

УДК 681.513

©Броварець О.О., к.т.н.

Київський кооперативний інститут бізнесу і права

**ПОБУДОВА ШТРАФНИХ ФУНКЦІЙ В ЗАДАЧАХ ОПТИМІЗАЦІЇ
ДИНАМІЧНОГО УПРАВЛІННЯ ЯКІСТЮ ВИКОНАННЯ
ТЕХНОЛОГІЧНИХ ОПЕРАЦІЙ ІЗ ВИКОРИСТАННЯМ
ТЕХНІЧНИХ СИСТЕМ ОПЕРАТИВНОГО МОНІТОРИНГУ У
РОСЛИННИЦТВІ**

Використання штрафних функцій в задачах оптимізації динамічного управління дає можливість керувати якістю виконання технологічних операцій із використанням технічних систем оперативного моніторингу у рослинництві. Функції які використовуються у відомих типах штрафних функцій, можуть бути використані для динамічного управління якістю виконання технологічних операцій із використанням технічних систем

оперативного моніторингу у рослинництві для забезпеченням керованого агробіологічного стану сільськогосподарських угідь шляхом реалізації прогностично-компенсаційної технології диференційованого внесення технологічного матеріалу.

Постановка проблеми. За допомогою штрафних функцій багатокритеріальні задачі зводять до однокритеріальних, задачі з обмеженнями – до задач без обмежень. Різновидність типів штрафних функцій досить широкий і визначається специфікою розглядуваних задач [1,2].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Розглянемо основні типи штрафних функцій [1], які можуть бути використані у вирішенні задач, де цільова функція є поліекстремальною недиференційованою залежністю. Найпростіша штрафна функція являється статистичною, де до цільової функції у вигляді штрафу прибавляється деяка константа, далі використовується метрична штрафна функція, де в якості метрики використовується відстань від безлічі оптимальних рішень. До іншого тут належать динамічні штрафні функції, значення яких залежить від ітераційного кроку; адаптивні штрафні функції, де об'єднано облік відстані і кроку пошуку оптимального рішення. До них додані коеволуційні штрафні функції [2]. Наступна класифікація розглядає класифікацію штрафних функцій на: бар'єрні, квадратичні, абсолютні, логарифмічні із врахуванням «важливості обмежень» [3, 4].

Вперше метод штрафних функцій був запропонований в 1943 році американським математиком Р. Курантом і з 60-х років використовується для рішення задач локальної оптимізації, лінійного і нелінійного програмування, частіше всього як варіації внутрішніх і зовнішніх штрафів [5].

Мета дослідження. Побудова штрафних функцій в задачах оптимізації динамічного управління якістю виконання технологічних операцій із використанням технічних систем оперативного моніторингу у рослинництві.

Результати дослідження. Розглянемо цільову функцію, яка відображає якість виконання технологічних операцій, в якій відображено агробіологічний стану сільськогосподарських угідь та фізичну дію на нього агробіологічного стану сільськогосподарських угідь:

$$F_r(t) = \alpha_{ABC} \cdot \int_{t_0}^{t+\Delta t} \sum_{n=1}^r \sum_{i=1}^l \sum_{j=1}^m k_{nij} \cdot x_{nij}^{\Pi_VP}(t) \cdot \Delta \alpha_{nij}^{\Pi_VP}(t) \cdot dt + \\ + \alpha_{CGM} \cdot \left(\sum_{d=1}^w (x_j^{MTA} \cdot \Delta \alpha_{nij}^{MTA_VP} + \sum_{q=1}^p x_q^{CGM} \cdot \Delta \alpha_q^{CGM_VP}) \right),$$

де

$$\sum_{q=1}^p x_q^{CGM} \cdot \Delta \alpha_q^{CGM_YP} = \sum_{q=1}^p n_q^{CGT} \cdot (n_q^{PO_CGM} \cdot x_q^{PO_CGM} \cdot \Delta \alpha_q^{PO_CGM_YP}).$$

Тоді маємо

$$F_r(t) = \alpha_{ABC} \cdot \int_{t_0}^{t+\Delta t} \sum_{n=1}^r \sum_{i=1}^l \sum_{j=1}^m k_{nij} \cdot x_{nij}^{\Pi_VP}(t) \cdot \Delta \alpha_{nij}^{\Pi_VP}(t) \cdot dt +$$

$$+ \alpha_{CGM} \cdot \left(\sum_{d=1}^w (x_j^{MTA} \cdot \Delta \alpha_{nij}^{MTA_YP} + \sum_{q=1}^p n_q^{CGM} \cdot (n_q^{PO_CGM} \cdot x_q^{PO_CGM} \cdot \Delta \alpha_q^{PO_CGM_YP})) \right).$$

$$L_i \in T \sum_{i=1}^{n_i} d_{ii}^j \chi Z_{il}^{T_j} \rightarrow \max,$$

де r - якість виконання технологічних операцій;

α_{ABC} , α_{CGM} - вагові коефіцієнти, як вказують на пріоритет агробіологічного стану сільськогосподарських угідь та фізичної дії на нього сільськогосподарських знарядь;

x_j і y_j - вимоги до агробіологічного стану сільськогосподарських угідь та сільськогосподарських машин;

Z_j^{χ} - комплексні вимоги до агробіологічного стану сільськогосподарських угідь;

L_i — агробіологічне поле;

T_j - сільськогосподарська машина;

$Z_{il}^{T_j}$ - параметри, які задовольняє сільськогосподарська машина;

d_{ii}^j - пріоритет задоволення таких параметрів;

l - кількість вимог до якості виконання технологічних операцій;

k - необхідні кількість виконаних технологічних операцій;

m - необхідні кількість сільськогосподарських машин у складі машинно-тракторного агрегату;

n_i - кількість робочих органів у складі машини в i -й групі;

Ω - область обмежень, P, S, L, A – множина агробіологічних параметрів сільськогосподарського поля.

Оптимізація по приведених витратах внесення технологічного матеріалу та використання машинно-тракторного агрегату:

$$F_r(t) = \sum_{n=1}^r \sum_{i=1}^l \sum_{j=1}^m c_{nij}^{ABC} \cdot x_{nij}^{ABC} + \sum (c^{MTA} \cdot x^{MTA} + \sum c^{CGM} \cdot x^{CGM}).$$

Надалі будемо використовувати наступні позначення:

$$F_1(r) = \sum_{j=1}^l x_j \chi Z_j^y \quad \text{і} \quad F_2(r) = \sum_{j=1}^K y_i \sum_{i=1}^M \chi L_i \in T_j \sum_{l=1}^{n_i} d_{il}^j \chi Z_j^z.$$

Відомо, що область Q складається із двох областей Ω_1 і Ω_2 , де перша область визначає ведення органічного землеробства, друга – ведення традиційного хімічного землеробства. При реалізації однієї і іншої технології всі вимоги до якості повинні бути виконані, тобто $r \in \Omega_{1,2}(P, S, L, A)$, при цьому повинно бути виконуватися умова:

$$\chi_{\Omega_{1,2}}(r) = 1. \tag{3}$$

$$A, \epsilon \text{ функція-індикатор } \chi_A = \begin{cases} 1, x \in A \\ 0, x \notin A \end{cases}$$

Рішення r називають допустимим, якщо виконується умова (3).

Рішення r^* називається оптимальним, якщо воно належить множині:

$$\{r^* / \chi_{\Omega} = 1 \& r^* \in \Omega_2(P, S, L, A) \& r^* = \arg \max F(r)\}. \tag{4}$$

Із визначення випливає, що потужність множини оптимальних рішень може бути більше одиниці.

Враховуючи характері задачі (1), (2), пошук оптимального рішення проблематичний. В більшості випадків знайти оптимальне рішення за допустимий час не вдається, до тогож оптимальне керування агробіологічним станом аргіогі не відомо. Тоді обмежуються допустимі рішення, які являються допустимими і визначаються по деякому зовнішньому критерію. Замітимо також, що область $\Omega_2(P, S, L, A)$ визначається як типом рівності, так і не рівності.

Пошук оптимально рішення з використанням штрафної функції. В роботі [4] для вирішення задачі динамічного управління якістю виконання технологічних операцій із використанням технічних систем оперативного моніторингу у рослинництві для забезпеченням керованого агробіологічного стану сільськогосподарських угідь шляхом реалізації прогностично-компенсаційної технології диференційованого внесення технологічного матеріалу було використано генетичні алгоритим, еволюційованої стратегії і розроблений комбінований метод направленої оптимізації (EvoMax), а також виконання конструювання структури потенціального рішення динамічного управління якістю. Вони передбачають наступні кроки [4]:

Крок 1. Визначення структури S потенціального рішення r .

Крок 2. Визначення критерій E кінцевого пошуку оптимального рішення.

Крок 3. Виконати кодування потенціального рішення.

Крок 4. Поки не виконається критерій E :

Крок 4.1. Поки вибірка потенціальних рішень Z неповна.

Крок 4.1.1. Згенерувати потенційне рішення r .

Крок 4.1.2. Якщо воно недопустиме ($r \notin \Omega_1(P, S, L, A)$), то перейти на крок 4.1.1.

Крок 4.1.3. Якщо рішення прийнятне $r \notin \Omega_2(P, S, L, A)$, то записати вибірку Z і перейти на крок 4.1.

Крок 4.1.4. Якщо рішення r неприйнятне хотя б по одному із обмежень із $\Omega_2(P, S, L, A)$ то реалізується один із трьох варіантів:

A: перейти на крок 4.1.1.

B: Якщо варіант A виконаний більше A_{\max} раз, то перейти до варіанту C .

C: Положить

$$F(r) = \alpha_S \cdot F_1(r) + \alpha_L F_2(r) - \beta_{it} \cdot \varphi(F_1(r) \vee F_2(r)), \quad (5)$$

де β - ваговий коефіцієнт, it - номер ітерації; $\varphi(*)$ - функція штрафу.

Вважати r потенціальним рішенням і перейти на крок 4.1.1.

Крок 4.2. Для всіх потенціальних рішень вирахувати значення цільової функції $F(*)$, враховуючи те, що якщо рішення допустиме або прийнятне, то значення функції штрафу $\varphi(*) = 0$.

Крок 4.3. Виконує генерацію нових потенціальних рішень, виходячи із значення цільової функції, використовуючи операції кроссовера.

Крок 5. Обрахування значень критерій E .

У запропонованому методів використовується штрафна функція. Зрозуміло, що якби всі допустимі рішення були б допустимі, необхідності в її використанні не було б. Але в більшості випадків на практиці це не так.

Якщо вважати пріоритети агробіологічного стану сільськогосподарських угідь і якості виконання технологічних операцій заданими, то отримаємо значення F_{\max} буде відповідати отриманню оптимального значення $F_{1\max}$ і $F_{2\max}$. Зазвичай агробіологічний стан сільськогосподарських угідь являється

стабільним, тому традиційним способом збільшення значення цільової функції – це першочергове виконання бажанням і потреб реалізації диференційованого внесення технологічних матеріалів (насіння і мінеральних добрив) з великими ваговими коефіцієнтами.

Побудова штрафної функції. Розглянемо задачу конструювання функції штрафу.

$$\varphi(F_1(r) \vee F_2(r)) = \begin{cases} 0, r \in \Omega_2(P, R, L, A) \\ f(\underset{j=1}{\overset{l}{\vee}} x_j \vee \underset{j=1}{\overset{k}{\vee}} y_j, D, \gamma \end{cases} \quad (6)$$

У виразі (6) нульове значення функції штрафу відповідає випадку, коли не виконується хоч б одна із вимог агробіологічного стану сільськогосподарських угідь, D - значення, інтегруючі пріоритетні вимоги агробіологічного стану сільськогосподарських угідь, γ - деякий параметр.

Оскільки «оштрафованими» можуть бути і рішення, які не задовольняють якість виконання агробіологічного стану сільськогосподарських угідь і технологічних операцій, тому доцільно вважати цільову функцію адитивною і записати в такому виді:

$$\varphi(F_1(r) \vee F_2(r)) = \beta_1 \varphi_1(F_1(r)) + \beta_2 \varphi_2(F_2(r)) = \beta_1 f_1(\underset{j=1}{\overset{l}{\vee}} x_j) + \beta_2 f_2(\underset{j=1}{\overset{k}{\vee}} y_j, D). \quad (7)$$

Очевидно, що чим в більшому ступені порушуються обмеження, тим більше повинно бути значення функції штрафу. За станом функція штрафу являється невід'ємною функцією, а виходячи із свого значення, для неї справедлива нерівність:

$$0 \leq \varphi(*) \leq F_{\max} \quad (8)$$

Аналогічно і для її компонента:

$$0 \leq \varphi_i(F_i(r)) \leq F_{i\max} \quad \text{і} \quad 0 \leq f_i(\underset{j=1}{\overset{l}{\vee}} x_j) \leq F_{1\max}, \quad 0 \leq f_2(\underset{j=1}{\overset{k}{\vee}} y_j) \leq F_{2\max}.$$

Розглянемо побудову штрафної функції $\varphi_1(*)$. Введемо функцію відстані від передбачуваного потенціального рішення r до області $\Omega_2(P, S, L, A)$.

Очевидно, що доцільно вважати, що $T \cup \bar{T} = V$, де T – прийятна вимога, \bar{T} – неприйятна вимога, V – м ножина можливих вимог до чогось.

Таким чином, існує декілька підходів до визначення штрафної функції керування якістю виконання технологічних операцій. Для першого способу достатньо припустити:

$$\bar{x}_j = 1 - x_j, \quad j = \overline{1, l}, \quad \sum_{j=1}^l x_j = 1, \quad \sum_{j=1}^l \bar{x}_j = 1.$$

І вважати, що

$$f_1(\bigvee_{j=1}^l x_j) = \sum_{j=1}^l (1 - x_j) = l - \sum_{j=1}^l x_j. \quad (9)$$

Перевага функції (9) – простота отримання, недолік – припущення про те, що значення чогось бажаного обернено пропорційне значенню бажаного, що не завжди справедливе. Крім того відсутня градація по відсутності деяких показників.

Висновки. Запропонована технологія пошуку оптимального або допустимого динамічного управління якістю виконання технологічних операцій із використанням технічних систем оперативного моніторингу у рослинництві для забезпеченням керованого агробіологічного стану сільськогосподарських угідь шляхом реалізації прогностично-компенсаційної технології диференційованого внесення технологічного матеріалу дозволяє запобігти тупикових ситуацій, коли відсутні прийнятні варіанти розписання. Використання штрафних функцій націлене на збільшення потенціальних рішень, пошук рішень, які відповідають великим значенням цільової функції, але являються неприйнятні для деяких рішень агробіологічного керування станом сільськогосподарських угідь.

Література:

1. Smith A.E. Constraint-Handling Techniques - Penalty Functions / A.E. Smith, D.W. Coit // Handbook of Evolutionary Computation. - Institute of Physics Publishing and Oxford University Press, Bristol, U.K., 1997. - Chapter C 5.2. - 25 p.
2. Yeniay O. Penalty function methods for constrained optimization with genetic algorithms / O. Yeniay // Mathematical and Computational Applications. - 2005. - Vol. 10, N 1. - P. 45 - 56.
3. Попов В.Б. Эволюционные стратегии формирования оптимального кредитного портфеля финансовых предприятий / В.Б. Попов // Ученые записки Таврического национального университета имени В.И. Вернадского. - (Серия «Экономика и управление»). - 2011. - Т. 24 (63), № 1. - С. 164 - 181.
4. Сипко Е.Н. Об особенностях формирования целевой функции и ограничений в задаче составления расписаний / Е.Н. Сипко, В.Е. Снитюк // Математичні машини і системи. - 2014. - № 3. - С. 88--95.].
5. Шмелев В.В. Точные штрафные функции в линейном и целочисленном линейном программировании / В.В. Шмелев // Автоматика и телемеханика. - 1992. - № 5. - С. 106 – 115.

Рецензент д.т.н. Дідух В.Ф.