

УДК 681.513

**МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ  
ПРОГНОСТИЧНО-КОМПЕНСАЦІЙНОЇ ТЕХНОЛОГІЇ  
ДИФЕРЕНЦІЙОВАНОГО ВНЕСЕННЯ ТЕХНОЛОГІЧНОГО  
МАТЕРІАЛУ З ВИКОРИСТАННЯМ ТЕХНІЧНИХ СИСТЕМ  
ОПЕРАТИВНОГО МОНІТОРИНГУ СТАНУ  
СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ УГІДЬ**

**О. Броварець**, канд. техн. наук, доцент  
*Національний університет біоресурсів і природокористування України*

*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. 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.*

**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), котрі 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 цього дослідження, необхідно розглянути специфічний клас керованих системи, які залежать від старту та фінішу і котрі адекватно моделюють інтегровані системи автоматичного управління виконання технологічних процесів у сільськогосподарському виробництві, у тому числі рослинництві. Задачі управління такими системи дещо відмінні від традиційних задача управління (у тому числі оптимального) і 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 публікацій стосовно теми дослідження.** Автори робіт [1-5] розглядають всебічно досліджують різноманітні аспекти управління скінченно-вимірними лінійними об'єктами, різноманітні задачі теорії управління рухом, автоматичного управління лінійними (нелінійними) системами. Проте управління системи, які залежать від старту та фінішу, на думку авторів дослідження, вимагають подальшого всебічного вивчення.

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

**Мета роботи** полягає у розробці математичної моделі прогностично-компенсаційної технології диференційованого внесення технологічного матеріалу з використанням технічних систем оперативного моніторингу стану сільськогосподарських угідь, а також задачі повної керованості подібних систем за оптимізацією управління.

**Виклад основного змісту дослідження.** У загальному випадку просторовий рух машинно-тракторного агрегата із сільськогосподарською машиною із забезпеченням динамічної якості виконання технологічної операції із використанням технічних систем оперативного моніторингу у рослинництві можна описати системою звичайних диференціальних та алгебраїчних рівнянь, які визначаються вимогами керованого прогнозованого агробіологічного стану сільськогосподарських угідь шляхом реалізації прогностично-компенсаційної технології диференційованого внесення технологічного матеріалу:

$$\begin{aligned} \frac{dx_1}{dt} &= f_1(x_1, \dots, x_n, t, u_1, \dots, u_{n-r}) \\ \frac{dx_r}{dt} &= f_r(x_1, \dots, x_n, \dots, u_1, \dots, u_{n-r}) \\ x_{r+1} &= u_{r+1}(x_1, \dots, x_n, t) \\ x_n &= u_n(x_1, \dots, x_n, t) \end{aligned} \quad (1)$$

Визначимо необхідний керований прогнозований агробіологічний стан сільськогосподарських угідь  $X(t)$  динамічними керівними впливами  $U(t)$  на якість виконання технологічних операцій на основі даних, отриманих із використанням технічних систем оперативного моніторингу у рослинництві:

$$\begin{aligned} X(t) &= \{x_1, \dots, x_n, t\} \\ U(t) &= \{u_1, \dots, u_{n-r}, t\}. \end{aligned} \quad (2)$$

де  $n$  - кількість змінних, які описують поточний агробіологічний стану сільськогосподарських угідь,  $r$  - кількість динамічних керівних впливів на якість виконання технологічних операцій із використанням технічних систем оперативного моніторингу у рослинництві.

Така задача динамічного управління якістю виконання технологічних операцій із використанням технічних систем оперативного моніторингу у рослинництві буде мати не одне рішення для забезпеченні одного і того ж керованого агробіологічного стану сільськогосподарських угідь та оптимізації функції інтенсивності керування  $\xi[U]$ , яка визначає витрати ресурсів на здійснення процесу динамічного керування якістю виконання технологічних операцій із використанням технічних систем оперативного моніторингу у рослинництві [12, 5, 6].

На результат рішення системи (1) впливають також невизначені величини, відносно яких була складена система рівнянь, наприклад, збурення фізичного процесу роботи машинно-тракторних агрегатів, сільськогосподарських машин і технічних систем оперативного моніторингу та агробіологічного стану сільськогосподарських машин, обумовлені переміщенням під час виконання технологічної операції. У такому разі кінцевий результат рішення системи (1) внаслідок зміни не тільки початкових значень параметрів, а й самої математичної моделі опису просторового рішення задачі управління виконанням технологічної операції.

Зазначений підхід до динамічного керування якістю виконання технологічних операцій на сьогодні не використовується, оскільки, як правило, використовуються середньостатистичні (прогнозовані) показники, які є орієнтирами для «стаціонарних» норм внесення технологічного матеріалу. Такий підхід до виконання технологічних операцій не дає можливості комплексного й ефективного керування агробіологічним станом сільськогосподарських угідь та внаслідок неповного використання наявних ресурсів системи «машина-поле», тому виникає необхідність до переходу до більш складнішої системи «МТА-СГМ-ТСМ-АБС». Для спрощення цієї системи найбільш поширеними є методи і критерії, за якими здійснюється аналітичне конструювання регуляторів систем керування динамічними

об'єктами. На практиці така спрощена модель не дає можливості оптимального керування агробіологічним станом сільськогосподарських угідь, оскільки не враховується його поточний стан.

Згідно із співвідношенням (1), існує похідна система диференціальних рівнянь для динамічного керування якістю виконання технологічних операцій із використанням технічних систем оперативного моніторингу у рослинництві відносно динамічного агробіологічного стану сільськогосподарських угідь  $\Phi_u$ :

$$\dot{X} = \Phi_u(X, t, F(t)) \quad (3)$$

$$\text{де } \dot{X} = \begin{pmatrix} \dot{x}_1 \\ \dots \\ \dot{x}_n \end{pmatrix}, X = (x_1, \dots, x_n), F(t) = (f_1(t), \dots, f_n(t)), \Phi_u = (\Phi_u', \dots, \Phi_u^n).$$

Виходячи з методу нелінійної інтегральної інваріантності [5], похідну систему рівнянь (1) з урахуванням співвідношення (3), перетворимо так, щоб теоретично повністю виконувались умови інваріантності.

Таким чином, отримуємо систему рівнянь:

$$\frac{dx_1}{dt} = \Phi_1'(x_1, t, f_1(t), \dots, f_n(t)) \quad (4)$$

$$\frac{dx_n}{dt} = \Phi_n^n(x_1, \dots, t, f_1(t), \dots, f_n(t))$$

У зв'язку з тим, що для системи рівнянь (4) складно досягти вимоги щодо точності виконання умов інваріантності, отримуємо систему рівнянь:

$$\frac{dx_1}{dt} = \overline{\Phi}_1'(x_1, t, f_1(t), \dots, f_n(t)) \quad (5)$$

$$\frac{dx_n}{dt} = \overline{\Phi}_1^n(x_1, \dots, x_n, t, f_1(t), \dots, f_n(t))$$

де  $\overline{\Phi}_u = (\overline{\Phi}_u', \dots, \overline{\Phi}_u^n)$  - множина гарантованого динамічного керування якістю виконання технологічних операцій  $\overline{\Phi}_u$ , яка враховує  $\mathcal{E}$ -оکیل припустимих значень рішення системи (3).

Слід зазначити, що в системі рівнянь (5) вектор  $X$  не є інваріантним до вектора зовнішніх збурень  $F(t)$ . Разом з тим при цьому існують припустимі відхилення на величину  $\mathcal{E}$  поведінки отриманої системи (5) від похідної системи (1).

Якщо компоненти вектора  $X$  є обмеженими функціями, для оцінювання рішення системи (1) в  $\mathcal{E}$ -околі припустимих значень рішення системи (3), згідно із співвідношенням (2), можна визначити вектор  $U(t)$

управління якістю виконання технологічних операцій, кожен елемент якого задовольняє умову

$$u_i(t) \geq |x_i^a - x_i| \forall u_i(t) \in U(t) \quad (6)$$

де  $x_i^a$  - рішення системи (3),  $x_i$  - справжнє значення рішення системи (3).

Співвідношення (6) має задовольнятися на всьому діапазоні значень часу динамічне керування якістю виконання технологічних операцій із забезпеченням керованого агробіологічного стану сільськогосподарських угідь:

$$t \in [t_n, t_k] \quad (7)$$

де  $t_n$  та  $t_k$  - відповідно час початку та закінчення керівних впливів на динамічний об'єкт.

У такому разі на множині (7) маємо множину керівних впливів (6), які є рішеннями системи (5), що мають знаходитись у множині простору обмеження параметрів систем (1) та (3).

Границі простору обмежень на значення параметрів динамічного керування якістю виконанням технологічних операцій із використанням технічних систем оперативного моніторингу у рослинництві для забезпечення керованого агробіологічного стану сільськогосподарських угідь визначаються рішеннями сукупностей систем диференційних рівнянь для кожної змінної  $x_i(t) \in X_i$ :

$$\begin{aligned} \frac{dx_1^a}{dt} &= \Phi'_u(x_1^a, t, f_1(t), \dots, f_n(t)) \\ \frac{dx_1}{dt} &= \overline{\Phi}'_u(x_1^a, x_2, \dots, x_n, t, f_1(t), \dots, f_n(t)) \\ \frac{dx_n^a}{dt} &= \Phi''_u(x_n^a, t, f_1(t), \dots, f_n(t)) \\ \frac{dx_n}{dt} &= \overline{\Phi}''_u(x_1, \dots, x_n^a, t, f_1(t), \dots, f_n(t)) \end{aligned} \quad (8)$$

Виходячи з результатів рішення сукупностей систем диференційних рівнянь (8), згідно із співвідношенням (6), визначимо сукупності

$$\begin{aligned} u_i^{\max} &= \sup(u_i(t)) \\ u_i^{\min} &= \inf(u_i(t)) \end{aligned} \quad (9)$$

У такому разі  $X_i$  визначає зону фазового потоку параметра  $x_i(t)$ , а співвідношення (9) визначає границі фазового потоку керування  $u_i(t)$  якістю виконання технологічних операцій із використанням технічних систем оперативного моніторингу у рослинництві для забезпеченням керованого агробіологічного стану сільськогосподарських угідь шляхом реалізації прогностично-компенсаційної. Слід зазначити, що фазовий простір параметрів для співвідношення (1) є безперервним, а точки перетину з осями координат перерізів фазового простору за обраними парами параметрів не є точками біфуркації параметрів і можуть розглядатись як сідлові точки.

Для кожної змінної  $x_i(t)$  визначимо першу похідну функції керування динамічним об'єктом:

$$\frac{du_i(t)}{dt} = L_i(u_i(t), t) + f_i(t) \quad (10)$$

Вид функції  $L_i(u_i(t), t)$  обирається з умов інваріантності керування якістю виконання технологічних операцій із використанням технічних систем оперативного моніторингу у рослинництві для забезпеченням керованого агробіологічного стану сільськогосподарських угідь шляхом реалізації прогностично-компенсаційної. Функція  $\varphi_i(t)$  визначається за параметрами похідної системи і враховує особливості динаміки керування якістю виконання технологічних операцій із використанням технічних систем оперативного моніторингу у рослинництві для забезпеченням керованого агробіологічного стану сільськогосподарських угідь шляхом реалізації прогностично-компенсаційної.

Слід зазначити, що в загальному випадку задача Коші для співвідношення (10) може бути задана з ненульовими початковими умовами.

У загальному випадку функції  $L_i(u_i(t), t)$  та  $\varphi_i(t)$  визначаються відповідно до системи (3) згідно з умовою:

$$L_i(u_i(t), t) = 0, \quad \{\forall i \in [1, n] u_i(t) \geq 0\} \quad (11)$$

Враховуючи співвідношення (10) і (11), функції  $L_i(u_i(t), t)$  та  $\varphi_i(t)$  можна визначити так:

$$K_i^L = \text{sign}(x_i^a - x_i)$$

$$L_i(u_i(t), t) \geq K_i^L \left[ \Phi_u^i(x_i^a, t, f_1(t), \dots, f_{i-1}(t), f_{i+1}(t), \dots, f_n(t)) - \Phi_u^i(x_i, t, f_1(t), \dots, f_{i-1}(t), f_{i+1}(t), \dots, f_n(t)) \right] = 0$$

$$\varphi_i(t) \geq \left[ \Phi_u^i(x_i^a, t, f_1(t), \dots, f_{i-1}(t), f_{i+1}(t), \dots, f_n(t)) - \Phi_u^i(x_i, t, f_1(t), \dots, f_{i-1}(t), f_{i+1}(t), \dots, f_n(t)) \right] \quad (13)$$

Співвідношення (12) і (13) характеризують властивості отриманої інваріантності та ступінь наближення рішень системи (1) до теоретично можливих рішень у класі функціональних просторів, які визначають множину значень параметрів, за яких можливе рішення системи (1).

Розглянутий метод рішення системи (1) є практично можливим за умови її дифеоморфізму системі (5), що дозволяє розглядати інваріантність поля рішення похідної системи (1) з рішеннями інваріантної системи (5). У такому разі рішення системи (1) з урахуванням співвідношень (12) і (13) можна замінити рішеннями інваріантної системи (5). У такому разі поля обмежень параметрів залишаються такими, як і для системи (1).

Таким чином виникають дві задачі:

- розробити методи розрахунку поля значень параметрів системи (1) з метою визначення поля керованих станів динамічного об'єкта в евклідовому просторі спостереження та пошуку;
- за такого дифеоморфізмі системи (1) знайти поле її рішення у вигляді лінійних алгебраїчних рівнянь з метою дослідження таких динамічних властивостей фізичного об'єкта, як керованість, стійкість тощо.

Перша задача досить просто вирішується в аналітичній формі для систем, які вміщують на більше двох рівнянь. Для систем, які вміщують більше двох рівнянь, застосовують ітераційні обчислювальні процедури, що дозволяють визначити області активних керованих станів динамічного об'єкта. При цьому необхідно визначити збіжність процесу обчислень, час обчислень, можливості та засоби визначення точності, умову завершення ітераційного процесу, що є притаманним «ефекту доміно» та «прокляття розмірності». Слід відмітити, що зазначені проблеми пов'язані між собою і вимагають комплексного підходу для їх вирішення.

За своєю сутністю рівняння, які входять до систем (1), (3)-(5), (8), є Гамільтоновими функціями, а керівні впливи  $U(t)$  змінюють стан фазового простору існування динамічного об'єкта. У такому разі співвідношення (12) і (13) визначають принцип найменшої (стаціонарної) дії рівняння Гамільтона. Співвідношення (8), (10) і (11) описують гамільтоніан, який із застосуванням дужок Пуассона дозволяє використовувати дужки Лі в алгебрі Пуассона, що вирішує другу задачу, а саме можливості використання алгебраїчних рівнянь замість диференційних, що значно спрощує знаходження рішення системи (1). Слід зазначити, що рівняння Гамільтона у класичній механіці є аналогом рівняння Гейзенберга у квантовій механіці і дозволяє враховувати ймовірну невизначеність обмежень і властивостей простору спостереження та пошуку, в якому здійснюється переміщення динамічного об'єкта.

Функція Гамільтона  $H(q_i, p_i, t)$  визначається через узагальнені координати  $q_i$  і узагальнені імпульси  $p_i$  виходячи з функції Лагранжа  $L(q_i, \dot{q}_i, t)$  так.

Узагальнені імпульси визначаються, як

$$p_i = \frac{\partial L}{\partial \dot{q}_i}.$$

Функція Гамільтона визначається згідно з:

$$H = \sum_q \dot{q}_i \frac{\partial L}{\partial \dot{q}_i} - L'$$

Після цього всі узагальнені швидкості  $\dot{q}_i$ ,  $d$ ,  $H$  виражаються через узагальнені імпульси й координати.

За своєю суттю функція Гамільтона є енергією системи, вираженою через координати й імпульси.

У випадку стаціонарних зв'язків і потенційних зовнішніх сил:

$$H = T + V,$$

тобто функція Гамільтона є сумою потенційної і кінетичної енергій, але при цьому кінетична енергія повинна бути виражена через імпульси, а не через швидкості.

Рівняння еволюції динамічної системи записуються в Гамільтоновій механіці у вигляді:

$$\begin{aligned} \dot{p}_i &= -\frac{\partial H}{\partial q_i} \\ \dot{q}_i &= \frac{\partial H}{\partial p_i}. \end{aligned}$$

Ці рівняння називаються канонічними рівняннями Гамільтона. Вони повністю визначають еволюцію системи з часом у тому сенсі, що знаючи значення узагальнених координат і швидкостей в певний початковий момент часу можна визначити їхні значення в будь-який наступний момент часу, розв'язуючи цю систему рівнянь.

Функція Гамільтона для заряду в електромагнітному полі.

Загалом сила Лоренца не є потенціальною силою, оскільки залежить від швидкості руху заряду. Проте її можна включити в Гамільтонову механіку записавши функцію Гамільтона зарядженої частинки в такій формі (гаусова система одиниць):

$$H = \frac{(p - eA/c)^2}{2m} + c \cdot \varphi$$

де  $e$  - заряд частинки,  $\varphi$  — електростатичний потенціал,  $A$  - векторний потенціал.

Урелятивістському випадку:



$$H = c\sqrt{m^2c^2 + (p - eA/c)^2} + e\phi$$

Цей вираз для функції Гамільтона широко використовується в класичній та квантовій механіці.

$$H = c\sqrt{p^2 + m^2c^2}$$

Виходячи з початкових умов для рішення системи (1), можна визначити функції для обчислення границь перерізів фазового простору якості виконання технологічної операції площинами в ортогональній евклідовій  $n$ -мірній системі координат [1,2]:

$$z_i^j = A \cdot x_i + B \cdot x_j, \quad i \in [1, \dots, n], \quad j \in [1, \dots, n], \quad i \neq j \quad (14)$$

Границю фазового простору в перерізі площиною (14) визначимо параметрично заданою функцією

$$x_i = u_i(x_1, \dots, x_n, t), \quad (15)$$

$$x_j = u_j(x_1, \dots, x_n, t)$$

яка визначає граничний цикл або аттрактор перерізу фазового простору:

$$x_i = x_i(x_j) \quad (16)$$

Аттрактор за співвідношеннями (15) та (16) є замкненою кривою на площині, до якої асимптотично притягаються усі навколишні траєкторії, які виходять з різних початкових точок всередині і зовні граничного циклу.

Слід зазначити, що позитивним аспектом є те, що більшість диференційних рівнянь системи (1), які виходять з різних початкових умов, показують схожу поведінку рішень. Зокрема, при  $t \rightarrow \infty$  цілі сімейства рішень асимптотично наближаються до аттракторів, які є стаціонарними точками фазового простору, або до певних замкнених кривих, а саме граничних циклів.

Для визначення параметрів системи (1), які мають взаємний істотний вплив на рішення, скористаємося канонічними рівняннями Гамільтона:

$$\begin{aligned} \dot{p}_j &= \frac{dp_j}{dt} = -\frac{\partial H}{\partial q_{j\alpha}} \\ \dot{q}_j &= \frac{dq_j}{dt} = -\frac{\partial H}{\partial p_j} \end{aligned} \quad (17)$$

У системі (17)  $P_j$  є значенням узагальнених координат параметрів, які визначають точки фазового простору, а  $Q_j$  є значенням узагальнених координат керуючих впливів (імпульсів) на якість виконання технологічної операції.

Тобто маємо функцію Гамільтона:

$$H(p, q, t) = \sum \dot{q}_i p_i - L(q, \dot{q}, t) \quad (18)$$

У співвідношенні (18) лагранжіан  $L(q, \dot{q}, t)$  є функцією узагальнених координат та відповідних швидкостей.

За рівняннями Ейлера-Лагранжа, згідно з теоремою Бобильова [16], маємо

$$\frac{d}{dt} \frac{\partial L}{\partial \dot{q}} - \frac{\partial L}{\partial q} = 0 \quad (19)$$

Для співвідношення (19) визначимо узагальнені керівні впливи (імпульси) як

$$p = \frac{\partial L}{\partial \dot{q}} \quad (20)$$

З урахуванням співвідношення (20) визначимо узагальнені сили, які впливають на переміщення динамічного об'єкта:

$$F = \frac{\partial L}{\partial q} \quad (21)$$

Таким чином, отримуємо рівняння Ейлера-Лагранжа:

$$\frac{dp}{dt} = F \quad (22)$$

У такому разі співвідношення (22) визначає для співвідношення (19) узагальнену форму другого закону Ньютона з точністю до повної похідної у часі від довільної функції координат динамічного об'єкта в ПСП. Додавання такої функції у співвідношення (19) не впливає на рівняння управління якістю виконання технологічної операції під час переміщення транспортного засобу

Слід зазначити, що, згідно з гамільтоновою механікою, переміщення динамічного об'єкта пов'язане із забезпеченням принципу найменшої дії:

$$S[p, q] = \int \sum_i (p_i \dot{q}_i - H(p, q, t)) dt \quad (23)$$

Для першої варіації дії (23) за умов стаціонарності можна визначити умову найменшої дії:

$$S[p, q] = 0 \quad (24)$$

Згідно зі співвідношенням (24), визначаємо:

$$H(p, q, t) = \int \sum_i (p_i, \dot{q}_i) dt \quad (25)$$

Таким чином, співвідношення (25) дозволяє кількісно визначити запас енергії на початку переміщення динамічного об'єкта за обраною траєкторією. При цьому слід зауважити, що термінальне керування для точки простору стану динамічного об'єкта визначається за співвідношенням (9).

Отже, можна визначити область керованості власне нестійкого динамічного об'єкта за умови опису його просторового переміщення у тривимірному евклідовому просторі. У такому разі керування переміщенням динамічного об'єкта розглядається у трьох ортогональних перерізах простору гарантованого керування динамічним об'єктом у зв'язаній системі координат.

Для похідних параметрів  $x_i$  та  $x_j$  згідно із співвідношенням (9), можна

визначити лінії обмежень  $u_i^{\max}$ ,  $u_i^{\min}$ ,  $u_j^{\max}$  та  $u_j^{\max}$ , які визначають область  $C_i^j$  керованості динамічного об'єкта у площині змінних. Здійснивши зворотне перетворення області  $C_i^j$  з площини змінних  $\frac{dx_i}{dt}$  і  $\frac{dx_j}{dt}$  у площину

перерізу простору фізичних параметрів  $x_i$  та  $x_j$ , отримаємо переріз простору параметрів, які відображають переріз простору гарантованого керування динамічним об'єктом.

### **Висновок.**

Для забезпечення оптимального керування агробіологічним станом сільськогосподарських угідь синтезовано математичну модель динамічного керування якістю виконання технологічної операції, яка є інваріантною до агробіологічного стану сільськогосподарських угідь на основі даних отриманих із використанням технічних систем оперативного моніторингу у рослинництві під час руху транспортного засобу.

### **Література:**

1. Сендреев Ю.Н. Управление конечно- матричными линейными объектами/ Ю.Н. Сендреев. – М. Наука, 1976. – 424 с.
2. Красовский Н.Н. Теория управления движением / Н.Н. Красовский. – М.: Наука, 1968. – 474 с.
3. Ройтенберг Я.Н. Автоматическое управление / Я.Н. Ройтенберг. – М.: Наука, 1978. – 551 с.
4. Егоров А.И. Оптимальное управление линейными системами / А.И. Егоров. – Киев: Вища школа, 1988. – 276 с.
5. Понтрягин Л.С. Математическая теория оптимальных процессов / Л.С. Понтрягин, В.Г. Болтянский, Е.Ф. Мищенко. – М.: Наука, 1961. – 391 с.

### **Аннотация**

*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 системами 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 операций*

### **Summary**

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