

СИСТЕМНИЙ АНАЛІЗ ЕНЕРГОЗБЕРІГАЮЧИХ ТЕХНОЛОГІЙ ТА ОПТИМІЗАЦІЯ ЕНЕРГОЄМНИХ ВИРОБНИЦТВ

УДК 620.621.31

Т.О. ЄВТУХОВА,
Інститут загальної енергетики НАН України, м. Київ

СТРУКТУРНО-ФУНКЦІОНАЛЬНІ ОСОБЛИВОСТІ ПОБУДОВИ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯМ У ЖКГ УКРАЇНИ

На базі положень теорії багаторівневих ієрархічних систем та теорії управління великими системами запропоновано структурно-функціональну схему системи управління енергозбереженням у ЖКГ України, яка враховує підсистему споживання як невід'ємну складову ієрархічної системи управління. На всіх ієрархічних рівнях системи визначено стратифікаційні гілки.

Ключові слова: ЖКГ, ієрархічна система управління енергозбереженням, структурно-функціональні схеми, стратифікаційні гілки управління.

Проблемам управління енергозбереженням на рівні країни та в окремих секторах економіки, зокрема у ЖКГ, як у світі, так і в Україні присвячено велику кількість фундаментальних досліджень [1,2]. Їхній аналіз виявляє суто вербальний характер розгляду цих проблем та відсутність системно формалізованих моделей управління енергозбереженням.

Метою цієї роботи є визначення структурно-функціональних особливостей побудови формалізованої моделі управління енергозбереженням у ЖКГ України як складної системи, що має багаторівневу ієрархічну структуру.

Загальнотеоретичні основи управління як процесу цілеспрямованого впливу на об'єкт управління достатньо широко і глибоко розглянуті у класичних роботах таких учених, як М.А. Айзерман, Е.П. Попов, М.М. Красовський, О.А. Фельдбаум, Я.З. Ципкін, Л.С. Понтрягін, В.Г. Болтянський, Р.Е. Kalman, R. Bellman, Е.В. Lee, R. Tomovich, А.Р. Sage, та багато інших.

Сформульоване у цих роботах поняття управління автори відносять до класу складних системних понять, що визначається упорядкованими множинами елементів та зв'язків між ними, насамперед таких складових як об'єкт управління (ОУ), орган управління, мета та алгоритм управління, впливи і збурення. На

рис. 1 показано класичну структурно-функціональну схему системи автоматичного управління об'єктом, що поєднує у єдину систему управління об'єкт і орган управління (регулювання),

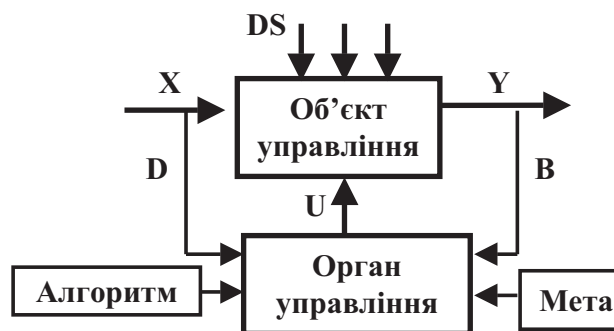


Рис. 1. Функціональна схема системи управління

канали вхідного впливу X і збурень Ψ оточуючого середовища на ОУ та вихідного впливу Y об'єкта управління на зовнішнє середовище, канали впливу управляючої (регулюючої) дії U на ОУ та канали прямого (D) і зворотного (B) зв'язку. При цьому, за наявними прямими зв'язками D у такій системі реалізуються переваги принципу управління зі збурення, а за зворотними зв'язками B – принципу управління з відхилення (розузгодженню).

На жаль, розв'язати задачу управління енергозбереженням у такій великій системі з багаторівневою ієрархічно побудованою структурою як ЖКГ України застосуванням ви-

© Т.О. ЄВТУХОВА, 2010

ключно класичних методів управління не вдається, оскільки окрім технологічних аспектів необхідно враховувати економіко-організаційні та соціально-політичні фактори взаємодії між суб'єктами (елементами) системи. Останні грають принципово важливу роль у розв'язанні проблеми підвищення енергетичної ефективності функціонування ЖКГ України, де складність управлінських завдань посилюється необхідністю безумовного забезпечення споживачів життєво необхідними послугами навіть в умовах неплатоспроможності (головним чином населення) [3].

Відкритим у межах класичної теорії залишається також питання побудови математичної моделі управління енергозбереженням у ЖКГ України, де канали X і Y системи виконують функції каналів передачі "силової" інформації щодо обсягів і вартості спожитих паливно-енергетичних і природних ресурсів, а канали B і D – "управлінської" інформації щодо значень контрольованих в OY економіко-організаційних величин.

Теорія управління подібними багаторівневими ієрархічними організаційно-технологічними системами є відносно молодою, що почала активно розвиватися у 60-х роках минулого століття з появою потужної обчислювальної техніки зусиллями таких учених, як А.Г. Аганбегян, В.Н. Бурков, В.А. Волконський, Ю.М. Єрмольєв, О.Г. Івахненко, В.С. Михалевич, М.М. Моїсеєв, Г.С. Поспелов, Ю.М. Фаткін, Н.З. Шор, К.Д. Arrow, R. Bellman, W.E. Miller, D. Macko, M.D. Mesarovich, J.D. Pearson, Y. Takahara та інші. На наступний час достатньо розвинуто теорію одно- та багатоцільових рішень в однорівневих системах. Робіт, що присвячені математичним аспектам теорії багаторівневих ієрархічних систем, набагато менше. Серед останніх, насамперед, необхідно відмітити роботи [9–11], де на основі теоретико-множинних концепцій уперше розв'язано задачу координування взаємодій у дворівневій системі, що складається з підсистем управління нижнього рівня, підпорядкованих органу управління верхнього рівня. Відкритими в задачі побудови математичної моделі управління енергозбереженням у ЖКГ України, що формулюються в даній роботі, залишаються питання поєднання двох розглянутих підходів з метою визначення структури багаторівневої ієрархічно побудованої системи управління

ЖКГ України, формалізації факторного і параметричного полів для кожного з рівнів ієрархії управління та удосконалення методів і алгоритмів розв'язання задачі цільового управління енергозбереженням у такій системі.

Відразу ж слід наголосити, що формалізація (структурна та параметрична) об'єкта управління та каналів взаємних впливів X , U і Y системи управління енергозбереженням у ЖКГ, як і будь-якої моделі управління, взагалі має виконуватися під кутом зору мети управління, яка власне, насамперед, і визначає ту сукупність умов, параметрів, властивостей і вимог, яким повинна задовольняти система управління, що знаходиться під дією управляючих впливів і збурень. Інакше кажучи, мета управління має слугувати тим головним фактором, який визначає вид, форму і параметри об'єкта управління та каналів його взаємодії з оточуючим середовищем. Саме такий підхід дозволяє провести формалізацію алгоритму управління як сукупності правил, методів і способів цілеспрямованого впливу на об'єкт та забезпечує досягнення поставленої мети. При цьому, мета і алгоритм управління носять зовнішній характер щодо системи управління, оскільки визначаються іншою, розташованою на більш високому рівні ієрархії, системою управління [4].

Узагальнюючи такий підхід, слід відзначити, що окрім згаданих вище класифікаційних ознак система управління енергозбереженням у ЖКГ України має бути віднесена до класу програмно-адаптивних систем екстремального управління [5, 6], оскільки: по-перше, стан об'єкта управління цієї системи характеризується показниками енергетичної, економічної та екологічної ефективності, які є функцією параметрів OY ; по-друге, метою управління енергозбереженням є досягнення екстремуму функціоналу, що характеризує залежність обсягів досягнутого енергозбереження від обсягів фінансування в умовах проведення планових змін структури і технологічних параметрів OY ; по-третє, екстремальний характер носять залежності вигоди-витрати на реалізацію організаційно-технічних заходів з управління енергозбереженням, не кажучи вже про екстремальний характер залежностей вигоди-витрати від впровадження заходів з охорони навколишнього середовища; і наприкінці – ЖКГ України – це складна ієрархічно побудована система, організаційно-технічні заходи з управління енерго-

збереження якої здійснюються на різних рівнях ієрархії. Тобто, до основної мети управління, яка полягає у досягненні оптимальних з енергетичної, економічної та екологічної точок зору обсягів енергозбереження, додається ще одна екстремальна мета – досягнення цього результату економічно-доцільними, з організаційно-технічної точки зору, заходами. Загалом це потребує розв'язання у системній постановці таких основних задач як: розробка прогнозів та програм підвищення енергоефективності та енергозбереження; техніко-економічне планування залучення інвестицій в енергозбереження; організація управлінської діяльності у сфері енергозбереження; забезпечення обліку і контролю; економічне стимулювання, планування та управління оновленням матеріально-технічної бази у цій сфері.

З точки зору подальшої формалізації та побудови математичної моделі управління енергозбереженням у розглянутій системі, розв'язання задачі екстремального управління пропонується здійснювати шляхом їхньої декомпозиції на низку простіших задач за наступним алгоритмом. На першому етапі пропонується розв'язувати задачу шляхом досягнення екстремальної мети у системі проведення виключно організаційно-технічних заходів з енергозбереження (тобто, шляхом варіації організаційно-технічних параметрів управління за незмінних інших). У такій постановці вихідну задачу управління допускає розв'язання у класі оптимізаційних задач математичного програмування, де для розв'язання ринкових аспектів управління існують власні теоретико-ігрові підходи та алгоритми, наприклад, будь-яка дискретна гра може бути зведена до еквівалентної задачі лінійного програмування і навпаки [7]. Така взаємозамінність є принциповою, оскільки з ринкової точки зору суб'єкти ЖКГ України з одного боку, належать до різних форм власності, включаючи державну і муніципальну, а з іншого – є монополістами, для яких вищий орган управління має право самостійно змінювати правила гри, що в більшості випадків моделювання вкрай ускладнює застосування інших теоретико-ігрових підходів, але ж дозволяє ефективно і головне прозоро застосовувати методи математичного програмування.

На другому етапі розв'язання задачі екстремального управління можливо приступати до

варіювання технологічних параметрів об'єкта управління. Для розв'язання цієї задачі потрібно залучення методів планування оптимального експерименту [8], оскільки зміна технологічних параметрів об'єкта управління, як правило, пов'язана з впровадженням нових енергоефективних технологій та обладнання. При цьому, діапазони варіювання параметрів об'єкта управління доцільно розбивати на низку піддіапазонів, де технологічні параметри об'єкта можливо вважати незмінними, та послідовно проводити розв'язання задачі екстремального управління для кожного з піддіапазонів, а наприкінці – серед знайдених локальних екстремумів вибрати глобальний. Зрозуміло, що у даному випадку реалізація розглянутого алгоритму розв'язання задачі екстремального управління шляхом її декомпозиції на низку простіших потребує проведення додаткових процедур кусочно-лінійної апроксимації технологічних параметрів і параметрів управління.

Ієрархія системи управління енергозбереженням у ЖКГ України (рис. 2) складається з чотирьох рівнів (підсистем) управління: 1 – загальнодержавного, означеного індексом d ; 2 – місцеве (обласне, міське, селищного типу тощо), означене індексом m ; 3 – господарюючих суб'єктів ЖКГ (підприємств), з індексом n ; 4 – споживче, означене індексом s . Узагальнену систему управління енергозбереженням у ЖКГ країни доповнено елементами порівняння (ЕП) та міжсистемними зв'язками, які призначені для врахування ефекту з енергозбереження, досягнутого на нижчих рівнях ієрархії. Як видно, органи державного управління, насамперед, впливають на мету та алгоритми функціонування (пошук оптимальних розв'язань) органів місцевого управління, що дає можливість послідовно (зверху вниз та знизу вверх) проводити корегування їхньої діяльності та підвищувати ефективність системи управління енергозбереженням у ЖКГ України за результатами контролю досягнутого рівня енергетичної, економічної та екологічної ефективності на всіх рівнях ієрархічної системи, включаючи і споживання житлово-комунальних послуг, що є принциповим у ринкових умовах функціонування системи.

Деталізовану на рівні підсистеми господарюючих суб'єктів частину функціональної схеми системи управління енергозбереженням у ЖКГ України показано на рис. 3 з якого

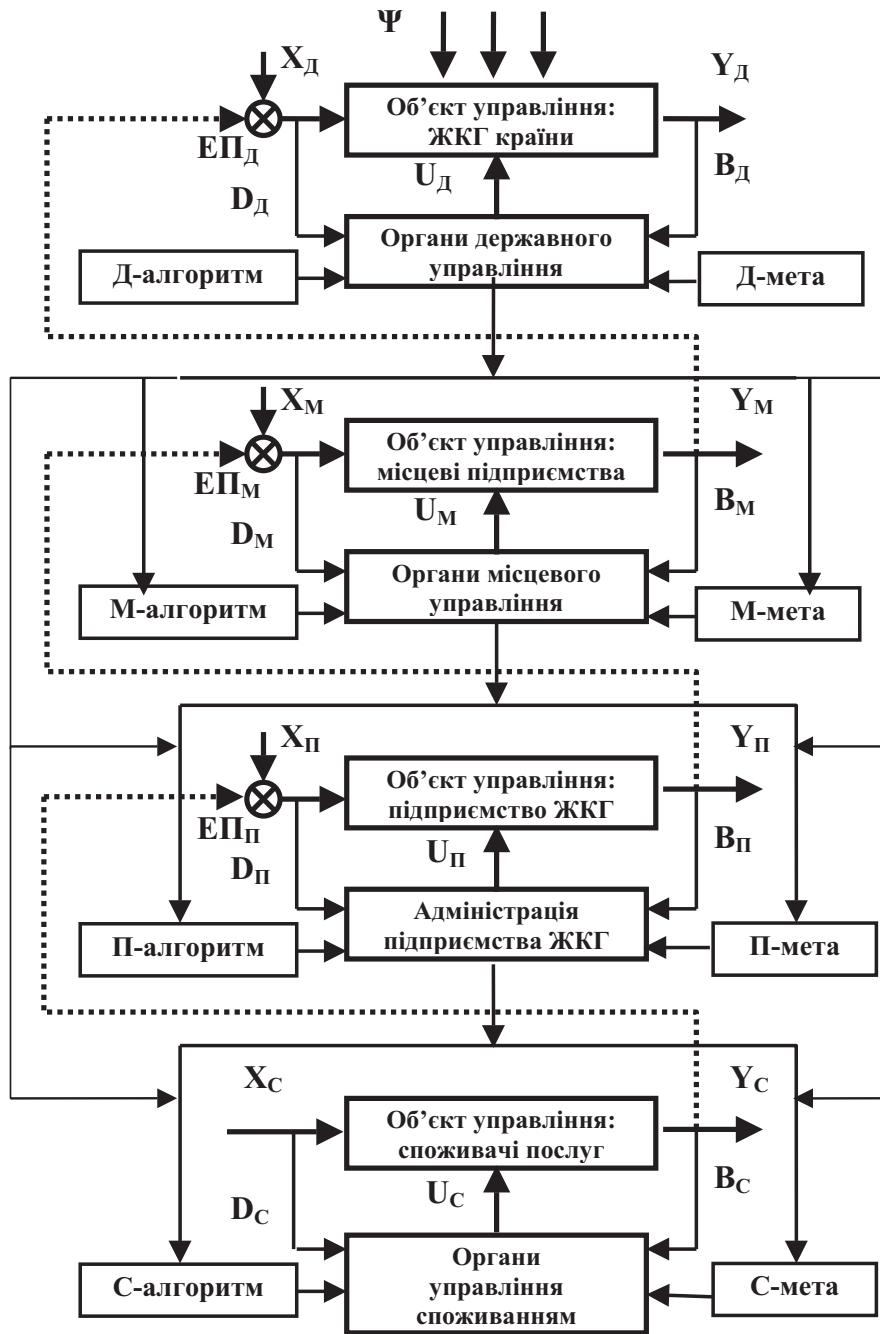


Рис. 2. Структурно-функціональна схема ієрархічної системи управління енергозбереженням у ЖКГ України

видно, що об'єкт управління підсистеми (господарюючий суб'єкт ЖКГ) споживає енергетичні ресурси обсягом X_{QR} та виробляє відповідні обсяги Y_{QQ} житлово-комунальних послуг, за надання яких одержує кошти обсягом X_{PQ} , частину Y_{PR} яких витрачає на закупівлю енергетичних ресурсів. Оскільки виробництво не є замкненим, то за відходи, що утворюються в обсязі Y_{QE} , підприємство має здійснювати екологічні платежі до бюджету в розмірі Y_{PQ} .

Механізм програмно-адаптивного екстремального управління енергозбереженням на

рис. 3 показаний чотирма колами зворотного зв'язку (ЗЗ), означеними індексами, які відрізняються одиницями виміру параметрів, а саме q – для фізичних, а p – для грошових одиниць, де додатковий індекс e виділяє екологічні параметри та елементи (блоки) підсистеми.

До основних функцій екстремального управління енергозбереженням відносяться функції визначення і максимізації показників енергетичної, економічної, екологічної тощо ефективності функціонування об'єкта управління (або мінімізації відповідних втрат) та подаль-

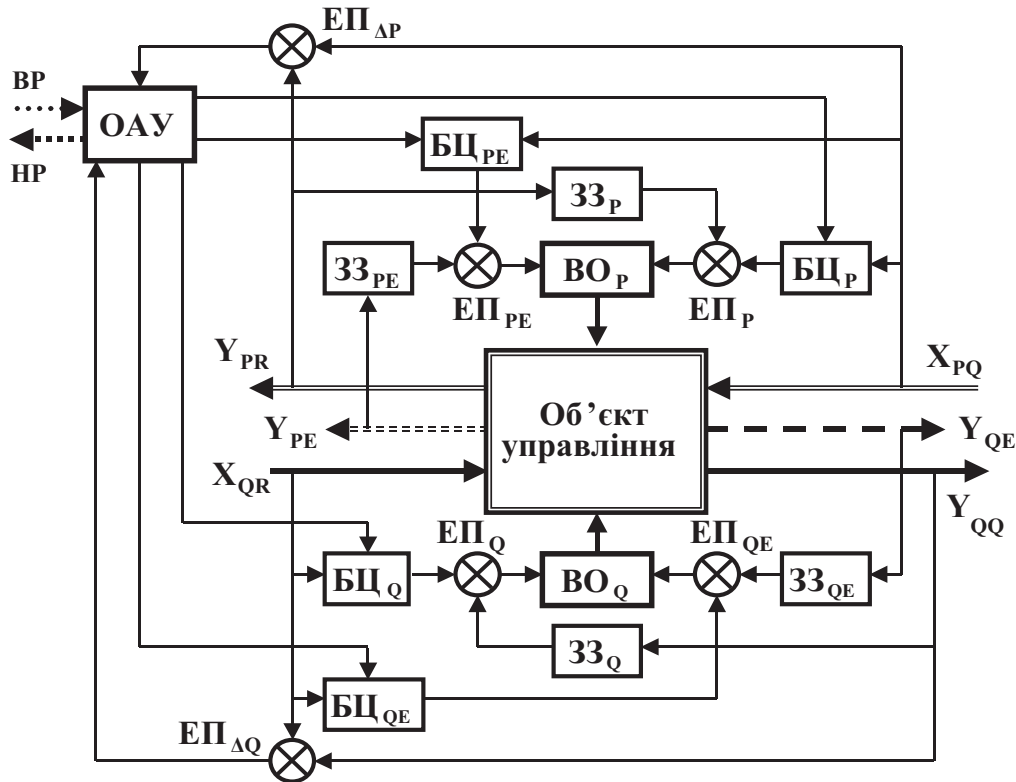


Рис. 3. Функціональна схема системи управління енергозбереженням на рівні господарюючих суб'єктів

шого вироблення управляючих дій. Виконання цих функцій носить комплексний характер, оскільки значення показників залежать від стану та параметрів системи управління у цілому. До цього додаються вимоги попереднього визначення напрямів зміни саме цих параметрів, які призводять до покращання (або погіршення) показників ефективності.

Принциповою відмінністю розглянутого механізму управління від відомих систем автоматичного регулювання по відхиленню є наявність підсистеми програмно-адаптивного управління, що включає: а – орган адміністративно-організаційного управління (АОУ) (для даного ієрархічного рівня підсистеми – це адміністрація та відповідні служби підприємства); б – блоки вироблення цільових програмних завдань БЦ (означені відповідними зворотнім зв'язкам індексами); в – виконавчі органи (ВО), які виконують функції екстремальних регуляторів. Зовнішні зв'язки з верхнім (ВР) та нижнім (НР) рівнями ієрархічної структури системи управління енергозбереженням, які означені на рис. 2, здійснюються за допомогою АОУ та його служб.

У запропонованому механізмі на всіх ієрархічних рівнях його застосування визначаються стратифікаційні гілки (рівні структурно-функ-

ціонального абстрагування елементів) управління. У даному механізмі пропонується розглядати чотири стратифікаційні гілки управління: адміністративно-організаційна, енергоекономічна, енерготехнологічна та енергоекологічна, які на рис. 3 показані відповідними елементами (блоками) і зворотними зв'язками. Слід розуміти, що узагальнений (системоутворюючий) технологічний процес, показаний на рис. 3 єдиним блоком ОУ, у дійсності складається з декількох, як правило, взаємозалежних технологічних процесів, для кожного з яких потрібно створювати та розглядати аналогічні блоки та зворотні зв'язки. За тим же принципом потрібно деталізувати і блоки інших ієрархічних рівнів управління, показаних на рис. 2 (за окремими областями, містами, підприємствами, окремими споживачами тощо).

У цілому, систему управління енергозбереженням у ЖКГ України можна класифікувати як складну ієрархічно побудовану систему, яка з точки зору задачі оптимального управління є багатопараметричним об'єктом типу “дуже складний ящик” [5, 12] з багатьма локальними екстремальними характеристиками, значення показників ефективності та якості яких змінюються через деякий час після зміни параметрів

управління, що потребує врахування динамічних властивостей (інерції) як об'єкта, так і органу управління.

ВИСНОВКИ

Аналіз основних положень теорії побудови класичних однорівневих та багаторівневих ієрархічних систем управління дозволив запропонувати оригінальну структурно-функціональну схему системи управління енергозбереженням у ЖКГ України, яка відрізняється від відомих врахуванням підсистеми споживання як невід'ємної складової ієрархічної системи управління та стратифікаційними гілками (рівнями структурно-функціонального абстрагування), визначеними на всіх ієрархічних рівнях системи. Практична значимість досягнутого наукового результату полягає в тому, що запропонована схема управління енергозбереженням дозволяє застосовувати ринкові методи взаємодії виробників і споживачів та механізми їхнього економічного стимулювання поряд з механізмами адміністративно-командного впливу.

Показано, що за структурно-функціональними особливостями системи управління енергозбереженням у ЖКГ України, її потрібно будувати як програмно-адаптивну систему екстремального управління, стан об'єктів якої характеризується показниками енергетичної, економічної та екологічної ефективності, а до основної мети управління – енергозбереження додається ще одна екстремальна мета – досягнення результату економічно-доцільними з організаційно-технічної точки зору заходами. Це дозволило класифікувати систему управління енергозбереженням у ЖКГ України як складну систему типу “дуже складний ящик” з багатьма локальними екстремальними значеннями показників ефективності та якості.

Запропонований оригінальний алгоритм розв'язання задачі екстремального управління енергозбереженням, що базується на застосуванні теоретико-ігрових підходів у поєднанні з методами планування оптимального експерименту, дозволяє враховувати ринкові аспекти управління енергозбереженням у межах єдиної задачі математичного програмування. Для цього пропонується застосовувати процедури декомпозиції задачі на низку простіших та подальшої кусочно-лінійної апроксимації технологічних параметрів і параметрів управління.

Перспективи подальшого розвитку і застосування запропонованого підходу до управління енергозбереженням у ЖКГ України полягають у можливостях прозорої формалізації цільових функцій та проведення структурно-параметричної оптимізації складних енерготехнологічних систем ЖКГ за наявними і новітніми способами виробництва та надання житлово-комунальних послуг з економічно доцільними витратами паливно-енергетичних ресурсів.

1. *Жовтянський В.А., Кулик М.М., Стогній Б.С.* Стратегія енергозбереження в Україні / Аналітично-довідкові матеріали в 2-х томах: Загальні засади енергозбереження. – К.: Академперіодика, 2006. – Т. 1. – 510 с.
2. *Жовтянський В.А., Кулик М.М., Стогній Б.С.* Стратегія енергозбереження в Україні / Аналітично-довідкові матеріали в 2-х томах: Загальні засади енергозбереження. – К.: Академперіодика, 2006. – Т. 2. – 600 с.
3. *Ковалко М.П., Денисюк С.П., Шидловський А.К.* Енергозбереження – пріоритетний напрям державної політики України. – К.: Укренергозбереження, 1998. – 506 с.
4. *Енергетика світу та України. Цифри та факти / Вороновський Г.К., Денисюк С.П., Кириленко О.В. та ін.* – К.: Українські енциклопедичні знання, 2005. – 404 с.
5. *Растринин Л.А.* Системы экстремального управления / М.: Наука, 1974. – 632 с.
6. *Гитис Э.И., Данилович Г.А., Самойленко В.И.* Техническая кибернетика. – М.: Советское радио, 1969. – 488 с.
7. *Юдин Д.Б., Гольштейн Е.Г.* Задачи и методы линейного программирования. – М.: Советское радио, 1961. – 492 с.
8. *Ермаков С.М., Жиглявский А.А.* Математическая теория оптимального эксперимента. – М.: Наука, 1987. – 320 с.
9. *Месарович М., Мако Д., Такахара И.* Теория иерархических многоуровневых систем. – М.: Мир, 1973. – 344 с.
10. *Моисеев Н.Н.* Элементы теории оптимальных систем. – М.: Наука, 1975. – 527 с.
11. *Губанов В.А., Захаров В.В., Коваленко А.Н.* Введение в системный анализ. – Л.: Изд-во Ленингр. ун-та, 1988. – 232 с.
12. *Коршунов Ю.М.* Математические основы кибернетики. – М.: Энергоатомиздат, 1987. – 490 с.

Надійшла до редколегії: 02.06.2010