілей на кожному рівні управління необхідно застосовувати свій клас моделей управління та свою стратегію їх використання з урахуванням наявності інформаційних зв'язків між функціями управління й зовнішнім середовищем, а також необхідне виконання на всіх ієрархічних рівнях управління таких функцій як: облік, контроль, регулювання, аналізування, прогнозування, нормування, планування, організація.

– на відмінну від відомих ортодоксальних методів планування споживання електричної потужності і енергії для різних ієрархічних рівнів управління виробничих систем, комбінована система планування повинна враховувати вертикальні зв'язки, що охоплюють весь інтервал моделей: „статистичні моделі – байєсовські моделі – моделі, що використовують теорію розмитих множин” та дозволяє враховувати досвід особи, що приймає рішення, інформацію про зміни у зовнішнім середовищі, ринкових відносинах тощо. Процедура планування споживання електричної потужності і енергії необхідно будувати на основі

послідовного аналізу застосування різних прогностичних моделей, що дозволяє знизити витрати на одержання вихідної інформації. Новим є те, що на відміну від детермінованих умов про наявність повноти інформації про майбутні умови і інформацію на всіх ієрархічних рівнях планування, запропонований підхід дозволяє створити умови для адаптації планової величини споживання електричної потужності і енергії до нового інформаційного середовища, що особливо важливо під час переходу енергетики на функціонування в умовах енергетичного ринка.

– на відміну від існуючих методів управління РЕС з використанням споживачів-регуляторів (С-Р) потужності дискретної дії встановлені нові залежності, які враховують нечіткості оцінок факторів, що впливають на функціонування споживачів електричної енергії, а також відмінність у поставлених цілях управління споживачем і енергетичною системою. Методологію управління РЕС виробничої системи необхідно будувати на основі методів випереджувального контролю, в оптимізаційній постановці і використання попередньої процедури оцінювання інформації за перевагою властивостей на шкалах показників роботи споживачів-регуляторів потужності. Така процедура, на відміну від відомих, дозволяє відмовитися від визначення питомих збитків від обмеження режимів електроспоживання. Розроблені прогностичні моделі з відмовою від визначення питомих збитків, дозволяють підвищити рівень ефективності управління РЕС виробничих систем, що є новим підходом у методології.

– встановлено, що максимальний рівень ефективності функціонування промислових підприємств досягається тільки за виконанням двох умов: технологічні параметри об'єкта управління повинні бути оптимальними і система оперативного управління об'єктом повинна приводити його до оптимальних значень параметрів за наявністю зовнішніх збурюючих впливів. Розроблено новий метод визначення оптимальних технологічних параметрів об'єктів промислових підприємств з виконанням обмежень різної фізичної природи, що відрізняється використанням різних критеріїв оптимізації: мінімізації питомого електроспоживання, максимізації продуктивності і мінімізації собівартості. Такий підхід є новим і дозволяє підвищити рівень ефективності функціонування промислових підприємств, а також оцінити вплив технологічних параметрів на поставлені цілі.

Практичне значення результатів роботи полягає в тому, що вони були використані під час постановки і виконання наукових досліджень, розробці законодавчих актів, розділів державних і регіональних програм енергозбереження, розробці національних стандартів України, розробці методичних і керівних технічних матеріалів, АРМ-Енергетика, увійшли складовими частинами у монографії, навчальні посібники, у тому числі:

– *основні наукові положення з формування функціонально-цільового підходу до управління РЕС виробничих систем використані під час розроблення Проекту Закону України “Про енергетичний аудит”, а також розділів Комплексної програми енергозбереження України, регіональної програми енергозбереження Хмельницької області;*

– основні наукові положення з побудови системи управління РЕС виробничих систем були використані під час розроблення складових системи технічного регулювання з проблеми управління РЕС виробничих систем: : ДСТУ 2804-94, ДСТУ 3176-95 (ГОСТ 30341-96), ДСТУ 3224-95 (ГОСТ 30356-96), ДСТУ 4238-2003, ДСТУ 4472-2005, ДСТУ 4713:2007, ДСТУ 4714:2007, ДСТУ 4715:2007;

– оптимізаційні математичні моделі планування, нормування, регулювання, аналізування РЕС виробничих систем з урахуванням невизначеності різної фізичної природи використані під час розроблення оптимальних режимів електроспоживання шахти «Терновська», ДХК «Павлоградвугілля», ПАТ Хмельницькобленерго», ПАТ «Рівнеазот», ПАТ «Азот» (м.Черкаси), ДП «Вільногорський гірничо-збагачувальний комбінат».

– методологічні підходи з проведення енергетичного аудита використані під час розроблення нормативного документа Державного комітету України з енергозбереження М0013184.0.33-04. “Типова методика енергетичних обстежень промислових підприємств”.

– інструментальні рішення з побудови системи управління РЕС виробничих систем, що включають у себе програмне забезпечення АРМ-Енергетика, у яке входять математичні моделі і методи управління режимом РЕС, моделі побудови універсального графіка електричного навантаження як виробничої, так і енергетичної системи; проектування автоматизованої системи навчання персоналу виробничої системи з управління режимом електроспоживання; математичні моделі процесу проведення енергетичного аудита.

Загальна економічна ефективність впровадження розробок становить більше 2,5 млн грн.

Апробація роботи. Основні положення і результати досліджень доповідалися і обговорювалися на науково-технічних конференціях і семінарах: міжнародній науково-технічній конференції “Енергоефективність-2003” (Київ, 2003 р.); міжнародній науково-технічній конференції “Електромеханічні системи, методи моделювання та оптимізації” (Кременчук, 2004 р.); міжнародній науково-практичній конференції “Проблеми енергозабезпечення та енергозбереження в АПК України” (Харків, 2004 р.); міжнародному семінарі “Традиционные и возобновляемые источники энергии и их применение” (Павлодар, 2004 р.); восьмій міжнародній конференції “Енергетична безпека Європи XXI століття. Євразійські енергетичні коридори” (Київ, 2005 р.); науковому семінарі з міжнародною участю “Інформаційні технології в забезпеченні економічної безпеки держави” (Біла Церква, 2005 р.); XIV міжнародній конференції “Теплотехніка і енергетика в металургії” (Дніпропетровськ, 2005 р.); міжнародній науково-технічній конференції “Електромеханічні системи, методи моделювання та оптимізації” (Кременчук, 2005 р.); науково-практичному семінарі “Підвищення енергоефективності малої енергетики” (Київ, 2005 р.); науково-практичному семінарі “Актуальні питання ліцензування підприємств теплової енергетики” (Київ, 2005 р.), міжнародних науково-технічних конференціях «Проблеми енергоресурсозбереження в електротехнічних системах. Наука, освіта і практика» (Кременчук, 2009 – 2012 рр.), міжнародних науково-технічних конференціях “Підвищення рівня ефективності енергоспоживання в електротехнічних

пристрогах і системах” (Луцьк, 2006, 2008, 2012 рр.), 2-й міжнародній конференції “Управління використання енергії” (Львов, 1997 р.), міжнародній науково-технічній конференції «Проблеми автоматизованого електропривода» (Ялта, 2010 р.), шостій міжнародній конференції «Менеджмент еколого-енергетичної безпеки на транспорті (Одеса, 2011р.), міжнародному практичному семінарі «Економічна безпека держави і науково-технологічні аспекти її реалізації» (Київ, Дніпропетровськ, 2009–2012 рр.), міжнародній науково-практичній конференції «Енергоефективні технології та обладнання для інтенсифікації видобутку, перероблення та використання вуглеводневих енергоресурсів і кам’яного вугілля» (Суми, 2012 р.), міжнародному форуму-конкурсу «Проблеми недропользования» (Санкт-Петербург, 2013 г.), I Міжнародній науково-технічній конференції викладачів, аспірантів і студентів (Донецьк, 2013 р.), 7 міжнародній науково-практичній конференції «Управління підвищенням енергоефективності на транспорті» (Одеса, 2013 р.), на наукових конференціях інституту енергозбереження та енергоменеджменту Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут».

Публікації. За матеріалами дисертаційної роботи опубліковано 165 наукових праць, у тому числі 11 монографій, 89 статей у фахових наукових журналах і збірниках (з них 10 самостійно та 6 в закордонних виданнях з яких 4 в періодичних), 8 державних стандартів України, Комплексна державна програма енергозбереження України 1996-2004 рр. (розділ освіта), Комплексна державна програма енергозбереження України на 2005-2030 рр. (розділ стандартизація, маркування і нормування; розділ енергетичний аудит, енергетичний менеджмент, експертиза, контроль; удосконалення системи освіти фахівців і підготовки кадрів), Комплексна програма енергозбереження Хмельницької області на 2001-2010р., в 52 доповідях і тезах конференцій, 1 галузева методика, а також 1 патент.

Структура дисертації. Дисертація складається зі вступу, шести розділів, висновків викладених на 277 сторінках друкованого тексту, включаючи 37 рисунків, 13 таблиць, список використаних джерел із 391 найменувань і 8 додатків на 39 сторінках.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі розкритий стан проблеми та обґрунтована актуальність досліджень за обраною темою, сформульовані наукова проблема, мета і завдання досліджень, викладена загальна характеристика дисертації.

У першому розділі проаналізовано стан проблеми формування енергоефективних РЕС у виробничих та електроенергетичних системах.

Встановлено:

1. Аналіз робіт, присвячених питанням формування енергоефективних РЕС виробничих і енергетичних систем, виявив недостатню наукову обґрунтованість і опрацювання питань пов'язаних з рішенням проблеми вирівнювання ГЕН ЕЕС, як на рівні виробничих систем, так і відсутність ефективних механізмів регулювання на рівні державного управління.

2. Ефективне вирішення проблеми формування енергоефективних РЕС виробничих систем можливо тільки за законодавчою підтримкою держави у розробці державних і регіональних програм енергозбереження.

3. Результативне вирішення проблеми ефективного використання ПЕР можливо за умови впровадження системи державного технічного регулювання з оцінювання рівня енергетичної ефективності і енергетичної сертифікації виробничих систем, системи маркування електрообладнання за рівнями енергетичної ефективності і НТД з обстеження і аналізування РЕС, а також ефективності використання ПЕР.

4. Актуальність реалізації технічного регулювання у державній енергетичній політиці шляхом розроблення термінологічних і галузевих стандартів у сфері формування енергоефективних РЕС виробничих і енергетичних систем є очевидним, але є певні труднощі, які вимагають залучення додаткових наукових і фінансових ресурсів. Інтенсивний розвиток методичного забезпечення, а також технічних засобів управління РЕС виробничих та енергетичних систем вимагає розроблення нового термінологічного простору, у якому необхідно зробити ряд уточнень і пояснень термінів і визначень.

5. Не повною мірою розроблені такі функції управління під час вирішення задачі вирівнювання ГЕН ЕЕС як регулювання, аналізування, планування і організація.

6. Успішне вирішення проблеми вирівнювання ГЕН ЕЕС, пов'язане з розробленням системної методології проблеми побудови системи управління РЕС виробничої і енергетичної системи і потребує застосування методів і заходів з підвищення рівня ефективності використання ПЕР, що неможливо без розроблення адекватних оптимізаційних математичних моделей, в основі яких повинна бути покладена умова строгої відповідності характеру моделі рівню невизначеності інформації.

7. Реально існуюча інформаційна невизначеність у багатьох випадках робить неадекватним застосування як детермінованих, так і ймовірнісно-статистичних методів для розв'язання завдань підвищення рівня ефективності використання електричної енергії і потужності.

8. Застосування детермінованих, імовірнісно-статистичних методів, методів що використовують інформацію представлену в нечіткому виді для рішення задач регулювання, аналізування, нормування і планування встановлюється особою що приймає рішення, відповідно до РЕС виробничих систем і стану зовнішнього середовища.

9. Обмеження, що впливають на формування оптимальних РЕС виробничих систем можна розділити на: режимні, організаційно-виробничі, технологічні, експлуатаційні. Режимні фактори регламентуються НТД Мінпаливенерго України, а також умовами функціонування виробничих систем.

Виконаний аналіз і наведені висновки дозволили виявити сутність наукової проблеми, визначити напрямки, мету і задачі досліджень.

У другому розділі розглянуто формування енергоефективних режимів як послідовність виконання функцій управління, що створюють функціональне ядро системи управління режимом електроспоживання виробничих систем.

Функціональна структура ядра системи представляє собою впорядковану сукупність інформаційно-зв'язаних основних функцій управління РЕС: збору інформації I_1 , обліку I_2 , контролю I_3 , аналізу D_1 , нормування D_2 , планування D_3 , регулювання R , організації O (рис. 1).

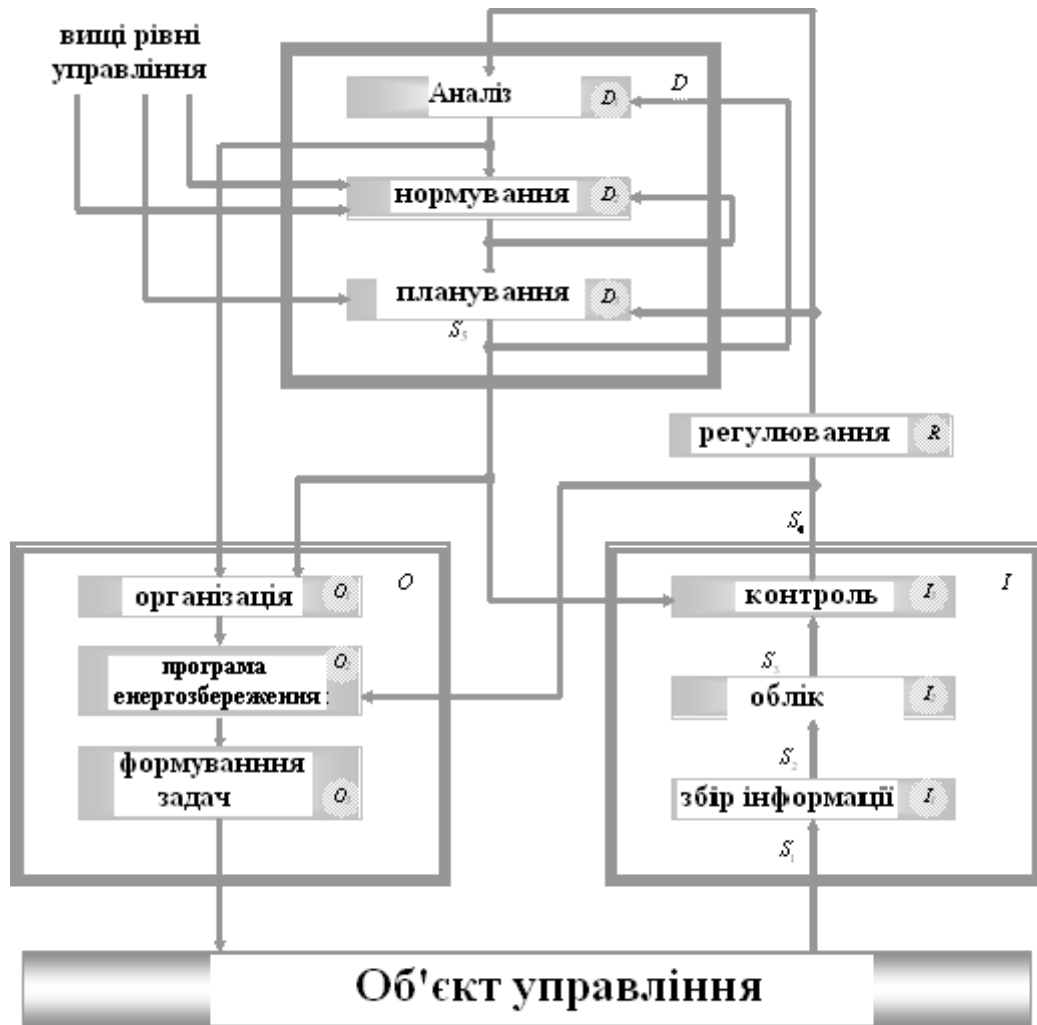


Рис. 1. Модель функціонального ядра системи управління РЕС виробничих систем

Завдання планування активної електричної потужності та енергії електричних систем є актуальною при структурній перебудови енергетики. Під час вирішення завдань планування необхідно враховувати не тільки інтереси ЕЕС, а також інтереси споживачів електричної енергії. В комплексі “Енергосистема-споживач” особливе значення отримують між елементні зв'язки коли енергосистема є метагравцем, що вибирають принципи розподілу електричної потужності та енергії і таким чином задають умови енергоринкових відносин.

Вибір методів розподілу електричної електроенергії і навантаження між різними ієрархічними структурами управління виробничих систем здійснено шляхом порівняльного аналізу методів пропорційного розподілу, обернено-пропорційному, оптимізаційному та методу аукціону.

В табл. 1 і табл. 2 наведені результати модельних розрахунків розподілу електричної потужності в ЕЕС для промислових підприємств.

Запропоновано метод, що базується на оптимізаційному підході, в основу якого покладена сепарабельна задача з керованими змінними x_k , якими є електрична потужність або енергія, що споживається виробничими системами. Системний ресурс R - електрична потужність або енергія розподіляється між виробничими системами нижчих рівнів управління, на основі декомпозиції задачі на незалежні підзадачі виду:

Таблиця 1

Результати розподілу електричного навантаження за методом Аукціону

Номер споживача	Вихідні дані розподілу				Аукціон					
					$Q(a_i, y_i)$		$Q(a_i y_i \cdot R_i)$		$Q(a_i y_i / R_i)$	
	y_i	R_i	$R_{ав.і}$	$a_i = \frac{R_{авар.і}}{R_i}$	x_i	φ_i	x_i	φ_i	x_i	φ_i
1	157	2500	250	0,1	0	157	0	157	2500	0
2	4830	32400	21000	0,65	32400	000	32400	000	32400	0
3	4100	34500	1730	0,05	34500	0	34500	0	22800	1390,4
4	1560	7000	700	0,1	7000	0	7000	0	7000	0
5	2280	14200	2130	0,15	14200	0	14200	0	14200	0
6	780	2800	140	0,05	0	780	0	780	2800	0
7	585	6400	1280	0,2	0	585	0	585	6400	0
8	1623	16500	1650	0,1	16500	0	16500	0	16500	0
9	268	3500	180	0,05	0	268	0	268	0	268
10	217	2600	130	0,05	0	217	0	217	0	217
Сума		122400			104600	2007		2007		1875,4

Таблиця 2

Результати розподілу енергетичного навантаження за прямо пропорційним принципом і принципом зворотних пріоритетів

Номер споживача	Вихідні дані розподілу				Прямо пропорційний принцип		Принцип зворотніх пріоритетів	
					x_i	Ефективність	x_i	Ефективність
	y_i	R_i	$R_{ав.і}$	$a_i = \frac{R_{авар.і}}{R_i}$		F_i		F_i
1	157	2500	250	0,1	391	132,5	2500	0
2	4830	32400	21000	0,65	32400	0	32400	0
3	4100	34500	1730	0,05	5105	3493,3	3023	3740,7
4	1560	7000	700	0,1	3884	694,4	7000	0
5	2280	14200	2130	0,15	8516	912,6	12255	312,3
6	780	2800	140	0,05	971	509,5	2800	0
7	585	6400	1280	0,2	2913	318,7	6400	0
8	1623	16500	1650	0,1	4041	1225,5	5008	1130,4
9	268	3500	180	0,05	334	242,4	1949	118,8
10	217	2600	130	0,05	270	194,5	2122	39,9
Сума		122400			58825	7723,4	75457	5342,1

$$\max f(x) = \max f_k(x_k),$$

$$\sum_{k=1}^m x_k = R,$$

$$x_k \geq 0, x_k \leq x_{\text{брі}}$$

$$\text{де } f(x) = \sum_{k=1}^m f_k(x_k), \quad C = C_1 \cdot \dots \cdot C_k \cdot \dots \cdot C_m$$

Множина C_k задає локальний попит на електричну потужність, енергію k -ої виробничої системи, а функція $f_k(x_k)$ її критерії оптимальності: прибуток, дохід, об'єм випуску продукції.

При цьому враховується додаткове обмеження на аварійну, технологічну та екологічну броню $x_{\text{брі}}$ за електричною потужністю, що пов'язано з наданням ресурсу на не уможливлення зупинки виробництва. Задача оптимізації є нелінійною і для вирішення якої використовувався метод Хілдрета-д'Езопа.

Планування електричної потужності та енергії на рівні виробничих систем базується на прогнозах моделей байєсівських оцінок та теорії розмитих множин.

Схема отримання байєсовських оцінок представлена на рисунку 2.

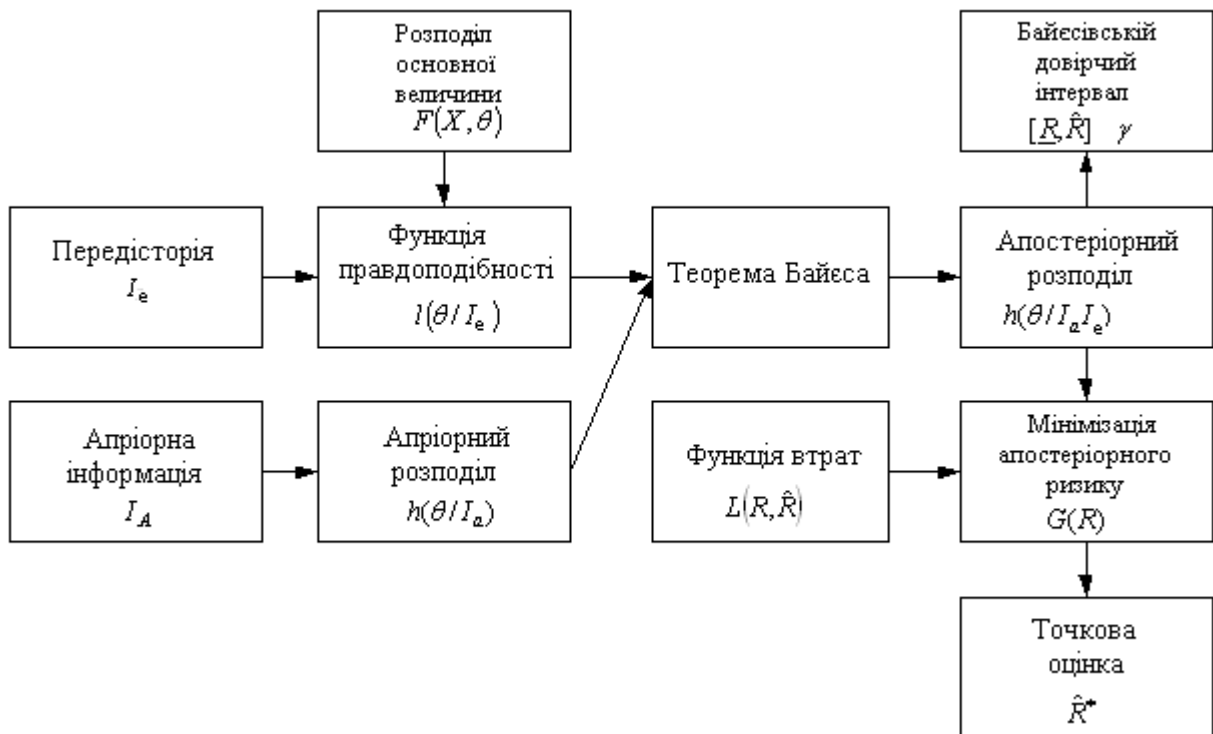


Рис. 2. Схема отримання байєсівських оцінок енергетичних параметрів виробничих систем

I_e - часовий ряд електричного навантаження та енергії; I_A - апріорна інформація, що визначається особою, що приймає рішення про зміни на підприємстві та в ринковій економіці; \hat{R}^* - точкова оцінка електричного навантаження та енергії

Конкурентним підходом до визначення електричної потужності і енергії було застосовано теорію розмитих множин. Згідно теорії розмитих множин задача розподілу електричної потужності та енергії формулюється у наступному вигляді:

Стратегією виробничої системи є множина альтернатив:

$$A = \{a_1, a_2, \dots, a_m\},$$

де A - попит на електроенергію W і електричну потужність P в періоди максимуму потужності ЕЕС, які визначаються станом середовища:

$$X = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}.$$

У разі детермінованого стану системи $x_j \in X$ кращою є альтернатива, що має найбільшу корисність:

$$U_0 = \max U_{ij}, i = \overline{1, m}.$$

Задача складається у виборі стратегії виробничої системи у разі нечіткого задавання стану середовища: зміна попиту на продукцію, погодних умов, тарифної політики, встановленої потужності під час реконструкції підприємства.

Представимо оптимальну альтернативу у виді нечіткої множини:

$$\tilde{A}_0 = Y \mu_{\tilde{A}_0}(a_i) / a_i,$$

де $\mu_{\tilde{A}_0}(a_i)$ - ступінь приналежності a нечіткій множині \tilde{A}_0 , яка визначає стратегію підприємства під час визначення електричної потужності і енергії.

Стан системи задається нечіткою множиною

$$\tilde{X} = Y \mu_{\tilde{X}}(x_k) / x_k, x_k \in X$$

Корисність альтернативи задається у виді, що враховує інформацію про стан системи:

$$\tilde{U}_i = Y \mu_{\tilde{U}_i}(u_k) / u_k,$$

$$u_k = u_{ik} \text{ и } \mu_{\tilde{U}}(u_k) = \mu_{\tilde{X}}(x_k),$$

де u_k - складові матриці корисності, Y_k - множина функцій, яка включає в себе всі можливі значення корисності для заданого нечіткого стану.

Множина, що представляє оптимальну альтернативу, має вигляд:

$$\mu_{\tilde{A}_0}(a_i) = \max_k \mu_{\tilde{U}_{i0}}(u_k).$$

За результатами модельних розрахунків за методом теорії розмитих множин визначається оптимальна стратегія визначення режиму енергоспоживання в багатовимірному знаковому просторі.

У третьому розділі розглянуто метод управління споживачами-регуляторами потужності дискретної дії для умов невизначеності інформації. Вирівнювання ГЕН енергосистеми за рахунок управління РЕС дозволяє зменшити загальні втрати електроенергії ΔW в системі електропостачання. Загальні втрати ΔW залежать від втрат, що визначаються середнім значенням ΔW_1 і змінної частини втрат, що визначається дисперсією навантаження ΔW_{D1} :

$$\Delta W = \Delta W_1 + \Delta W_{D1}.$$

Регулювання змінної частини втрат ΔW_{D1} за умови постійності витрати електроенергії на технологічний процес відбувається зниження втрати електроенергії в мережах живлення, за рахунок створення енергоефективного режиму роботи споживачів електричної енергії при якому мінімізується середньоквадратичне відхилення сумарного ГЕН енергосистеми.

Цільова функція у разі управління РЕС виробничої системи має вигляд:

$$F = \frac{1}{T} \int_0^T [(P_{ec}(t) + P_{C-P}(t)) - P_{сер}]^2 dt \rightarrow \min,$$

де $P_{ec}(t)$ базовий ГЕН енергосистеми за виключенням С-Р потужності;

$P_{C-P}(t)$ - ГЕН С-Р потужності.

Нелінійний вид цільової функції і дискретність роботи споживачів-регуляторів потужності не дозволяє використати класичні методи оптимізації, що змусило розробити евристичний алгоритм управління споживачами-регуляторами електричної потужності. Евристичний алгоритм має вигляд:

1. Визначаємо $P_{сер}$ сумарного ГЕН енергосистеми ($P_{ec} + P_{C-P}$)
2. Визначаємо площину частин ГЕН, що знаходяться над $P_{сер}$ – вектор $\{S_j^{(t)}\}, j=1, \dots, m$. Для першого кроку $t=1$.
3. Визначаємо номер максимальної потужності V_m , площа якого максимальна серед всіх піків. Множина максимальної потужності становить $I^{(t)}$.
4. Визначаємо номери споживачів електричної енергії, що працюють в зоні максимальної потужності V_m . M – множина споживачів електричної енергії, за якими здійснюється оптимізація для даного максимальної потужності.
5. Визначаємо для множини M коефіцієнти кореляції між ГЕН енергосистеми та ГЕН С-Р потужності – множина R .
6. Визначаємо із множини R споживача з максимальним коефіцієнтом кореляції – $N_{макс}$.
7. Здійснюємо зсув початку роботи споживача $N_{макс}$ таким чином, щоб мінімізувати середньоквадратичне відхилення σ сумарного ГЕН.
 - а) Якщо середнє квадратичне відхилення σ сумарного ГЕН зменшилась, переходимо до п.2.
 - б) Якщо σ збільшилась або зсув початку роботи С-Р потужності привело до невиконання обмеження п.3, якщо здійснений шаг не є успішним, тоді переводимо С-Р потужності у початковий стан, виключаємо С-Р потужності N_m із множини M і здійснюємо перехід до п.5. Якщо множина $M=0$ здійснюємо перехід до п.8.
8. Виключаємо максимальну потужність V_m із множини і здійснюємо перехід п.3. Якщо $I^{(t)} = 0$ робота згідно алгоритму закінчується.

В зв'язку з тим, що цілі енергетичної системи і виробничої системи різняться і вирівнювання ГЕН енергосистеми може привести до збільшення втрат електроенергії виробничою системою, виникає багатокритеріальна задача з наступними цілями:

1. Мінімізація середньоквадратичного відхилення ГЕН енергосистеми – F_1 ;
 2. Мінімізація втрат електроенергії на підприємстві – F_2 .
- Згортка цільової функції має вигляд:

$$F = \alpha_1 F_1 + \alpha_2 F_2; \quad \alpha_1 + \alpha_2 = 1.$$

Цільова функція має вигляд:

$$F_1 = \sum_{i=1}^N \Delta W_i = \sum_{i=1}^N 3I_i^2 R t_i \rightarrow \min .$$

Обмеження:

$$\sum_{i=1}^N W_i = \sqrt{3} U \sum_{i=1}^N I_i \cos \varphi_i t_i .$$

Побудувавши функцію Лагранжа і вирішивши систему рівнянь відносно I_1 отримуємо, що

$$I_1 = I_i$$

Вказує на те, що мінімум втрат може бути тільки за умови рівномірного ГЕН.

Мінімізація втрат від обмежень за потужністю може привести до випадку, коли частина споживачів-регуляторів потужності працює з збитками, пов'язаними із зниженням потужності, тобто збитки С–Р потужності розглядаються як функції

$$z_{i_1} = f(\Delta P, t_{P_i}), \quad z_{i_2} = f(t_{H_i}, t_{K_i}).$$

Функція цілі має вид:

$$\sum_{i=1}^n (z_{i_1} + z_{i_2}) \rightarrow \min .$$

Мінімізація середньоквадратичного відхилення ГЕН енергосистеми і виробничої системи, відповідно $P_1(t)$, $P_2(t)$ здійснюється шляхом визначення часу включень t_B С–Р потужності $P_{II}(t)$.

Виконання функцій цілей досягається за умови:

$$\sigma_i(t_B) = \sqrt{P_{iCK}^2 - P_{iC}^2} \rightarrow \min, \quad i = 1, 2$$

де

$$P_{iCK} = \sqrt{\sum_{k=1}^N \frac{P_{ik}^2}{N}}, \quad P_{iC} = \sum_{k=1}^N \frac{P_{ik}}{N}$$

Оцінювання збитків від обмежень електричної потужності може бути здійснене, наприклад, за таким фактором, як попит на вироблену продукцію x_1 , наявність ресурсу на складі x_2 тощо. Для задавання збитків a_{i1} використовувались лінгвістичні оцінки: M – малі, C – середні, B – вище середнього, V – великі. Для задавання a_{i2} – наступні лінгвістичні оцінки: $ЗМ$ – малі (запаси), $ЗМС$ – нижче середнього, $ЗС$ – середні, $ЗВС$ – вище середнього, $ЗВ$ – великі. Набір правил має вид:

якщо $x_1 = M$, $x_2 = ЗС$, то $y = M$, інакше

якщо $x_1 = B$, $x_2 = ЗВС$, то $y = C$, інакше

якщо $x_1 = ВС$, $x_2 = ЗМ$, то $y = ВС$, інакше

якщо $x_1 = C$, $x_2 = 3M$, то $y = C$.

Графіки електричних навантажень виробничої системи задаються за допомогою ступеневих функцій Хевісайда в процесі моделювання з використанням оптимізаційних моделей. Це дозволяє описувати розривні функції ГЕН в моделі групового ГЕН $P(t)$ з врахуванням графіків окремих споживачів має вигляд:

$$P(t) = \sum_{i=1}^n P_i 1_{-1}(t - \tau_i) - \sum_{i=1}^n P_i 1_{-1}(t - \tau_i - \Delta t_i),$$

де функція Хевісайда

$$1_{-1}(t) = \begin{cases} 0 & \text{при } t < 0 \\ 1/2 & \text{при } t = 0; \\ 1 & \text{при } t > 0 \end{cases}$$

τ_i – час включення i -го споживача; Δt_i – термін роботи i -го споживача електричної енергії.

Використання розроблених алгоритмів з використанням технологічних обмежень було застосовано для виробничих системах на прикладі напірно-припливної системи водовідведення, що характеризується енергетичною характеристикою $P = P(Q)$ яка має вигляд кусково-неперервної розривної функції.

Функція цілі управління напірно-припливної системи водовідведення в умовах використання одноставочного тарифу, диференційованого за зонами доби має вигляд:

$$F = \left[\sum_{i=1}^m (P_{oi} + m_i Q_1^2) T_1 \right] b_1 + \left[\sum_{i=1}^m (P_{oi} + m_i Q_2^2) T_1 \right] b_2 + \left[\sum_{i=1}^m (P_{oi} + m_i Q_3^2) T_3 \right] b_3 \rightarrow \min,$$

де b_1 , b_2 , b_3 - відповідно ставки оплати за електроенергію в години максимуму, напівпіку та провалу навантаження, $m_i Q_1^2 + P_{oi}$, $m_i Q_2^2 + P_{oi}$, $m_i Q_3^2 + P_{oi}$ - відповідно фактичні енергетичні характеристики кожної групи насосних агрегатів m_i - коефіцієнти енергетичних характеристик;

Ефективні режими роботи напірно-припливної системи водовідведення можливі за рахунок застосування прогнозних моделей, що функціонують у реальному часі. Специфічні особливості часових рядів режимів електроспоживання не дозволяють отримати ефективний прогноз за допомогою відомих загальних методів.

В роботі застосована модифікована прогнозна модель експоненціального згладжування для часового ряду споживання електричної потужності, яка визначається за формулою

$$S_t^p = \alpha S_t^{p-1} + \theta_0 S_{t-1}^p, \quad p = 1, 2, \dots,$$

де α – параметр згладжування; $\theta_0^i = 1 - \alpha$ – дисконтуючий параметр; S_{t-1}^p – експоненціальна середня p -го порядку в попередній момент $t-1$ електричної потужності. Модифікація методу полягає в визначенні параметру згладжування за рахунок залежності її від швидкості спадання автокореляційної функції часового ряду електричної потужності. Оцінювання швидкості спадання автокореляційної функції здійснюється за рахунок визначення показника G . В якості G вибрано дискретну експоненту G^k , параметри якої визначаються методом найменших квадратів до послідовності абсолютних автокореляцій

$$|\hat{r}_k| = |\hat{c}_k| / \hat{c}_0,$$

де \hat{c}_k, \hat{c}_0 – k -та і початкова автоковаріаційні функції часового ряду електричного навантаження.

Показник G мінімізує середнє квадратичне відхилення:

$$G = \sum_{k=1}^k (|\hat{r}_k| - G^k)^2 \rightarrow \min.$$

Запропонований підхід дозволив ефективно визначати параметр згладжування α для моделі для часового ряду споживання електричної потужності.

У четвертому розділі розроблений метод визначення оптимальних параметрів об'єктів промислових підприємств. В якості об'єктів вибрані параметри гірничодобувних підприємств. На першому етапі будуються енергетичні характеристики об'єктів, які є наступними цільовими функціями: питомого споживання енергії, продуктивності лави, собівартості продукції. В цільові функції включені регульовані параметри: річний добуток вугілля x_1 , довжина лави x_2 , добове навантаження на очисний забій x_3 і чисельність персоналу x_4 . Визначення регульованих параметрів здійснювалось з використанням кореляційного аналізу.

Математична модель питомого споживання електроенергії є лінійною і має вигляд:

$$\left. \begin{aligned} w_n &= 0,008x_1 - 0,121x_2 - 0,03x_3 + 0,011x_4 \rightarrow \min \\ 0,04x_1 - 0,02x_2 + 0,024x_3 - 0,013x_4 &\geq P_{\text{зад}} \\ -0,03x_1 - 0,0154x_2 - 0,05x_3 + 0,031x_4 &\leq C_{\text{зад}} \\ 700 &\leq x_1 \leq 2000 \\ 100 &\leq x_2 \leq 200 \\ 250 &\leq x_3 \leq 1000 \\ 1500 &\leq x_4 \leq 3500 \\ x_i &\geq 0, i = 1..4 \end{aligned} \right\},$$

Побудова цільових функцій для питомого споживання енергії w , продуктивності лави P , собівартості продукції C для умов вугільних шахт ДХК «Павлоградвугілля» здійснено за допомогою регресійного аналізу. Визначення

взаємозв'язку змінних показало, що між ними існує лінійна залежність. Оцінювання стандартної похибки здійснювалося за методом F-критерія.

Математичні моделі для продуктивності лави П, собівартості продукції С мають аналогічний вид і різняться тільки параметрами моделі, що наведені в таблиці 3. Згортка критеріїв здійснена шляхом введення в функцію цілі вагових коефіцієнтів, які задаються особою, що приймає рішення. Для визначення оптимальних параметрів вугільної лави використовувався метод поступок та метод згортки функцій цілі.

Таблиця 3

Розрахункові коефіцієнти регресійних моделей

Моделі	W_{II}				П				С			
	b_1	b_2	b_3	b_4	c_1	c_2	c_3	c_4	s_1	s_2	s_3	s_4
Знач. коеф.	$0,8 \times 10^{-2}$	-0,121	$-0,3 \times 10^{-1}$	$0,11 \times 10^{-1}$	$0,4 \times 10^{-1}$	$-0,2 \times 10^{-1}$	$0,24 \times 10^{-1}$	$-0,13 \times 10^{-1}$	$-0,3 \times 10^{-1}$	-0,154	$-0,5 \times 10^{-1}$	$0,31 \times 10^{-1}$

У п'ятому розділі запропонована класифікація С-Р потужності (x_1, x_2, \dots, x_n) , що дозволяє врахувати під час вирішення задачі побудови енергоефективних виробничих систем (табл. 4, 5) різноманітність факторів, які впливають на результати проектування та експлуатації споживачів електричної потужності і яка враховує:

1. Технічні вимоги до характеристик С-Р потужності та види ресурсів що надходять до них;
2. Вимоги до систем управління;
3. Критерії управління.

Вибір пріоритету С-Р потужності, що приймають участь у регулюванні електричного навантаження, здійснено за допомогою методу аналізу ієрархій (метод Сааті). В основу побудови методу визначення пріоритету покладені результати попарного зрівняння С-Р потужності.

В процесі ранжування С-Р потужності експертні оцінки визначаються за виразом:

$$a_{ij} = \omega_i / \omega_n,$$

де $\omega_1, \omega_2, \dots, \omega_i, \omega_j, \dots, \omega_n$ – значення важливості споживачів регуляторів-потужності.

Для побудови моделі структури комплексу С-Р потужності на першому етапі проводиться виявлення однорідних кластерів С-Р потужності виробничих систем. Виявлення однорідних груп С-Р потужності дозволяє приймати рішення не за усередненими характеристиками, які описують С-Р потужності всієї виробничої системи, а за характеристиками С-Р потужності, які входять в найбільш представницьку однорідну групу. На другому етапі для визначення рангів С-Р потужності було застосовано метод аналізу ієрархії.

Таблиця 4

Класифікація С-Р потужності по технічним вимогам та вимогам до систем управління

Вимоги	Класифікаційні ознаки	
	1 страта	2 страта
Технічні вимоги до С-Р потужності	Кількість С-Р потужності	Одиночна Сукупність С-Р потужності
	Параметри потоку ресурсу на вході і виході	Неперервний Дискретний
	Вид потоку ресурсу на вході і на виході	Детермінований Стохастичний
	Регулювання продуктивності	Повне Часткове Неможливість
Вимоги до системи управління	Вид управління	Планово-оперативне Автоматичне
	Структурна схема	Проста Складна

Таблиця 5

Класифікація С-Р потужності по критеріям управління

Критерій в процесі роботи теплових електростанцій	Функція цілі	Обмеження
Вирівнювання ГЕН енергосистеми	$J = \sum_{i=1}^n (P_i - \bar{P})^2 \rightarrow \min,$ $J = \sum_{i=1}^n P_i - \bar{P} \rightarrow \min,$ $i = \overline{1, n},$	$g_1(x_1, x_2, \dots, x_n) \leq P_{pec}$ $g_2(x_1, x_2, \dots, x_n) \geq P_{бр.э}$ $g_3(x_1, x_2, \dots, x_n) \geq P_{бр.т}$ $g_4(x_1, x_2, \dots, x_n) \geq P_{бр.авар}$ $g_3(x_1, x_2, \dots, x_n) \leq T$ $g_4(x_1, x_2, \dots, x_n) \leq W_{pec}$ $g_5(x_1, x_2, \dots, x_n) \leq R_{pec}$
Прибуток підприємства	$\Pi \rightarrow \max$	
Електроспоживання	$W_{\Pi} \rightarrow \min$	
Втрати електроенергії в електричних мережах підприємства і енергосистеми	$\Delta W \rightarrow \min$	
Збиток від обмежень	$Z \rightarrow \min$	

Структура споживачів електричної енергії складається з врахуванням технологічних потреб промислового підприємства. У виробничих системах число нерегульованих споживачів і С-Р потужності формується випадковим чином. В умовах функціонування виробничих систем постає задача встановлення оптимального співвідношення регульованих і нерегульованих споживачів електричної потужності.

Структура комплексу «С-Р – Нерегульований С» визначається функцією:

$$\varepsilon' = \frac{n'}{n' + n''},$$

де n' – чисельність С-Р потужності; n'' – чисельність споживачів, що не приймають участі в регулюванні потужності.

Залежність ефективності режиму електроспоживання виробничої системи від ε' має вигляд представлений на рисунку 3.

Витрати на створення структури «С-Р – Нерегульований С» визначається за формулою:

$$B = \sum_{i=1}^n [B_i(n'/n) + B_i(n''/n)] = (k'n' + k''n'') + B'n' + B''n'',$$

$$n = n' + n''$$

де k' , k'' - капітальні витрати, віднесені на споживача, що приймає і не приймає участь в регулюванні навантаження відповідно; B' , B'' - щорічні експлуатаційні видатки, віднесені на відповідні споживачі.

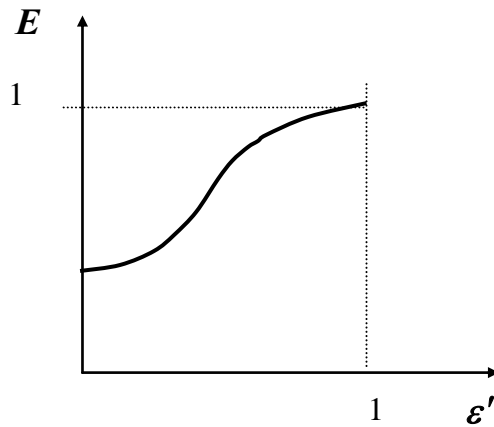


Рис. 3. Залежність ефективності функціонування структури С-Р потужності

Для оцінювання ефективності структури управління «С-Р – Нерегульований С» на стадії проектування та функціонування виробничої системи в якості критерію використаємо відношення ефективності E до витрат B :

$$\frac{E}{B} = \frac{1}{1 + \frac{1 - E_0}{E_0} e^{-p \frac{\varepsilon'}{1 - \varepsilon'} \frac{1}{(n' + n'')[B'' + \varepsilon'(B' - B'')}]}}$$

де ε' - відношення числа С-Р потужності n' до загального числа споживачів виробничої системи $n = n' + n''$; n'' - кількість споживачів, що не приймають участь у регулюванні потужності виробничої системи; B' , B'' - річні

експлуатаційні витрати, віднесені до відповідних споживачів, E_0 - ефективність режиму електроспоживання виробничої системи:

$$E_0 = f\left(\sum_{t=1}^n (p'(t) - p''(t))^2\right),$$

де $p'(t)$ - значення навантаження в моменти часу протягом доби, встановлені енергосистемою; $p''(t)$ - математичне очікування графіку навантаження в робочі дні.

Для визначення структури управління «С-Р – Нерегульований С-Р» застосовується мультиплікативний критерій оптимальності з використанням узагальненої функції бажаності наступного вигляду:

$$y = \left(\prod_{i=1}^n d_i\right)^{1/n},$$

де d_i – часткова функція бажаності.

Вирішення задачі здійснюється з використанням часткової функції бажаності виду:

$$d_i = \exp(-\exp(-x_i)),$$

де x_i - С-Р потужності.

Математичні моделі з управління електричним навантаженням повинні враховувати екологічний ефект від управління. Екологічний ефект досягається завдяки економії енергії у виробничій системі, що яка дає можливість зменшити викиди на електростанціях.

Структура схема зв'язків впливу на показник ризику R зміни «показника здоров'я» представлена на рис. 4.

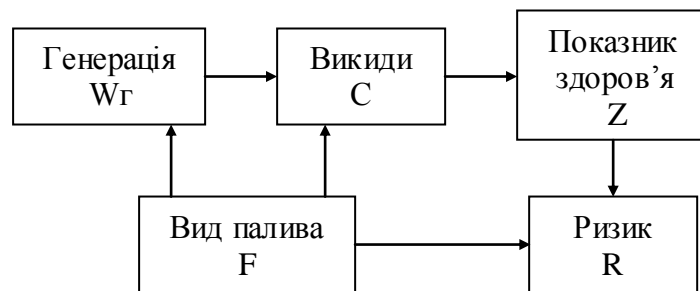


Рис. 4. Структура схема зв'язків впливу на показник ризику R зміни «показника здоров'я»

W_G – вироблена електроенергія; $C = \{c_1, c_2, \dots, c_n\}$ - концентрація шкідливих речовин; Z - "показник здоров'я".

В процесі роботи теплових електростанцій речовина-забруднювач має концентрацію C , згідно функціональної залежності:

$$C = f_1(F, W_G, EEP),$$

де ЕЕП- енергоекономічний показник, що визначає ступінь впливу на навколишнє середовище використаного палива з різними фізико-хімічними показниками.

Показник здоров'я має вигляд:

$$Z = f_2(C)$$

Чисельне значення Z визначається в процесі дефазифікації.

Лінгвістична змінна «показник здоров'я» визначається експертами і є безрозмірною величиною в межах від 0 до 1. Показник стану здоров'я визначається за шкалою «відмінне», «добре», «задовільне» і «погане».

Ризик R від зміни «показника здоров'я» Z визначається з функціональної залежності:

$$R = f_3(Z).$$

Ризик R змінюється в межах від 1 до ∞ .

Залежність ризику від виду палива та енерго-екологічного показника представлено на рисунку 5.

Модель враховує залежність рівня ризику генерації електричної енергії W_G , з різних видів палива: F_B - вугілля, F_G - газ, F_H - нафта, F_A - ядерне паливо, F_V - поновлювальні джерела енергії.

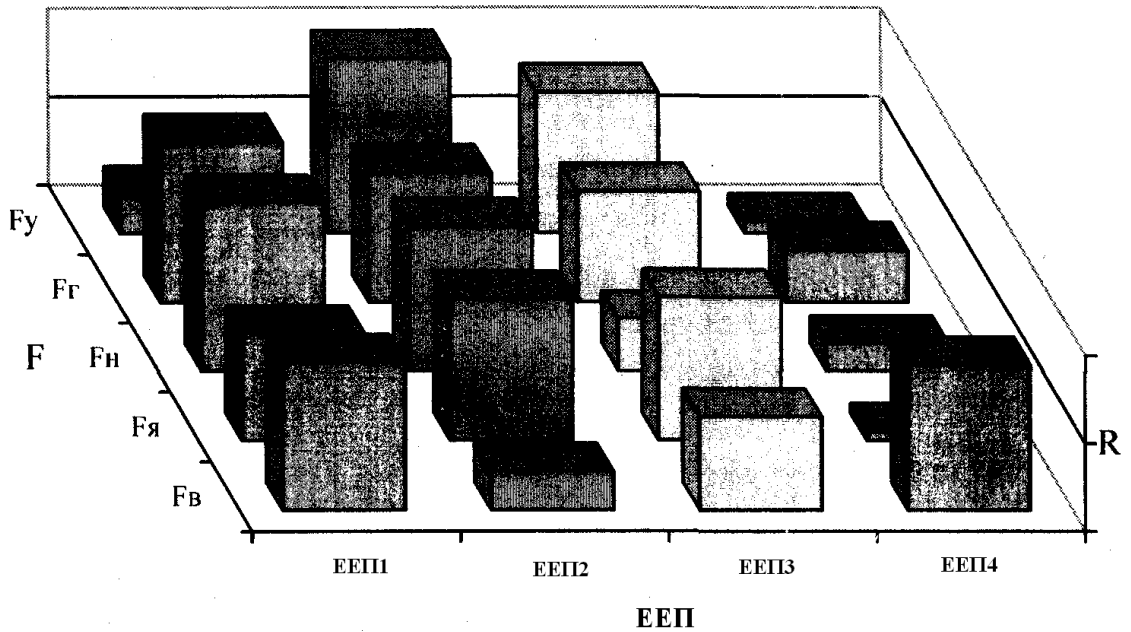


Рис. 5. Залежність ризику від використання різних видів палива

Загальний рівень економічної ефективності комплексу «Енергосистема-Споживач» від регулювання РЕС визначається із виразу

$$\begin{aligned} \mathcal{E}_{EП} = \sum_{i=1}^{\tau} \{ & k_{B,П} k_{П} \varphi [b_3 W_3 - (b_2 W_2 + b_1 W_1)] + p_a k_e k_{B,П} k_{П} k_P \Delta P + h \cdot \Delta W + \\ & + E_{en} k_e k_{B,П} k_{П} k_P \Delta P (1 + E_{H,П})^{\tau-i} - [\Delta I_{П} + E_{en} \Delta k_{П} (1 + E_{H,П})^{\tau-i}] \} \rightarrow \max, \end{aligned}$$

де $k_{B,П}$ – коефіцієнт, що враховує потужність на власні потреби електростанції; $k_{П}$ – коефіцієнт втрат в процесі передачі електроенергії від електростанції до споживача; φ – ціна умовного палива; b_1, b_2, b_3 – відносні прирости витрат умовного палива на електростанціях відповідно до зон максимуму, напівпіку та

зони зниження навантаження; W_1, W_2, W_3 – кількість електроенергії, що переноситься із зон максимуму і напівпіку в зону зниження; p_a – норма амортизаційних відрахувань в ЕЕС; k_e – питомі капітальні вкладення в електростанції, що замикають енергобаланс ЕЕС; $k_{B,П}$ – коефіцієнт врахування потужності на власні потреби електростанції; $k_{П}$ – коефіцієнт втрат потужності в процесі передавання електроенергії від електростанції до споживача; k_p – коефіцієнт резерву електростанції; $\Delta B_{П}$ – збільшення витрат виробничої системи в режимі регулювання; E_{BH} – внутрішня норма ефективності виробничих систем; $\Delta k_{П}$ – додаткові капітальні витрати, h – питомі викиди твердих часток, окису вуглецю, окису азоту, окисів сірки; ΔW – зниження втрат електроенергії в електричних мережах ЕЕС.

У шостому розділі представлені шляхи формування енергоефективних режимів електроспоживання виробничих систем, які включають в себе:

1. Програмне забезпечення. Розроблення комплексу АРМ-Енергетика під час вирішення задач управління РЕС, що дало можливість реалізувати такі функції управління як облік, контроль, регулювання і планування. Комплекс включає в себе робоче місце, в яке входить персональна ЕОМ, інструментальний програмний комплекс, що задовольняє основні потреби інформаційної обробки. Основна робота з програмним комплексом PQW – створення ефективного інструмента для вирішення прикладних задач з аналізу ГЕН об'єктів різних ієрархічних рівнів управління, а також задач прийняття рішень в умовах управління РЕС.

Відкрита архітектура комплексу PQW дозволяє вирішити прикладні завдання, що реалізують такі функції управління як облік та контроль, нормування, регулювання, прогнозування і планування РЕС, аналіз інформації про РЕС, класифікація РЕС енергетичних і виробничих систем, прийняття рішень.

2. Організаційне забезпечення. Складовою організаційного забезпечення є:

а) система навчання спеціалістів з управління РЕС, яка базується на Knowledge–технології знань.

Модель знань задається у вигляді:

$$R = (T, P, A, F),$$

де R – система відношень; T – множина базових елементів; P – множина синтаксичних правил; A – множина аксіом; F – семантичні правила висновків.

Об'єктна модель знань задається у вигляді:

$$N = (C, O, S, I),$$

де N – множина об'єктів, зв'язаних різними відношеннями; C – множина класів об'єктів; O – множина об'єктів, зв'язаних співвідношенням об'єктів; S – структура класів і об'єктів, що визначають конкретні зв'язки між ними; I – правила перетворення об'єктів і виведення на мережі об'єктів.

Модель знань з формування ефективних режимів РЕС виробничих систем задається у вигляді:

$$A = (U, C, L, I)$$

де A - модель представлення знань; U - множина вузлових елементів мережі; C - множина контактних зв'язків елементів; L - множина правил побудови мережі і визначення параметрів контактних зв'язків; I - правила асоціативного висновку.

Представлення дидактичного матеріалу з формування ефективних режимів РЕС виробничих систем характеризується структурною композицією, яку можна представити математичною моделлю:

$$\langle a, r, b, X, Y, G, M \rangle,$$

де a - елемент сутності з області відправлення X , $a \in X$, або посилка; b - елемент сутності з області прибуття Y , $b \in Y$, або наслідок; r - відношення між елементами сутності; X - множина посилюючих елементів; Y - множина елементів-наслідків; G - граматики породження правил виду $(a, b) \rightarrow b$; M - набір правил семантичної інтерпретації елементів і відносин з X і Y : $M(a, r, b) \rightarrow$ науково-нормативна інформація.

б) енергетичний аудит. До процесу енергоаудиторського обстеження відносять аналізування режиму електроспоживання, що можна представити як: апріорні ймовірнісні стани $P(A_i)$ станів системи електропостачання виробничих систем, що можуть бути отримані із статистичних даних електроспоживання. Тоді ентропія системи електроспоживання виробничих систем матиме вигляд:

$$H(A) = -\sum_{i=1}^n P(A_i) \cdot \log_2 P(A_i),$$

де A_j - функція приналежності енергефективності; $P(A_i)$ - апріорні ймовірності станів.

Цінність енергетичного обстеження режиму електроспоживання виробничих систем має вигляд:

$$Z_A(K) = k_{обс} H(A),$$

де $k_{обс}$ - коефіцієнт повноти обстеження, $0 < k_{обс} < 1$

Коефіцієнт оптимальності енергоаудиторського обстеження за ознакою для стану A_i має вигляд:

$$\lambda_{ij} = \frac{Z_{A_i}(k_j)}{c_{ij}}$$

де $Z_{A_i}(k_j)$ - цінність обстеження виробничих систем за ознакою k_j для стану A_i , яка характеризує трудомісткість та вартість обладнання, його достовірність, тривалість та інші фактори.

в) технічне регулювання. Модель класифікації стандартів у сфері управління режимом електроспоживання включає в себе такі класифікаційні ознаки як функції управління; терміни та визначення, загальні технічні умови, загальні технічні вимоги та методи випробувань, загальні технічні умови та методи випробувань; проектування енергоефективних технологій, загально-технічне і організаційно-методичне забезпечення.

г) маркування електрообладнання. До методів державного регулювання електричного навантаження та електроспоживання енергетичних систем запропоновано впровадити енергетичне маркування продукції, що дозволяє знизити споживання електричної енергії за всім графіком навантаження до 4-6% виробничої системи.

За результатами дисертації розроблена політика у сфері енергетичного маркування, планування впровадження системи енергетичного маркування, організаційна структура, ресурси, що використовуються в системі, процедури і розповсюдження інформації, документацію системи, навчання, підвищення кваліфікації кадрів в системі, мотивація персоналу територіальних центрів енергетичної ефективності продукції.

У додатках наведені матеріали про впровадження результатів дисертації, відповідні документи, математичні моделі побудови універсальних графіків навантаження, результати моделювання режимів електроспоживання.

ВИСНОВКИ

У дисертації подане нове наукове обґрунтування і вирішення проблеми, що полягає в побудові системи управління електричним навантаженням виробничих і енергетичних систем та дозволяє підвищити рівень ефективності використання електричної потужності і енергії промислових підприємств, при обмеженнях, що накладаються виробничою і енергетичною системою і мають різну фізичну природу.

Основні висновки і результати полягають у наступному:

1. Аналіз тенденцій формування ГЕН енергетичних і виробничих систем в умовах структурної перебудови енергетики і створення енергетичного ринку показав, що існує проблема вирівнювання ГЕН енергетичних систем, вирішення якої дозволяє сформуванню енергоефективних РЕС виробничих систем. Для вирішення проблеми на державному рівні необхідно сформуванню дієвої державної політики основні положення якої мають стосуватися вирішення завдань державного регулювання на основі нормативно-правових документів, застосування економічних і нормативно-технічних методів управління, забезпечення умов розроблення загальнодержавних, галузевих, і місцевих програм зі зниження споживання електроенергії, наукового обґрунтування технічного регулювання електричним навантаженням, створення енергоефективного виробництва.

2. Встановлено, що відсутній єдиний концептуальний підхід до рішення проблеми управління РЕС виробничих і електроенергетичних систем, який би враховував функціональний підхід до управління, що базується на адекватних оптимізаційних математичних моделях, в основі яких лежить умова строгої відповідності характеру моделі рівню невизначеності використання інформації. Показано, що для прийняття рішень по управлінню РЕС, необхідно створити механізми які забезпечують не тільки цілісне бачення об'єкта управління в динаміці, але й можливість декомпозиції системи, а також звуження

різноманітності альтернатив прийняття рішення з управління РЕС на основі цільових критеріїв.

3. Показано, що центральним елементом ядра системи управління РЕС є функція планування, в основі реалізації якої лежать математичні моделі прогнозування по всій осі теорії прийняття рішень: від найпростіших детермінованих моделей до моделей базованих на теорії математичної статистики, теорії розмитих множин і теорії ігор. Вимогою до моделей прогнозування є не побудова універсальної моделі, а можливість вибору прогнозовної моделі ОПР, залежно від стану об'єкта, наявності інформації і цільових вказівок з вищих ієрархічних рівнів управління.

Показано, що використання методів оптимізації в задачах розподілу електричної потужності і енергії, у порівнянні з ортодоксальними методами планування дозволяє підвищити адекватність ухваленого рішення згідно з критерієм ефективності до 10-12%.

4. Запропоновано математичну модель, що дозволяє використати ортодоксальну схему перегляду ймовірностей під час одержання нових даних про РЕС, в умовах використання коротких часових рядів однорідного ресурсу: електричної потужності і енергії, з урахуванням мінливості зовнішніх факторів, що дає змогу підвищити точність прогнозування на 2-3% у порівнянні із класичними методами прогнозування.

5. Розроблено евристичний метод управління електричним навантаженням виробничої системи з використанням С-Р потужності дискретної дії в багатокритеріальній постановці з пошуком глобального екстремуму функції цілі, що пов'язано зі специфікою виду функції цілі і неможливістю використання класичних методів оптимізації. Використання даного методу в умовах функціонування АРМ-Енергетика дозволяє здійснити вирівнювання ГЕН енергосистеми.

Показано, що під час ранжування С-Р потужності без використання інформації про перевагу властивостей на шкалах показників є можливість здійснити перехід від досить умовних якісних оцінок до точних кількісних співвідношень важливості порівнювальних С-Р потужності і відмовитися від використання аналітичних функцій оцінювання збитку від обмежень за електричним навантаженням виробничих систем.

6. Розроблено метод управління РЕС промислових підприємств на прикладі системи транспортування стічних вод з використанням методів нелінійного програмування, що базується на використанні стимулюючих тарифів на електричну енергію і враховує підхід до заміни реальної ступінчастої характеристики каналізаційної насосної станції, яка має злам у точці, що відповідає включенню або відключенню насосного агрегату, на безперервну нелінійну енергетичну характеристику.

7. За допомогою статистичних досліджень встановлені фактори, що впливають на рівень ефективності використання електроенергії на промислових підприємствах. Це дало можливість побудувати оптимізаційну математичну модель, що дозволяє встановити оптимальні проектні параметри промислових об'єктів, на прикладі гірничодобувного підприємства, за наступними критеріями:

питоме електроспоживання, продуктивність і собівартість. Побудована модель сприяє обґрунтованому прийняттю проектних і управлінських рішень і дозволяє знизити електричне навантаження по всьому профілю ГЕН енергетичної і виробничої системи. Застосування методу згортання часткових критеріїв, дозволило встановити границі відносної важливості таких управляючих змінних як річний видобуток, довжина лави, навантаження на очисний забій, чисельність персоналу.

8. Розроблено систему класифікації С-Р потужності, що враховує як проектну постановку завдання, так і питання експлуатації і автоматизації С-Р потужності.

Застосування моделі визначення структури комплексу «Нерегульований споживач - С-Р потужності» дозволяє не тільки оцінити рівень ефективності структури, але й зробити оцінювання границь доцільності переведення споживачів електричної енергії в режим С-Р потужності.

9. Розроблено методику оцінювання рівня економічної ефективності управління електричним навантаженням виробничих систем, що дозволяє оцінити рівень ефективності управління ГЕН ЕЕС, провести аналізування можливості зменшення капітальних вкладень у пікові генеруючі потужності, і експлуатаційні витрати, а також здійснити оцінювання можливості зменшення забруднення навколишнього середовища.

10. Було розроблено інтегрований в АСУ програмний комплекс з вирішення задач управління РЕС виробничих систем, що показав свою ефективність під час впровадження на промислових підприємствах.

Можливості комплексу забезпечують його застосування з підтримки числової і текстової інформації, створення і перетворення графічних зображень РЕС, візуалізації інформації із прийняття рішень, розрахунку показників ефективності використання ПЕР, класифікації режимів електроспоживання виробничих і енергетичних систем. Комплекс дозволяє якісно підвищити рівень ефективності рішення завдань контролювання, регулювання, планування, прогнозування, нормування, аналізу РЕС.

11. Визначені і обґрунтовані принципи функціонально-структурної моделі побудови програмних засобів для структурування та інтерпретації знань із метою побудови системи навчання персоналу по управлінню РЕС, яка базується на технології знань - Knowledge. Це дозволило розробити технологію проектування курсів навчання, концептуальну основу механізмів генерації контрольних об'єктів, а також механізми формалізації і оброблення інформації та мови проектування курсів навчання у сфері формування енергоефективних режимів виробничих систем.

12. Запропоновано тривимірну систему класифікації стандартів у сфері управління РЕС, що включає в себе функціональну підсистему управління, об'єктну підсистему і підсистему технічних умов, вимог і методів випробувань. Запропоновано систему технічного регулювання зі зниження споживання електроенергії і потужності, що полягає в розробленні систем енергетичного маркування електрообладнання за рівнем енергетичної ефективності, проведення енергетичного аудиту, енергетичного менеджменту і сертифікації промислових підприємств.

Результати роботи використані комітетом з питань паливно-енергетичного комплексу Верховної Ради України під час розроблення проекту Закону України “Про енергетичний аудит”, Державним комітетом з енергозбереження України під час розроблення “Комплексної державної програми енергозбереження України”, постанови Кабінету Міністрів України “Основні напрями освіти населення України у сфері енергозбереження”, державною адміністрацією Хмельницької області під час розроблення “Комплексної програми з енергозбереження Хмельницької області на 2001-2010 р.”, увійшли в 12 державних стандартів України, 1 галузеву методичку.

Загальна економічна ефективність впровадження програмного, нормативно-правового і методичного забезпечення становить більше 2,5 млн грн.

СПИСОК ОСНОВНИХ ПУБЛІКАЦІЙ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

Монографії:

1. Праховник А.В. Энергосберегающие режимы электроснабжения горнодобывающих предприятий / А.В. Праховник, В.П. Розен, В.В. Дегтярев. – М.: Недра, 1985. – 232 с.
2. Бечвая Е.А. Прогнозирование спроса: Методы и модели/ Е.А. Бечвая , В.П.Розен . – К.: ООП Коммунэкономика, 1996. – 196 с.
3. Жовтянський В.А. Стратегія енергозбереження в Україні: Аналітично-довідкові матеріали в 2-х томах: Загальні засади енергозбереження Жовтянський В.А., Розен В.П., Стоянова І.І. та ін. За ред. В.А.Жовтянського, М.М.Куліка, Б.С.Стогнія. –К.:Академперіодика, 2006. –Т.1.-510с.
4. Жовтянський В.А. Стратегія енергозбереження в Україні: Аналітично-довідкові матеріали в 2-х томах: Загальні засади енергозбереження Жовтянський В.А., Розен В.П., Стоянова І.І. та ін. За ред. В.А.Жовтянського, М.М.Куліка, Б.С.Стогнія. – К.:Академперіодика, 2006. –Т.2.-600с.
5. Розен В.П. Енергоаудит у житлово-комунальному господарстві / Розен В.П., Лебедев М.М., Соловей О.І., Третьяков І.М., Чернявський А.В. К.: Автограф, 2006. – 60 с.
6. Розен В.П. Малая энергетика в системе обеспечения экономической безопасности государства / В.П. Розен, И.В. Недин, А.И. Соловей и др. / Под общ. ред. Г.К. Вороновского, И.В. Недина. – К.: Знания Украины, 2006 . – 364 с.
7. Недин И.В. Экономическая безопасность государства. Территориальный аспект/ В.П. Розен, И.В. Недин, А.В. Чернявский/ Под редакцией М.М.Бабяка, И.В.Недина. –Дрогобич: КОЛО, 2006. – 364 с.
8. Лебедев М.М Енергоаудит у житлово-комунальному господарстві / М.М. Лебедев, В.П. Розен, О.І. Соловей, І.М. Третьяков, А.В. Чернявський.– К.: Автограф, 2006. – 60с.
9. Розен В.П. Енергетичний аудит об’єктів житлово-комунального господарства: Монографія / В.П., Розен, О.І. Соловей, С.В. Бржестовський, А.В. Чернявський, П.В. / Під заг. ред. В.П. Розена, О.І. Солов’я. – К.: ПП. ВКФ “ДЕЛЬТА ФОКС”, 2007. – 224 с.

10. Недин И.В. Экономическая безопасность государства и интеграционные формы ее обеспечения/ И.В. Недин, В.П. Розен, А.И. Соловей / Под общ. ред. Г.К. Вороновского, И.В. Недина. – К.: Знания Украины, 2007. – 392 с.

11. Караєва Н.В. Інформаційне забезпечення вирішення еколого-енергетичних проблем сталого розвитку суспільства. Монографія / Н.В., Караєва Н.В., Л.О. Шевченко, В.П. Розен та ін. / за заг. ред.. Лук'яненко С.О., Караєвої Н.В. – К.:Тамподек ХХІІІ, 2012. – 283 с.

Статті в фахових та в закордонних виданнях:

12. Розен В.П. Аналіз причинно-наслідкових зв'язків переходу України на енергоефективний літній відлік часу/ В.П. Розен, А.С. Бондарчук// Труды Одесского политехнического университета: Научный и производственно - практический сборник по техническим и естественным наукам. – Одесса, 2005. – Вып. 1(23). – С. 48-53

13. Розен В.П. Структурно-логическая схема экспертной оценки воздействия энергетических объектов на показатель риска ухудшения здоровья населения / В.П. Розен, С.С. Калугин // Энергетика: економіка, технології, екологія. – 2004. – №1. – С. 71-77

14. Розен В.П. Алгоритм и многокритериальная модель управления режимом электропотребления промышленного предприятия в условиях ограничений энергосистемы / В.П. Розен // Энергетика: економіка, екологія, 2005. – №2. – С. 97-101

15. Розен В.П. Управління режимом електроспоживання промислового підприємства / В.П. Розен // Промелектро. – 2005. – №6. – С.35-41.

16. Розен В.П. Модели планирования распределения электрической мощности и энергии в производственных системах / В.П. Розен // Вісник НТУУ “КПІ”. Серія “Тірництво”: Збірник наукових праць. – К.: НТУУ “КПІ”: ЗАТ “Техновибух”, 2005. – Вип. 12. – С. 92-97.

17. Розен В.П. Топливо-энергетический баланс как инструмент анализа энергетической эффективности / Крамаренко Е.Р., А.В., Чернявский // Металургійна теплотехніка: Збірник наукових праць Національної металургійної академії України. У двох книгах. – Книга перша. – Дніпропетровськ: Пороги, 2005. – С. 387-392

18. Розен В.П. Ранжування споживачів-регуляторів потужності з використанням переваги властивостей на шкалах показників / В.П. Розен // Промелектро. – 2006. – №1. – С. 32-35

19. Розен В.П. Концептуальные вопросы проектирования и внедрения системы энергетического менеджмента на промышленных предприятиях Украины / В.П. Розен, А.И.Соловей, А.В. Чернявский // Труды международного семинара «Традиционные и возобновляемые источники энергии и их применение» в рамках программы «Энергетика на встречу Центральной Азии. – С.80-89.

20. Розен В.П. О концепции энергетического менеджмента на промышленных предприятиях/ В.П. Розен., А.И. Соловей, Е.Н. Иншеков // Труды международного семинара «Состояние энергетики в Центральной Азии и Европе» в рамках

проекта «Создание информационной сети по энергетике для Центральной Азии». – 5-6 ноября 2004, Ташкент (Узбекистан). – С.49-56.

21. Розен В.П. Разработка концепции внедрения энергетического менеджмента на промышленных предприятиях Украины / В.П. Розен, А.И. Соловей, А.В. Чернявский // Праці ІЕД НАНУ, 2005, №1 (10). – С. 3-10

22. Розен В.П. Двоетапна модель управління режимом енергоспоживання промислового підприємства в умовах обмежень енергосистеми. /В.П. Розен/ Вісті академії інженерних наук України №2 (29), 2006 – К.: НТУУ “КПІ”, 2006. – С.31-35

23. Розен В.П. Математическая модель энергетической характеристики канализационной насосной станции. // Вісник Національного технічного університету України “Київський політехнічний інститут”. Серія “Гірництво”: Зб. наук. пр. – К.: НТУУ “КПІ”, 2006. – С.93-98

24. Розен В.П. Ранжування споживачів-регуляторів потужності з використанням переваги властивостей на шкалах показників // Промелектро. – 2006. – №1. – С. 32-35

25. Розен В.П., Соловей А.И., Чернявский А.В. Формирование функционального ядра модели системы энергетического менеджмента производственных систем// Промелектро. №4. –2006. –С.78-83

26. Розен В.П. Управление электропотреблением промышленных предприятий/В.П.Розен, Н.В. Прокопеч // Інформаційні технології та комп'ютерна інженерія. – 2006. – №1 (5). – С.35-38

27. Розен В.П. Методические вопросы оценки эффективности функционирования системы энергетического менеджмента производственных систем /В.П. Розен В.П., А.И. Соловей, А.В. Чернявский // Промелектро. –2007. – №2. – С.35-42

28. Розен В.П. Разработка средств информационно-аналитического обеспечения энергетического аудита промышленных предприятий //В.П. Розен В.П., А.И. Соловей, А.В. Чернявский // Промелектро. – 2007 . –№3. – С.39-48.

29. Ковалко М.П. Метод визначення глибини проведення енергетичного аудиту / М.П. Ковалко, В.П. Розен, П.В. Розен //Вісник КДПУ ім. М. Остроградського. Випуск 4/2007(45). Ч.2. – С.32-37

30. Розен В.П. Факторний аналіз ефективності споживання електричної енергії вугільних шахт/В.П. Розен В.П., В.І. Волинець // Технічна електродинаміка.– 2008.–№4. –С.61-64

31. Розен В.П. Методологический аспект многокритериального выбора приоритетности внедрения энергосберегающих мероприятий/В.П. Розен, А.И. Соловей, А.В. Чернявский, И.С. Пищенко// Промелектро.–2008.– №1. – С.40-47

32. Розен В.П. Ефективність використання системи засоби обмеження короткого замикання – керований шунт /В.П. Розен, В.П. Калінчик В.П., В.А. Побігайло // Вісник Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут. Серія «Гірництво»:Збірник наукових праць. – К.: НТУУ»КПІ»:ЗАТ «Техновибух», 2009. – Вип..18. – С.89-93

33. Розен В.П. Энергетический мониторинг программ энергосбережения учреждений бюджетной сферы/ В.П.Розен, А.В. Чернявский, Е.А. Ячник , В.И.

- Литвин// Вісник КДПУ ім. М. Остроградського. Випуск 3, 2009. Ч.2. – С.190-194
34. Розен В.П. Прогнозування електроспоживання підприємств комунального водопостачання на основі причинно-наслідкових зв'язків / В.П.Розен, В.А. Давиденко // Промелектро.–2009.– №5. – С.45-50
35. Розен В.П. Комплексний підхід до задачі енергозбереження та оцінювання рівня енергоефективності водопостачального підприємства як складної системи/ В.П.Розен, Л.В. Давиденко, В.А. Давиденко // Відновлювана енергетика. Науково-практичний журнал, №1(20) – 2010. – С.65-70
36. Розен В.П. Врахування екологічної складової під час планування впровадження проектів з енергозбереження в організаціях бюджетної сфери/ В.П. Розен, Е.А. Ячник //Енергетика та електрифікація, №9 (325) – 2010. – С.53-57
37. Розен В.П. Визначення структури факторів, що впливають на електроспоживання підприємств вугільної галузі / В.П.Розен, Л.В. Давиденко, В.І Волинець// Вісник національного університету «Львівська політехніка» / Електроенергетичні та електромеханічні системи, № 666 – 2010. – С.61-69
38. Розен В.П. Формування інформаційного поля для оцінювання рівня енергоефективності систем комунального водопостачання// В.П. Розен, Л.В. Давиденко, В.А. Давиденко // Вісник Кременчуцького державного університету імені Михайла Остроградського .–2010 (63) Частина 1. – С.150-153
39. Розен В.П. Рейтинговая оценка экономического и энергетического комплекса региона/ В.П. Розен, Е.Н. Иншеков, С.М. Мильниченко// Problemele energeticii regionale 1(15), 2011. – С.86-89
40. Розен В.П. Классификация потребителей-регуляторов мощности производственных систем / В.П. Розен, Г.В. Курбака// Вісник Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут. Серія «Гірництво»:Збірник наукових праць. – К.: НТУУ«КПІ»:ЗАТ «Техновибух», 2011. – Вип.20. – С.147-152
41. Розен В.П. Методологія бенчмаркінгу енергоефективності для промисловості України/ Розен В.П., Б.Л. Тышкевич, П.В. Розен //Энергосбережение, Энергетика, Энергоаудит.–2012. – №6(100). – С.9-19
42. Розен В.П. Планирование максимальной электрической нагрузки производственных систем/ В.П. Розен, Г.В. Курбака, В.Ф. Ткаченко// Вісник ЧДГУ, Комп'ютерні мережі і компоненти, приладобудування, 2013. - №3 – С. 37-40
43. Розен В.П. Энергетический мониторинг зданий высших учебных заведений/ В.П. Розен, В.Ф. Ткаченко //Problemele energeticii regionale 2(23), 2013. – С.108-112
44. Синчук О.Н. Методы расчета электрических нагрузок систем электроснабжения горных предприятий/ О.Н. Синчук, Є.С. Гузов, Р.А. Пархоменко, В.П. Розен // Известия высших учебных заведений. Горный журнал, №8 –2013 . – С. 104-110
45. Синчук О.Н. Совершенствование методов расчета нагрузок систем электроснабжения рудных шахт/ О.Н. Синчук, Є.С. Гузов, Р.А. Пархоменко, В.П. Розен// Горный журнал, №12 –2013 . – С. 87-90

Авторські свідоцтва, патенти

46. Розен В.П. Спосіб обмеження струмів короткого замикання і пристрій для його реалізації/ В.П. Розен, В.П. Калінчик В.П., Д.Є. Момот Д.Є. та ін.// Патент України № 2002021620 від 12 вересня 2002 р.

Матеріали конференцій

47. Розен В.П. Розроблення моделі багатокритеріального вибору оптимальної структури системи розподільної генерації електричної енергії/ В.П. Розен, А.И. Соловей, А.В. Чернявский, И.С. Пищенко// Підвищення рівня ефективності енергоспоживання в електротехнічних пристроях і системах. - Матеріали II-ї міжнародної науково-технічної конференції “Підвищення рівня ефективності енергоспоживання в електротехнічних пристроях і системах” – 30 червня-липня. – Луцьк: РВВ ЛДТУ, 2008. – С.127-131.

48. Розен В.П. Ранжирование потребителей-регуляторов мощности с использованием метода анализа иерархий / В.П. Розен, А.А. Лякин, Г.В. Курбака// Економічна безпека держави і науково-технологічні аспекти її забезпечення: Праці II-го науково-практичного семінару з міжнародною участю, 21-22 жовтня 2010 р. відпов. ред. Письменний Є.М., Караєва Н.В. – Черкаси, видавець Чабаненко Ю.А. – 2010. – С.298-307

49. Розен В.П. К вопросу о формировании национальной модели стандартизации внедрения и функционирования системы энергетического менеджмента/ В.П. Розен, А.В. Чернявский// Економічна безпека держави і науково-технологічні аспекти її забезпечення: Праці III-го науково-практичного семінару з міжнародною участю, 20-21 жовтня 2011 р./ відповід. ред. Письменний Є.М., Караєва Н.В. Черкаси: видавець Чабаненко Ю.А., 2011. – С.433-448.

50. Розен В.П. Оцінювання енергоефективності електроспоживання вугільних шахт/ В.П. Розен, Л.В. Давиденко, В.І. Волинець// Підвищення рівня ефективності енергоспоживання в електротехнічних пристроях і системах. – Матеріали IV-ї міжнародної науково-технічної конференції “Підвищення рівня ефективності енергоспоживання в електротехнічних пристроях і системах” – 30 червня-липня. – Луцьк: РВВ ЛДТУ, 2012. – С.130-132.

51. Жарков П.Е. Актуальные вопросы организации аудита систем снабжения промышленных предприятий сжатым воздухом/ П.Е. Жарков, В.П. Розен, А.Н. Бондаренко// Міжнародна науково-практична конференція «Енергоефективні технології та обладнання для інтенсифікації видобутку, перероблення та використання вуглеводневих енергоресурсів і кам'яного вугілля»/ Компрессорное и энергетическое машиностроение. –2011. – №4(26). – С.2-5

Національні стандарти України

52. ДСТУ 2804-94. Енергобаланс промислового підприємства. Загальні положення. Терміни та визначення. Розробники: Находов В.Ф., Розен В.П.,

Соловей А.И. та ін. – К.: Держстандарт. – 1994. – 23 с.

53. ДСТУ 3176-95 (ГОСТ 30341-96) Енергозбереження. Методи визначення балансів енергоспоживання гірничими підприємствами. Розробники: Розен В.П., Соловей О.І., Находов В.Ф. та ін. – К.: Держстандарт. –1995. – 30с.

54. ДСТУ 3224-95 (ГОСТ 30341-96) Енергозбереження. Методи визначення норм електроенергії гірничими підприємствами. Розробники: Розен В.П., Соловей О.І., Находов В.Ф. та ін. – К.: Держстандарт.. –1995.-73 с.

55. ДСТУ 4238:2003 Енергозбереження. Енергетичне маркування електрообладнання побутової призначеності. Визначення енергетичної ефективності холодильних приладів. Розробники: В. Розен, О. Соловей, Ю. Нуждіна та ін. – К.: Держстандарт України. 2003. – 9 с.

56. ДСТУ 4472-2005 Енергозбереження. Системи енергетичного менеджменту. Загальні вимоги/ Розробники: В. Розен, І. Соколовська, О. Соловей, І. Стоянова, А. Чернявський. – К.: Держспоживстандарт України, 2005. – 28 с.

57. ДСТУ 4715:2007 Енергозбереження. Системи енергетичного менеджменту промислових підприємств. Склад та зміст робіт на стадії впровадження системи енергетичного менеджменту. Розробники: А. Буткевич, Ю. Нуждіна, В. Розен, П.Розен, О. Соловей, А. Чернявський, Л. Шульга, Ю. Шульга. – К.: Держспоживстандарт України, 2007. – 14 с.

58. ДСТУ 4714:2007 Енергозбереження. Паливно-енергетичні баланси промислових підприємств. Методика побудови та аналізу. Розробники: С. Калугін, Ю. Нуждіна, В. Розен, П. Розен, О. Соловей, А. Чернявський, Л. Шульга, Ю. Шульга. – К.: Держспоживстандарт України, 2007. – 33 с.

59. ДСТУ 4713:2007 Енергозбереження. Енергетичний аудит промислових підприємств. Порядок проведення та вимоги до організації робіт. Розробники: Ю. Нуждіна, В. Розен, П. Розен, О. Соловей, А. Чернявський, Л. Шульга, Ю. Шульга. – К.: Держспоживстандарт України, 2007. – 16 с.

Комплексні програми

60. Розен В.П. Комплексна програма енергозбереження Хмельницької області на 2001-2010 роки / В.П. Розен, В.Г. Каплун, В.В. Назаров та ін. – Хмельницький: Хмельницький державний центр науково-технічної та економічної інформації, 2001. – 239 с.

Особистий внесок автора. У роботах опублікованих у співавторстві здобувачеві належить:

[1-11,54-60] – розроблена оболонка системи управління режимом електроспоживання виробничих систем, що включає в себе законодавчі акти, а також розділи державних і регіональних програм енергозбереження, систему технічного регулювання, що дозволяє реалізувати державну політику в області управління РЕС виробничих систем.

[26,30,43,51,58] – розроблені компоненти системи державної стандартизації по управлінню РЕС виробничих систем, що враховують функціональний підхід до побудови систем управління і включають у себе: класифікацію стандартів в сфері

управління РЕС, розроблення стандартів пов'язаних з термінологією в сфері електроенергетики і енергозбереження, нормуванням споживання електроенергії на промислових підприємствах, побудовою і аналізуванням енергетичного балансу, як промислових, так і гірничодобувних підприємств, створенням системи енергетичного менеджменту, системи енергетичного аудита, системи маркування електрообладнання за рівнями енергетичної ефективності, системи сертифікації підприємств за рівнями енергетичної ефективності, системи сертифікації систем енергетичного менеджменту.

[11,12,15,17,44] – розроблені оптимізаційні математичні моделі планування, розподілу електричної енергії і потужності в енергетичних і виробничих системах з урахуванням невизначеності різної фізичної природи.

[10,16,18,19,21,32,36] – розроблена евристична математична модель управління споживачами-регуляторами потужності дискретної дії в багатокритеріальній постановці з урахуванням невизначеності різної фізичної природи.

[18-20,25,27,31,37,39,42,44-46] – розроблена модель структури комплексу «Споживач-С-Р потужності» з урахуванням економічного критерію.

[13,14, 32,38] – розроблена оптимізаційна модель визначення технологічних параметрів гірничодобувних об'єктів.

[15,16,40] – розроблена методика оцінювання функціонування комплексу «Енергетична-Виробнича система» за показником ризику погіршення здоров'я людини.

[8,9,13,14,20-24,29,30,32,33,34,41,46,47,49,51-55,60] – запропонована реалізація принципів, моделей і методів управління РЕС у складі систем енергетичного менеджменту і енергетичного аудита, енергетичної сертифікації виробничих систем.

АНОТАЦІЯ

Розен В.П. Формування енергоефективних режимів електроспоживання виробничих систем. На правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.09.03 Електротехнічні комплекси та системи. – Державний вищий навчальний заклад «Національний гірничий університет», Дніпропетровськ, 2014.

Дисертація присвячена вирішенню актуальної наукової проблеми - формуванню енергоефективних режимів виробничих систем для використання в автоматизованих системах управління за рахунок оптимізації використання електричної енергії та потужності виробничих процесів в умовах нечіткої інформації з урахуванням особливостей функціонування виробничих і енергетичних систем. Об'єктом дослідження є процеси формування енергоефективних режимів електроспоживання виробничих систем.

Предметом дослідження є показники ефективності використання електричної потужності і енергії, зв'язки між енергетичними і технологічними параметрами виробничих систем, а також співвідношення, властивості, характеристики, що дозволяють розробити вимоги до системи енергетичного аудита, енергетичного менеджменту і енергетичного маркування електрообладнання, які забезпечують підвищення рівня ефективності процесу енерговикористання.

Розроблена методологія створює передумови побудови системи управління режимом електроспоживання виробничих систем враховує державне регулювання проблеми, що містить у собі розроблення законодавчих актів, розділів програм енергозбереження, комплексу державних стандартів України у сфері енергозбереження, а також формування ядра системи управління з інформаційними зв'язками між функціями. Для досягнення поставлених цілей на кожному рівні управління застосовується свій клас моделей управління та своя стратегія їх використання з урахуванням наявності інформаційних зв'язків між функціями управління й зовнішнім середовищем, а також виникає необхідність виконання на всіх ієрархічних рівнях управління таких функцій як: облік, контроль, регулювання, аналізування, прогнозування, нормування, планування, організація.

Дослідження дозволили удосконалити методи управління режимами електроспоживання, розробити моделі і методи оптимального управління споживачів-регуляторів дискретної дії за різними критеріями. Розроблено комплекс програм для АРМ-Енергетика, які забезпечують вимоги енергосистем і мінімізацію втрат в мережах електроспоживачів.

Ключові слова: електричне навантаження, методи, моделі, енергозбереження, енергоефективність, споживачі-регулятори електричної потужності, режими електроспоживання, енергетичне маркування, стандарти з енергозбереження.

АННОТАЦИЯ

Розен В.П. Формирование энергоэффективных режимов электропотребления производственных систем. – На правах рукописи.

Диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности 05.09.03 Электротехнические комплексы и системы. – Государственное высшее учебное заведение «Национальный горный университет», Днепропетровск, 2014.

Диссертация посвящена решению актуальной научной проблемы - формирование энергоэффективных режимов производственных систем в условиях использования автоматизированных систем управления за счет оптимизации использования электрической энергии и мощности производственных процессов в условиях четкой и нечеткой информации с учетом особенностей функционирования производственных и энергетических систем.

Исследования позволили усовершенствовать методы управления режимами электропотребления, разработать модели и методы оптимального управления потребителями-регуляторами дискретного действия по различным критериям. В совокупности научные и практические результаты создают условия для повышения эффективности электропотребления производственных систем. Основные положения включают:

1. Повышение уровня эффективности использования электрической мощности и энергии путем управления режимом электропотребления производственных систем на основе полученных многокритериальных оптимизационных моделей с учетом ресурсных ограничений различной физической природы, в отличие от детерминированных расчетных моделей.

2. Применение лингвистических переменных при задании функций удельных ущербов от ограничений режима электропотребления обеспечивает достижение минимума электрических потерь в электрических сетях энергосистем при управлении режимом электропотребления с использованием комплекса потребителей-регуляторов мощности.

Научная новизна полученных результатов:

- впервые разработана методология создает предпосылки построения системы управления режимом электропотребления производственных систем с помощью государственного управления проблемой, которая включает в себя разработку законодательных актов, разделов программ энергосбережения, комплекса государственных стандартов Украины в области энергосбережения, а также формирования ядра системы управления с информационными связями между функциями, что является отличием при сравнении с известными подходами построения систем управления режимом электропотребления. Для достижения поставленных целей на каждом уровне управления необходимо применять свой класс моделей управления и свою стратегию их использования с учетом наличия информационных связей между функциями управления и внешней средой, а также необходимо выполнение на всех иерархических уровнях управления таких функций как: учет, контроль, регулирование, анализ, прогнозирование, нормирование, планирование и организация.

- в отличие от известных ортодоксальных методов планирования потребления электрической мощности и энергии для различных иерархических уровней управления прочим систем комбинированная система планирования должна учитывать вертикальные связи, охватывающих весь интервал моделей: "статистические модели - байесовские модели - модели использующие, теорию размытых множеств", что позволяет учитывать имеющуюся у лица, принимающего решения, информацию об изменениях во внешней среде. Процедуру планирования потребления электрической мощности и энергии необходимо строить на основе последовательного анализа применимости различных прогнозных моделей, что позволяет снизить затраты на получение исходной информации. Новым является то, что в отличие от детерминированных предпосылок о наличии полноты информации о будущих условиях и информации на всех иерархических уровнях планирования, предложенный подход позволяет создать условия для адаптации планируемой величины потребления электрической мощности и энергии в новой информационной среде, что особенно важно при переходе энергетики на функционирование в условиях энергетического рынка.

- в отличие от существующих методов управления режимом электропотребления с использованием потребителей-регуляторов мощности дискретного действия установлены новые зависимости, учитывая нечеткости оценок факторов, влияющих на функционирование потребителей электрической энергии, а также различий в поставленных целях управления потребителями и энергетической системой. Методологию управления режимом электропотребления производственной системы есть необходимость строить на основе методов упреждающего контроля, в оптимизационной постановке и использования процедуры оценки информации на шкалах показателей работы потребителей-регуляторов мощности. Такая процедура, в отличие от известных, позволяет отказаться от определения удельных ущербов от ограничения режимов электропотребления. Разработаны оптимальные прогнозные модели с отказом от определения удельных ущербов, позволяют повысить уровень эффективности управления режимом электропотребления производственных систем, что является новым подходом в методологии.

- установлено, что максимальный уровень эффективности функционирования промышленных предприятий достигается только при выполнении двух условий: технологических параметров объекта управления должны быть оптимальными и система оперативного управления объектом должна приводить его к оптимальным значениям параметров при наличии внешних возмущающих воздействиях. Разработана новая методика, отличающаяся использованием различных критериев оптимизации: минимизация электропотребления, максимизация производительности и минимизация себестоимости при определении оптимальных технологических параметров угольных лав и выполнении ограничений различной физической природы. Такой подход является новым и позволяет повысить уровень эффективности функционирования горнодобывающих предприятий, а также оценить влияние технологических параметров на поставленные цели.

Ключевые слова: электрическая нагрузка, режимы электропотребления, методы, модели, энергосбережение, энергоэффективность, потребители-регуляторы электрической мощности, энергетическая маркировка, стандарты по энергосбережению.

ABSTRACT

Rosen V.P. Formation energy efficient modes of electricity production systems. – Manuscript.

Thesis for Doctor of Technical Science degree on specialty 05.09.03 - Electrotechnical complexes and systems. - State University, "National Mining University", Dnipropetrovsk, 2014.

The thesis is devoted to solving actual scientific problem - formation the energy efficient modes of the production systems for use in automated control systems by using of electric energy optimizing and power production processes in conditions a clear and fuzzy information that based on functioning the industrial and energy systems.

Scientific novelty:

In first time was developed methodology that creates conditions for synthesis the management mode system of energy consumption the production systems with using state control problem that involves developing legislation and partition energy efficiency programs, set of state standards of Ukraine in the field of saving energy, as well forming the core management system with the connections between functions. This approach very differ in comparison with the known approaches of building systems control power consumption modes. To achieve these goals at every level of management was applied proper class the management models and its own strategy to using them due to availability the information links between the functions of management and the environment, as well as performing at all hierarchical levels of management functions such as records, control, regulation, analysis, forecasting, valuation, planning, organization.

Studies have improved the methods for managing power consumption modes and have developed models and optimal control methods for consumers-regulators discrete action on different criteria for different hierarchical levels of production systems management. A complex software was developed for Workstation "Power Engineer", that provides implementation for requirements at the power systems and minimize losses in the networks of electricity consumers.

Keywords: the electric load, the methods, the models, saving energy, the consumer-regulator of electrical power.