

УДК 631.171

В.Ю. Вишняк, С.А. Лебедев

Харьковский филиал УкрНИИПИТ им. Л. Погорелого

## СТРУКТУРНЫЙ АНАЛИЗ АГРОТЕХНОЛОГИЙ В РАСТЕНИЕВОДСТВЕ

Рассматриваются модели технологических процессов в растениеводстве при различном соединении типовых операций, оценена топологическим методом устойчивость технологического процесса к изменению параметров средств механизации.

**Ключевые слова:** агротехнология, типовые операции, структурная схема, устойчивость.

## Введение

**Постановка проблемы.** Под агротехнологическим процессом в растениеводстве понимается совокупность выполнения операций, процессов – работ, направленных на производство полевых культур. При выполнении агротехнологий задействовано значительное количество тракторных агрегатов и различных средств механизации, от технического состояния которых зависит эффективность выполнения полевых работ.

**Анализ публикаций.** Проблема разработки перспективных агротехнологий [1] определила направление исследований по совершенствованию средств механизации в растениеводстве [2, 3]. В данных работах технологический процесс рассмотрен как система со стабильными параметрами, хотя в смежных областях, например машиностроении, подобные задачи решаются как системы с распределенными параметрами [4].

**Цель работы** определена необходимостью оценки устойчивости агротехнологического процесса к изменению параметров средств механизации.

## Основной материал

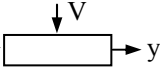
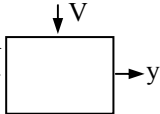
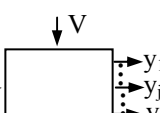
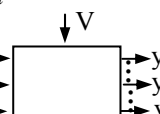
При оценке устойчивости технологический процесс рассматривается как динамическая система, в основу которой положены типовые операции обработки почвы и уборки урожая с  $x$  входными и  $y$  выходными потоками,  $V$ -управляющим воздействием (табл. 1).

В технологическом процессе растениеводства к простым операциям отнесены операции, выполняемые одним сельскохозяйственным орудием, например операции вспашки, культивации, посева и т.д. Сходящиеся операции присущи комбинированным сельскохозяйственным агрегатам, выполняющим за один проход несколько простых операций, например культивацию и посев, междурядную обработку и внесение гербицидов и т.д. При разделительных операциях сельхозпродукт, например зерно, разделяется при сепарации на фракции. Сложной операции соответствует технологическая схема, включающая несколько операций, или агрегат с несколькими входами и выходами, например модульное энергетическое средство, обеспечивающее выпол-

нение различных технологических операций при различных режимах работы.

Таблица 1

Типовые операции технологических процессов

Типовые операции	Уравнение связи
<p><i>простая</i></p> 	$x = f(\bar{V}, y)$
<p><i>сходящаяся</i></p> 	$x_i = f_i(\bar{V}, y),$ $i = 1, \dots, n$
<p><i>разделительная</i></p> 	$y_j = f_j(\bar{V}, x),$ $j = 1, \dots, m$
<p><i>сложная</i></p> 	$y_j = f_j(\bar{V}, \bar{x}),$ $j = 1, \dots, m$

Уравнения простых, сходящихся, разделительных и сложных операций осуществляются по управляющему воздействию  $V$ , связанному с изменениями технологических или режимных параметров проведения операций.

Технологические процессы сельскохозяйственного производства могут включать различные сочетания типовых операций, в частности последовательное и параллельное их соединение. Для подобных технологических процессов в зависимости от выбранных параметров управления типовыми операциями, связанными с изменением режима выполнения, можно достичь наилучших показателей всего технологического процесса, например по производительности, минимуму издержек. В растениеводстве наиболее типично соединение простых операций.

Будем рассматривать следующие модели соединения простых операций [4]:

$$x^{(k)} = V^{(k)} y^{(k)}; \quad (1)$$

$$x^{(k)} = f_k(V^{(k)}) y^{(k)}, \quad (2)$$

где индекс «k» соответствует простой операции технологического процесса;  $x^{(k)}, y^{(k)}$  – количественные характеристики входного и выходного потоков операций;  $V^{(k)}$  – параметр управления;  $f_k$  – заданная функция от  $V^{(k)}$ .

Уравнение (1) отражает простую модель технологического процесса, при которой параметр  $V^{(k)}$  настраивается на определенное значение перед началом выполнения технологического процесса, а уравнение (2) отражает модель сложного технологического процесса, при котором параметр  $V^{(k)}$  может изменяться при выполнении технологического процесса.

При последовательном соединении n простых операций (рис. 1) условие последовательности записывается следующим образом:

$$y^{(k)} = x^{(k)}, \quad k = 1, \dots, n-1. \quad (3)$$

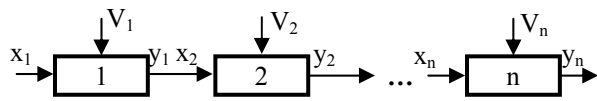


Рис. 1. Технологический процесс с последовательным соединением простых операций

Для подобного технологического процесса на входной поток каждой операции положены ограничения:

$$0 \leq x^{(k)} < \bar{x}^{(k)}, \quad k = 1, \dots, n-1. \quad (4)$$

При решении задачи максимальной производительности данного технологического процесса требуется выбрать такие значения переменных  $x^{(k)}$  и  $V^{(k)}$ , при которых выходной поток  $y^{(n)}$  достигает максимума ( $y^{(n)} \rightarrow \max$ ) при выполнении ограничения (4).

При совместном рассмотрении уравнений (1) и (3) для последовательного соединения простых операций задача максимальной производительности технологического процесса математически записывается в виде

$$\left. \begin{aligned} y^{(n)} \prod_{s=k}^n V^{(s)} &\leq \bar{x}^{(k)}, \quad k = 1, \dots, n; \\ V^{(k)} &\leq \bar{V}^{(k)}; \\ y^{(n)} &\rightarrow \max, \end{aligned} \right\} \quad (5)$$

где 
$$x^{(k)} = y^{(n)} \prod_{s=k}^n V^{(s)}. \quad (6)$$

Ввиду наличия в уравнении (6) произведения переменных, задача (5) может быть отнесена к классу задач нелинейного программирования. Решение подобной задачи может быть упрощено при выделении «узкого места» технологического процесса, лимитирующего его производительность, т.е. оптимальное значение функционала  $y^{(n)}$ . Согласно (6) для операций, начиная с номера  $\ell$ ,  $V^{(s)} = \underline{V}^{(s)}, s = \ell, \dots, n$ , а для операций до номера  $\ell$  параметры  $V^{(r)}, r = 1, \dots, \ell-1$  могут иметь множество возможных значений, определяемых системой неравенств:

$$\prod_{s=1}^r V^{(\ell-s)} \bar{x}^{(\ell)} \leq \bar{x}^{(\ell-1)}, \quad r = 1, \dots, \ell-1;$$

$$\underline{V}^{(k)} \leq V^{(k)} \leq \bar{V}^{(k)}.$$

Подобный подход к решению системы уравнений (5) позволяет получить оптимальное значение потока на выходе технологического процесса в виде:

$$y^{*(n)} = \min_{(k)} \left( \bar{x}^{(k)} / \prod_{s=k}^n V^{(s)} \right). \quad (7)$$

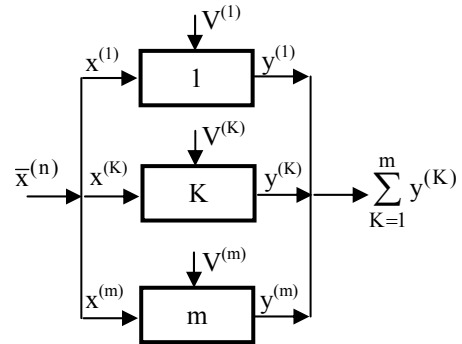


Рис. 2. Технологический процесс с параллельным соединением простых операций

Для параллельного соединения (рис. 2) m простых операций при учете ограничений на суммарный входной поток  $\sum_{k=1}^m x^{(k)} = \bar{x}_0$ , где  $\bar{x}_0$  – заданное

число, задача о максимальной производительности технологического процесса записывается в виде:

$$\left. \begin{aligned} 0 \leq x^{(k)} &\leq \bar{x}^{(k)}; \quad \sum_{k=1}^m x^{(k)} = \bar{x}_0; \\ x^{(k)} &> V^{(k)} y^{(k)}; \quad \sum_{k=1}^m x^{(k)} \rightarrow \max. \end{aligned} \right\} \quad (8)$$

Решая систему (8) методами линейного программирования, находим значения переменных  $x^{(k)}, y^{(k)}$ . Однако задачу (8) можно решить значительно проще, допустив, что для отдельных операций соблюдаются следующие неравенства:

$$\underline{V}^{(1)} < \underline{V}^{(2)} < \underline{V}^{(3)} \leq \dots \leq \underline{V}^{(m)}. \quad (9)$$

При учете (1) функционал задачи можно записать в следующем виде  $F = \sum_{k=1}^m x^{(k)} / V^{(k)}$ . В этом

случае порядок решения системы уравнений состоит в следующем. Задается полная нагрузка первой операции, т.е.  $x^{(1)} > \bar{x}^{(1)}$ , и если  $\bar{x}^{(1)} > \bar{x}^{(0)}$ , то решением задачи является  $\bar{x}^{(1)} > \bar{x}^{(0)}$ ,  $x^{(2)} = x^{(3)} = \dots = x^{(m)} = 0$ . При  $\bar{x}^{(1)} \leq \bar{x}^{(0)}$  первой операции устанавливается нагрузка  $\bar{x}^{(1)}$ , а остаточный поток относится ко второй операции и т.д. Рассмотренная процедура решения задачи с целью обеспечения максимальной производительности технологического процесса совпадает с процедурой

распределения нагрузок при постоянных коэффициентах  $V = \underline{V}$ . Параллельное соединение простых операций присуще для технологических процессов при групповой работе средств механизации.

Устойчивость технологического процесса определяется устойчивостью отдельных операций, динамические свойства которых определяют качество технологического процесса. На примере технологии возделывания кукурузы на зерно оценена устойчивость технологического процесса к изменению параметров средств механизации. В данной технологии операции подготовки почвы и посева включают 14 операций (рис. 3):

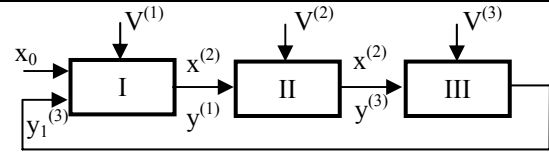
1. Послеуборочное: лушение в 2 следа, дискование в 2 следа.
2. Внесение удобрений: суперфосфата и калийной соли; аммиачной селитры перед дискованием с заделкой в почву.
3. Транспортировка и внесение органических удобрений.
4. Вспашка зяби с боронованием или каткованием на глубину 25 – 27 см, 27 – 30 см.
5. Выравнивание развалных борозд и свальных гребней.
6. Выравнивание зяби с осени.
7. Выравнивание зяби весной.
8. Внесение гербицидов.
9. Заделка гербицидов: дисковыми орудиями; культиватором.
10. Предпосевная культивация.
11. Перевозка семян и заправка сеялки.
12. Перевозка ГХУГ и заправка сеялки.
13. Посев кукурузы.
14. Прикатывание поля (при необходимости).

Технология возделывания кукурузы на зерно проводится по схеме, состоящей из сходящейся (I), простой (II) и разделительной (III) операций. В качестве сходящейся операции принимается подготовка почвы и посев, простой – уход за посевами и разделительной операции – уборка кукурузы. При этом входной поток  $y$  (масса зерна кукурузы) разделяется на непосредственное потребление зерна  $y_2^{(3)}$  и семенной фонд  $y_1^{(3)}$ . В качестве внешних воздействий технологического процесса могут быть приняты изменение параметров средств механизации и условий их функционирования ( $V^{(1)}$ ,  $V^{(2)}$  и  $V^{(3)}$ ). Нарушение качества технологического процесса устраняется при повторном выполнении технологической операции, например на посеве ( $-W_{nn}$ ), предпосевной культивации ( $-W_{nb}$ ) и т.д.

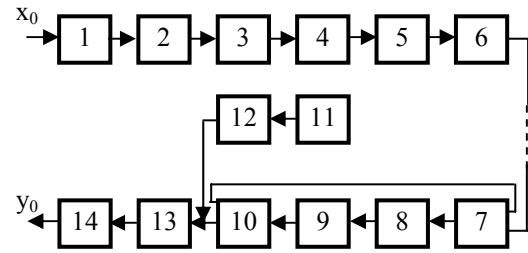
Функции чувствительности технологии возделывания кукурузы на зерно, например по коэффициентам усиления отдельных операций на весенней подготовке почвы и посеве, получены по графу сигналов:

выравнивание зяби

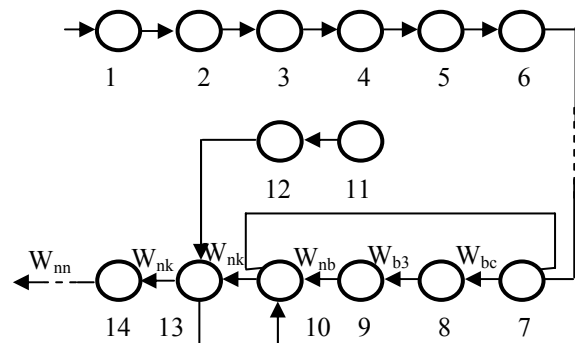
$$S_{k_b}^{\Phi}(p) = 1;$$



а



б



в

Рис. 3. Технологический процесс:

а – возделывания кукурузы на зерно; б – операции подготовки почвы и посева; в – их нормализованный граф сигналов; I, II, III – подготовка почвы и посев, уход за посевами, уборка урожая; 1, 2, ..., 14 – операции по видам работ

предпосевная культивация

$$S_{k_k}^{\Phi} = \frac{1}{1 + k_k W_{nk}(p) [W_{nb}(p) + W_{b3}(p) W_{nk}(p) W_{nn}(p)]}$$

Анализ данных функций чувствительности показывает, что коэффициент усиления  $k_b$  не является критериальным, другие же коэффициенты при изменении параметров средств механизации существенно влияют на качество технологического процесса.

### Выводы

Разделение агротехнологий в растениеводстве на простые операции позволяет технологию рассматривать по формализованной схеме и решать задачи по оценке чувствительности к изменению параметров средств механизации.

### Список литературы

1. Погорельый Л.В. Сельскохозяйственная техника и технологии будущего / Л.В. Погорельый. – К.: Урожай, 1988. – 176 с.
2. Кравчук В.І. Концепція гарантовано-адаптивного управління робочими процесами сільськогосподарських агрегатів та машин / В.І. Кравчук // Техніка АПК. – К., 2000. – № 11-12. – С. 4-16.

3. Кушнарєв А.С. *Механико-технологические основы обработки почвы* / А.С. Кушнарєв, В.И. Конєв. – К.: Урожай, 1989. – 144 с.

Поступила в редколлегию 11.11.2008

4. Первозванский А.А. *Математические модели управления производством* / А.А. Первозванский. – М.: Наука, 1875. – 615 с.

**Рецензент:** д-р техн. наук, проф. А.В. Козаченко, Харьковский национальный технический университет сельского хозяйства им. П. Василенко, Харьков.

### **СТРУКТУРНИЙ АНАЛІЗ АГРОТЕХНОЛОГІЙ В РОСЛИННИЦТВІ**

В.Ю. Вишняк, С.А. Лебєдєв

*Розглядаються моделі технологічних процесів в рослинництві при різному з'єднанні типових операцій, оцінено топологічним методом стійкість технологічного процесу до зміни параметрів засобів механізації.*

**Ключові слова:** агротехнологія, типові операції, структурна схема, стійкість.

### **A STRUCTURAL ANALYSIS OF AGROTECHNOLOGY IS IN A PLANT-GROWER**

V.Yu. Vishnyak, S.A. Lebedev

*The models of technological processes are examined in a plant-grower at different connection of operations of models, stability of technological process is appraised a topology method to the change of parameters of facilities of mechanization.*

**Keywords:** agrotechnology, operations of models, flow diagram, stability.