

## ВИРІШЕННЯ ПРОБЛЕМ БАГАТОКРИТЕРІАЛЬНОСТІ В ОЦІНЦІ ДІЯЛЬНОСТІ ПІДПРИЄМСТВА НА ОСНОВІ МЕТОДІВ БАГАТОКРИТЕРІАЛЬНОЇ ОПТИМІЗАЦІЇ

© 2017 МАЛЯРЕЦЬ Л. М., МІНЕНКОВА О. В.

УДК 519.863:005.585:005.936.3

Малярець Л. М., Міненкова О. В.

### Вирішення проблем багатокритеріальності в оцінці діяльності підприємства на основі методів багатокритеріальної оптимізації

Обґрунтовано доцільність використання методів багатокритеріальної оптимізації для вирішення проблем багатокритеріальності в оцінці діяльності підприємства. Проведено аналіз сучасних методів багатокритеріальної оптимізації. Розглянуто різні класифікаційні ознаки багатокритеріальних оптимізаційних задач. Детально проведений аналіз методів багатокритеріальної оптимізації, таких як: без участі ОПР; які ґрунтуються на скалярній згортці критеріїв в один; використовують обмеження на критерії; головного критерію; послідовних поступок; цільового програмування; де застосовується принцип гарантованого результату; Штойєра-Чу; STEM; з використанням нечіткої логіки; FFANN; які використовують генетичні алгоритми на імітаційні моделі. Виокремлено переваги та недоліки розглянутих методів розв'язування задач багатокритеріальної оцінки діяльності підприємства на основі збалансованої системи показників. Існування великого набору методів розв'язування БОЗ у моделюванні збалансованої системи показників надає широкі можливості для управління діяльністю підприємства. В статті пропонується метамодель багатокритеріальної оптимізації збалансованої системи показників оцінки діяльності підприємства.

**Ключові слова:** оцінка діяльності підприємства, багатокритеріальність, багатокритеріальна задача оптимізації, частинні критерії, збалансована система показників.

Табл.: 1. Формул: 4. Бібл.: 12.

**Малярець Людмила Михайлівна** – доктор економічних наук, професор, завідувач кафедри вищої математики та економіко-математичних методів, Харківський національний економічний університет ім. С. Кузнеця (пр. Науки, 9а, Харків, 61166, Україна)

E-mail: malyarets@ukr.net

**Міненкова Олена Вадимівна** – здобувач кафедри вищої математики та економіко-математичних методів, Харківський національний економічний університет ім. С. Кузнеця (пр. Науки, 9а, Харків, 61166, Україна)

E-mail: elenkavl21@rambler.ru

УДК 519.863:005.585:005.936.3

UDC 519.863:005.585:005.936.3

### Малярець Л. М., Мінєнкова Е. В. Решение проблем многокритериальности в оценке деятельности предприятия на основе методов многокритериальной оптимизации

Обоснована целесообразность использования методов многокритериальной оптимизации для решения проблем многокритериальности в оценке деятельности предприятия. Проведен анализ современных методов многокритериальной оптимизации. Рассмотрены различные классификационные признаки многокритериальных оптимизационных задач. Подробно проведен анализ методов многокритериальной оптимизации таких как: без участия ЛПР; основанные на скалярной свертке критериев в один; с использованием ограничения на критерии; главного критерия; последовательных уступок; целевого программирования; где применяется принцип гарантированного результата; Штойера-Чу; STEM; с использованием нечеткой логики; FFANN; которые используют генетические алгоритмы на имитационные модели. Выделены преимущества и недостатки рассмотренных методов решения задач многокритериальной оценки деятельности предприятия на основе сбалансированной системы показателей. Существование большого набора методов решения БОЗ в моделировании сбалансированной системы показателей предоставляет широкие возможности для управления деятельностью предприятия. В статье предложена метамодель многокритериальной оптимизации сбалансированной системы показателей оценки деятельности предприятия.

**Ключевые слова:** оценка деятельности предприятия, многокритериальность, многокритериальная задача оптимизации, частные критерии, сбалансированная система показателей.

Табл.: 1. Формул: 4. Библ.: 12.

### Malyarets L. M., Minenkova O. V. Solving the Problems of Multicriteria Optimization Methods

The expediency of using multicriteria optimization methods for solving multicriteria problems in evaluation of the enterprise activity is substantiated. The analysis of modern methods of multicriteria optimization is carried out. Various classification characteristics of multi-core optimization problems are considered. There carried out a detailed analysis of such methods of multicriteria optimization as without participation of decision-makers; based on the scalar convolution of the criteria into one; using a criterion constraint; method of the main criterion; successive concessions method; targeted programming; method where the principle of guaranteed result is applied; the method of Steuer and Choo; STEM; using fuzzy logic; FFANN; methods that use genetic algorithms for simulation models. The advantages and disadvantages of the considered methods of solving the problems of multicriteria evaluation of the enterprise activity based on the balanced system of indicators are singled out. The existence of a large set of methods for solving MOP in modeling a balanced system of indicators provides ample opportunities for managing the enterprise activity. The article proposes a metamodel of multicriteria optimization of a balanced system of indicators for the enterprise activity evaluation.

**Keywords:** enterprise activity evaluation, multicriteria, multicriteria optimization problem, partial criteria, balanced scorecard.

Табл.: 1. Formulae: 4. Bibl.: 12.

**Malyarets Lyudmyla M.** – Doctor of Science (Economics), Professor, Head of the Department of Higher Mathematics and Economics and Mathematical Methods, Simon Kuznets Kharkiv National University of Economics (9a Nauky

**Маларець Людмила Михайлівна** – доктор економічних наук, професор, завідувач кафедри, кафедра вищої математики і економіко-математических методів, Харківський національний економічний університет ім. С. Кузнеця (пр. Науки, 9а, Харків, 61166, Україна)

**E-mail:** malyarets@ukr.net

**Миненкова Елена Вадимовна** – соискатель кафедры высшей математики и экономико-математических методов, Харьковский национальный экономический университет им. С. Кузнеця (пр. Науки, 9а, Харків, 61166, Україна)

**E-mail:** elenkavl21@rambler.ru

Ave., Kharkiv, 61166, Ukraine)

**E-mail:** malyarets@ukr.net

**Minenkova Olena V.** – Applicant of the Department of Mathematics and Economics and Mathematical Methods, Simon Kuznets Kharkiv National University of Economics (9a Nauky Ave., Kharkiv, 61166, Ukraine)

**E-mail:** elenkavl21@rambler.ru

Складні умови життєдіяльності промислових підприємств потребують від них економічної стійкості, яка, в свою чергу, забезпечується багатокритеріальним розвитком. З іншого боку, виконання умов комплексності, системності та повномасштабності оцінки діяльності підприємства можливе на основі врахування багатьох критеріїв діяльності. Оскільки опис діяльності здійснюється за допомогою ієрархічної системи показників, які є визначальними описовими ознаками діяльності підприємства як об'єкта моделювання, то постає проблема встановлення критеріїв оцінки. Критеріями називають кількісні показники властивостей об'єкта, числові значення яких являються мірою якості об'єкта оцінки щодо цієї властивості. Отримання набору критеріїв є кінцевим підсумком ієрархічної декомпозиції [1]. Безумовно, будь-яка багатокритеріальна задача може бути наведена ієрархічною системою, на нижчих рівнях якої здійснюється оцінка об'єкта за окремими властивостями за допомогою векторів критеріїв, а на верхньому рівні за допомогою механізму композиції отримується оцінка об'єкта в цілому.

На наш погляд, існування ключових характеристик діяльності підприємства обумовлює їх розгляд як основних видів критеріїв оцінки діяльності. Зміст і величина критеріїв і є умовою об'єктивності, адекватності, достовірності оцінки діяльності підприємства. Саме від переліку, змістовної суті, структури критеріїв, їх співвідношення між собою та обчислювального алгоритму отримання величини розрізняють методи оцінки діяльності підприємства в економіці.

Оскільки об'єктивність оцінки діяльності залежить від врахування саме багатокритеріальності діяльності, то величина оцінки ґрунтується на математичному методі отримання цієї величини. Математичними проблемами багатокритеріальності в оцінці діяльності підприємства займалися багато вітчизняних учених, а саме: Вітлінський В. В. [2], Кизим М. О. [3], Клебанова Т. С. [4], Маларець Л. М. [5], Морозов О. О. [6], Пономаренко В. С. [5] та ін. Але багато питань залишилось поза увагою вчених, зокрема, врахування багатокритеріальності в оцінці діяльності підприємства на основі застосування багатокритеріальної оптимізації.

Фахівці з проблем математичного програмування, математичних методів Холод Н. І., Кузнецов Л. В., Жихар Я. Н. вважають, що серед багатокритеріальних задач слід виокремлювати чотири типи задач, а саме: 1) задачі оптимізації на множині цілей, кожна з яких повинна бути врахована при виборі оптимального розв'язку. До цього

типу відносяться задачі складання плану роботи підприємства, в якій критеріями є економічні показники; 2) задачі оптимізації на множині об'єктів, якість функціонування кожного з яких оцінюється окремими критеріями. Це задача розподілу дефіцитного ресурсу між підприємствами, при цьому критерієм оптимальності є ступінь задоволення їх потреб у ресурсі або отримання максимуму прибутку; 3) задача оптимізації на множині умов функціонування, відповідно до кожної якості функціонування оцінюється деяким частинним критерієм; 4) задачі оптимізації на множині етапів функціонування, де якість управління на кожному з них оцінюється частинним критерієм, а загальна якість – загальним векторним критерієм. Прикладом цього типу задач є задача розподілу квартального плану цеха за декадами із критерієм максимізації завантаження в кожній декаді кварталу [7].

При розробці методів розв'язання векторних задач вирішують ряд особливих проблем. До них відносяться проблема нормалізації, проблема вибору принципу оптимальності, проблема врахування пріоритету критеріїв, проблема обчислення оптимуму. Оскільки проблема нормалізації обумовлена різними одиницями та масштабами вимірювання показників чи складових загального критерію, то вона може бути вирішена методом, за допомогою якого побудована. Проблема вибору принципу оптимальності пов'язують із визначенням властивостей оптимального розв'язку та вирішення питання переваги оптимального розв'язку порівняно з іншими. Проблема врахування пріоритету частинних критеріїв виникає у випадку різної важливості їх. Вирішення цієї проблеми можливе різними способами: евристичним шляхом або з використанням математичних методів.

Багатокритеріальні задачі можуть класифікуватись за такими ознаками: за варіантами оптимізації, за числом критеріїв, за типами критеріїв, за співвідношеннями між критеріями, за рівнем структуризації, за наявністю фактора невизначеності [1–7].

Отже, початковими етапами багатокритеріальної оптимізації є визначення системи критеріїв, встановлення співвідношення між ними на суперечливість чи узгодженість дії в одному напрямку, виявлення взаємозв'язку між критеріями, оцінка впливу частинних показників на критерії і на основі цього покращення тих чи інших критеріїв за рахунок зміни значень показників.

Вважається, що найбільш важливою із класифікаційних ознак методів багатокритеріальної оптимізації є ознака за функціями особи, яка приймає рішення (ОПР), а саме:

1) методи пошуку оптимального розв'язку без участі ОПР; 2) апостеріорні методи; 3) апіорні методи; 4) інтерактивні методи [8–11]. В першій групі методів вирішальне правило або безпосередній критерій будується без участі ОПР на основі деякої аксіоматики. Тут задача полягає в пошуку деякого компромісного розв'язку зазвичай в «центральної частині» фронту Парето. До цієї групи методів належать методи глобального критерію і метод нейтрального компромісного розв'язку. Відмінністю апостеріорних методів є уточнення розв'язку багатокритеріальних оптимізаційних задач ОПР на основі своїх переваг після того, як отримана деяка множина недомінуючих розв'язків. Ці методи ґрунтуються на апроксимації фронту Парето та передбачають використання еволюційних алгоритмів. Загальним недоліком цих методів є великі обчислювальні затрати.

В методах, що утворюють групу апіорних методів розв'язання БОЗ, ОПР вносить коригування до початку реалізації обчислювальної процедури, яка зазвичай спрямована на зведення багатокритеріальної задачі до однокритеріальної. Сюди відносять методи скалярної згортки, метод обмежень, лексикографічне упорядкування та методи цільового програмування.

Загальним обчислювальним алгоритмом цих методів є логіка таких обчислювальних етапів: 1) знаходиться ідеальна точка  $y^* = f(x^*)$  та здійснюється вибір вагових коефіцієнтів  $\alpha_i$  (деяке додатне число, що характеризує відносну важливість критеріїв, при цьому  $\sum_{i=1}^m \alpha_i = 1, \alpha_i \geq 0, i = \overline{1, k}$ );

2) розв'язується задача  $F = \sum_{i=1}^m \alpha_i f_i(x) \rightarrow \max$ . Частинні критерії у згортці можуть бути нормованими; 3) знайдений розв'язок  $f(x^k)$  порівнюється з  $y^* = f(x^*)$  або з точками, знайденими на попередніх ітераціях. Якщо цей розв'язок задовольняє ОПР, то процедура обчислення завершена. В протилежному випадку ОПР назначає нові вагові коефіцієнти, й обчислювальний алгоритм продовжується доти, поки ОПР не буде задоволений розв'язком. Отриманий розв'язок є оптимальним за Парето. Недоліком є те, що малим приростам коефіцієнтів відповідають великі прирости функції, тобто розв'язок задачі не стійкий, а також недоліком є необхідність обґрунтування вагових коефіцієнтів.

До методів, які використовують обмеження за критеріями, відносяться два методи, а саме: 1) метод головного або провідного критерію; 2) метод послідовного застосування критеріїв (метод послідовних поступок, метод обмежень).

Метод послідовних поступок має такий алгоритм обчислень: 1) критерії нумеруються за порядком зменшення важливості; 2) визначається значення  $f_1^*$  та для нього встановлюється величина поступки  $\Delta_1$ ; 3) розв'язується задача за критерієм  $f_2$  з додатковим обмеженням  $f_1(x) \geq f_1^* - \Delta_1$ . Далі етапи 2 і 3 повторюються для критеріїв  $f_2, \dots, f_k$ . Але тут теж отриманий розв'язок слід перевіряти на предмет належності до області компромісів.

Вважається, що метод поступок при нульових поступках збігається з лексикографічним методом розв'язування БОЗ. У задачах лексикографічного програмування критерії строго упорядковані за важливістю: в порівнянні пари розв'язків в першу чергу використовується критерій  $f_1$  і кращим вважається той розв'язок, для якого значення цього критерію більше. У разі якщо значення першого критерію для обох розв'язків однакові, то застосовується критерій  $f_2$ , і перевага віддається тому розв'язку, для якого значення  $f_2$  більше. Якщо і другий критерій не дозволяє визначити кращий розв'язок, то залучається  $f_3$  і так далі до  $f_k$ . Цей метод має недоліки: по-перше, невеликі зміни параметрів задачі можуть призвести до істотної зміни розв'язку; по-друге, необхідність визначення поступок за відсутності інформації про наслідки цих кроків. Як перевагу цього методу виділяють концепцію обмежень, які накладають на значення критеріїв. Ці методи ще мають назву неструктурованих методів, оскільки ОПР має визначити переваги того чи іншого частинного критерію.

В методах, які ґрунтуються на відшуванні компромісного розв'язку, застосовується принцип гарантованого результату. Така багатокритеріальна оптимізаційна задача має вигляд:

$$\max \min F(X) = (f_1, \dots, f_k).$$

Існують різні модифікації цього методу. Так, в [9] запропонована оригінальна модифікація цього методу. Нехай  $\lambda_j(X)$  – величина нормованого критерію

$$\lambda_j(X) = \frac{f_j(X)}{f_j^*}, \quad (j = \overline{1, k}).$$

$$\text{Цільова функція має вигляд } \lambda^0(X) = \max_X \min_j \lambda_j(X).$$

Якщо  $\lambda = \min_j \lambda_j(X)$ , то  $\lambda - \lambda_j(X) \leq 0$ , і задача матиме вигляд:

$$\lambda^i = \lambda(\max),$$

$$\lambda - \lambda_j(X) \leq 0 \quad (j = \overline{1, k}),$$

$$q_i(X) \leq b_i, \quad (i = \overline{1, m}),$$

$$X \geq 0.$$

Отриманий розв'язок є ефективним. Значення цільової функції  $0 \leq \lambda^0 \leq 1$ , при цьому чим менше  $\lambda^0$ , тим між критеріями більше протиріччя.

Вважається, що цей метод доцільно використовувати, якщо задані пріоритети в критеріях на багатовекторні задачі.

В цій групі методів використовується інформація про переваги ОПР, що відображається в загальному критерію, що часто реалізується на основі концепції функції корисності у вигляді:  $F(X) = (\max_{x \in X} U(f(x^*))) = \max_{x \in X} U(f(x))$ .

Ці методи мають найкраще теоретичне підґрунття та ґрунтуються на побудові функції корисності  $U(f(x))$ , яка відображає переваги ОПР. При побудові функції корисності слід пам'ятати одну важливу особливість функції корисності: якщо  $U(y)$  – функція корисності на  $Y$ , яка відображає перевагу деякої ОПР,  $\phi(t)$  – строго зростаюча функція на

$R^1$ , то функція  $\tilde{U}(y) = \phi(U(y))$  також є функцією корисності, яка відображає перевагу цієї ОПР. Інакше кажучи: якщо для бінарного відношення переваги цієї ОПР існує хоча б одна функція корисності, то їх існує нескінченно багато. Проте це не є проблемою, оскільки інтерес становить не сама функція корисності, а поверхня байдужості, що нею визначається, тобто розв'язок рівняння  $U(y) = const$ , які не змінюються при такому перетворенні функції корисності.

До цієї групи методів розв'язування БОЗ відносить і метод аналізу ієрархій. Цей метод також ґрунтується на лінійній згортці критеріїв. Цей метод, пропонується Т.Сааті, ґрунтується на модифікації процедури призначення вагових коефіцієнтів, а саме: спочатку слід визначити показники відносної важливості критеріїв  $a_{ij}$ ,  $i = \overline{1, K}$ ,  $j = \overline{1, K}$ , величина яких вимірюється за шкалою  $(1, 2, \dots, 9)$ .

Цей метод має недоліки не тільки лінійної згортки, але і свої – введення додаткового неефективного критерію може призвести до такого зміння вагових коефіцієнтів, що призведе до зміння розв'язку задачі. Але тут також треба зазначити, що цей тип БОЗ широко застосовується у вирішенні задач прийняття управлінських рішень.

Серед методів розв'язування БОЗ виокремлюється метод ELECTRE. Він запропонований відомим французьким ученим Б. Руа і є одним із перших методів, що утворили напрямку у галузі методів підтримки вибору зі скінченного числа альтернатив при декількох критеріях. В методі ELECTRE замість функції корисності будується правило у вигляді бінарного відношення, яке дозволяє виділити підмножину альтернатив із вихідної сукупності. Перевагою цього методу є те, що критеріями можуть бути як кількісні, так і якісні показники. Істотним недоліком цього методу є необхідність обґрунтування ОПР вагових коефіцієнтів для частинних критеріїв, визначення ціни переходу із класу в клас для побудови індексів узгодженості, вибір та обґрунтування чисел  $p$  і  $q$  для побудови бінарного відношення.

Безумовну перевагу мають ітеративні методи БОЗ завдяки організації їх обчислювального алгоритму в діалоговому режимі та постійному контролю параметрів обчислення ОПР. Зокрема, це відноситься до процедури визначення вагових коефіцієнтів загального критерію, який дозволяє згорнути частинні критеріїв у пошуку оптимального розв'язку БОЗ. Цю групу методів іноді називають методами інтерактивного програмування. На етапах розв'язування задачі ОПР може активно брати участь у процедурах розв'язування, а саме може вводити або змінити задані раніше вагові коефіцієнти або поступки за критеріями, визначити напрямку оптимізації. Ця інформація може бути основою для постановки нової задачі або отримання проміжного результату. Такий інтерактивний процес розв'язування задачі може продовжуватись доти, поки ОПР не буде задоволений розв'язком. Перевагою цього методу є те, що ОПР в процесі розв'язування задачі використовує свій досвід і знання.

До структурованих методів відносяться метод Джоффіона-Дайера-Файнберга, метод Зайонца-Валеніуса, метод Штойера, метод Штойера-Чу для нелінійних

задач. Характерною рисою структурованих методів є використання: 1) градієнтів; 2) вагових коефіцієнтів; 3) цільових точок; 4) обмежень.

На сьогодні існує велика група методів розв'язування БОЗ, в процесі яких ОПР отримує проміжні результати в графічному зображенні. Одним із них є метод, який використовує ідеї методу Джоффіона-Дайера-Файнберга і є одним із перших ітеративних методів, які ґрунтуються на візуалізації. На відміну від методу GDF, всі поточні розв'язки оптимальні за Парето, а градієнт функції корисності проектується на межу Парето. Далі ОПР вказує вподобану точку на цій проекції. Згідно з методом GDF тут взяті способи визначення градієнта функції і підтримка вибору точки одновимірної кривої у просторі критеріїв. Складністю цього методу є визначення градієнта функції корисності, проте він має добру швидкість збіжності.

Розвитком методів розв'язування БОЗ у сучасних умовах є використання інструментів нечіткої логіки. Так, Морозов О. О. вважає, що граничні значення показників ефективності складних організаційно-технічних систем (СОТС) є нечіткими [12]. Сам обчислювальний алгоритм розв'язання БОЗ пропонує реалізувати в таких етапах. На першому етапі сформувані граничні значення показників ефективності СОТС. Для цього для кожного показника формується функція належності  $\mu_{ij}^{(k)}$ ,  $k = \overline{1, \sigma}$

з індексом нечіткості  $v_{ij} = \frac{2}{\sigma} \sum_{k=1}^{\sigma} \Lambda(\mu_{ij}^{(k)}, 1 - \mu_{ij}^{(k)})$ , де

$\sigma$  – кількість характеристики інформації, що виділяється,  $\mu_{ij}^{(k)}$  – функції належності, які відповідають різним характеристикам інформації (ступінь формалізації вихідних даних, ступінь повноти, ступінь важливості тощо). Далі пропонується ввести такі функції належності

$\mu_{\cup ij} = \frac{1}{\sigma} \sum_{k=1}^{\sigma} m_{ijm} \cdot \mu_{ij}^{(k)}$ ,  $\mu_{\cap ij} = \frac{1}{\sigma} \sum_{k=1}^{\sigma} m_{ijm} \cdot \mu_{ij}^{(k)}$ , де

$m_{ijm}$  – ваговий коефіцієнт інформаційної характеристики  $k$ . Морозов О. О. вважає, що значення  $\mu_{\cup ij}$  та  $\mu_{\cap ij}$  можна отожднювати зі значеннями коефіцієнтів ваги показників ефективності СОТС. Автор вважає, що алгоритм багатокритеріальної оптимізації СОТС, який він пропонує, за умов невизначеності вихідної інформації про бажаний вигляд системи дозволяє отримувати ефективні управлінські рішення. Але тут, на наш погляд, дискусійним є припущення щодо великого рівня невизначеності, апріорним твердження про те, що відшуканий розв'язок може бути далеким від того, що може бути отриманий у реальних умовах.

Сучасними підходами до розв'язування БОЗ є підходи, які ґрунтуються на імітаційних моделях і використовують генетичні алгоритми [8]. Задача оптимізації на основі імітаційного моделювання формулюється так: необхідно знайти значення вхідних змінних (факторів), які оптимізують основний вихідний показник системи – загальний критерій (відгук). При цьому передбачається, що функція відгуку не може бути обчислена аналітично, але може бути обчислена за допомогою імітаційного моделювання, тобто за допомогою проведення імітаційного експерименту з мо-

делю складної системи. За допомогою імітаційних моделей обчислюється значення відгуку для різних комбінацій значень факторів, які пропонує алгоритм оптимізації. Пошуковий алгоритм оптимізації, використовуючи значення відгуку, покращує розв'язок. Тут однією з основних проблем є проблема тривалих прогонів імітаційних моделей, а також проблема попередньої збіжності алгоритму оптимізації. Для розв'язування задач БОЗ з використанням імітаційних моделей і генетичних алгоритмів рекомендують застосовувати такі програмні продукти AutoStat AutoSimulations (Inc AutoMod), програми моделювання AutoSched, процедури пошуку: еволюційні стратегії; OptQuest Optimization (Technologies, Inc.), програми моделювання: Arena, Micro Saint, QUEST процедури пошуку: пошук з розсіюванням, пошук із заборною, нейронні мережі; OPTIMIZ (Visual Thinking International Ltd.), програми моделювання процедури пошуку: еволюційні стратегії, нейронні мережі; SimRunner2 (PROMODEL Corp.), програми моделювання: MedModel, ProModel, Service Model процедури пошуку: еволюційні стратегії, генетичні алгоритми; WITNESS Optimizer (Lanner Group, Inc.), програми моделювання WITNESS, процедури пошуку: імітація отжигу, пошук з заборною. В більшості пакетів оптимізації як процедури пошуку розв'язків використовуються еволюційні стратегії та генетичні алгоритми, які добре себе зарекомендували як універсальні алгоритми глобального пошуку, що дозволяють знаходити квазіоптимальні розв'язки за допустимий термін. Розв'язування БОЗ ґрунтується на розробці метамоделі, яка є наближеною математичною

моделлю, що отримана в результаті експериментів із імітаційною моделлю з метою заміщення останньої при оптимізації. При чому основними методами побудови метамоделей є регресійні моделі та штучні нейронні мережі (НМ) завдяки їх апроксимуючим можливостям. Так, відомі алгоритми реалізації пошуку розв'язку за допомогою еволюційних обчислень і нейромережних метамоделей: алгоритм на основі контролю особин та алгоритм на основі контролю поколінь [9], а також алгоритм, який ґрунтується на стратегії інформованості операторів генетичних алгоритмів, що передбачає генерацію великої кількості нащадків в операторах схрещування і мутації генетичного алгоритму, та подальших обчисленнях їх функцій придатності за допомогою метамоделі [10; 11].

Отже, аналіз сучасних методів БОЗ дозволив конкретизувати їх переваги та недоліки для розв'язування задачі багатокритеріальної оцінки діяльності підприємства на основі моделювання збалансованої системи показників. В табл. 1 наведено результати цього аналізу.

Отже, метамоделювання багатокритеріальної оптимізації збалансованої системи показників оцінки діяльності підприємства така:

Знайти максимум рівня ефективності діяльності підприємства:

$$F = (f_{\text{ФС}}, f_{\text{СВВП}}, f_{\text{КС}}, f_{\text{СНІРП}}) \rightarrow \max,$$

де  $f_{\text{ФС}}, f_{\text{СВВП}}, f_{\text{КС}}, f_{\text{СНІРП}}$  – частинні критерії оцінки діяльності підприємства (перший рівень):

- фінансової складової (ФС);

Таблиця 1

Аналіз методів розв'язання багатокритеріальних оптимізаційних задач для оцінки діяльності підприємства

№	Назва методу	Недоліки методу	Переваги методу	Задача, для якої рекомендується цей метод
1	2	3	4	5
1	Методи без участі ОПР	Не враховуються переваги, влгодобання ОПР	Строге математичне підґрунття	Оптимізація значень показників діяльності підприємства
2	Методи, які ґрунтуються на скалярній згортці критеріїв в один	Експертне встановлення вагових коефіцієнтів	Визначення ключових, пріоритетних критеріїв	Визначення максимального рівня оцінки діяльності підприємства з урахуванням важливості частинних показників
3	Методи, які використовують обмеження на критерії	Необхідність обґрунтування обмежень на критерії	Можливість розгляду допустимих інтервалів змін значень критеріїв	Визначення оптимальних значень показників із урахуванням виробничо-господарських можливостей підприємства
4	Метод головного критерію	Встановлення пріоритету лише одному критерію	Акцентування уваги ключовому критерію і можливість управління	Оптимізація значень показників діяльності підприємства зі встановленням головної цілі
5	Метод послідовних поступок	Розв'язок слід перевіряти на предмет належності до області компромісів	Реалізація концепції обмежень, які накладають на значення критеріїв	Оптимізація значень показників діяльності підприємства з визначенням стійкості діяльності
6	Методи цільового програмування	Невеликі зміни параметрів задачі можуть призвести до істотної зміни розв'язку	Враховання переваг ОПР	Визначення оптимальних значень показників для досягнення стійкості функціонування підприємства
7	Метод, де застосовується принцип гарантованого результату	Встановлення нижніх меж змін показників	Розв'язок є ефективним	Оптимізація значень показників діяльності підприємства з гарантованою ефективністю

Закінчення табл. 1

1	2	3	4	5
8	На основі концепції функції корисності	Необхідність надання інформації ОПР для побудови функції корисності	Врахування вподобань ОПР	Визначення оптимальних значень показників діяльності з урахуванням переваг ОПР в управлінні
9	Метод аналізу ієрархій	Необхідність надання інформації ОПР в порівнянні критеріїв	Врахування переваг ОПР	Визначення оптимальних значень показників діяльності на основі аналізу їх доцільності
10	Метод ELECTRE	Необхідність обґрунтування ОПР вагових коефіцієнтів для частинних критеріїв, визначення ціни переходу із класу в клас для побудови індексів узгодженості	Критерії можуть бути як кількісні, так і якісні показники.	Визначення оптимальних значень показників діяльності на основі цілеспрямованого управління з урахуванням переваг напрямів діяльності
11	Метод Джоффріона-Дайера-Файнберга (GDF)	Багатократне попарне порівняння критеріальних поступок	Швидка збіжність методу	Оптимізація значень показників діяльності із забезпеченням стійкості
12	Метод Зайонца-Валеніуса	Багатократне порівняння двох багатовимірних альтернатив	Достатньо швидка збіжність методу	Оптимізація значень показників діяльності із урахуванням доцільності альтернатив
13	Метод Штойєра	Метод є складним, оскільки ОПР потрібно вибирати з 3m багатокритеріальних альтернатив	Необов'язковість умов лінійності функції корисності	Максимізація ефективності діяльності з урахуванням переваг в управлінні
14	Метод Штойєра-Чу	Складність реалізації обчислювального алгоритму	Можливість розв'язування нелінійних задач	Максимізація ефективності діяльності з урахуванням реальних нелінійних тенденцій змін значень показників та їх взаємозв'язку
15	Метод STEM	Евристичний вибір змін значень критеріїв	Розв'язок оптимальний за Парето	Максимізація ефективності діяльності з урахуванням переваг у змінах значень показників
16	Методи з використанням нечіткої логіки	Втрата чітких границь змін критеріїв	Можливість використання в умовах повної або часткової визначеності та використання неметричних величин	Максимізація ефективності діяльності з урахуванням умов невизначеності функціонування
17	Метод FFANN	Необхідність програмної реалізації у спеціальних програмних середовищах	Використання інформації ОПР та діалогова процедура пошуку розв'язку	Максимізація ефективності діяльності підприємства з відшуканням оптимальних значень показників із урахуванням пріоритетних напрямів функціонування
18	Методи, які використовують генетичні алгоритми на імітаційні моделі	Складність обчислень, необхідність програмної реалізації у спеціальних програмних середовищах	Використання апроксимації, універсальних процедур пошуку	Максимізація ефективності діяльності підприємства з урахуванням тенденцій змін значень показників

$$f_{\text{ФС}} = f(x_{11}, x_{12}, x_{13}, x_{14}, x_{15}, x_{17}) \rightarrow \max,$$

- складової внутрішніх бізнес-процесів (СВВП):

$$f_{\text{СВВП}} = f(x_{22}, x_{24}, x_{25}, x_{26}, x_{27}, x_{28}, x_{29}, x_{30}) \rightarrow \max,$$

- клієнтської складової (КС):

$$f_{\text{КС}} = f(x_{32}, x_{33}, x_{35}, x_{36}, x_{37}) \rightarrow \max,$$

- складової навчання й розвитку персоналу (СНРП):

$$f_{\text{СНРП}} = f(x_{41}, x_{42}, x_{43}, x_{44}) \rightarrow \max,$$

- частинні критерії складових діяльності підприємства (другий рівень):

$$f_{11} = f(x_{11}) \rightarrow \max,$$

$$f_{15} = f(x_{15}) \rightarrow \max,$$

$$f_{12} = f(x_{12}) \rightarrow \max,$$

$$f_{17} = f(x_{17}) \rightarrow \max,$$

$$f_{13} = f(x_{13}) \rightarrow \max,$$

$$f_{22} = f(x_{22}) \rightarrow \max,$$

$$f_{14} = f(x_{14}) \rightarrow \max,$$

$$f_{24} = f(x_{24}) \rightarrow \max,$$

$$\begin{aligned}
 f_{25} &= f(x_{25}) \rightarrow \min, & f_{35} &= f(x_{35}) \rightarrow \max, \\
 f_{26} &= f(x_{26}) \rightarrow (\min)\max, & f_{36} &= f(x_{36}) \rightarrow \max, \\
 f_{27} &= f(x_{27}) \rightarrow \max, & f_{37} &= f(x_{37}) \rightarrow (\min)\max, \\
 f_{28} &= f(x_{28}) \rightarrow \max, & f_{41} &= f(x_{41}) \rightarrow (\min)\max, \\
 f_{29} &= f(x_{29}) \rightarrow \max, & f_{42} &= f(x_{42}) \rightarrow \max, \\
 f_{30} &= f(x_{30}) \rightarrow (\min)\max, & f_{43} &= f(x_{43}) \rightarrow \max, \\
 f_{32} &= f(x_{32}) \rightarrow (\min)\max, & f_{44} &= f(x_{44}) \rightarrow (\min)\max. \\
 f_{33} &= f(x_{33}) \rightarrow \max,
 \end{aligned}$$

Таким чином, існування великого набору методів розв'язування БОЗ в моделюванні збалансованої системи показників надає широкі можливості для управління діяльністю підприємства. Це, по-перше, визначення реально можливого досягнення максимального рівня ефективності діяльності на основі оптимальних значень основних показників діяльності, структурованих за основними критеріями діяльності, по-друге, визначення умов стійкості функціонування підприємства зі збереженням відповідного рівня ефективності діяльності; по-третє, отримання оптимальних значень показників діяльності, які можна використовувати як еталонні при здійсненні оцінки діяльності, й обґрунтування планових і бажаних значень показників при розробленні та коригуванні стратегій на підприємстві.

#### ЛІТЕРАТУРА

1. Воронин А. Н. Иерархические модели принятия решений в многокритериальных задачах. *International book series "Information science and computing"*. URL: [http://www.foibg.com/ibs\\_isc/ibs-03/IBS-03-p11.pdf](http://www.foibg.com/ibs_isc/ibs-03/IBS-03-p11.pdf)
2. Вітлінський В. В., Наконечний С. І., Шарапов О. Д. Економічний ризик і методи його вимірювання: підручник. Київ: ІЗМН, 1996. 400 с.
3. Кизим М. О., Забродський В. А., Зінченко В. А., Копчак Ю. С. Оцінка і діагностика фінансової стійкості підприємства: монографія. Харків: ВД «ІНЖЕК», 2003. 144 с.
4. Клебанова Т. С., Гурьянова Л. С., Рогович А. Т. Механізми і моделі управління кризовими ситуаціями. Харків: ІД «ІНЖЕК», 2007. 200 с.
5. Пономаренко В. С., Малярець Л. М. Аналіз даних у дослідженнях соціально-економічних систем: монографія. Харків: ВД «ІНЖЕК», 2009. 432 с.
6. Морозов О. О. Багатокритеріальна оптимізація складних організаційно-технічних систем за умови невизначеності інформації. *Збірник наукових праць Академії внутрішніх військ МВС України*. 2013. Вип. 1 (21). С. 36–40.
7. Экономико-математические методы и модели: учеб. пособие/под общ. ред. А. В. Кузнецова. Мн.: БГЭУ, 1999. 416 с.
8. Афонин П. Система оптимизации на основе имитационного моделирования, генетического алгоритма и нейросетевых метамоделей // XIII-th International conference "Knowledge-Dialogue-Solution" (June 18–24, 2007, Varna (Bulgaria)). URL: <http://www.uzhnu.edu.ua/uk/infocentre/get/3926>
9. Jin Y., Olhofer M., Sendhoof B. A framework for evolutionary optimization with approximate fitness functions. *IEEE Transactions on Evolutionary Computation*. 2002. Vol. 6, № 5. P. 481–494.
10. Rasheed K., Hirsh H. Informed operators: Speeding up genetic-algorithm-based design optimization using reduced models // The Genetic and Evolutionary Computation Conference (GEC-2000). Las Vegas: Morgan Kaufmann, 2000. P. 628–635.
11. Persson A., Grimm H., Ng A. Metamodel-assisted global search using a probing technique // The IAENG International Conference on Artificial Intelligence and Applications (ICAIA'07), 2007.
12. Орловский С. А. Проблемы принятия решений при нечеткой исходной информации. М.: Наука, 1981. 203 с.

#### REFERENCES

- Afonin, P. "Sistema optimizatsii na osnovе imitatsionnogo modelirovaniya, geneticheskogo algoritma i neyrosetevykh meta-modely" [System optimization based on simulation modeling, genetic algorithm and neural network metamodels]. <http://www.uzhnu.edu.ua/uk/infocentre/get/3926>
- Ekonomiko-matematicheskiye metody i modeli* [Economic-mathematical methods and models]. Minsk: BGEU, 1999.
- Jin, Y., Olhofer, M., and Sendhoof, B. "A framework for evolutionary optimization with approximate fitness functions" *IEEE Transactions on Evolutionary Computation* vol. 6, no. 5 (2002): 481–494.
- Klebanova, T. S., Guryanova, L. S., and Rogovich, A. T. *Mekhanizmy i modeli upravleniya krizisnymi situatsiyami* [Mechanisms and models of crisis management]. Kharkiv: INZHEK, 2007.
- Kyzym, M. O. et al. *Otsinka i diahnozyka finansovoi stii-kosti pidpriemstva* [Assessment and diagnosis of financial stability]. Kharkiv: INZHEK, 2003.
- Morozov, O. O. "Bahatokryterialna optymizatsiia skladnykh orhanizatsiino-tekhnichnykh system za umovy nevyznachenosti informatsii" [Multicriterial optimization of complex technical-organizational systems under conditions of uncertainty of information]. *Zbirnyk naukovykh prats Akademii vnutrishnikh viisk MVS Ukrainy*, no. 1 (21) (2013): 36–40.
- Orlovskiy, S. A. *Problemy priniatiya resheniy pri nechetkoy iskhodnoy informatsii* [The problem of decision making with fuzzy initial information]. Moscow: Nauka, 1981.
- Ponomarenko, V. S., and Maliarets, L. M. *Analiz danykh u doslidzhenniakh sotsialno-ekonomichnykh system* [Analysis of data in studies of socio-economic systems]. Kharkiv: INZHEK, 2009.
- Persson, A., Grimm, H., and Ng, A. "Metamodel-assisted global search using a probing technique" *The IAENG International Conference on Artificial Intelligence and Applications (ICAIA'07)*, 2007.
- Rasheed, K., and Hirsh, H. "Informed operators: Speeding up genetic-algorithm-based design optimization using reduced models" *The Genetic and Evolutionary Computation Conference (GECCO-2000)*. Las Vegas: Morgan Kaufmann, 2000. 628–635.
- Voronin, A. N. "Ierarkhicheskiye modeli prinyatiya resheniy v mnogokriterialnykh zadachakh" [Hierarchical model of decision-making in multicriterial problems]. [http://www.foibg.com/ibs\\_isc/ibs-03/IBS-03-p11.pdf](http://www.foibg.com/ibs_isc/ibs-03/IBS-03-p11.pdf)
- Vitlinskiy, V. V., Nakonechniy, S. I., and Sharapov, O. D. *Ekonomichnyi ryzyk i metody yoho vymiriuвання* [Economic risk and methods of measurement]. Kyiv: IZMN, 1996.