

Алгоритмічний опис двоєдиного технологічного процесу підготовки ґрунту і сівби буряків цукрових

Створений алгоритм комп'ютерного імітаційного моделювання складного двоєдиного технологічного процесу підготовки ґрунту і сівби буряків цукрових, головним критерієм якого є отримання максимальної польової схожості насіння. Суть такого моделювання полягає в тому, що початкова досліджувана система передпосівного обробітку ґрунту та висіву насіння для отримання сходів буряків цукрових, замінюється її математичною моделлю, з якою потім експериментують за допомогою комп'ютерних алгоритмів. Алгоритм моделювання процесу функціонування досліджуваної системи дозволяє за вихідними даними, які містять відомості про початковий стан процесу і його параметри, отримати інформацію про характер протікання процесу і його стан в довільні моменти часу.

Ключові слова: математична імітаційна модель, алгоритм, багатокритеріальна оптимізація, конфігурація, симплекс, буряки цукрові, технологічний процес, польова схожість насіння.

Вступ. Математична модель, яка є складовою частиною будь-якої системи управління, досить повно описує процеси і явища, які відбуваються в реальних об'єктах. Вид математичної моделі залежить не тільки від природи реального об'єкта, але і від тих завдань, для вирішення яких вона створюється, а також від необхідної точності їх вирішення, адже будь-яка модель описує реальний об'єкт лише з деякою мірою наближення.

Математичні моделі можна класифікувати за різними ознаками [1, 2]. Залежно від співвідношень між станами і параметрами складної системи вони діляться на два великі класи: повністю визначені (детерміновані) і ймовірнісні. У повністю визначених моделях стани системи в кожен момент часу однозначно визначаються через параметри системи, вхідну інформацію і початкові умови, а в разі ймовірнісної моделі ця залежність носить стохастичний характер.

За способом використання математичної моделі для дослідження складних систем вони діляться на аналітичні й імітаційні. Для аналітичних моделей характерно, що процеси функціонування елементів складної системи записуються у вигляді деяких функціональних співвідношень і логічних умов. Проте за неможливості отримання чисельного рішення за допомогою аналітичної моделі або за її відсутності, використовується алгоритмічний опис процесу функціонування досліджуваної системи.

Аналіз досліджень і публікацій. Імітаційне моделювання процесів і систем управління в наш час набуває все більшого поширення [2-4]. Суть цього методу полягає в тому, що алгоритм моделювання дозволяє за вихідними даними, які містять відомості про початковий стан процесу і його параметри, отримати інформацію про характер протікання процесу і його стани в довільні моменти часу.

Постановка проблеми. Формально проблему, пов'язану з недостатньою ефективністю технологічно-

го процесу (ТП), можна описати так. Є ТП, яким можна керувати, існує необхідність підвищення його ефективності зміною керівних параметрів. При цьому ТП повинен відповідати виділеним у результаті проведеного аналізу таким особливостям:

1. Управління ТП здійснюється зміною його параметрів.

2. Регулювання параметрів можливе в досить широких межах.

3. Оцінку кінцевого результату управління можна отримати, виміривши характеристики після закінчення технологічного циклу.

4. Процес не має функціональної залежності між його параметрами і вихідним результатом у явному вигляді.

5. Побудова аналітичної моделі ТП недоцільна.

Враховуючи наявність декількох критеріїв оцінки ТП доцільно розглянути багатокритеріальну постановку задачі ефективного ним керування. Розглянемо формальну постановку задачі багатокритеріальної оптимізації.

Нехай f_1, \dots, f_q – критерії (цільові функції), за якими оцінюється ефективність ТП. Кожен з q критеріїв залежить від вектора параметрів (вхідних впливів)

$x = (x_1, \dots, x_n)$ і важливість критеріїв описується коефіцієнтами відносної важливості (вагами)

y_1, \dots, y_q . Критерії f_1, \dots, f_q утворюють вектор критеріїв $f = (f_1, \dots, f_q)$, а коефіцієнти y_1, \dots, y_q –

ваговий вектор $y = (y_1, \dots, y_q)$. Критерії f_j , які входять до складу векторного критерію, будемо називати локальними. Кожному конкретному значенню параметрів ТП $x = (x_1, \dots, x_n)$ можна поставити у відпо-

відність вектор оцінок $f(x) = (f_1(x), \dots, f_q(x))$. Тоді задачу прийняття рішення в загальному вигляді можна формалізувати так.

Знайти вектор параметрів ТП $x^* = (x_1^*, \dots, x_n^*)$, який забезпечує максимальні значення локальних критеріїв за умов відповідності цього ТП вимогам та обмеженням:

$$\max_{x \in X} f_i(x), \quad i = 1, \dots, q,$$

$$X = \{x : x \in \Omega, g_j(x) \geq b_j, j = 1, \dots, L\},$$

де: $f_i(x)$ – локальні критерії, значення яких або обчислюються за моделями або отримані в результаті вимірювання;

$g_j(x) \geq b_j, j = 1, \dots, L$ – функції обмежень, які визначають допустимі режими X ТП;

Ω – множина існуючих параметрів ТП.

Така постановка задачі відповідає класу задач багатокритеріальної оптимізації, якщо, наприклад, ТП представити в дискретно-статичному вигляді і взаємодіяти з ним як із «чорним ящиком» протягом одного технологічного циклу.

Проте заради зменшення складності задачі під час вирішення проблеми подолання багатокритеріальності імітаційним моделюванням складного двоєдиного ТП передпосівного обробітку ґрунту і сівби буряків цукрових для підвищення його продуктивності в цій статті запропоновано такий підхід.

Результати досліджень. До основних проблем постановки задачі управління двоєдимним ТП передпосівного обробітку та сівби БЦ, як складного процесу підвищення польової схожості насіння, слід віднести такі: 1) неузгодженість; 2) неформалізований, якісний характер локальних критеріїв; 3) необхідність формалізації правил порівнянь рішень щодо отримання найкращого; 4) складність методів пошуку компромісного рішення [5].

У результаті виконання послідовності технологічних операцій за умов певних фіксованих параметрів можна отримати кінцевий продукт (польова схожість насіння) з відповідним набором властивостей. Кінцевий результат можна розглядати як точку в просторі критеріїв якості ТП. Нехай $x = (x_1, \dots, x_n)$ – це така «точка», якій відповідає вектор значень локальних

критеріїв $f(x) = (f_1(x), \dots, f_q(x))$, які описують властивості отриманого продукту, тобто результату ТП.

Проведені нами дослідження цього ТП довели наявність зв'язку між параметрами $x = (x_1, x_2, \dots, x_n)$ та значеннями локальних критеріїв $f(x) = (f_1(x), f_2(x), \dots, f_m(x))$ [6]. Тому задачу підвищення його продуктивності, тобто польової схожості насіння, можна розглядати як задачу пошуку у просторі критеріїв якості. Для вирішення цієї задачі використовували відповідні математичні методи.

Порівняльний аналіз відомих алгоритмів пошукової оптимізації показав переваги запропонованого академіком РАН Риковим О. С. [7] методу конфігурацій, які деформуються, як найбільш придатного для вирішення поставленої задачі. У цьому методі використовуються правильні симплекси як основної конфігурації. Управління процесом пошуку в таких методах здійснюється через вибір локально оптимального напрямку зсуву центру симплекса і вибору величини кроку, що забезпечує зменшення значення функції, яка оптимізується в центрі симплексу. Величина кроку залежить від розміру симплексу зі збереженням його правильної форми.

Конфігурація – це множина вершин, яка складається з k точок, число яких більше розмірності n простору незалежних змінних і які лежать одночасно у підпросторі розмірності, меншою за n . Для пошуку максимального значення функції на кожній ітерації використовується певна конфігурація $f_i(x)$.

Використані симплексні методи для розв'язання задачі двовимірної безумовної мінімізації. Область допустимих значень у цьому випадку збігається з усім простором R^2 і є площиною.

Для розв'язання задачі мінімізації функції мети $f(x)$, де $x \in R^2$, застосовано симплексний метод з відображенням однієї вершини на кожному кроці і правильним симплексом. У цьому випадку правильним симплексом є рівносторонній трикутник. Під час руху до екстремуму на кожному кроці оптимізації відображається та вершина трикутника, в якій функція $f(x)$ приймає максимальне значення. У результаті послідовних відображень утворюється ланцюжок трикутників $S_1, S_2, \dots, S_N, \dots$, причому центри цих трикутників x^1, x^2, \dots, x^N здійснюють коливальні рухи вздовж градієнтного напрямку (рис. 1).



Рис. 1 – Приклад процедури з відображенням однієї вершини на кожному кроці

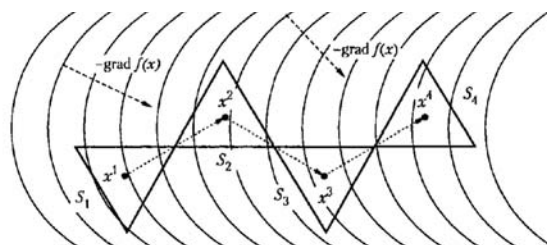


Рис. 2 – Приклад процедури з відображенням декількох вершин, значення функції в яких більше ніж значення функції в центрі симплексу

Критерієм локальної оптимальності використаний критерій, за яким відображаються ті вершини, в яких значення функції, яке оптимізується, є більшим за зна-

чення функції в центрі симплексу. На рис. 2 наведено приклад застосування такого критерію.

При цьому розв'язувались проблеми з організацією можливих напрямків зміщення центра симплексу та вибору серед них симплексу оптимального напрямку та розміру.

Під відображенням $m+l$ ($m=1, \dots, n$; $l=0, \dots, n-m$) вершин симплексу S_N розуміємо такий паралельний перенос $m+l$ його вершин вздовж напрямку від геометричного центру m відображуваних вершин симплексу S_N , до центру невідображуваних $n+1-m-l$ вершин симплексу S_N , при якому симплекс S_{N+1} , що утворений $n+1-m-l$ невідображуваними вершинами симплексу S_N і $m+l$ новими вершинами, є правильним симплексом S_N .

Вибрано критерії локально оптимального напрямку зсуву центру симплексу з безлічі можливих напрямків $\Omega_N(p)$:

$$I_1^N = -(\text{grad } f(x^N), p),$$

$$I_2^N = -\Delta f_N = f^*(x^N) - f^*(x^{N+1}),$$

$$I_3^N = -\Delta f_N / (m+l),$$

$$I_4^N(m) = \sum_{i=1}^m (f(x^{N,i}) - f^*(x^N)),$$

де $x^{N,i}$ – i -та вершина симплексу S_N ;

$f^*(x^N)$ дорівнює будь-якому вимірному значенню $f(x^N)$ у центрі x^N симплексу S_N або середньому арифметичному значенню функції $f(x)$ у вершинах симплексу S_N :

$$f^*(x^N) = \frac{1}{n+1} \sum_{i=1}^{m+1} f(x^{N,i}). \quad (1)$$

Значення критерію I_1^N дорівнює величині проекції одиничного вектора p на вектор антиградієнта і характеризує близькість напрямку p і зміщення центра симплексу x^N до антиградієнтного напрямку.

Значення критерію I_2^N пов'язано зі зменшенням значення функції $f(x)$ у центрі симплексу S_N під час зміщення центра симплексу x^N в напрямі p . Значення

критерію I_3^N дорівнює зменшенню $f(x)$ в центрі симплексу, віднесеному до одного з вимірів функції $f(x)$. Критерій I_4^N можна застосувати для відображення m вершин і він дорівнює сумі відхилень значень функції $f(x)$ в m вершинах від значення або оцінки значення (1) функції в центрі симплексу.

Для визначення напрямку $p_N^{(i)}$, вибрано локально-оптимальний пошуковий алгоритм, де на кожній N -й

ітерації вектор $p_N^{(i)}$ і відповідні відображення вершини визначаються у результаті розв'язання задачі:

$$p_N^{(i)} = \arg \max_{p \in \Omega_N} I_i^N(p), \quad i=1, \dots, 5. \quad (2)$$

Оскільки в симплексному алгоритмі напрям $p_N^{(i)}$ визначається відображеними вершинами m і l , то вираз (2) можна переписати у вигляді:

$$(m^N, l^N) = \arg \max_{p \in \Omega_N} I_i^N(m, l).$$

Послідовність значень цільової функції $f(x)$ в центрах симплексів $\{f(x^N)\}$ була монотонно спадною, причому розмір симплексу зберігається сталим за виконання умови монотонності і стрибкоподібно змінюється у разі її порушення. Відповідно до описаного підходу необхідно ввести правило перевірки монотонного спадання $\{f(x^N)\}$ і правило зменшення розміру симплексу R_N . Розмір симплексу будемо змінювати в моменти порушення умови (умова успішності кроку):

$$f^*(x^N) - f^*(x^{N+1}) \geq \varepsilon \|x^N - x^{N+1}\|^2$$

відповідно до правила

$$R_{N+1} = \gamma(t) R_1$$

де $f^*(x^N)$ обчислюється за формулою (1) або дорівнює вимірному значенню $f(x^N)$ в точці x^N ;

$\varepsilon > 0$, $0 < \gamma(t) \leq 1$, – параметри алгоритму;

t – номер стиснення симплексу.

Вибрано алгоритм зменшення розміру симплексу. Нерухомою залишається вершина $x^{N,n+1}$ з мінімальним значенням цільової функції $f(x)$, а відстань від решти n вершин до вершини $x^{N,n+1}$ зменшується в $\gamma(t)/\gamma(t-1)$ разів.

Положення вершин визначається за формулами:

$$x^{N+1,i} = x^{N,n+1} + (x^{N,i} - x^{N,n+1})\gamma(t)/\gamma(t-1)$$

$$i = 1, \dots, n;$$

$$x^{N+1,n+i} = x^{N,n+1}.$$

Алгоритм безумовної мінімізації зі сталим розміром симплексу ґрунтується на формулах:

$$x^{N+1} = x^N + \frac{2m^N}{n+1-l^N} \Delta_N(m^N, l^N);$$

$$x^{N+1,j} = x^{N,j} + 2\Delta_N(m^N, l^N), \quad j=1, \dots, m^N;$$

$$x^{N+1,j} = x^{N,j} + \frac{2m^N}{n+1-l^N} \Delta_N(m^N, l^N),$$

$$j = m^N + 1, \dots, m^N + l^N;$$

$$x^{N+1,j} = x^{N,j}, \quad j = m^N + l^N, \dots, n+1. \quad (3)$$

Алгоритм безумовної мінімізації зі сталим розміром

симплексу (рис. 3) полягає в такому:

1. Побудувати правильний симплекс S_1 з центром x^1 і радіусом описаної гіперсфери R_1 .

2. Приймаємо $N=1$.

3. Виміряти значення функції $f(x)$ у вершинах симплексу S_N .

4. Визначити $f^*(x)$ за формулою (1).

5. Пронумерувати вершини симплексу S_N в порядку зменшення значень функції $f(x)$ в цих вершинах.

6. Обчислити значення критерію I_1^N

7. Визначити $I_i^N(m^N, I^N) = \max I_i^N$

8. Відобразити $m^N + l^N$ вершин, побудувати симплекс S_{N+1} за формулами (3).

9. У нових вершинах симплексу S_{N+1} виміряти значення функції $f(x)$

10. Переходимо до наступного кроку, коли $N=N+1$.

11. Визначити $f^*(x)$ за формулою (1).

12. Перевірити виконання рівності

$$f^*(x^N) - f^*(x^{N+1}) \geq \varepsilon \|x^N - x^{N+1}\|^2.$$

Під час її виконання перейти до п. 5. а в разі невиконання – до п. 13

13. Пошук припинити. Запам'ятати вершину з мінімальним значенням функції.

Висновки. Визначені базові засади і принципи побудови імітаційних моделей передпосівної підготовки ґрунту і сівки буряків цукрових. Створений алгоритм розв'язання оптимізаційної багатокритеріальної задачі отримання максимальної польової схожості насіння на основі методу конфігурацій, які деформуються, з використанням симплексних методів для розв'язання задачі двовимірної безумовної мінімізації.

Література:

1. Кельтом В. Д., Лоу А. М. Имитационное моделирование. Классика. - Спб.: Санкт-Петербург, BHV, 2004. - 847 с.

2. Емельянов В. В., Ясиновский С. И. Введение в интеллектуальное имитационное моделирование сложных дискретных систем и процессов. – М.: "АНВИК", 1998. – 427с.

3. Мелихова З. А., Надточий А. И. Имитационное моделирование и оптимизация технологического процесса // Методы построения алгоритмических моделей сложных систем. – Таганрог: 1976. Вып. 1.

4. Wooldridge M. J. An introduction to multiagent systems. – JOHN WILEY & SONS, LTD. – 2002. – 348 p.

5. Волоха М. П. Подолання багатокритеріальності при моделюванні технологічних процесів вирощування цукрових буряків / М. П. Волоха // Техніко-технологічні аспекти розвитку та випробування нової техніки і технологій для сільського господарства України: Збірник наукових праць. – Дослідницьке : УкрНДІПВТ ім Л. Погорілого, 2014. – Вип. 18(32), кн. 2. – С. 237–243.

6. Волоха М. П. Дослідження технологічного проце-



Рис. 3 – Алгоритм безумовної мінімізації зі сталим розміром симплексу

су підготовки ґрунту до сівби буряків цукрових сучасними агрегатами / М. П. Волоха // Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. Серія: техніка та енергетика АПК. – К., 2015. – Вип. 226. – С. 349–355.

7. Рыков А. С. Системный анализ: модели и методы принятия решений и поисковой оптимизации. – М. : Издательский Дом МИСиС, 2009. – 608 с.

Аннотация. Созданный алгоритм компьютерного имитационного моделирования сложного двуединого технологического процесса подготовки почвы и сева сахарной свеклы, главным критерием которого является получение максимальной полевой всхожести семян. Суть такого моделирования заключается в том, что начальная исследуемая система предпосевной обработки почвы и посева семян с целью получения всходов сахарной свеклы, заменяется ее математической моделью, с которой потом экспериментируют с помощью компьютерных алгоритмов. Моделирующий алгоритм процесса функционирования исследуемой системы позволяет по исходным

данным, содержащим сведения о начальном состоянии процесса и его параметрах, получить информацию о характере протекания процесса и его состоянии в произвольные моменты времени.

Summary. The algorithm of computer simulation of complex two-way technological process of soil preparation and sugar beet sowing is created, the main criterion of which is obtaining maximum field similarity of seeds. The essence of this simulation is that the initial exploratory system of pre-sowing tillage and seeding for the purpose of obtaining seedlings of beet sugar is replaced by its mathematical model, which then is experimented with computer algorithms. Modeling algorithm of the process of functioning of the investigated system allows for the initial data containing information about the initial state of the process and its parameters, to obtain information about the nature of the process and its state at arbitrary moments of time.

Стаття надійшла до редакції 2 серпня 2018 р.