

*Бабенко В.А.,
к.т.н., доцент, докторант
кафедра экономической кибернетики,
Харьковский национальный аграрный университет им. В.В. Докучаева*

ОБЩАЯ СХЕМА РЕШЕНИЯ ДИНАМИЧЕСКОЙ ЗАДАЧИ ОПТИМИЗАЦИИ УПРАВЛЕНИЯ ИННОВАЦИОННЫМИ ТЕХНОЛОГИЯМИ НА ПРЕДПРИЯТИЯХ АПК

Рассмотрено содержательную и формальную постановки динамической модели оптимизации управления инновационными технологиями. Разработана общая схема решения динамической задачи оптимизации управления инновационными технологиями на предприятиях АПК.

Ключевые слова: *общая схема решения, динамическая оптимизация, программное управление, минимаксный подход, инновационные технологии.*

Постановка проблемы. Как задекларировано в Законе Украины “О приоритетных направлениях инновационной деятельности в Украине” одним из приоритетных стратегических направлений является высокотехнологическое развитие сельского хозяйства и перерабатывающей отрасли и, в частности, среднесрочными направлениями – инновационные технологии глубокой переработки растительной и животной продукции; современные технологии хранения сельскохозяйственной продукции; материалы, технологии и оборудование для фасовки, упаковка и маркировки продуктов питания и напитков; экологически чистые пищевые продукты и продукты с высокими оздоровительными свойствами [1].

Эффективное решение связанных с этими вопросами задач невозможно без соответствующего процесса оптимизации управления на предприятиях АПК, которое базируется на комплексном исследовании соответствующих динамических моделей на протяжении определенного периода времени и процессов принятия управленческих решений на предприятии, а также на разработке и реализации соответствующих экономико-математических моделей, методов и алгоритмов решения задач оптимизации управления с использованием современных информационных технологий.

Анализ последних исследований и публикаций. Научные исследования в вопросах экономико-математического моделирования в АПК проводились М.Е. Браславцем, В.А. Кадиевским, В.С. Кузнецким, Р.Г. Кравченко, М.В. Кузубовым, Б.К. Скирдой, А.Я. Сохничем, М.С. Сявком, В.О. Точилиным, А.В. Ульянченко, С.В. Цюпко, В.В. Чепурко и другими ведущими отечественными учеными. Тем не менее, осталась не решенной проблема разработки математических методов и моделей процессов инновационного обновления и их управления отечественного аграрного производства, которое представляет собой сложную, открытую, способную к самоорганизации и саморазвитию экономическую систему с динамично изменяемыми недетерминированными и противоречивыми характеристиками. Учитывая это, экономико-математическое моделирование динамической оптимизации управления инновационными технологиями аграрного производства является важной научной проблемой и нуждается в дальнейшем исследовании.

Формулировка целей статьи. Постановка динамической модели оптимизации управления инновационными технологиями на предприятиях АПК, формулировка ее содержательной интерпретации. Разработка общей схемы решения динамической

задачи оптимизации управления инновационными технологиями на предприятиях АПК по переработке сельскохозяйственной продукции. Рассмотрение свойств фиксированного программного управления инновационными технологиями на предприятиях АПК.

Изложение основного материала исследования. Рассмотрим содержательную постановку динамической модели оптимизации управления инновационными технологиями: перерабатывающее предприятие АПК осуществляет переход на выпуск продукции на основе инновационных технологий. Технологический процесс содержит в себе n -составляющих (виды производственных факторов, сырья, промежуточных и конечных продуктов) и может состоять из p -технологических способов организации производства. Необходимо осуществить оптимальное управление на заданном временном промежутке T выбором предлагаемых (возможных) инновационных технологий так, чтобы общий объем прибыли от выпуска продукции на предприятии был максимальным.

Процесс управления инновационными технологиями на заданном целочисленном промежутке времени $\overline{0, T} = \{0, 1, 2, \dots, T\}$ описывается векторным дискретным рекуррентным уравнением вида [2]:

$$x(t+1) = A(t)x(t) + B(t)u(t) + C(t)v(t), \quad x(0) = x_0, \quad (1)$$

где $t \in \overline{0, T-1} = \{0, 1, 2, \dots, T-1\}$, $T > 0$; $x(t) \in \mathbf{R}^n$ – вектор фазовых переменных (фазовый вектор); \mathbf{R}^n – n -мерное евклидово пространство векторов-столбцов, $n \in \mathbf{N}$ – множество натуральных чисел; $u(t) \in \mathbf{R}^p$ – вектор управляющего воздействия (управления), удовлетворяющий заданному ограничению:

$$u(t) \in U_1 \subset \mathbf{R}^p, \quad (2)$$

где U_1 – конечное множество векторов, т.е. конечный набор векторов в \mathbf{R}^p ; $p \in \mathbf{N}$; $v(t) \in \mathbf{R}^q$ – вектор рисков (неопределенности, помехи или погрешности моделирования процесса), удовлетворяющий заданному ограничению:

$$v(t) \in V_1 \subset \mathbf{R}^q, \quad (3)$$

где V_1 – выпуклый, замкнутый и ограниченный многогранник (с конечным числом вершин) пространства \mathbf{R}^q ; $q \in \mathbf{N}$; $A(t)$, $B(t)$, $C(t)$ – матрицы размерностей $(n \times n)$, $(n \times p)$ и $(n \times q)$, соответственно ($n, p, q \in \mathbf{N}$);

Пусть $U(\overline{0, T}) = \{u(\cdot) : u(\cdot) = \{u(t)\}_{t \in \overline{0, T-1}}, \forall t \in \overline{0, T-1}, u(t) \in U_1\}$ – есть множество всех допустимых реализаций программных управлений на целочисленном промежутке времени $\overline{0, T}$, которое является конечным множеством; $V(\overline{0, T}) = \{v(\cdot) : v(\cdot) = \{v(t)\}_{t \in \overline{0, T-1}}, \forall t \in \overline{0, T-1}, v(t) \in V_1\}$ – есть множество всех допустимых реализаций вектора рисков на целочисленном промежутке времени $\overline{0, T}$.

Тогда для фиксированных допустимых реализаций программного управления $u(\cdot) \in U(\overline{0, T})$ и вектора рисков $v(\cdot) \in V(\overline{0, T})$, пусть $x_{0,T}(T; x_0, u(\cdot), v(\cdot))$ – финальное состояние (состояние в момент времени T) траектории процесса, порожденной системой (1) – (3) и соответствующей набору $(x_0, u(\cdot), v(\cdot))$ [3].

Выберем конкретное допустимое программное управление $u^*(\cdot) = \{u^*(t)\}_{t \in \overline{0, T-1}} \in U(\overline{0, T})$, $\forall t \in \overline{0, T-1}$, $u^*(t) \in U_1$, из конечного множества $U(\overline{0, T})$ всех допустимых программных управлений $u(\cdot)$ на промежутке времени $\overline{0, T}$.

Тогда при реализации фиксированного программного управления $u^*(\cdot) = \{u^*(t)\}_{t \in \overline{0, T-1}} \in U(\overline{0, T})$ система (1) перейдет в систему вида:

$$x^*(t+1) = Ax^*(t+1) + B(t)u^*(t) + C(t)v(t), \quad \forall t \in \overline{0, T-1}, \quad x^*(0) = x_0, \quad (4)$$

где финальное состояние будем обозначать через $x^*(T) = x_{\overline{0, T}}^*(T; x_0, u^*(\cdot), v(\cdot))$ (при фиксированной реализации вектора рисков $v(\cdot) \in V(\overline{0, T})$).

Предположим, что для всех допустимых реализаций наборов, $(x_0, u(\cdot), v(\cdot))$ $x(0) = x_0$, $u(\cdot) \in U(\overline{0, T})$, $v(\cdot) \in V(\overline{0, T})$, качество процесса управления в системе (1) – (3) оценивается выпуклым терминальным функционалом вида:

$$\tilde{\Phi} = \tilde{\Phi}(x_0, u(\cdot), v(\cdot)) = \Phi(x(T)) = \Phi(x_{\overline{0, T}}(T; x_0, u(\cdot), v(\cdot))), \quad (5)$$

где $\Phi: \mathbf{R}^n \rightarrow \mathbf{R}^1$ – есть выпуклый функционал.

Тогда для каждого фиксированного программного управления $u(\cdot) \in U(\overline{0, T})$ из решения оптимизационной задачи можем найти следующее значение выбранного функционала:

$$\tilde{\Phi}_{u(\cdot)}^{(e)} = \max_{v(\cdot) \in V(\overline{0, T})} \tilde{\Phi}(x_0, u(\cdot), v(\cdot)), \quad (6)$$

где $V(\overline{0, T})$ – есть введенное выше множество всех допустимых реализаций вектора рисков на целочисленном промежутке времени $\overline{0, T}$ [4].

Тогда можно сформулировать следующую динамическую задачу оптимизации управления инновационными технологиями на предприятиях АПК по переработке сельскохозяйственной продукции.

Задача 1. Требуется найти оптимальное программное минимаксное управление $u^{(e)}(\cdot) \in U(\overline{0, T})$, удовлетворяющее условию минимакса:

$$\begin{aligned} \tilde{\Phi}^{(e)} &= \max_{v(\cdot) \in V(\overline{0, T})} \tilde{\Phi}(x_0, u^{(e)}(\cdot), v(\cdot)) = \min_{u(\cdot) \in U(\overline{0, T})} \max_{v(\cdot) \in V(\overline{0, T})} \tilde{\Phi}(x_0, u(\cdot), v(\cdot)) = \\ &= \min_{u(\cdot) \in U(\overline{0, T})} \tilde{\Phi}_{u(\cdot)}^{(e)} = \min_{u(\cdot) \in U(\overline{0, T})} \max_{v(\cdot) \in V(\overline{0, T})} \Phi(x_{\overline{0, T}}(T; x_0, u(\cdot), v(\cdot))) = \\ &= \max_{v(\cdot) \in V(\overline{0, T})} \Phi(x_{\overline{0, T}}(T; x_0, u^{(e)}(\cdot), v(\cdot))) = \Phi^{(e)}. \end{aligned} \quad (7)$$

Отметим, что, учитывая конечность множества допустимых программных управлений $U(\overline{0, T})$ и (7), нетрудно показать, что решение данной задачи сводится к решению конечного числа оптимизационных задач с выпуклым функционалом качества процесса.

Общая схема решения задачи 1.

Для любых фиксированных промежутка времени $\overline{\tau, \vartheta}$, любой фиксированной пары $(X(\tau), u_{\overline{\tau, \vartheta}}(\cdot)) \in \mathbf{2}^{\mathbf{R}^n} \times U(\overline{\tau, \vartheta})$, где $X(\tau) \subset \mathbf{R}^n$ ($X(0) = \{x_0\}$) есть выпуклый замкнутый и ограниченный многогранник (с конечным числом вершин) в пространстве \mathbf{R}^n (одноточечное множество $\{x_0\}$ считается таковым – по определению); $\mathbf{2}^{\mathbf{R}^n}$ – есть множество всех подмножеств пространства \mathbf{R}^n , на основании (1) – (3) введем следующее множество:

$$\begin{aligned} X_{u_{\overline{\tau, \vartheta}}(\cdot)}^{(+)}(\tau, X(\tau), \vartheta, V(\overline{\tau, \vartheta})) &= \{x(\vartheta) : x(\vartheta) \in \mathbf{R}^n, \\ x(t+1) &= A(t)x(t) + B(t)u(t) + C(t)v(t), \quad \forall t \in \overline{\tau, \vartheta-1}, \quad v(t) \in V_1, \end{aligned}$$

$$u_{\tau, \mathfrak{G}}(\cdot) = \{u(t)\}_{t \in \tau, \mathfrak{G}-1}, v(\cdot) = \{v(t)\}_{t \in \tau, \mathfrak{G}-1} \in V(\tau, \mathfrak{G}), \quad (8)$$

которое будем называть областью достижимости [5] системы (1) – (3) на момент времени \mathfrak{G} , соответствующей набору $(X(\tau), u_{\tau, \mathfrak{G}}(\cdot))$.

Учитывая линейность системы (1) и введенные условия на множество V_l (выпуклый, замкнутый и ограниченный многогранник в пространстве \mathbf{R}^q), аналогично [5] можно показать, что для фиксированного программного управления $u(\cdot) = \{u(t)\}_{t \in \tau, \mathfrak{G}-1} \in U(0, T)$ справедливы следующие свойства введенного множества:

1) $X_{u_{\tau, t}^{(+)}(\cdot)}^{(+)}(\tau, X(\tau), t, V(\tau, t)) = X_{u_{\tau, t}^{(+)}(\cdot)}^{(+)}(t)$ для всех $t \in \tau + I, \mathfrak{G}$ есть непустой выпуклый замкнутый и ограниченный многогранник (с конечным числом вершин) в пространстве \mathbf{R}^n ($u_{\tau, t}(\cdot) = \{u(t)\}_{t \in \tau, t-1}$) [5, 6];

2) для всех $t \in \tau, \mathfrak{G} - I$ и $X_{u_{0, \tau}^{(+)}(\cdot)}^{(+)}(\tau) = X(\tau)$ справедливо рекуррентное соотношение:

$$\begin{aligned} X_{u_{\tau, t+1}^{(+)}(\cdot)}^{(+)}(\tau, X(\tau), t+1, V(\tau, t+1)) &= X_{u_{t+1, t+1}^{(+)}(\cdot)}^{(+)}(t, X_{u_{\tau, t}^{(+)}(\cdot)}^{(+)}(t), t+1, V(t, t+1)) = \\ &= X_{u_{t+1}^{(+)}(\cdot)}^{(+)}(t, X_{u_{\tau, t}^{(+)}(\cdot)}^{(+)}(t), t+1, V_l). \end{aligned} \quad (9)$$

Тогда из соотношения (9) следует, что многошаговая задача построения области достижимости $X_{u_{\tau, \mathfrak{G}}^{(+)}(\cdot)}^{(+)}(\tau, X(\tau), \mathfrak{G}, V(\tau, \mathfrak{G}))$ сводится к решению конечной рекуррентной последовательности только одношаговых задач построения соответственно следующих областей достижимости:

$$X_{u_{\tau, t+1}^{(+)}(\cdot)}^{(+)}(t+1) = X_{u_{t+1, t+1}^{(+)}(\cdot)}^{(+)}(t, X_{u_{\tau, t}^{(+)}(\cdot)}^{(+)}(t), t+1, V(t, t+1)), t \in \tau, \mathfrak{G} - I, X_{u_{\tau, \tau}^{(+)}(\cdot)}^{(+)}(\tau) = X(\tau). \quad (10)$$

Следует отметить, что построение одношаговых областей достижимости можно реализовать аналогично вычислительному алгоритму из [5], который сводит решение этой задачи к реализации решений конечного числа задач линейного математического программирования.

Выводы. Динамическая модель оптимизации управления инновационными технологиями на предприятии АПК позволяет решить задачу формирования оптимальной производственной программы и ценовой политики предприятия, т.к. оно заинтересовано в увеличении выпуска той продукции, спрос на которую повышен и в оперативном совершенствовании технологического процесса производства сельскохозяйственной продукции. Предлагаемая общая схема позволяет разрабатывать эффективные численные методы, позволяющие реализовать компьютерное моделирование решения сформулированной задачи 1. В качестве критерия эффективности оптимизации управления инновационно-технологическими процессами на предприятии АПК может выступать общий объем его прибыли или объем выпускаемой продукции.

Список использованных источников:

1. Закон України «Про пріоритетні напрями інноваційної діяльності в Україні» 08.09.2011 № 3715-VI / Голос України від 01.10.2011 № 183.
2. Бабенко В.А. Экономико-математическое моделирование оптимизации управления инновационными процессами на предприятиях АПК / В.А. Бабенко

// Науковий вісник Національного гірничого університету. Тематичний випуск «Інновації і трансфер технологій». Науково-технічний журнал. – ДВНЗ «НГУ». – м. Дніпропетровськ, 2011. – 148 с. – С. 18-23.

3. Bellman R. Methods of Nonlinear Analysis / Bellman R. – Departments of Mathematics, Electrical Engineering, and Medicine University of Southern California Los Angeles, California Academic Press New York. Volume I, 1970. – 342 p.

4. Понтрягин Л.С. Принцип максимума в оптимальном управлении / Л.С. Понтрягин Л.С. [2-ое изд, стереотипное]. - М.: Едиториал УРСС, 2004. – 64 с.

5. Шориков А.Ф. Минимаксное оценивание и управление в дискретных динамических системах / А.Ф. Шориков. – Екатеринбург: Изд-во Урал. ун-та, 1997. - 248 с.

6. Рокафеллар Р. Выпуклый анализ / Р. Рокафеллар; пер. с англ. - М.: Мир, 1973. - 472 с.

БАБЕНКО В.А. ЗАГАЛЬНА СХЕМА РІШЕННЯ ДИНАМІЧНОЇ ЗАДАЧІ ОПТИМІЗАЦІЇ УПРАВЛІННЯ ІННОВАЦІЙНИМИ ТЕХНОЛОГІЯМИ НА ПІДПРИЄМСТВАХ АПК

Розглянуто змістовну та формальну постановки динамічної моделі оптимізації управління інноваційними технологіями. Розроблено загальну схему рішення динамічної задачі оптимізації управління інноваційними технологіями на підприємствах АПК.

Ключові слова: загальна схема рішення, динамічна оптимізація, програмне управління, мінімаксий підхід, інноваційні технології.

BABENKO V.A. THE GENERAL CHART OF DECISION OF DYNAMIC TASK OF OPTIMIZATION OF MANAGEMENT INNOVATIVE TECHNOLOGIES ON THE ENTERPRISES OF AIC

The intentional and formal problem statement of dynamic model of optimization of programmed control of innovation technologies is examined. Is developed the general solution of the problem of optimization of the control of innovation technologies in the enterprises of the agribusiness.

Keywords: general scheme of solution, dynamic optimization, programmed control, minimax approach, innovation technologies.