

**References**

1. *Herrmann, I. T., Moltesen, A., 2015.* Does it matter which Life Cycle Assessment (LCA) tool you choose? – a comparative assessment of SimaPro and GaBi. *Journal of Cleaner Production* 86, 163-169.
2. *Mynko, O., Dzhygyrey, I., 2017.* An analysis of software packages supporting the evaluation of product system life cycle. 19<sup>th</sup> Int. conf. SAIT 2017, Kyiv, Ukraine, May 22 – 25, 2017. Proc.-s, 93 (in Ukrainian).
3. *Lynch, D., Henihan, A.M., Bowen, B. et al., 2013.* Utilisation of poultry litter as an energy feedstock. *Biomass and bioenergy* 49, 197-204.

**ДОСВІД ВИРІШЕННЯ ЗАДАЧ ОПТИМІЗАЦІЇ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ В УМОВАХ ЧАСТКОВОЇ НЕВИЗНАЧЕНОСТІ ДАНИХ**

**Складаний Д. М.**

**ОПЫТ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ ОПТИМИЗАЦИИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ В УСЛОВИЯХ ЧАСТИЧНОЙ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ ДАННЫХ**

**Складанный Д. Н.**

**THE EXPERIENCE IN SOLVING TECHNOLOGICAL PROCESSES' OPTIMIZATION PROBLEMS UNDER PARTIALLY UNCERTAINTY IN DATA**

**Skladannyu D.**

**Національний технічний університет України  
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»  
Київ, Україна  
[kxtp@kpi.ua](mailto:kxtp@kpi.ua)**

*В роботі оглянуто невизначеності, які виникають під час рішення задач оптимізації технологічних процесів. Проаналізовано алгоритми вирішення задачі оптимізації для вказаних видів невизначеностей. На основі досвіду автора по вирішенню таких задач, показано сильні та слабкі сторони наведених алгоритмів. Окремо розглянуто види невизначеностей, для яких невідомі або не перевірені методи оптимізації.*

**Ключові слова:** оптимізація технологічного процесу, оптимізація в умовах невизначеності

*В работе рассмотрено неопределенности, которые возникают во время решения задач оптимизации технологических процессов. Проанализированы алгоритмы решения задачи оптимизации для указанных видов неопределенностей. На основе опыта автора по решению таких задач, показано сильные и слабые стороны приведенных алгоритмов. Отдельно рассмотрены виды неопределенностей, для которых неизвестны или не проверены методы оптимизации.*

**Ключевые слова:** оптимизация технологического процесса, оптимизация в условиях неопределенности

*In this paper, the uncertainties that arise when solving problems of technological processes optimization are observed. The algorithms of solving the optimization problem for the specified uncertainties' types are analysed. Based on the author's experience in solving such problems, the advantages and disadvantages of the above algorithms are shown. Separately, the types of uncertainties, which methods of optimization for unknown or untested are considered.*

**Keywords:** *technological process optimization, optimization under uncertainty*

### **Вступ**

Задачі оптимізації технологічних процесів і систем є одними з найбільш поширених. Методи розв'язання різних видів задач оптимізації у детермінованих умовах добре відомі та широко застосовуються. Проте ці методи передбачають, що досліднику відома вся інформація про об'єкт дослідження, а самі задачі оптимізації не враховують початкову неточність математичних моделей, що використовуються для їх вирішення, нечіткість заданих вимог, відсутні зміни зовнішніх та внутрішніх факторів технологічної системи під час експлуатації, неточність реалізації розмірів устаткування, тощо [1, 2, 3]. Якщо ж така неточністю враховується у вирішення задачі, то задачу оптимізації слід розглядати в умовах невизначеності.

### **Постановки задачі**

На відміну від задач у детермінованих умовах, які перед усім класифікуються за типом самої задачі, задачі оптимізації в умовах невизначеності на сучасному етапі прив'язані саме до способу описання невизначених параметрів, тобто до виду невизначеності. В даній роботі автор робить спробу оглянути наявні методи оптимізації в умовах різних видів невизначеності та проаналізувати їх з точки зору можливості практичного застосування для оптимізації технологічних систем і процесів.

Метою даної роботи є узагальнення досвіду автора по вирішення задач оптимізації технологічних процесів і систем за різних видів невизначеності.

### **Аналіз досліджень**

На нашу думку, найкраще розробленими на даний час слід вважати задачі оптимізації у нечітких умовах [4, 5]. Їх вирішення передбачає формалізацію нечітко заданих критеріїв у вигляді відомих з теорії нечітких множин функцій приналежності. Існують добре розроблені алгоритми такої формалізації, зокрема за результатами попарних порівнянь або на основі лінгвістично заданих змінних. Серед методів оптимізації за різних видів невизначеності, нечітка невизначеність вигідно відрізняється наявністю чітко сформульованої необхідної і достатньої умови екстремуму, відомої як принцип Беллмана-Заде [5]. Досвід застосування такого підходу для вирішення ряду задач оптимізації, наприклад [6], показав високу їх ефективність. Іншою перевагою такого підходу є однозначність отриманого результату – за результатами оптимізації встановлюється конкретне значення функції приналежності, а на його основі однозначно обчислюється значення цільових функцій та технологічних факторів, які забезпечують таке значення. До недоліків підходу, окрім очевидного факту що не всі задачі оптимізації в умовах невизначеності можна звести до нечітких умов, є елемент неформалізованого прийняття рішень для визначення числових значень коефіцієнтів функцій приналежності. Крім того, в процесі оброблення результатів попарних порівнянь з великою кількістю

альтернатив, виникає математично досить складна задача пошуку власних значень матриць великого розміру.

Задачі розв'язання задач оптимізації в умовах стохастичної невизначеності також достатньо розроблені. В роботі [4] виділяється три класи таких задач: задачі пошуку оптимального значення математичного сподівання, задачі з ймовірнісними обмеженнями та задачі так званого подієвого програмування – пошук екстремуму граничної ймовірності цільової події. Якщо не приймати до уваги задачі оптимізації математичного сподівання, які фактично не відносяться до невизначених, практичне розв'язання задач стохастичного програмування зводиться до наступної послідовності [4]. За складеним планом імітаційного експерименту методом Монте-Карло розігруються значення всіх випадкових величин, які входять в задачу, після чого ймовірність обмеження, або цільової події відповідно, апроксимується за результатами розіграшу. Апроксимація може проводитися, наприклад, нейронною мережею, або звичайним поліномом. В результаті апроксимації задача стохастичного програмування переводиться фактично у задачу нелінійного програмування з обмеженнями, яка розв'язується відомими методами. До переваг такого підходу слід віднести простоту і зрозумілість алгоритму – він є достатньо універсальним, хоча і чисельним з елементами імітаційного розіграшу. Крім того в результаті розв'язання задачі також одержують точкові числові значення технологічних факторів, цільової функції та шуканих граничних ймовірностей. Недоліками, окрім пов'язаних з уже згаданим імітаційним експериментом та обробкою його результатів, слід вважати відсутність необхідної умові екстремуму як для задачі з ймовірнісними обмеженнями, так і подієвого програмування, що унеможлиблює об'єктивну оцінку одержаного результату оптимізації.

Задачі зі статистичною невизначеністю виникають у випадках, якщо похибки експериментів розподілені по закону, відмінному від нормального, що унеможлиблює одержання однозначних незміщених і ефективних точкових оцінок коефіцієнтів рівнянь регресії, які описують досліджуваній процес [5]. В такому випадку доводиться переходити до інтервальних оцінок коефіцієнтів, що тягне за собою інтервальне значення самої цільової функції та інтервальні значення, одержані в результаті розв'язання задачі оптимізації. Алгоритм визначення інтервальних оцінок коефіцієнтів дає чіткі рекомендації лише щодо максимальної та мінімальної, але не оптимальної ширини інтервалів коефіцієнтів. В той же час, прийняття занадто вузьких інтервалів значень коефіцієнтів призведе до одержання порожньої множини розв'язки задачі оптимізації, а прийняття занадто широких – до одержання результатів оптимізації, які співпадають з областю визначення технологічних змінних задачі. Зазначимо, що в задачах зі статистичною невизначеністю важливим етапом є висунення гіпотези про реальний вид залежності між цільовою функцією та технологічними факторами процесу [5]. Процедура висунення та перевірки такої гіпотези не алгоритмізована та повністю покладається на дослідника. Досвід вирішення таких задач, наприклад [7], показав, що в залежності від висунутої гіпотези будуть отримані різні результати оптимізації, інколи не сумісні між собою. Все вищеперераховане слід віднести до недоліків даного підходу. В той же час, в разі вдалого визначення інтервалів коефіцієнтів і вірного прийняття гіпотези про реальний вид залежності, сама процедура оптимізації виконується за достатньо чітким математично обґрунтованим алгоритмом.

Окремо слід виділити види невизначеності, для яких на поточний момент не розроблено або не перевірено ефективність методів вирішення задач оптимізації.

Професор В.М. Дубовой у своїх роботах, зокрема [8] пропонує виділити хаотичний тип невизначеності. Така невизначеність передбачає, що складні системи надзвичайно залежні від початкових умов і незначні зміни впливів на систему призводять до суттєвих наслідків. Слід зазначити, що хаотична невизначеність дійсно періодично спостерігається в системах автоматизованого керування. Зокрема, датчики технологічного параметру, наприклад, витрат, під час роботи на нижній межі своєї чутливості, буде працювати в умовах такої невизначеності. Однак, автору не вдалося знайти роботи, у яких пропонувався б не лише будь-який алгоритм оптимізації за умов вказаної невизначеності, а і узагалі математичний апарат її описання. Згаданий в роботі [8] математичний апарат атракторів, зокрема «дивного атрактора», на нашу думку на може бути використаним в цьому випадку, оскільки не відповідає такій системі за характеристиками параметрів.

На завершення приділимо увагу неодноразово згаданий у різних роботах інтервальній невизначеності. Така невизначеність виникає у випадках, якщо про невизначений параметр відомо лише те, що його значення лежать у межах вказаного інтервалу. Єдина знайдена автором спроба вирішення задачі оптимізації за таких умов належить науковій школі під керівництвом В.А. Холоднова [9]. Для забезпечення опуклості області визначення цільової функції в умовах інтервальної невизначеності у цій роботі використано достатньо оригінальний алгоритм Брандона. Проте, за детального розгляду запропонованого в роботі алгоритму виявилось, що він передбачає фактично розіграш рівномірно розподіленої у невизначеному інтервалі випадкової величини, тобто перехід від задачі оптимізації з інтервальною невизначеністю до задачі зі стохастичною невизначеністю. В той же час, обґрунтування такого переходу вбачається нам сумнівним. Зазначимо, що будь-яку з описаних вище невизначеностей можна звести до інтервальної, однак це навряд чи сприятиме розв'язку задачі оптимізації.

### Висновки

Таким чином, слід констатувати що оптимізація технологічних процесів в умовах часткової невизначеності даних в переважній більшості випадків значно більш наближена до реальних технологічних задач, ніж оптимізація у детермінованих умовах. Існують і широко застосовуються методи оптимізації в умовах стохастичної, нечіткої та статистичної невизначеностей. Зазначимо, що майже усі такі методи передбачають те чи інше прийняття рішень за неформалізованими процедурами.

Методи розв'язання задач оптимізації в умовах невизначеності на даний час не можна вважати достатньо розробленими. Для деяких видів невизначеності методи розв'язання задач відсутні взагалі, для переважної більшості видів невизначеності відсутні необхідні і достатні умови екстремуму.

### Література

1. *Галиш, В. В.* Визначення оптимальних умов процесу одержання комбінованих целюлозно-неорганічних сорбентів / В. В. Галиш, А. М. Шахновський, М. Т. Картель, В. В. Мілютін // Наукові вісті НТУУ "КПІ". – № 1 (2015). – С. 96-103
2. *Борзова, І. С.* Оптимізація промислових схем водного господарства: структурний підхід / І. С. Борзова, А. М. Шахновський, О. О. Квітка // Східноєвропейський журнал передових технологій. – №3 (2013). – С. 44-49.

3. *Складанний, Д. М.* Досвід заснування кластерного алгоритму для багатоекстремальної оптимізації складу полімерного композиту / Д. М. Складанний // Східноєвропейський журнал передових технологій, – №2 (2013), – С. 2-6
4. *Лю, Б.*, Теория и практика неопределенного программирования / Баодин Лю. – , БИНОМ. Лаборатория знаний, 2005. – 416 с.
5. *Воцинин, А. П.*, Оптимизация в условиях неопределенности / А. П. Волошин, Г. Р. Сотиров. – МЭИ(СССР), «Техника» (НРБ), 1989. – 224 с.
6. *Дейкун, І. М.*, Оптимізація процесу одержання целюлози з лляного волокна з формалізацією критеріїв оптимальності / І. М. Дейкун, Д. М. Складанний // Біоресурси і природокористування, Том 10, № 1-2 (2018) С. 56-61.
7. *Бойко, Т. В.*, Моделювання і оптимізація процесу цементації ртуті в умовах статистичної невизначеності / Т. В. Бойко, Д. М. Складанний, Т. Є. Потапенко // Вісник Вінницького політехнічного інституту, № 6 (2017) – С. 21-25.
8. *Дубовой, В. М.*, Ідентифікація та моделювання технологічних об'єктів і систем керування / В. М. Дубовой. – Вінниця : ВНТУ, 2012. – 308 с.
9. *Холоднов, В. А.* Системный анализ и принятие решений. Решение задач оптимизации химико-технологических систем в среде Mathcad и Excel / В. А. Холоднов, М. Ю. Лебедева. СПб.: СПбГТИ (ТУ), 2005. – 220 с.

### **КОМП'ЮТЕРНО-ІНТЕГРОВАНА СИСТЕМА УПРАВЛІННЯ РЕСУРСАМИ ПІДПРИЄМСТВА**

**Захарчук Я. О., Бондаренко С. Г., Тихоліз О. В.**

### **КОМПЬЮТЕРНО-ИНТЕГРИРОВАННАЯ СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ РЕСУРСАМИ ПРЕДПРИЯТИЯ**

**Захарчук Я. О., Бондаренко С. Г., Тихолиз А. В.**

### **COMPUTER-INTEGRATED ENTERPRISE RESOURCES MANAGEMENT SYSTEMS**

**Zakharchuk Y., Bondarenko S., Tikheliz O.**

**Національний технічний університет України  
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»**

**Київ, Україна**

**[zaharchukyana@ukr.net](mailto:zaharchukyana@ukr.net)**

*У статті розглядається комп'ютерно-інтегрована система управління ресурсами підприємства, а також її функції та перспективи розвитку.*

***Ключові слова:** інформаційна система, інформація, підприємство, управління, виробничі процеси, автоматизована система*