

The work by the example of some of the mechanisms shown in the construction of trajectories of individual points of the driven member and the location of their accelerations. The value of the acceleration as a function of crank angle may be indicated on the graph, as well as directly on the path to the point vector corresponding to it on the scale. This makes it possible to visually assess the change in acceleration of the magnitude and direction of motion of a point along a path.

Key words: *crank, driven member, Frenet trihedron, trajectory, acceleration.*

УДК 681.513

**ТЕХНІЧНІ СИСТЕМИ ОПЕРАТИВНОГО УПРАВЛІННЯ ЯКІСТЮ
ВИКОНАННЯМ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ У РОСЛИННИЦТВІ,
ЗАЛЕЖНІ ВІД ПОЧАТКОВОГО ТА КІНЦЕВОГО СТАНУ
ОБ'ЄКТУ КЕРУВАННЯ**

***В. Г. Мироненко, доктор технічних наук
Національний науковий центр «Інститут механізації та
електрифікації сільського господарства»***

***Ю. В. Човнюк, О. О. Броварець, кандидати технічних наук
Національний університет біоресурсів і
природокористування України
e-mail: brovaretsnau@ukr.net***

Анотація. *На думку авторів даного дослідження, необхідно розглянути специфічний клас керованих систем, які залежать від старту та фінішу і котрі адекватно моделюють інтегровані системи автоматичного управління виконанням технологічних процесів у сільськогосподарському виробництві, у тому числі рослинництві. Задачі управління такими системи дещо відмінні від традиційних задача управління (у тому числі оптимального) й пов'язані перш за все, з плануванням роботи кожної з таких систем.*

Обґрунтовані інтегровані системи управління виконанням технологічних процесів у сільськогосподарському виробництві, які залежать від початкового та кінцевого моментів часу їх функціонування. Задля оптимізації процесів управління вказаними системами проведено узагальнення результатів досліджень щодо впливу різноманітних факторів на ефективність рослинництва.

© В. Г. Мироненко, Ю. В. Човнюк, О. О. Броварець, 2017

Встановлені найбільш вагомі технологічні, технічні та організаційні критерії якісної роботи сільськогосподарських машин, їх рівень впливу на кінцевий результат – величину зібраного врожаю, а також можливий рівень ефективності застосування відповідних технічних засобів механізації з керованим впливом на якість виконання власне самих технологічних операцій.

Моделювання подібних систем, методи оптимального управління ними є актуальними дослідженнями сьогодення і вимагають подальшого поглибленого вивчення.

Використання розробленої методики інтегровані системи управління виконанням технологічних процесів у сільськогосподарському виробництві, залежні від початкового та кінцевого моментів часу їх функціонування дають можливість прогнозувати подальші зміни систем. Дана методика дозволяє оптимізувати використання наявних ресурсів забезпечить підвищення ефективності на 20–30%.

Ключові слова: *інтегровані системи управління, технологічні процеси, сільськогосподарське виробництво, залежність, початковий та кінцевий моменти функціонування*

Постановка проблеми. Відомо, що інтегровані системи автоматичного управління виконанням технологічних процесів у сільськогосподарському виробництві є найбільш перспективним. Саме вони мають забезпечити створення якісно нових технологій (інноваційних технологій), які мають новітні економічні, соціальні та екологічні показники.

Зрозуміло, що для узагальнення результатів попередніх досліджень, які стосуються визначення рівня впливу різноманітних факторів на ефективність рослинництва, слід визначити основні технологічні (норма внесення, глибина обробітку та інше), технічні (швидкість руху, навантаження двигуна тощо) та організаційні (строки виконання, завантаження МТА) критерії якісної роботи сільськогосподарських машин, вагомість впливу цих факторів на величину зібраного врожаю (кінцевий результат), а також імовірність (можливий) рівень ефективності застосування відповідних технічних засобів механізації з керованим впливом на якість виконання технологічних операцій.

На думку авторів даного дослідження, необхідно розглянути специфічний клас керованих систем, які залежать від старту та фінішу і котрі адекватно моделюють інтегровані системи автоматичного управління виконанням технологічних процесів у сільськогосподарському виробництві, у тому числі рослинництві. Задачі управління такими системи дещо відмінні від традиційних

задача управління (у тому числі оптимального) й пов'язані перш за все, з плануванням роботи кожної з таких систем.

Зрозуміло, що моделювання подібних систем, методи оптимального управління ними є актуальними дослідженнями сьогодення і вимагають подальшого поглибленого вивчення.

Аналіз останніх досліджень. Автори робіт [1–15] розглядають і всебічно досліджують різноманітні аспекти управління скінченно-вимірними лінійними об'єктами, різноманітні задачі теорії управління рухом, автоматичного управління лінійними (нелінійними) системами. Проте управління системами, які залежать від старту та фінішу, на думку авторів даного дослідження, вимагають подальшого всебічного вивчення.

Слід зазначити, що результати цитованих вище робіт будуть використані у даному дослідженні.

Мета досліджень полягає у обґрунтуванні підходу до розв'язку основних проблем теорії управління систем, залежних від старту та фінішу, а також задачі повної керованості подібних систем при оптимізації управління.

Результати досліджень. Вважатимемо, що мова йде про вирощування деякої культури, наприклад кукурудзи. За початкового відліку часу візьмемо 1 січня. Стан рослин у кожний конкретний момент часу t , $t > 0$, можна характеризувати набором параметрів $x_1(t), \dots, x_n(t)$. Швидкість росту й визрівання рослин залежить від багатьох факторів. Вкажемо лише деякі з них: якість насіння у момент часу $t=t_0$ попадання зернини у ґрунт, якість ґрунту, якість догляду за рослинністю, момент часу, коли відбувається збирання врожаю та інше. Вважаючи якість насіння й ґрунту заздалегідь заданими і постійними, можна вивчати залежність розвитку рослини від інших факторів. Якщо врахувати, що швидкість розвитку рослини у довільний момент часу t залежить від початкового моменту часу, коли зернина потрапляє у ґрунт, від якості догляду за рослиною у даний момент часу t , від стану рослини у поточний момент часу, тоді процес можна описати системою рівнянь:

$$\dot{x}_i = f_i(t, t_0, x, u), \quad i=1, \dots, n, \quad (1)$$

де вектор $x = \{x_1, \dots, x_n\}$ характеризує стан рослини, а $u = \{u_1, \dots, u_r\}$ - догляд за рослиною. Початковий стан системи можна вважати заданим:

$$x(t_0) = x^0. \quad (2)$$

Якщо цей процес розглядати як керований, тоді у праву частину системи (1) слід ввести функцію $u_k = u_k(t, t_0, T)$, $k=1, \dots, r$, де T - момент закінчення процесу догляду за рослиною (тобто збирання врожаю), вибір яких залежить безпосередньо не тільки від критерію

оптимальності системи, але й від t_0 та T . Підставляючи таке керування у рівняння (1) матимемо систему рівнянь, яка залежить від t_0 та T .

Слід зазначити наступне:

1. Керовані рухи системи, залежні від старту й фінішу, у ряді випадків можна розглядати як багатокрокові процеси, що описуються рівняннями виду:

$$x_i(n+1) = f_i(t_0, T, t, n, x(n), u), \quad i=1, \dots, m, \quad n=1, \dots, N, \quad (3)$$

де: n – номер відрізка при діленні $(T - t_0)$ на N частин.

2. У задачах, у яких слід враховувати безперервно змінний час, процеси у системах, залежних від старту й фінішу, можуть описуватись диференціальними рівняннями виду:

$$\dot{x}_i = f_i(t, t_0, T, x, u), \quad t_0 \leq t \leq T, \quad i=1, \dots, n \quad (4)$$

Аналогічно можна розглядати й системи з розподіленими параметрами, залежні від старту й фінішу.

3. Для такого типу систем залишаються природними основні проблеми теорії управління (керованість, спостережуваність, оптимальність та інше). Однак тепер вони набувають деяких нових відтінків у зв'язку з тим, що праві частини рівнянь руху можуть бути безперервними за координатами t , x та u , але бути розривним за t_0 й T . Цей останній факт може суттєво вплинути на зміст, відповідно, у кожній конкретній задачі теорії управління. Як показано нижче, у цих випадках може суттєво ускладнюватись й зазвичай використовуваний спосіб розв'язку задачі.

Керованість. Спочатку розглянемо систему:

$$\dot{x} = A(t) \cdot x + B(t), \quad t_0 \leq t \leq T, \quad (5)$$

У якій $A(t)$ – неперервна матриця порядку n , а $B(t)$ неперервна матриця розмірністю $[n \times m]$, $x \in E^n$, $u \in E^m$. Допустимим керуванням вважаються кусково-неперервні функції $u = u(t)$ зі значеннями у всьому просторі E^n .

Відомо, що система рівнянь (5) називається керованою, як що для заданого t_0 і будь-якого $x^0 \in E^n$, $x' \in E^n$ можна вказати $T(t_0)$, $T > t_0$ й допустиме управління $u = u(t, t_0, T, x^0, x')$ такі, що $x = x(t)$ є розв'язок рівняння:

$$\dot{x} = A(t) \cdot x + B(t) \cdot u(t, t_0, T, x^0, x'), \quad x(T) = x^1, \quad (6)$$

з початковою умовою (2).

Якщо t_0 й T задані, тоді система зветься керованою на відрізку $[t_0, T]$. Відомі умови керованості, наприклад [1–3]. Тут приведемо їх у зручній для подальшого аналізу формулі [4]. Для цього випишемо матрицю коші $W(t, s)$ однорідного рівняння:

$$\dot{y} = A(t) \cdot y. \quad (7)$$

Якщо тепер позначити $h_i(t, T)$ i -й стовпець матриці $B^*(t)W^*(t)$, тоді умова керованості полягає у тому, що за заданого t_0 вектор-функції $h_1(t, T), \dots, h_n(t, T)$ лінійно незалежні на деякому відрізку $[t_0, T]$. Ця умова залишається справедливою і у тому випадку, коли матриці $A(t)$ й $B(t)$ кусково-неперервні.

У випадку, коли розглядається лінійна система управління, залежна від старту й фінішу, процес описується рівнянням:

$$\dot{X} = A(t, t_0, T) \cdot x + B(t, t_0, T) \cdot u, \quad t_0 \prec t \prec T. \quad (8)$$

Будемо вважати, що $A(t, t_0, T)$ й $B(t, t_0, T)$ неперервні по t на будь-якому відрізку $[t_0, T]$ й кусково-неперервні по t_0 й T .

Зрозуміло, що у задачі про керованість системи (8) на заданому відрізку ніяких нових особливостей не виникає у порівнянні з тією ж задачею для системи (7). У випадку коли t_0 й T стовпчики матриці $B^*(t, t_0, T) \cdot W(T, t; t_0, T)$ й T , тоді лінійна залежність чи незалежність вектор функції:

$$h_1(t, t_0, T), \dots, h_n(t, t_0, T). \quad (9)$$

визначається не тільки змінною t , але й параметрами t_0 й T . Як показано у наступному прикладі, у цьому випадку можуть виникнути не зовсім звичайні ситуації.

Приклад 1. Розглянемо керовану систему:

$$\dot{x}_1 = x_2 + \alpha(t, T)u_2, \quad \dot{x}_2 = u_1, \quad \dot{x}_3 = x_4 + (t-1)u_2, \quad \dot{x}_4 = u_1 + \beta(t, t_0)u_2, \quad (10)$$

у якій

$$\alpha(t, T) = (t-1) \cdot \Theta(T-2) = \begin{cases} 0 & \text{нпу } t_0 \leq t \leq T \leq 2, \\ t-1 & \text{нпу } t_0 \leq t \leq T, T > 2 \end{cases} \quad (11)$$

$$\beta(t, t_0) = \Theta(t_0 - 1) = \begin{cases} 0 & \text{нпу } t_0 \leq t \leq T, t_0 \leq 1, \\ 1 & \text{нпу } t_0 \leq t \leq T, t > 2 \end{cases} \quad (12)$$

Якщо систему (10) переписати у вигляді (8), тоді будемо мати:

$$A(t, t_0, T) = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}, \quad B(t, t_0, T) = \begin{bmatrix} 0 & \alpha(t, T) \\ 1 & 0 \\ 0 & t-1 \\ 1 & \beta(t, t_0) \end{bmatrix}. \quad (13)$$

$$W(t, s) = \begin{bmatrix} 1 & t-s & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & t-s \\ 0 & 1 & 0 & 1 \end{bmatrix}. \quad (14)$$

Вираз (14) є матрицею Коші, а вектор-функції (9) мають вид:

$$\begin{cases} h_1(t, t_0, T) = \begin{bmatrix} T-t \\ \alpha(t, T) \end{bmatrix}, h_2(t, t_0, T) = \begin{pmatrix} 1 \\ 0 \end{pmatrix} \\ h_3(t, t_0, T) = \begin{bmatrix} T-t \\ t-1+\beta(t, t_0) \cdot (T-t) \end{bmatrix}, h_4(t, t_0, T) = \begin{bmatrix} 1 \\ \beta(t, t_0) \end{bmatrix}. \end{cases} \quad (15)$$

Із визначення функції $\alpha(t, T)$ й $\beta(t, t_0)$ (див. (11) й (12)) випливає, що ці вектори лінійно незалежні лише при виконанні умови, $t_0 > 1$, $T > 2$ або $t_0 > 1$, $T \leq 2$.

У цих випадках розглядувана система є керованою. У інших випадках ($t_0 \leq 1$, $T > 2$; $t_0 \leq 1$, $T \leq 2$) вектори функції h_1 , h_2 , h_3 і h_4 лінійно залежні і система (10) не є керованою на відрізку $[t_0, T]$.

Тут доречно звернути увагу на наступні цікаві факти. Система (10) керована на малому відрізку $[t_0, T]$ при $t_0 > 1$, $T \leq 2$ й некерована на великому відрізку $[t_0, T]$, при $t_0 < 1$, $T > 2$.

Ідентифікованість і спостережуваність. Будемо розглядати систему рівнянь управління:

$$\begin{cases} \dot{x} = A(t, t_0, T) \cdot x + B(t, t_0, T) \cdot u \\ y = C(t, t_0, T) \cdot x \end{cases}, \quad (16)$$

у якій матриці A та B такі ж, як і у системі (8), а $C(t, t_0, T)$ неперервна по t й кусково-неперервна по t_0 і T матриця розмірністю $[n \times m]$.

При фіксованих t_0 і T цю систему можна подати у виді:

$$\begin{cases} \dot{x} = A(t) \cdot x + B(t) \cdot u \\ y = C(t) \cdot x \end{cases}. \quad (17)$$

Як відомо, задачею спостереження є задача визначеного стану x^r системи у момент часу r за вхідними і вихідними сигналами, які будуть виміряні у майбутньому тобто за даними про управління $u(t)$ й про сигнал $y(t)$ при $t \geq r$. Задача ідентифікації системи полягає у тому, щоб оцінити стан системи x^r у момент часу r з даними про $u(t)$ й $y(t)$ при $t \leq r$.

Точка (r, x^r) називається подією, для характеристики котрої введемо наступні два поняття. Подія (r, x^r) називається неідентифікованою, якщо $y(t, r, x^r, u)|_{u=0} = 0$ для всіх $t \geq r$. У відповідності з цими поняттями дається наступна характеристика системи (17).

Ця система називається спостережуваною (ідентифікованою) у момент часу $t = r$, якщо жодна подія (r, x^r) не є спостережуваною (неідентифікованою), за винятком події $(0, r)$. Відомий критерій неідентифікованості системи (наприклад, [1]) можна сформулювати наступним чином. Для того, щоб подія (r, x^r) системи (17) була

неідентифікованою, необхідно і достатньо, щоб вектор x^r належав ядру матриці:

$$M(t_0, r) = \int_{t_0}^r W^*(t, t_0) \cdot C^*(t) \cdot C(t) \cdot W(t, t_0) dt, \quad t_0 \prec t \prec q \cdot T. \quad (18)$$

Аналогічним чином формуються критерій неспостержуваності. Для того, щоб подія (t_0, x^0) система (17) була неспостержуваною на відріжку часу $t_0 \prec t \prec T$, необхідно і достатньо, щоб вектор x^0 належав ядру матриці:

$$N(t_0, r) = \int_{t_0}^T W^*(t, t_0) \cdot C^*(t) \cdot C(t) \cdot W(t, t_0) dt. \quad (19)$$

У випадку системи (16), залежної від старту і фінішу, величини t_0 і T – змінні, тому матриці $M(t_0, r)$ $N(t_0, r)$ не є постійним і їх ранг може змінюватись у залежності від змінних t_0 і T . У результаті структура неспотережуваних і неідентифікованих систем буде змінюватися у залежності від t_0 і T .

Приклад 2. Розглянемо систему:

$$\begin{cases} \dot{x} = x_2, \dot{x}_2 = u_1, \dot{x}_3 = x_4, \dot{x}_4 = u_1 + u_2 \\ y = x_2 + x_4, y_2 = \alpha(t, T) \cdot x_1 + (1-t) \cdot x_3 + \beta \cdot (t, t_0) \cdot x_4 \end{cases} \quad (20)$$

У якій $\alpha(t, T)$ і $\beta(t, t_0)$ визначаються формулами (11) і (12), тоді за допомогою безпосередніх обчислень знаходимо, що матриця $M(t_0, r)$ представляє собою матрицю Грама:

$$\Gamma = \begin{bmatrix} q_{11} & q_{12} & q_{13} & q_{14} \\ q_{21} & q_{22} & q_{23} & q_{24} \\ q_{31} & q_{32} & q_{33} & q_{34} \\ q_{41} & q_{42} & q_{43} & q_{44} \end{bmatrix}, \quad (21)$$

векторів функцій:

$$\begin{aligned} q_1(t, T) &= \begin{vmatrix} 0 \\ \alpha(t, T) \end{vmatrix}, \quad q_2(t, t_0, T) = \begin{vmatrix} 1 \\ (t-t_0) \cdot \alpha(t, T) \end{vmatrix}, \quad q_3(t, T) = \begin{vmatrix} 0 \\ (t-1) \end{vmatrix}, \\ q_4(t, t_0) &= \begin{vmatrix} 1 \\ (t-t_0) \cdot (t-1) + \beta \cdot (t, t_0) \end{vmatrix}, \end{aligned} \quad (22)$$

де скалярний добуток визначається за формулою:

$$(q_i, q_k) = \int_{t_0}^r q_i^* \cdot q_k dt. \quad (23)$$

Відомо, що ранг Γ такої матриці дорівнює числу лінійно незалежних векторів-функцій у системі q_1 , q_2 , q_3 , і q_4 .

Безпосереднім обчисленням знаходимо при яких значеннях параметрів t_0 , r і T ранг матриці не може бути рівним чотирьом. Можливі лише наступні частинні випадки:

$$\text{Rank } \Gamma = 3 \text{ при } t_0 > 1, T \leq 2, \text{ Rank } \Gamma = 3 \text{ при } t_0 \leq 1, T \leq 2, \quad (24)$$

$$\text{Rank } \Gamma = 3 \text{ при } t_0 > 1, T > 2, \text{ Rank } \Gamma = 3 \text{ при } t_0 \leq 1, T > 2.$$

Таким чином, у перших трьох випадках множина не ідентифікованих подій (r, x^r) утворює одновимірний простір, тобто загальний розв'язок рівняння:

$$\Gamma_x = 0, \quad (25)$$

залежить від однієї довільної сталої. У четвертому випадку множина неідентифікованих подій утворює двовимірний простір.

Аналогічно можна розглянути залежність від t_0 і T матриці $N(t_0, T)$, яка визначає неспостержувані початкові стани.

Оптимальне управління. При розгляді задачі про оптимальне управління системи виду (5), залежними від старту і фінішу, формально можна виходити з того, що ці системи залежать від двох параметрів t_0 і T . Як відомо, системи, залежні від параметрів, почали розглядатися у математичній теорії оптимальних процесів ще на світанку її розвитку (наприклад, [5]). Необхідні умови оптимальності для них були сформульовані у вигляді границі максимуму.

Здавалосьь, що цими результатами можна було скористатись без будь-яких додаткових умов і при аналізі системи, яка залежить від старту і фінішу. Однак такий підхід у розглядуваному випадку не дає вичерпної відповіді, оскільки тут значення параметрів t_0 і T впливають на область визначення функцій f_i по змінній t . Така залежність не передбачена у класичних задачах оптимальних процесів з параметрами. Тому тут можливі різноманітні особливості.

Результати аналізу прикладу 1 показують, що розв'язок задачі про повну керованість системи виду (5) можуть суттєво залежати від t_0 і T . Отже при дослідженні задач про оптимальне управління доцільно розглядати окремі ситуації, коли система цілком керована на відрізку $t_0 \leq t \leq T$, інколи такої керованості немає. При цьому аналіз необхідний незалежно від того, фіксована чи ні тривалість процесу $(T - t_0)$ (так, наприклад як у задачах про оптимальну швидкодію).

Приклад 3. Розглянемо задачу про оптимальну швидкодію у системі (10) при початкових умовах:

$$x_i(t_0) = x_i^0, \quad i = 1, \dots, 4, \quad (26)$$

де вектор $x^0 = (x_1^0, x_2^0, x_3^0, x_4^0)$ заданий.

Необхідно перевести систему у стан:

$$x_i(T) = x_i^1, \quad i = 1, \dots, 4, \quad (27)$$

за найкоротший відрізок часу ($T - t_0 = \min$) з додатковим обмеженням на допустимі керування:

$$J(u) = \int_{t_0}^T u^*(t) \cdot u(t) dt = \int_{t_0}^T [u_1^2(t) + u_2^2(t)] dt \leq \nu^2, \quad (28)$$

де: ν – задана постійна. При цьому момент час t_0 старту системи не заданий.

Якщо припустити, що вектори x^0 і x^1 не підкорюються ніяким додатковим умова, тоді задачу слід розв'язувати при тих самих значеннях t_0 і T , при яких система цілком керована. У цьому випадку вектори-функції h_1 , h_2 , h_3 і h_4 (див. приклад 1) повинні бути лінійно незалежними від T . Спочатку у відповідності з відомою методикою (наприклад, [2,4]) розв'язку задачі швидкодії, фіксуємо t_0 і T і розв'язуємо задачу про керування з мінімальною енергією. Для цього перш за все, виписуємо умову того, що розв'язок $x = x(t)$ рівнянь (10) з початковими умовами (26) повинен задовольняти умову (27). Ця вимога призводить до моментних співвідношень:

$$\int_{t_0}^T h_i^*(t, t_0, T) \cdot u(t) dt = C_i, \quad i = 1, \dots, 4, \quad (29)$$

де: C_i , $i = 1, \dots, 4$ – компонента вектора $C = x^1 - W(T, t_0; t_0, T) \cdot x^0$.

При лінійній незалежності векторів-функцій h_i , $i = 1, \dots, 4$ (цей випадок ми і розглядаємо) управління з мінімальною енергією можна подати у вигляді:

$$u^0 = \sum_{i=1}^4 \gamma_i \cdot h_i(t, t_0, T), \quad (30)$$

де $\gamma_i = \gamma_i(t_0, T)$ однозначно визначається системою рівнянь.

$$\sum_{i=1}^4 \gamma_i \int_{t_0}^T h_i^*(t, t_0, T) h_k(t, t_0, T) dt = C_i(t_0, T), \quad i = 1, \dots, 4. \quad (31)$$

Якщо рівняння (30) підставити у ліву частину співвідношення (28) і врахувати рівняння (31), тоді маємо:

$$\varphi(t_0, T) = \int_{t_0}^T u^*(t, t_0, T) dt = \sum_{i=1}^4 \gamma_i \cdot C_i, \quad (32)$$

тут $\varphi(t_0, T)$ – мінімальне значення функціонала J з рівняння (28).

Розв'язок систем (31) можна подати у вигляді:

$$\gamma_k = \frac{1}{\Delta(t_0, T)} \cdot \sum_{i=1}^4 \Delta_{ki}(t_0, T) \cdot C_i, \quad k = 1, \dots, 4, \quad (33)$$

де: Δ – визначник системи, а Δ_{ki} – алгебраїчне доповнення елемента, який стоїть на перетині k -го рядка і i -го стовпчика.

Тому можна записати:

$$\varphi(t_0, T) = \sum_{k=1}^4 \sum_{i=1}^4 C_k \cdot C_i \frac{\Delta(t_0, T)}{\Delta(t_0, T)}. \quad (34)$$

Розглянемо тепер t_0 і T як змінні величини (причому $t_0 < T$), маємо задачу про оптимальну швидкодію, яку можна сформулювати наступним чином. Необхідно знати t_0 і T такі, що:

$$t_0 < T, \varphi(t_0, T) = \nu^2, T - t_0 = \min.$$

Оскільки ми розглядаємо випадок повної керованості системи (10), тоді, крім того, повинна виконуватися ще одна умова (див. приклад 1): $t_0 > 1, T > 2, t_0 > 1, T \leq 2$.

Оптимальна задача є задачею нелінійного програмування, у якій область змінних t_0 і T не є закінченою. Звідси випливає, що вона може не мати розв'язків.

Розглянемо тепер задачу про оптимальну швидкодію у одному з випадків, коли система (10) не є керованою.

Нехай, наприклад $t_0 \leq 1, T > 2$. У цьому випадку (див. приклад 1):

$$h_1 = h_3 = \begin{pmatrix} T-t \\ t-1 \end{pmatrix}, h_2 = h_4 = \begin{pmatrix} 0 \\ 1 \end{pmatrix}. \quad (35)$$

Відповідно у системі h_1, h_2, h_3 і h_4 можна отримати тільки дві лінійно незалежні вектор-функції. Нехай це будуть h_1 і h_2 .

Оскільки виконуються співвідношення (35), тоді постійні $C_1, i=1, \dots, 4$ у момент них співвідношеннях (29) повинні підкорятись умові:

$$C_1 = C_3, C_2 = C_4. \quad (36)$$

Згідно із співвідношення вектор $C = \{C_1, C_2, C_3, C_4\}$ визначається за формулою: $C_1 = X^1 - W(T, t_0) \cdot x^0$.

Тому рівності (36) можна подати у вигляді:

$$x_1^1 - x_1^0 - (T - t_0) \cdot x_2^0 = x_3^1 - x_3^0 - (T - t_0) \cdot x_4^0. \quad (37)$$

$$x_2^1 - x_2^0 = x_4^1 - x_4^0. \quad (38)$$

Умова (38) не залежить від t_0 і T . Тому її можна характеризувати як «жорстке обмеження» на стан системи у початковий і кінцевий момент часу. Зміст обмеження (37) дещо інший. Воно зв'язує точки x^0, x^1 й тривалість $T - t_0$ розглядуваного процесу. Тому якщо точки задані, тоді ця умова визначає тривалість процесу із врахуванням обмеження $t_0 \leq 1, T > 2$. Залишається побудувати керування. Для його знаходження маємо моментні співвідношення (29) і обмеження (38). При цьому t_0 і T не фіксовані, а відома лише різниця $T - t_0$. Така задача розв'язується відомими способами.

Висновки

Моделювання подібних систем, методи оптимального управління ними є актуальними дослідженнями сьогодення і вимагають подальшого поглибленого вивчення.

Використання розробленої методики інтегровані системи управління виконанням технологічних процесів у сільськогосподарському виробництві, залежні від початкового та кінцевого моментів часу їх функціонування дають можливість прогнозувати подальші зміни систем. Дана методика дозволяє оптимізувати використання наявних ресурсів забезпечить підвищення ефективності на 20–30%.

Список літератури

1. Сендреев Ю. Н. Управление конечно-матричными линейными объектами. Москва. 1976. 424 с.
2. Красовский Н. Н. Теория управления движением. Москва. 1968. 474 с.
3. Ройтенберг Я. Н. Автоматическое управление. Москва. 1978. 551 с.
4. Егоров А. И. Оптимальное управление линейными системами. Киев. 1988. 276 с.
5. Понтрягин Л. С., Болтянский В. Г., Мищенко Е. Ф. Математическая теория оптимальных процессов. Москва. 1961. 391 с.
6. Molin J. P., Castro C. N. Establishing management zones using soil electrical conductivity and other soil properties by the fuzzy clustering technique. *Scientia Agricola*. 65(6). 2008. 567—573.
7. Yan L., Zhou S., Cifang W., Hongyi L., & Feng L. Classification of management zones for precision farming in saline soil based on multi-data sources to characterize spatial variability of soil properties. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*. 23(8). 2007. 84—89.
8. Zhang X., Shi L., Jia X., Seielstad G., Helgason C. Zone mapping application for precision farming: a decision support tool for variable rate application. *Precision Agriculture*. 11. 2010. 103—114.
9. Kyaw T., Ferguson R. B., Adamchuk V. I., Marx D. B., Tarkalson D. D., McCallister D. L. Delineating site-specific management zones for pH-induced iron chlorosis. *Precision Agriculture*. 9. 2008. 71—84.
10. Kitchen N. R., Sudduth K. A., Myers D. B., Drummond S. T., Hong S. Y. Delineating productivity zones on claypan soil fields apparent soil electrical conductivity. *Computers and Electronics in Agriculture*. 46. 2005. 285—308.
11. Minasny B., McBratney A. B. A conditioned Latin hypercube method for sampling in the presence of ancillary information. *Computers & Geosciences*. 32. 2006. 1378—1388.
12. McBratney A. B., Whelan B. M., Walvoort D. J., Minasny B. A purposive sampling scheme for precision agriculture. In: *Proceedings of the 2nd European Conference on Precision Agriculture*. Sheffield Academic Press. Sheffield. UK. 1999. 101—110.
13. Minasny B., McBratney A. A conditioned Latin hypercube method for sampling in the presence of ancillary information. *Computers & Geosciences*. 32. 2006. 1378—1388.
14. Trangmar B. B., Kemp R. A. Use of geostatistics in designing sampling strategies for soil survey. *Soil Science Society of America Journal*. 53. 1989. 1163—1167.
15. I. J. Won and Haoping Huang. Magnetometers and electro-magnetometers. *The leading edge*. May 2004. 26—29.

References

1. Andreev Yu. N. (1976). Management course-matrix linear objects. Moscow. 424.
2. Krasovskii N. N. (1968). The theory of motion control. Moscow. 474.
3. Roytenberg J. N. (1978). Automatic control. Moscow. 551.
4. Yegorov A. I. (1988). Optimal control of linear systems. Kiev. 276.
5. Pontryagin L. S., boltyansky V. G., Mischenko E. F. (1961). Mathematical theory of optimal processes. Moscow. 391.
6. Molin J. P., Castro C. N. (2008). Establishing management zones using soil electrical conductivity and other soil properties by the fuzzy clustering technique. *Scientia Agricola*. 65(6). 567-573.
7. Yan L., Zhou S., Cifang W., Hongyi L., & Feng L. (2007). Classification of management zones for precision farming in saline soil based on multi-data sources to characterize spatial variability of soil properties. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*. 23(8). 84-89.
8. Zhang X., Shi L., Jia X., Seielstad G., Helgason C. (2010). Zone mapping application for precisionfarming: a decision support tool for variable rate application. *Precision Agriculture*. 11. 103-114.
9. Kyaw T., Ferguson R. B., Adamchuk V. I., Marx D. B., Tarkalson D. D., McCallister D. L. (2008). Delineating site-specific management zones for pH-induced iron chlorosis. *Precision Agriculture*. 9. 71-84.
10. Kitchen N. R., Sudduth K. A., Myers D. B., Drummond S. T., Hong S. Y. (2005). Delineating productivity zones on claypan soil fields apparent soil electrical conductivity. *Computers and Electronics in Agriculture*. 46. 285-308.
11. Minasny B., McBratney A. B. (2006). A conditioned Latin hypercube method for sampling in the presence of ancillary information. *Computers & Geosciences*. 32. 1378-1388.
12. McBratney A. B., Whelan B. M., Walvoort D. J., Minasny B. (1999). A purposive sampling scheme for precision agriculture. In: *Proceedings of the 2nd European Conference on Precision Agriculture*. Sheffield Academic Press. Sheffield. UK. 101-110.
13. Minasny B., McBratney A. (2006). A conditioned Latin hypercube method for sampling in the presence of ancillary information. *Computers & Geosciences*. 32. 1378-1388.
14. Trangmar B. B., Kemp R. A. (1989). Use of geostatistics in designing sampling strategies for soil survey. *Soil Science Society of America Journal*. 53. 1163-1167.
15. I. J. Won and Haoping Huang. (2004). Magnetometers and electro-magnetometers. *The leading edge*. May. 26-29.

ТЕХНИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ ОПЕРАТИВНОГО УПРАВЛЕНИЯ КАЧЕСТВОМ ВЫПОЛНЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ В РАСТЕНИЕВОДСТВЕ, ЗАВИСЯЩИЕ ОТ НАЧАЛЬНОГО И КОНЕЧНОГО СОСТОЯНИЯ ОБЪЕКТА УПРАВЛЕНИЯ

В. Г. Мироненко, Ю. В. Човнюк, А. А. Броварец

Аннотация. По мнению авторов данного исследования, необходимо рассмотреть специфический класс управляемых систем, которые зависят от старта и финиша и которые адекватно моделируют интегрированные системы автоматического управления выполнением технологических процессов в сельскохозяйственном производстве, в том числе растениеводстве. Задачи управления такими системы несколько

отличающиеся от традиционных задача управления (в том числе оптимального) и связанные прежде всего, с планированием работы каждой из таких систем.

Обоснованы интегрированные системы управления исполнением технологических процессов в сельскохозяйственном производстве, которые зависят от начального и конечного моментов времени их функционирования. Для оптимизации процессов управления указанными системы проведено обобщение результатов исследования влияния различных факторов на эффективность растениеводства. Установлены наиболее весомые технологические, технические и организационные критерии качественной работы сельскохозяйственных машин, их уровень влияния на конечный результат, величину собранного урожая, а также возможный уровень эффективности применения соответствующих технических средств механизации с управлением воздействием на качество исполнения собственно самых технологически операции.

Моделирование подобных систем, методы оптимального управления ими являются актуальными исследованиями настоящего и требуют последующего углубленного изучения.

Использование разработанной методики интегрированные системы управления выполнением технологических процессов в сельскохозяйственном производстве, зависящие от начального и конечного моментов времени их функционирования дают возможность спрогнозировать последующие изменения систем. Данная методика позволяет оптимизировать использование имеющихся ресурсов обеспечит повышение эффективности на 20-30%.

Ключевые слова: *интегральные системы управления, технологические процессы, сельскохозяйственное производство, зависимость, начальный и конечный моменты функционирования*

TECHNICAL OPERATIONAL MANAGEMENT SYSTEM QUALITY OF EXECUTION OF TECHNOLOGICAL PROCESSES IN CROP PRODUCTION DEPENDENT ON INITIAL AND FINAL STATES CONTROL OBJECT

V. G. Mironenko, Yu. V. Chovnyuk, O. O. Brovarets

Abstract. *In opinion of authors of this research, it is necessary to consider the specific class of the guided systems, which depend on the start and finish and which adequately design the computer-integrated automatic control systems by implementation of technological processes in agricultural production including plant-grower. Management tasks such the systems some different from traditional management (including*

optimum) task and tied-up foremost, with planning of work of each of such systems.

The integrated systems of management to executions of technological processes in agricultural production are grounded, which rely on the initial and eventual moments of time of their functioning. For optimization of processes of management indicated the systems are conducted generalization of results of research of influencing of different factors on efficiency of plant-grower. The most ponderable technological, technical and organizational criteria of high-quality work of agricultural machines are set, their level of influence on an eventual result, size of the collected harvest, and also possible level of efficiency of application of the proper hardwares of mechanization with management by influence on qual/ity of execution actually of same technologically operations.

Design of the similar systems, the methods of optimum management by them are actual researches of *ñüîãääíÿ* and require the subsequent deep study.

The use of the developed method is the computer-integrated control systems by implementation of technological processes in agricultural production, the dependency upon the initial and eventual moments of time of their functioning enable the subsequent changes of the systems. This method allows to optimize the use of present resources will provide the increase of efficiency on 20-30%.

Key words: *integral systems of management, technological processes, agricultural production, dependence, initial and eventual moments of functioning*

УДК 624.042.4

ВЕРТИКАЛЬНІ В'ЯЗИ КАРКАСНИХ БУДІВЕЛЬ В СЕЙСМІЧНО АКТИВНИХ ЗОНАХ

Є. А. Бакулін, кандидат технічних наук

В. М. Бакуліна

**Національний університет біоресурсів і
природокористування України**

Н. О. Костира, кандидат технічних наук

Національний авіаційний університет

e-mail: bakulin959@ukr.net; iakos62@ukr.net

Анотація. При будівництві каркасних будівель в сейсмічно небезпечних зонах України виникають сейсмічні та інженерні

© Є. А. Бакулін, В. М. Бакуліна, Н. О. Костира, 2017