

УДК 65.011.56

THE EFFICIENCY OF INTELLIGENT CONTROL SYSTEMS FOR PROCESS FACILITIES. PART 1. BASIC PROVISIONS

A. Ladaniuk, N. Lutska, Ya. Smiutkh, L. Vlasenko, M. Sashnova*National University of Food Technology*

Key words:

energy efficiency,
resource efficiency,
intelligent control system,
robustness

Article history:

Received 26.03.2019
Received in revised form
08.04.2019
Accepted 10.05.2019

Corresponding author:

m.sashnova@gmail.com

ABSTRACT

The article deals with materials concerning estimation of efficiency of intelligent control systems for complex process facilities. Special attention is drawn to the general technical-economic indicators, used to assess the degree of reduction in total amount of work expended on the production of a unit of finished product, as well as indicators of energy and resource efficiency, and cost function minimizing. The traditional task of choosing a particular automation system is to compare the expectation effect of its implementation with the cost of equipment and maintenance of the system. In economic effect analysis of modern automation system for complex process facilities, which include ACS, ICS, algorithms of robustness, adaptability, coordination, diagnostics, forecasting, etc. there are distinguished such components as structural effect, technological effect, energy effect, labor effect.

There is a number of different approaches, which are offered to form a complex ICS efficiency indicator. It is shown that ICS efficiency is directly related to the time estimations of receipt and realization of making decisions, but main effects of their application are shown in possibility of assured achievement of management aim with the highest quality at the top level and the highest energy and resource efficiency indicators at the lower executive level "object of control + regulator" of hierarchical system.

An important requirement in intelligent control systems is ensuring of robustness of traditional regulators P, PI, PD, PID, which are used at the bottom executive level. Different level of intellectuality depending on the completeness and correctness of the knowledge base, can be obtained using hybrid intelligent control systems by means of integration of PID- and unclear regulators.

It is analysed, that in ICS more and more tasks for complex process facilities are solved on the basis of the use of neural, adaptive neural and neuron-sensitive methods, sensitivity functions.

DOI: 10.24263/2225-2916-2019-25-20

ЕФЕКТИВНІСТЬ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНИХ СИСТЕМ КЕРУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИМИ ОБ'ЄКТАМИ. ЧАСТИНА 1. ОСНОВНІ ПОЛОЖЕННЯ

А. П. Ладанюк, д-р техн. наук

Н. М. Луцька, канд. техн. наук

Я. В. Смітюх, канд. техн. наук

Л. О. Власенко, канд. техн. наук

М. В. Сашнєва, канд. техн. наук

Національний університет харчових технологій

В останні десятиріччя в різних галузях промисловості, у тому числі харчовій, використовуються складні багаторівневі системи на базі мережевих структур, мікропроцесорних засобів та ЕОМ (цукрові та спиртові заводи, хлібопекарські виробництва тощо). При цьому постійно ускладнюються системи та методи керування, що потребує додаткових капіталовкладень. В той же час головний показник енерго- та ресурсоефективності забезпечується насамперед за рахунок інтелектуальних систем керування, які включають, крім стандартних регуляторів, підсистеми підтримки прийняття рішень, алгоритми адаптації й оптимізації. Важливою вимогою в таких системах керування є забезпечення робастності традиційних регуляторів, які використовуються на нижньому виконавчому рівні. Різного рівня інтелектуальності залежно від повноти та коректності бази знань (БЗ) можна отримати за допомогою гібридних інтелектуальних систем керування (ІСК) шляхом комплексування ПІД- та нечітких регуляторів.

Запропонована методика орієнтована на використання в навчальній роботі з дисциплін: «Методи сучасної теорії керування», «Інтелектуальні системи керування», «Оптимальні системи управління», «Проектування інтелектуальних систем керування». Особливого значення ця методика набуває при виконанні бакалаврських дипломних проектів і магістерських робіт. За нашими даними, запропонована методика цікавить виконавців з проектування та впровадження систем керування різного призначення для технологічних об'єктів і комплексів.

Ключові слова: енергоефективність, ресурсоефективність, інтелектуальна система керування, робастність.

Постановка проблеми. Розробка та провадження інтелектуальних систем керування (ІСК) в останні роки набула особливого значення в зв'язку зі зростанням вимог до підвищення енерго- та ресурсоефективності процесів функціонування об'єктів різної природи та призначення. Необхідно враховувати, що саме технологічні об'єкти (технологічні процеси, агрегати, комплекси) є основним джерелом отримання високих техніко-економічних показників підприємства в цілому. При формуванні загальних оцінок показників ефективності процесів керування складними об'єктами насамперед необхідно виділити дві групи кількісних та якісних методів: для стійкості та якості процесів автоматичного регулювання; для інтелектуальних методів, алгоритмів, способів та їх комплексування.

При оцінці якісних показників ефективності ІСК доцільно обрати як загальні, так і частинні оцінки, зокрема приріст ефективності при використанні інтелектуальних підсистем підтримки прийняття рішень. Важливе значення має якість даних, які використовуються для формування керувальних дій на різних рівнях ІСК, що має ієрархічну структуру.

Для визначення достатнього комплексу показників ефективності необхідно виконати ряд вимог:

- можливість оцінки роботи ІСК при виконанні основних і допоміжних задач функціонування об'єкта;
- відповідність фізичному змісту;
- критичність щодо тих характеристик системи, оптимальні значення яких необхідно підтримувати;
- визначення кількісних значень показників ефективності з достатньою точністю.

Метою статті є формування методів і системи показників для об'єктивної оцінки ефективності функціонування інтелектуальних систем, зокрема підсистем підтримки прийняття рішень і комплексування способів формування керувальних дій.

Матеріали і методи. На сьогодні об'єктивно склалось кілька підходів до оцінки ефективності функціонування інтелектуальних систем. Одним із зручних інструментів оцінки ефективності ІСК є використання функції втрат, яка має характерну особливість: є мінімальною при мінімальних відхиленнях змінних від технологічного режиму та зростає при відхиленнях регульованої координати від заданого значення як при зменшенні, так і при збільшенні. Функція втрат може безпосередньо виражатись через енергетичні витрати, вихід продукту та його втрати тощо [1].

Для реалізації загальної мети ІСК на досягнення високих показників виробництва використовується нижній (виконавчий) рівень ІСК — саме тут формується керувальні дії у вигляді витрат матеріальних та енергетичних ресурсів. Достатньо детально в [2; 3] проаналізовані сучасні методи автоматизації включаючи керування в умовах невизначеності на основі робастних та адаптивних підходів, багатоконтурних систем, методів компенсації запізень і збурень, синергетичного підходу. Для систем автоматизації технологічними об'єктами в задачах аналізу та синтезу використовуються загальновідомі критерії, наприклад, для АСР критерії якості — кореневі, частотні, інтегральні. Свої критерії мають задачі АКОР (аналітичне конструювання оптимальних регуляторів) та АКАР (аналітичне конструювання агрегованих регуляторів). Для складних технологічних об'єктів при автоматизації в складі ІСК використовують узагальнені показники прибутку, продуктивності, собівартості тощо. В першій частині показана об'єктивна необхідність і важливість оперативності й обґрунтованості процесів підтримки прийняття рішень та формування ефективних керувальних дій.

У технічній літературі достатньо часто розглядаються ще два таких напрямки підвищення ефективності АСР та інтелектуальних систем керування:

- використання функціоналу узагальненої роботи (рос.: функционал обобщенной работы Красовского А.А.);
- отримання узагальнених формул для розрахунку параметрів регуляторів на основі математичних моделей об'єктів з використанням показників запасу стійкості [4].

Ефективність ІСК технологічними об'єктами часто оцінюють за загальними техніко-економічними показниками, наприклад за ступенем зниження сукупності праці, яка витрачається на виробництво одиниці готової продукції, що збігається з показниками енерго- та ресурсоефективності, а також з вимогою мінімізації функції витрат. Традиційна задача вибору варіанта системи автоматизації

полягає у порівнянні очікуваного ефекту від її впровадження з витратами на обладнання й обслуговування системи, маючи на увазі, що більш досконале обладнання, тобто технічне забезпечення і обслуговування потребують додаткових витрат.

При оцінці економічного ефекту сучасної системи автоматизації складними технологічними об'єктами, які включають АСР, ІСК, алгоритми робастності, адаптивності, координації, діагностики, прогнозування тощо, виділяють складові:

- структурний ефект пов'язаний з розподіленням комплексу задач зі своїми критеріями, обмеженнями та моделями між рівнями ієрархії і центрами обробки інформації та прийняття рішень;

- технологічний ефект визначається призначенням об'єкта, з випуском продукції гарантованої якості та урахуванням енергетичних і матеріальних ресурсів;

- енергетичний ефект виділяється додатково при існуванні жорсткого обмеження на витрату енергоносіїв та їх дефіцит;

- трудовий ефект формується на основі зменшення кількості працівників з обов'язковим підвищенням їх кваліфікації.

Загальні оцінки системи автоматизації формуються шляхом порівняння автоматизованого та існуючого виробництва за показниками й оцінками:

- капітальних затрат;

- річних експлуатаційних витрат;

- рентабельності;

- термінів окупності;

- приведених витрат тощо.

Додатковими вимогами можуть бути показники соціальних, екологічних чинників, покращення умов праці, її престижності тощо.

Тож основний ефект, який можна оцінити кількісно, від розробки і впровадження інтелектуальних методів для системи керування технологічними об'єктами, зводиться до оцінок ресурсо- та енергоефективності при використанні умов виробництва в різних режимах функціонування. Так, у статті [5] показано, що досягти ефекту робастності можна за рахунок зміни параметрів регулятора за умовою максимального ступеня стійкості та малою чутливістю якості процесів регулювання щодо змін характеристик об'єкта, множина можливих значень параметрів передавальної функції якого є замкненою та обмеженою.

Інший підхід використано в [6], коли передбачається, що об'єкт може функціонувати і двох режимах: штатному та аварійному. Тут також наводяться методики корегування параметрів регулятора, які були оптимальними і штатному режимі таким чином, щоб вони задовольняли і умови роботи в аварійному режимі. Тобто в статичному режимі якість функціонування наближається до оптимальної за обраним критерієм, а в аварійному — забезпечується лише прийнятна роботоздатність системи.

Названі підходи отримали розвиток у праці [7], в якій ретельно досліджувалися перехідні процеси системи з урахуванням суттєвих невизначеностей характеристик об'єкта та неточності його моделі. Найкращу робастність системи визначено для випадку використання цифрового ПІД-регулятора — найменші зміни показників якості при суттєвих збуреннях. Досить часто результати у вигляді робастних систем інтерпретуються з використанням поліномів Харитонова, коли корені чотирьох поліномів мають від'ємні дійсні числа, що гарантує збереження нею стійкості при варіації параметрів у межах визначених інтервалів.

Результати досліджень. В ІСК все більше задач для складних технологічних об'єктів розв'язуються на основі використання нейронних, адаптивних нейронних і нейронечітких методів [8], функцій чутливості [9] тощо.

У технічній літературі є ряд різних підходів до формування комплексного показника ефективності ІСК, наприклад, для підсистеми підтримки прийняття рішень використано приріст [4]:

$$\Delta W(\Delta T_{\text{оп}}, \Delta P_{\text{уст}}, \Delta P_{\text{неп}}, \Delta P_{\text{об}}), \quad (1)$$

де, $\Delta T_{\text{оп}}, \Delta P_{\text{уст}}, \Delta P_{\text{неп}}, \Delta P_{\text{об}}$ — частинні показники ефективності керування, при цьому $\Delta T_{\text{оп}}$ — приріст оперативності, $\Delta P_{\text{об}}$ — приріст обґрунтованості керувальних дій, $\Delta P_{\text{уст}}, \Delta P_{\text{неп}}$ — прирости ефективності для процесів зупинки та неперервної роботи відповідно. При цьому обрані показники несуттєво впливають на оцінки стійкості процесів керування, що дає можливість виразити ці показники у вигляді функцій багатьох змінних:

$$\Delta T_{\text{оп}} = f(t_i), \quad i = \overline{1, n}; \quad \Delta P_{\text{об}} = f(t_j), \quad j = \overline{1, m}. \quad (2)$$

В останньому вигляді показники формуються на основі призначення й особливостей роботи об'єкта і системи в цілому.

Оцінка ефективності ІСК часто здійснюється за інформаційними критеріями. Процес управління в ІСК безпосередньо пов'язаний з обробленням великої кількості інформації. Для кількісного опису інформації, що використовується, розглядається ентропія процесу — міра невизначеності його стану. Ускладнення структури ІСК, неповнота інформації про стан цих систем і, як наслідок, невизначеність їх стану, а також механізмів взаємодії складових створюють додаткові передумови неефективного прийняття рішень на різних рівнях управління. Зарубіжні й українські вчені пропонують різні підходи, враховуючи безліч чинників за відповідними групами показників, однак найбільш ефективним підходом, за допомогою якого можна дійсно визначити ступінь невизначеності інформації, є ентропійний підхід.

Ефективність ІСК безпосередньо пов'язана з часовими оцінками отримання та реалізації прийняття рішень, але головні ефекти їх застосування виражаються у можливості гарантованого досягнення мети керування з максимальною якістю на верхньому рівні та максимальними показниками енерго- та ресурсоефективності на нижньому виконавчому рівні системи «об'єкт керування + регулятор» ієрархічної системи [10]. При цьому передбачається реалізація призначення цілеспрямованого функціонування ІСК в умовах невизначеності та урахування непередбачуваних ситуацій. Як показано вище, ефективність ІСК залежить від рівня інтелектуальності використовуваних методів, а також форми, виду та глибинного подання знань. При заданій або визначеній в процесі розробки ІСК меті керування використовуються технології інтелектуальних обчислень для проектування бази знань (БЗ) — нові види еволюційного програмування, алгоритми оптимізації імунного типу, поведінкові реакції натовпу (людей у тунелі, колоній мурах, зграй птахів і риб, тварин), квантові генетичні алгоритми глобальної оптимізації та квантові нейронні мережі навчання тощо.

Як правило, ІСК створюються на базі традиційних АСР для підвищення робастності, можливістю реалізації необхідних рівнів точності і надійності функціонування в умовах непередбачуваних ситуацій [11].

Одним із напрямків підвищення ефективності ІСК є забезпечення робастності традиційних регуляторів П, ПП, ПД, які використовуються на нижньому виконавчому рівні, а частка ПД-регуляторів складає ~ 85%. При цьому використовується принцип «неруйнування виконавчого рівня», що забезпечує додаткову ефективність використання існуючих технологічних об'єктів, в яких отримуються високі техніко-економічні показники. Різного рівня інтелектуальності залежно від повноти та коректності БЗ можна отримати за допомогою гібридних ІСК шляхом комплексування ПД- та нечітких регуляторів.

Для ІСК технологічними об'єктами в БЗ використовується найчастіше множина продукційних правил (look-up-table) певної моделі нечіткого висновку з конкретними станами та параметрами функцій належності, які формують закони керування об'єктом. Параметри і тип функції належності зберігаються в базі даних нечіткого регулятора, який використовується сумісно з адаптивним ПД-регулятором, що має певний рівень інтелектуальності.

Висновки. Показано, що ефективність сучасних систем автоматизації складних технологічних об'єктів необхідно оцінювати на основі комплексного підходу, який включає нижній (виконавчий рівень), а також інтелектуальні методи та форми формування керувальних дій (верхні рівні).

Для об'єктивної оцінки ефективності систем автоматизованих технологічних об'єктів доцільно використовувати підхід, заснований на визначенні функцій втрат. Одним з найбільш ефективних методів підвищення ефективності ІСК є комплексування існуючих засобів і методів керування, зокрема ентропійний підхід.

ЛІТЕРАТУРА

1. Кузнецов Б. Ф. Оценка эффективности систем управления с использованием многомерных функций потерь / Б. Ф. Кузнецов // Приборы и системы. Управление, контроль, диагностика. — 2008. — № 2. — С. 1—4.
2. Ладанюк А. П. Комплексування методів теорії керування в системах автоматизації технологічних об'єктів. Частина 1. Загальні положення. / А. П. Ладанюк, Н. Н. Луцька, В. Д. Кишенько, Я. В. Смітюх, Д. А. Шумигай // Наукові праці Національного університету харчових технологій. — 2017. — Том 23, № 4. — С. 8—16.
3. Ладанюк А. П. Комплексування методів теорії керування в системах автоматизації технологічних об'єктів. Частина 2. Приклади. / А. П. Ладанюк, Н. Н. Луцька, В. Д. Кишенько, Я. В. Смітюх, Д. А. Шумигай // Наукові праці Національного університету харчових технологій. — 2017. Том 23, № 6. — С. 7—20.
4. Афанасьев Ю. И. Показатели эффективности интеллектуальных систем управления / Ю. И. Афанасьев // Сборник материалов международной научной конференции «Наука современности» — 2015. — С. 87—93.
5. Цирлин А. М. Робастная устойчивость и выбор настройки регуляторов для технологических объектов с запаздыванием / А. М. Цирлин, В. С. Овсепян // Проблемы управления. — 2018. — № 4. — С. 21—27.
6. Зотов М. Г. О конструировании робастных по критерию качества систем управления / М. Г. Зотов // Известия РАН. Теория и системы управления. — 2012. — № 4. — С. 3
7. Арбузов Е. В. Оценка робастности системы автоматического управления газотурбинным двигателем при различных цифровых регуляторах / Е. В. Арбузов, Д. Сейтенов // Инженерный вестник. — 2015. — № 10. — С. 557—565.

8. *Ишматов З. Ш.* Анализ чувствительности робастных систем автоматического управления / З. Ш. Ишматов, М. А. Волков, Е. А. Гурентьев и др. // Труды Международной шестнадцатой научно-технической конференции «Электроприводы переменного тока», [г. Екатеринбург], 05—09 октября 2015 г. — 2015. — С. 95—98.

9. *Усов А. В.* Робастные методы в исследовании устойчивости экономических систем / А. В. Усов, Е. Н. Гончаренко // Економіка та управління підприємствами машинобудівної галузі / — 2009. — № 1. — С. 14—23. — Режим доступа: http://nbuv.gov.ua/UJRN/eupmg_2009_1_4.

10. *Литвинцева Л. В.* Интеллектуальные системы управления / Л. В. Литвинцева, С. В. Ульянов // Квантовые вычисления и алгоритмы самоорганизации. Известия РАН. Теория и системы управления. — 2009. — № 6. — С. 102—141.

11. *Li Y.* Patent, software and hardware for PID control: an overview and analysis of the current art. / Y. Li, K.H. Ang, G.C.Y. // Chong IEEE Control Systems Magazine. — 2006. — V. 26(1). — P. 42—54.

ЭФФЕКТИВНОСТЬ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ ОБЪЕКТАМИ. ЧАСТЬ 1. ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ

А. П. Ладанюк, Н. Н. Луцкая, Я. В. Смитюх, Л. А. Власенко, М. В. Сашнева
Национальный университет пищевых технологий

В последние десятилетия в различных отраслях промышленности, в том числе пищевой, используются сложные многоуровневые системы на базе сетевых структур, микропроцессорных средств и ЭВМ (сахарные и спиртовые заводы, хлебопекарные производства и т.п.). При этом постоянно усложняются системы и методы управления, что требует дополнительных капиталовложений. В то же время главный показатель энерго- и ресурсоэффективности обеспечивается прежде всего за счет интеллектуальных систем управления, включающих помимо стандартных регуляторов подсистемы поддержки принятия решений, алгоритмы адаптации и оптимизации. Важным требованием в таких системах управления является обеспечение робастности традиционных регуляторов, которые используются на нижнем исполнительном уровне. Различного уровня интеллектуальности в зависимости от полноты и корректности базы знаний (БЗ) можно получить с помощью гибридных интеллектуальных систем управления (ИВК) путем комплексирования ПИД и нечетких регуляторов.

Предложенная методика ориентирована на использование в учебной работе по дисциплинам: «Методы современной теории управления», «Интеллектуальные системы управления», «Оптимальные системы управления», «Проектирование интеллектуальных систем управления». Особое значение эта методика приобретает при выполнении бакалаврских дипломных проектов и магистерских работ. По нашим данным, предложенная методика заинтересует исполнителей по проектированию и внедрению систем управления различного назначения для технологических объектов и комплексов.

Ключевые слова: энергоэффективность, ресурсоэффективность, интеллектуальная система управления, робастность.