

УДК 681.513

**Математична модель визначення компенсаційних норм  
внесення мінеральних добрив залежно від агробіологічного  
стану ґрунтового середовища**

**Мироненко В. Г.**, д.т.н., г.н.с. відділу електрифікації та автоматизації АПВ, Національний науковий центр «Інститут механізації та електрифікації сільського господарства» НААН

**Броварець О. О.**, к.т.н., зав. кафедри інформаційно-технічних та природничих дисциплін, Київський кооперативний інститут бізнесу і права, e-mail: brovaretsnau@ukr.net

**Анотація**

**Мета.** Обґрунтування підходів до розв'язку задач теорії управління систем типу «старт-фініш» та повної керованості подібних систем при оптимізації управління.

**Методи.** Системний аналіз, теорія автоматичного управління, теорія оптимальних процесів, методи математичного програмування.

**Результати.** Обґрунтовані інтегровані системи управління виконанням технологічних процесів у сільськогосподарському виробництві, які залежать від початкового та кінцевого моментів часу їх функціонування. 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.

**Висновки**

1. Подальше економічне та екологічне підвищення ефективності виробництва продукції рослинництва можливе за умови впровадження інтегрованих систем автоматичного управління виконанням технологічних процесів.

2. На особливу увагу заслуговують інтелектуальні керовані системи управління класу «старт-фініш» з відповідними засобами моніторингу стану природних та культурних екосистем.

3. Розроблена модель дає можливість визначати компенсаційні норми внесення мінеральних добрив у функції до величини отриманого прибутку.

**Ключові слова:** технологічні процеси рослинництва, інтегровані системи управління, початковий та кінцевий моменти функціонування, модель компенсаційних норм.

UDC 681.513

**Mathematical model of determining the compensation norms fertilization  
depending on the agrobiological status of soil environment**

**Mironenko V. G.**, doc. tech. Sciences, NSC «IAEE» of the NAAS

**Brovarec O. O.**, PhD. tech. Sciences, Institute of business and law Summary, e-mail: brovaretsnau@ukr.net-Kiev co-operative

**Annotation**

**Purpose.** Substantiation of approaches to the solution of the problems of the theory of control systems of the type "Start-Finish" and disavow similar systems in the optimization of management.

**Methods.** System analysis, automatic control theory, the theory of optimal processes, mathematical programming techniques.

**Results.** Supported by integrated management systems implementation processes in agricultural production, which depend on the initial and final times

of their functioning. Installed the most significant technological, technical and organizational criteria quality of the work of agricultural machinery, their level of influence on the end result – the majestic collected harvest, as well as possible the effectiveness of the application of the relevant technical means of mechanization with a manageable impact on the quality of your own most technological operations.

#### Conclusions

1. Further economic and ecological increase of the efficiency of production of crop production is possible provided the introduction of integrated

systems of automatic control of the implementation of technological processes.

2. Intellectual controlled "start-finish" control systems with the appropriate means for monitoring the state of natural and cultural ecosystems deserve special attention.

3. The developed model makes it possible to determine compensatory norms for the application of mineral fertilizers in the function to the magnitude of the profit.

**Keywords:** technological processes of crop production, integrated management system, start and end points of operation model of compensation rules

УДК 681.513

## Математическая модель определения компенсационных норм внесения минеральных удобрений в зависимости от агробиологического состояния почвенной среды

Мироненко В. Г., д.т.н., ННЦ «ИМЭСХ» НААН Украины

Броварец А. А., к.т.н., Киевский кооперативный институт бизнеса и права,  
e-mail: brovaretsnau@ukr.net

#### Аннотация

**Цель.** Обоснование подходов к решению проблем управления систем типа «старт-финиш» и полной управляемости подобных систем при оптимизации управления.

**Методы.** Системный анализ, теория автоматического управления, теория оптимальных процессов, методы математического программирования.

**Результаты.** Обоснованы комплексные системы управления технологическими процессами сельскохозяйственного производства, которые зависят от начального и конечного момента времени их функционирования. Установлены наиболее значительные технологические, технические и организационные критерии качества работы сельскохозяйственной техники, их уровень влияния на конечный результат – величину собранного урожая, а также возможный уровень эффективности применения соответствующих технических средств механизации с управляемым влиянием на качество выполнения технологических операций.

#### Выводы

1. Дальнейшее экономическое и экологическое повышение эффективности производства продукции растениеводства возможно при условии внедрения интегрированных систем автоматичес-

кого управления выполнением технологических процессов.

2. Особого внимания заслуживают интеллектуальные управляемые системы управления класса «старт-финиш» с соответствующими средствами мониторинга состояния природных и культурных экосистем.

3. Разработанная модель позволяет определять компенсационные нормы внесения минеральных удобрений в функции к величине полученной прибыли.

**Ключевые слова:** технологические процессы производства сельскохозяйственных культур, интегрированные системы управления, начальная и конечная точки процесса, модель компенсационных норм.

**Постановка проблемы.** 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 [1, 2].

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.

Разом з тим, на особливу увагу заслуговує 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 задач 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 публікацій по темі дослідження.** Автори робіт [3–7] розглядають і 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 даного дослідження, вимагають подальшого всебічного вивчення.

**Мета даної роботи** полягає у обґрунтуванні підходів до розв'язку задач теорії управління систем типу «старт-фініш» та повної керованості подібних систем при оптимізації управління.

**Виклад основного змісту дослідження.** Припустимо, що аграрне підприємство освоїло випуск сільськогосподарської продукції виду  $A$  на певному сільськогосподарському полі. З врахуванням площі поля та вмісту певного виду поживних речовин  $c_1, c_2, c_3, c_4, \dots, c_j$  у ґрунті, отримуємо кількість продукції вартістю  $b_0$ , яку щорічно підприємство може випускати у певній кількості.

Для отримання запланованої продукції  $s$  гектара  $b_1, b_2, b_3, b_4, \dots, b_i$ , необхідно додатково внести відповідні норми поживних речовин  $a_{11}, a_{12}, a_{13}, a_{14}, \dots, a_{1j}; a_{21}, a_{22}, a_{23}, a_{24}, \dots, a_{2j}; a_{31}, a_{32}, a_{33}, a_{34}, \dots, a_{3j}; a_{41}, a_{42}, a_{43}, a_{44}, \dots, a_{4j}; \dots; a_{i1}, a_{i2}, a_{i3}, a_{i4}, \dots, a_{ij}$  для продукції певного виду  $A_c, A_1, A_2, A_3, A_4, \dots, A_i$ , відповідно, прибуток від реалізації якої становить  $Y_1, Y_2, Y_3, Y_4, \dots, Y_i$  (табл.1).

Таблиця 1

Вид сировини	Прибуток від реалізації, у. о./га	Вартість отриманої продукції, у. о./га	Витрати поживних речовин, кг/га					
			$X_1$	$X_2$	$X_3$	$X_4$	...	$X_j$
$A_c$	$Z$	$b_0$	$c_1$	$c_2$	$c_3$	$c_4$	...	$c_j$
$A_1$	$Y_1$	$b_1$	$a_{11}$	$a_{12}$	$a_{13}$	$a_{14}$	...	$a_{1j}$
$A_2$	$Y_2$	$b_2$	$a_{21}$	$a_{22}$	$a_{23}$	$a_{24}$	...	$a_{2j}$
$A_3$	$Y_3$	$b_3$	$a_{31}$	$a_{32}$	$a_{33}$	$a_{34}$	...	$a_{3j}$
$A_4$	$Y_4$	$b_4$	$a_{41}$	$a_{42}$	$a_{43}$	$a_{44}$	...	$a_{4j}$
...	...	...	...	...	...	...	...	...
$A_i$	$Y_i$	$b_i$	$a_{i1}$	$a_{i2}$	$a_{i3}$	$a_{i4}$	...	$a_{ij}$

Це класична задача лінійного програмування:

$$\text{ПРИБУТОК} = \text{ДОХОДИ} - \text{ВИТРАТИ} \quad (1)$$

$$\text{ВИТРАТИ} \downarrow \rightarrow \text{ПРИБУТОК} \uparrow \quad (2)$$

$$\left\{ \begin{array}{l} Z = b_0 - (c_1 \cdot X_1 + c_2 \cdot X_2 + c_3 \cdot X_3 + c_4 \cdot X_4 + \dots + c_n \cdot X_j) \rightarrow \max; \\ b_1 - (a_{11} \cdot X_1 + a_{12} \cdot X_2 + a_{13} \cdot X_3 + a_{14} \cdot X_4 + \dots + a_{1j} \cdot X_j) = Y_1; \\ b_2 - (a_{21} \cdot X_1 + a_{22} \cdot X_2 + a_{23} \cdot X_3 + a_{24} \cdot X_4 + \dots + a_{2j} \cdot X_j) = Y_2; \\ b_3 - (a_{31} \cdot X_1 + a_{32} \cdot X_2 + a_{33} \cdot X_3 + a_{34} \cdot X_4 + \dots + a_{3j} \cdot X_j) = Y_3; \\ b_4 - (a_{41} \cdot X_1 + a_{42} \cdot X_2 + a_{43} \cdot X_3 + a_{44} \cdot X_4 + \dots + a_{4j} \cdot X_j) = Y_4; \\ \dots \\ b_i - (a_{i1} \cdot X_1 + a_{i2} \cdot X_2 + a_{i3} \cdot X_3 + a_{i4} \cdot X_{i4} + \dots + a_{ij} \cdot X_j) = Y_i. \end{array} \right. \quad (3)$$

$$X_1 \geq 0; X_2 \geq 0; X_3 \geq 0; X_4 \geq 0 \dots X_j \geq 0. \quad (4)$$

Прибуток від реалізації продукції (у. о./га):

$$Z = b_0 + c_1 \cdot X_1 + c_2 \cdot X_2 + c_3 \cdot X_3 + c_4 \cdot X_4 + \dots + c_n \cdot X_j \rightarrow \max. \quad (5)$$

З врахуванням отриманої оперативної інформації про агробіологічний стан сільськогосподарських угідь вартістю  $k_0, k_1, k_2, k_3, k_4, \dots, k_i$  для отримання запланованої врожайності  $b_1, b_2, b_3, b_4, \dots, b_i$  необхідно внести, на основі даних про агробіологічний стан ґрунтового середовища, певні норми поживних речовин  $a_{11}, a_{12}, a_{13}, a_{14}, \dots, a_{1j}; a_{21}, a_{22}, a_{23}, a_{24}, \dots, a_{2j}; a_{31}, a_{32}, a_{33}, a_{34}, \dots, a_{3j}; a_{41}, a_{42}, a_{43}, a_{44}, \dots, a_{4j}; \dots; a_{i1}, a_{i2}, a_{i3}, a_{i4}, \dots, a_{ij}$  для отримання продукції  $A_c, A_1, A_2, A_3, A_4, \dots, A_i$ , прибуток від реалізації якої становить  $Y_1^k, Y_2^k, Y_3^k, Y_4^k, \dots, Y_i^k$  (табл.2).

Таблиця 2

Вид сировини	Прибуток від реалізації, у. о./га	Вартість отриманої продукції, у. о./га	Вартість інформації про вміст поживних речовин, у. о./га	Вартість витрачених поживних речовин, у. о./га					
				$X_1$	$X_2$	$X_3$	$X_4$	...	$X_j$
$A_c$	$Z^k$	$b_0$	$k_0$	$c_1$	$c_2$	$c_3$	$c_4$	...	$c_j$
$A_1$	$Y_1^k$	$b_1$	$k_1$	$a_{11}$	$a_{12}$	$a_{13}$	$a_{14}$	...	$a_{1j}$
$A_2$	$Y_2^k$	$b_2$	$k_2$	$a_{21}$	$a_{22}$	$a_{23}$	$a_{24}$	...	$a_{2j}$
$A_3$	$Y_3^k$	$b_3$	$k_3$	$a_{31}$	$a_{32}$	$a_{33}$	$a_{34}$	...	$a_{3j}$
$A_4$	$Y_4^k$	$b_4$	$k_4$	$a_{41}$	$a_{42}$	$a_{43}$	$a_{44}$	...	$a_{4j}$
...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
$A_i$	$Y_i^k$	$b_i$	$k_i$	$a_{i1}$	$a_{i2}$	$a_{i3}$	$a_{i4}$	...	$a_{ij}$

Тоді система рівнянь (3) набуде вигляду:

$$\left\{ \begin{array}{l} Z^k = b_0 - k_0 - (c_1 \cdot X_1 + c_2 \cdot X_2 + c_3 \cdot X_3 + c_4 \cdot X_4 + \dots + c_n \cdot X_i) \rightarrow \max \\ b_1 - k_1 - (a_{11} \cdot X_1 + a_{12} \cdot X_2 + a_{13} \cdot X_3 + a_{14} \cdot X_4 + \dots + a_{1j} \cdot X_i) = Y_1^k; \\ b_2 - k_2 - (a_{21} \cdot X_1 + a_{22} \cdot X_2 + a_{23} \cdot X_3 + a_{24} \cdot X_4 + \dots + a_{2j} \cdot X_i) = Y_2^k; \\ b_3 - k_3 - (a_{31} \cdot X_1 + a_{32} \cdot X_2 + a_{33} \cdot X_3 + a_{34} \cdot X_4 + \dots + a_{3j} \cdot X_i) = Y_3^k; \\ b_4 - k_4 - (a_{41} \cdot X_1 + a_{42} \cdot X_2 + a_{43} \cdot X_3 + a_{44} \cdot X_4 + \dots + a_{4j} \cdot X_i) = Y_4^k; \\ \dots \\ b_j - k_j - (a_{j1} \cdot X_1 + a_{j2} \cdot X_2 + a_{j3} \cdot X_3 + a_{j4} \cdot X_{i4} + \dots + a_{ij} \cdot X_i) = Y_j^k. \end{array} \right. \quad (6)$$

$$X_1 \geq 0; X_2 \geq 0; X_3 \geq 0; X_4 \geq 0 \dots X_j \geq 0. \quad (7)$$

Вартість отриманої продукції, у. о./га:

$$b_n = S_n \cdot U_n, \quad (8)$$

де  $S_n$  – вартість одного центра сільськогосподарської продукції виду, у. о./ц;

$U_n$  – урожайність сільськогосподарської продукції, ц/га.

Прибуток від реалізації продукції (у. о./га):

$$Z^k = b_0 + k_0 + c_1 \cdot X_1 + c_2 \cdot X_2 + c_3 \cdot X_3 + c_4 \cdot X_4 + \dots + c_n \cdot X_i \rightarrow \max. \quad (9)$$

Різниця у величині отриманого прибутку в порівнянні з задачею, коли немає інформації:

$$\Delta Z = Z^k - Z. \quad (10)$$

Доцільна норма обробітку сільськогосподарських угідь:

$$\Delta Z \geq Y_i. \quad (11)$$

Дані, які задовольняють цю вимогу доцільно використовувати з точки зору ефективного ведення сільськогосподарського виробництва.

### Висновки

1. Подальше економічне та екологічне підвищення ефективності виробництва продукції рослинництва можливе за умови впровадження інтегрованих систем автоматичного управління виконанням технологічних процесів.

2. На особливу увагу заслуговують інтелектуальні керовані системи управління класу «старт-фініш» з відповідними засобами моніторингу стану природних та культурних екосистем.

3. Розроблена модель дає можливість визначати компенсаційні норми внесення мінеральних добрив у функції до величини отриманого прибутку.

### Бібліографія

1. Броварець О. О. Інформаційні технології та технічні засоби нового покоління для моніторингу й забезпечення якості виконання технологічних процесів при вирощуванні сільськогосподарських культур. *Хра-*

нение и переработка зерна: научно-практический журнал. 2013. № 6 (171). С. 37–42.

2. Мироненко В. Г. Научно-технические основы разработки засобів механізації з керованою якістю виконання технологічних процесів у рослинництві: дис. ... доктора техн. наук. К., 2006. 398 с.

3. Сендреев Ю. Н. Управление конечнo-матричными линейными объектами. М.: Наука, 1976. 424 с.

4. Красовский Н. Н. Теория управления движением. М.: Наука, 1968. 474 с.

5. Ройтенберг Я. Н. Автоматическое управление. М.: Наука, 1978. 551 с.

6. Егоров А. И. Оптимальное управление линейными системами. К.: Вища школа, 1988. 276 с.

7. Понтрягин Л. С., Болтянский В. Г., Мищенко Е. Ф. Математическая теория оптимальных процессов. М.: Наука, 1961. 391 с.

#### Bibliografia

1. Brovarecz` O. O. Informacijni tehnologiyi ta texnichni zasoby` novogo pokolinnya dlya monitoryngu j zabezpechennya yakosti vykonannya tehnologichnyx procesiv pry` vyroshhuvanni sil`s`kogospodars`ky`x kul`tur. *Xraneny`e y` pererabotka zerna: nauchno-praktychesky`j zhurnal*. 2013. № 6 (171). S. 37–42.

2. My`ronenko V. G. Naukovo-texnichni osnovy` rozrobky` zasobiv mexanizaciyi z kerovanoyu yakistyu vykonannya tehnologichnyx procesiv u rosly`nny`cztvi: dy`s. ... doktora texn. nauk. K., 2006. 398 s.

3. Sendreev Yu. N. Upravleny`e konechno-matrychnymy` ly`nejnymy` ob`ektamy`. M.: Nauka, 1976. 424 s.

4. Krasovsky`j N. N. Teory`ya upravleny`ya dvy`zheny`em. M.: Nauka, 1968. 474 s.

5. Rojtenberg Ya. N. Avtomaty`cheskoe upravleny`e. M.: Nauka, 1978. 551 s.

6. Egorov A. Y`. Opty`mal`noe upravleny`e ly`nejnymy` sy`stemamy`. K.: Vy`shha shkola, 1988. 276 s.

7. Pontryagu`n L. S., Boltyansky`j V. G., My`shhenko E. F. Matematy`cheskaya teory`ya opty`mal`nyx processov. M.: Nauka, 1961. 391 s.

#### Bibliography

1. Brovarec O. O. Information technology and the new generation technical means for monitoring and ensuring the quality of performance of technological processes for growing agricultural crops. *Hranenie s pererabotka grain: scientific and practical journal magazine*. 2013. No. 6 (171). P. 37–42.

2. Mironenko V. G. Scientific and technical fundamentals of the development of mechanization of controlled quality of execution of technological processes in the plant: thesis of doctor of technical sciences. K., 2006. 398 p.

3. Sendreev Y. N. Management course-matrix linear objects. M.: Science, 1976. 424 p.

4. Krasovskij N. N. Theory movement control. M.: Science, 1968. 474 p.

5. Roytenberg Y. N. Automatic control. M.: Nauka, 1978. 551 p.

6. Egorov A. I. Optimal control of linear systems. K.: Vyshcha Shkola, 1988. 276 p.

7. Pontryagin L. S., Boltjanskij V. G., Mishchenko E. F. Mathematical theory of optimal processes. M.: Nauka, 1961. 391 p.