УДК 681.515:519.2

Оцінювання ризику технологічного процесу обробки овочів

В. М. Дубовой, І. В. Пилипенко
Вінницький національний технічний університет, Україна

В статті подано алгоритм оцінювання ризику розгалужено-циклічного технологічного процесу (РЦТП) на прикладі технологічного процесу обробки овочів. Розраховано загальний ризик та подано алгоритм методу багатопараметричної оптимізації, який дає змогу мінімізувати цей ризик. Застосований підхід для оцінки ризику технологічного процесу обробки овочів можна використовувати для будь-якого технологічного процесу циклічно-розгалуженого типу в умовах невизначеності вхідних параметрів і результатів контрольних операцій.

Ключові слова: *розгалужено-циклічний технологічний процес, втрати, статичні характеристики.*

В статье представлен алгоритм оценки риска разветвленно-циклического технологического процесса (РЦТП) на примере технологического процесса обработки овощей. Рассчитано общий риск и представлен алгоритм метода многопараметрической оптимизации, который позволяет минимизировать этот риск. Примененный подход для оценки риска технологического процесса обработки овощей можно использовать для любого технологического процесса циклично-разветвленного типа в условиях неопределенности входных параметров и результатов контрольных операций.

Ключевые слова: *разветвленно-циклический технологический процесс, потери, статические характеристики.*

In the paper presents an algorithm for risk assessment of branched-cyclic technological process BCTP the example of the technological processing of vegetables. Calculated total risk and provides an algorithm multioptimization method that allows you to minimize this risk. The approach to risk assessment process of processing vegetables can be used for any process cyclically-branched type of uncertainty in input parameters and results of control operations.

Key words: *branched-cyclic technological process, loss, static characteristics.*

1. Загальна постановка задачі та її актуальність

На даний час в усіх галузях промислового виробництва інтенсивно поширюються складні розгалужено-циклічні технологічні процеси (РЦТП) [1]. Ефективне управління такими процесами є **актуальною** проблемою, оскільки вони мають певні особливості задач управління.

Особливості задач управління РЦТП полягають у необхідності прийняття рішень наприкінці кожної операції, причому складність алгоритму прийняття рішень залежить від структури РЦТП [2]. При розгалуженості процесу, де необхідно обирати подальший варіант дій, потрібно приймати рішення, яким шляхом йти, а отже буде існувати і ризик. Під ризиком розуміємо середні втрати від прийнятого рішення [3]. Аналіз ризику полягає в одержанні необхідних даних для прийняття управлінських рішень про доцільність виконання наступної операції в технологічному процесі і розробці засобів для захисту від можливих втрат (фінансових, трудових, часу тощо). Ми повинні прийняти таке рішення, при якому втрати були б найменшими [4]. Рішення приймається в залежності від стадій та операцій, що відповідають цим стадіям технологічного процесу. Результати виконання кожного під процесу РЦТП впливають на всі наступні рішення і підпроцеси. Витрати на окремий підпроцес залежать від кількості і якості контрольних операцій для визначення вихідних характеристик, які необхідні для прийняття рішення.

Центральне місце в оцінці ризику займають аналіз і прогнозування можливих втрат ресурсів при здійсненні технологічного процесу [5]. Оцінювання ризику **є важливою задачею** на шляху ефективного управління технологічними процесами.

2. Мета роботи

Метою роботи є оцінювання ризику на прикладі технологічного процесу обробки овочів.

3. Викладення основного матеріалу

В [6] розроблено підхід до оцінювання ризику при управлінні розгалужено-циклічними технологічними процесами. Проте для кожного процесу конкретизація і реалізація загального підходу потребують додаткових досліджень.

Розглянемо технологічний процес обробки овочів. Він складається з таких операцій: сортування, калібрування, миття, обчищання, промивання, нарізування [7]. Граф РЦТП з операціями контролю показаний на рис. 1.

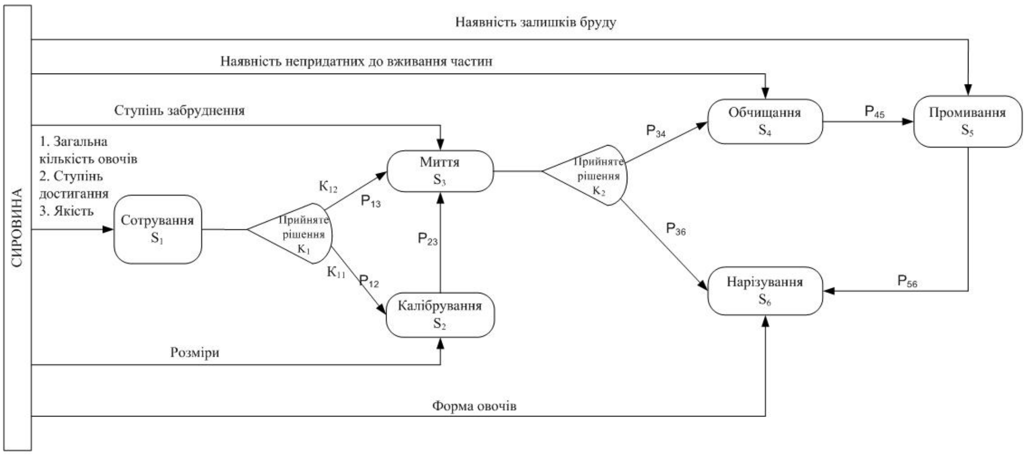

Рис. 1. Граф технологічного процесу обробки овочів

Технологічний процес обробки овочів має наступні вхідні параметри:

1. Загальна кількість овочів – x_1.
2. Ступінь достигання – x_2.
3. Якість – x_3.
4. Розміри – x_4.
5. Ступінь забруднення – x_5.
6. Наявність непридатних до вживання частин – x_6.

7. Наявність залишків бруду – x_7.
8. Форма овочів – x_8.

Для оцінювання ризику складемо таблицю вхідних і вихідних параметрів кожної операції технологічного процесу обробки овочів (табл. 1).

Табл. 1. Технологічний процес обробки овочів

Операція	Вхідні параметри	Вихідні параметри	Прийняте рішення
Сортування	1. Загальна кількість овочів, x_1 2. Ступінь достигання, x_2 3. Якість, x_3	Кількість придатних овочів для переробки, y_1	якщо $y_1 < 0{,}7$ то переходимо до S_2, інакше – до S_3
Калібрування	1. Кількість придатних овочів для переробки, y_1 2. Розміри, x_4	Кількість придатних овочів для миття, y_2	–
Миття	1. 1. Кількість придатних овочів для переробки, y_1 *або* 1.2 Кількість придатних овочів для миття, y_2 2. Ступінь забруднення, x_5	Кількість овочів, y_3	якщо $y_3 < 0{,}5$ то переходимо до S_6, інакше – до S_4
Обчищання	1. Кількість овочів, y_3 2. Наявність непридатних до вживання частин, x_6	Кількість овочів, y_4	–
Промивання	1. Кількість овочів, y_4 2. Наявність залишків бруду, x_7	Кількість овочів, y_5	–
Нарізування	1.1. Кількість овочів, y_3 *або* 1.2. Кількість овочів, y_5 2. Форма овочів, x_8	Кількість продукту, y_6	–

Розрахуємо наближено основні характеристики розподілів ймовірностей результатів кожної операції. Для кожного вхідного параметру x_i отримаємо їх відповідні характеристики: математичне сподівання m_{x_i} та середньоквадратичне відхилення $\pm_{x_i}$. За даними характеристиками складемо закон розподілу вихідного параметру y_i та розрахуємо його математичне сподівання m_{y_i} та середньоквадратичне відхилення $\pm_{y_i}$.

Характеристики розподілів ймовірностей вихідних параметрів будемо розраховувати наближено через логарифмічну форму. Математичне сподівання добутку двох випадкових величин, перетворимо логарифмічно в суму двох випадкових величин, наприклад: $y_1 = x_1 \cdot x_2$, після перетворення отримаємо: $\ln(y_1) = \ln(x_1 + x_2) = \ln(x_1) + \ln(x_2)$. Тоді, математичне сподівання можна знайти за формулою: $\ln(m_{y_1}) = \ln(m_{x_1}) + \ln(m_{x_2})$. Перетворюючи, маємо: $m_{y_1} = e^{\ln(m_{y_1})}$. Аналогічні розрахунки проводимо для знаходження середньоквадратичного відхилення.

Здійснено розрахунки в середовищі MathCad для кожної окремої операції. Результати розрахунків представлено в таблиці 2.

Розраховуємо ймовірності переходів між операціями. Для рішення K_1:

$$P_{12} = \int_0^{0,7} \frac{1}{\pm_{y_1}\sqrt{2\text{®}}} e^{-\frac{(y_1 - m_{y_1})^2}{2\pm^2_{y_1}}} dy_1$$

$$P_{13} = 1 - P_{12}$$

Аналогічно розраховуємо для рішення K_2. Результати запишемо в табл. 3.

Розглянемо рис. 1 та перехід від операції S_1 до операції S_2. На вхід операції S_1 (сортування) потрапляють параметри: кількість, ступінь забруднення та якість овочів – $\vec{X}_1 = \{x_1, x_2, x_3\}$(вектор вхідних параметрів). При цьому показники даних параметрів мають деяке відхилення $\Delta\vec{X}_1 = \{\Delta x_1, \Delta x_2, \Delta x_3\}$, оскільки визначити ступінь забруднення та якість можливо з певною неточністю. Отже і після виконання операції вихідні параметри теж будуть характеризуватися певним розкидом $\Delta Y_1 = \{\Delta y_1, \Delta y_2, \Delta y_3\}$.

Ризик операції S_1 характеризується моделлю витрат $g_1 = \vec{A}_1 \cdot \Delta\vec{X}_1^{\,T} + b_1$, де $\overrightarrow{A_1} = \{a_1, a_2, a_3\}$– витрати на стабілізацію відхилень $\Delta\vec{X}_1 = \{\Delta x_1, \Delta x_2, \Delta x_3\}$; b_1 – витрати на виконання операції (фінансові, трудові, часу).

За основу оцінки витрат використаємо витрати часу на усунення відхилення параметрів. Складемо умовну табл. 4 коефіцієнтів витрат на стабілізацію відхилень та на виконання операцій.

Табл. 2. Статичні характеристики результатів операцій

Операція	Модель	Вхідні характеристики	Вихідні характеристики
Сортування	$y_1 = x_1 \cdot x_2 \cdot x_3$ $x_1 = const$ $y_1 = x_2 \cdot x_3$	$y_1 = x_1 \cdot x_2 \cdot x_3$ $x_1 = const$ $y_1 = x_2 \cdot x_3$	$y_1 = x_1 \cdot x_2 \cdot x_3$ $x_1 = const$ $y_1 = x_2 \cdot x_3$
Калібрування	$y_1 = x_1 \cdot x_2 \cdot x_3$ $x_1 = const$ $y_1 = x_2 \cdot x_3$	$y_1 = x_1 \cdot x_2 \cdot x_3$ $x_1 = const$ $y_1 = x_2 \cdot x_3$	$y_1 = x_1 \cdot x_2 \cdot x_3$ $x_1 = const$ $y_1 = x_2 \cdot x_3$
Миття	а) $y_3 = y_1 \cdot x_5$ б) $y_3 = y_2 \cdot x_5$	а) $y_3 = y_1 \cdot x_5$ б) $y_3 = y_2 \cdot x_5$	а) $m_{y3} = 0.16$, $\pm_{y3} = 0.002$ б) $m_{y3} = 0.128$, $\pm_{y3} = 0.0002$
Обчищання	$y_4 = y_3 \cdot x_6$	$y_4 = y_3 \cdot x_6$	а) $m_{y4} = 0.032$, $\pm_{y4} = 0.0002$

			б) $m_{y4} = 0.026$ $\pm_{y4} = 0.00002$
Промивання	$y_5 = y_4 \cdot x_7$	$m_{x7} = 0.3$ $\pm_{x7} = 0.1$	а) $m_{y5} = 0.0096$ $\pm_{y5} = 0.00002$ б) $m_{y5} = 0.00768$ $\pm_{y5} = 0.000002$
Нарізування	1) $y_6 = y_5 \cdot x_8$ 2) $y_6 = y_3 \cdot x_8$	1) $y_6 = y_5 \cdot x_8$ 2) $y_6 = y_3 \cdot x_8$	1) а) $m_{y6} = 0.00768$ $\pm_{y6} = 0.000002$ б) $m_{y6} = 0.00614$ $\pm_{y6} = 0.0000002$ 2) а) $m_{y6} = 0.128$ $\pm_{y6} = 0.0002$ б) $m_{y6} = 0.102$ $\pm_{y6} = 0.00002$

Табл. 3. Ймовірності переходів між операціями

Рішення	Ймовірності альтернатив	
K_1	$P_{12} = 0.564$	$P_{13} = 0.436$
K_2	$P_{34} = 0.564$	$P_{36} = 0.436$
–	$P_{23} = P_{12}$	–
–	$P_{45} = P_{34}$	–
–	$P_{56} = P_{45}$	–

Табл. 4. Коефіцієнти витрат часу

Операція	Коефіцієнти витрат $\vec{A}$ на стабілізацію відхилень	Значення коефіцієнтів витрат $\vec{A}$, хв.	Значення коефіцієнту витрат b на виконання операції, хв
Сортування S_1	Кількість	$a_{11} = 5$	$b_1 = 40$
	Ступінь достигання	$a_{12} = 15$	

Табл. 4. Коефіцієнти витрат часу

Операція	Коефіцієнти витрат $\vec{A}$ на стабілізацію відхилень	Значення коефіцієнтів витрат $\vec{A}$, хв.	Значення коефіцієнту витрат *b* на виконання операції, хв
	Якість	$a_{13}=12$	
Калібрування S_2	Розміри	$a_{21}=7.5$	$b_2 = 35$
Миття S_3	Ступінь забруднення поверхні	$a_{31}=35$	$b_3 = 87$
Обчищання S_4	Наявність непридатних до вживання частин	$a_{41} = 12$	$b_4 = 56$
Промивання S_5	Наявність залишків бруду	$a_{51}=22.5$	$b_5 = 45$
Нарізування S_6	Форма	$a_{61}=24$	$b_6 = 65$

Для переходу до наступної операції приймається рішення: наступною буде або операція S_2 або операція S_3. На даному етапі контроль і прийняття рішення здійснюється з певною невизначеністю. Номінальна ймовірність переходу від операції S_1 до операції S_2: $P_{12} = \int\limits_{\vec{Y}_1 \in D_{12}} \left[\Phi^{(n)}\left(W_{X_1}, \vec{Y}_1\right) \cdot \quad_{\vec{X}_1}\left(\Delta\vec{X}_1\right)\right] d\vec{Y}_1$; до операції S_3: $P_{13} = \int\limits_{\vec{Y}_1 \in D_{13}} \left[\Phi^{(n)}\left(W_{X_1}, \vec{Y}_1\right) \cdot \quad_{\vec{X}_1}\left(\Delta\vec{X}_1\right)\right] d\vec{Y}_1$.

Ймовірність помилки при прийнятті рішення K_1:

1) $\overline{Y_1} \in D_{12}$, а приймається рішення K_{12} – помилка I роду:

$$P^{\mathrm{I}}{}_{K1} = \iint\limits_{z \in D_{13} Y \in D_{12}} (\overline{Y_1}) \quad (z) dY_1 dz,$$

де $z = Y_1 + \Delta Y_1$

$$_{Y_1} = \Phi^{(n)}(W_{\overline{X_1}}, Y_1) \quad _{\overline{X_1}}(\overline{X_1})$$

$$_{\Delta Y_1} = \Phi^{(n)}(W_{\Delta\overline{X_1}}, \Delta Y_1) \quad _{\Delta\overline{X_1}}(\Delta\overline{X_1})$$

$$_{z} = \Phi^{(2)}(Y_1 + \Delta Y_1) \quad _{\overline{Y_1}}(\overline{Y_1}) \quad _{\Delta Y_1}(\Delta Y_1)$$

2) $\overline{Y_1} \in D_{13}$, а приймається рішення K_{11} – помилка II роду:

$$P^{\mathrm{II}}{}_{K1} = \iint\limits_{z \in D_{12} Y \in D_{13}} (\overline{Y_1}) \quad (z) dY_1 dz.$$

Оцінюємо ймовірнісні характеристики кожного варіанту шляху у графі розгалуженого процесу.

Табл. 5. Ймовірнісні характеристики кожного варіанту шляху процесу

Шлях		Ймовірність операції	Ймовірність помилки	Втрати
N	Операція			
1	S_1	1	0	–
	S_3	$P_{13} = 0.436$	$P^{I}{}_{K_1} = 0.159$	$a_{31} \cdot P^{I}{}_{K_1} + b_3 \cdot P_{13} = 43.497$
	S_6	$P_{13} \cdot P_{36} = 0.19$	$P^{II}{}_{K_2} = 0.159$	$a_{61} \cdot P^{II}{}_{K_2} + b_6 \cdot P_{13-36} = 16.166$
2	S_1	1	0	–
	S_2	$P_{12} = 0.564$	$P^{II}{}_{K_1} = 0.119$	$a_{21} \cdot P^{II}{}_{K_1} + b_2 \cdot P_{12} = 8.395$
	S_3	$P_{12} = 0.564$	0	$b_3 \cdot P_{12} = 49.068$
	S_6	$P_{12} \cdot P_{36} = 0.246$	$P^{II}{}_{K_2} = 0.159$	$a_{61} \cdot P^{II}{}_{K_2} + b_6 \cdot P_{12-36} = 15.99$
3	S_1	1	0	–
	S_3	$P_{13} = 0.436$	$P^{I}{}_{K_1} = 0.159$	$a_{31} \cdot P^{I}{}_{K_1} + b_3 \cdot P_{13} = 43.497$
	S_4	$P_{13} \cdot P_{34} = 0.246$	$P^{I}{}_{K_2} = 0.0219$	$a_{41} \cdot P^{I}{}_{K_2} + b_4 \cdot P_{13-34} = 14.0388$
	S_5	$P_{13} \cdot P_{34} = 0.246$	0	$b_5 \cdot P_{13-34} = 11.07$
	S_6	$P_{13} \cdot P_{34} = 0.246$	0	$b_6 \cdot P_{13-34} = 15.99$
4	S_1	1	0	–
	S_2	$P_{12} = 0.564$	$P^{II}{}_{K_1} = 0.119$	$a_{21} \cdot P^{II}{}_{K_1} + b_2 \cdot P_{12} = 20.6325$
	S_3	$P_{12} = 0.564$	0	$b_3 \cdot P_{12} = 49.068$
	S_4	$P_{12} \cdot P_{34} = 0.318$	$P^{I}{}_{K_2} = 0.0219$	$a_{41} \cdot P^{I}{}_{K_2} + b_4 \cdot P_{12-34} = 18.0708$
	S_5	$P_{12} \cdot P_{34} = 0.318$	0	$b_5 \cdot P_{12-34} = 14.31$
	S_6	$P_{12} \cdot P_{34} = 0.318$	0	$b_6 \cdot P_{12-34} = 20.67$

Розрахуємо загальні втрати кожного шляху:

$G_1 = 59.663$

$G_2 = 73.453$

$G_3 = 84.5958$

$G_4 = 112.7513$

Ймовірність реалізації кожного шляху:

1: $P_1 = P_{13} \cdot P_{13-36} = 0.083$

2: $P_2 = P_{12} \cdot P_{12} \cdot P_{12-36} = 0.078$

3: $P_3 = P_{13} \cdot P_{13-34} \cdot P_{13-34} \cdot P_{13-34} = 0.0065$

4: $P_4 = P_{12} \cdot P_{12} \cdot P_{12-34} \cdot P_{12-34} \cdot P_{12-34} = 0.01023$

Відповідно ризик реалізації шляху:

$R_1 = G_1 \cdot P_1 = 4.952$

$R_2 = G_2 \cdot P_2 = 5.729$

$R_3 = G_3 \cdot P_3 = 0.5499$

$R_4 = G_4 \cdot P_4 = 1.1534$

Отже, загальний ризик технологічного процесу обробки овочів: $R = 12.3843$.

Задача прийняття рішень при управлінні розгалуженим процесом обробки овочів відноситься до багатопараметричної оптимізації. Критерій ризику, який мінімізується в процесі оптимізації, залежить від граничних значень параметрів, за якими приймається рішення (тобто границі областей D_{ij}. У загальному випадку ця залежність є полімодальною. Тому для розв'язання задачі оптимізації доцільно використати методи випадкового пошуку [8].

Найпростіший алгоритм випадкового пошуку [9]:

1. Задаємо початкову поточну точку, представлену вектором X_0 (початкові значення граничних значень прийняття рішень), обчислюємо в ній значення ризику R.
2. Задаємо с.к.в. σ, яке дорівнює усьому діапазону можливих значень вектора аX.
3. До даної точки додаємо приріст у вигляді випадкового вектора аX з с.к.в., яке дорівнює σ (отримаємо точку X_1) і обчислюємо значення ризику R.
4. Якщо значення ризику R покращилося (мінімізувалося), то точку X_1 робимо поточною.
5. Перевіряємо умову зупинки алгоритму (покриття всієї області можливих значень). Якщо вона виконується, то переходимо на пункт 6, якщо ні – на пункт 3.
6. Якщо σ менша за допустиму похибку розв'язку задачі, то переходимо на пункт 7, інакше зменшуємо σ, беремо за початкові точки ті, яким відповідають найменші значення ризику, і переходимо на пункт 3.
7. Зупинка.

4. Висновки

В роботі подано алгоритм оцінювання ризику РЦТП на прикладі технологічного процесу обробки овочів. Розраховано загальний ризик та подано алгоритм методу багатопараметричної оптимізації, який дає змогу мінімізувати цей ризик. Мінімізація ризику важливою задачею при управління технологічними процесами є в усіх галузях промисловості.

Застосований підхід для оцінки ризику технологічного процесу обробки овочів можна використовувати для будь-якого технологічного процесу циклічно-розгалуженого типу в умовах невизначеності вхідних параметрів і результатів контрольних операцій.

ЛІТЕРАТУРА

1. Лисогор В. М. Задача структуризації та ідентифікації багатостадійних технологічних процесів / В.М. Лисогор, О.М. Циганенко // Вісник ВПІ. – 2008. – №6. – С.17-21.
2. Дубовой В. М. Моделі прийняття рішень в управлінні розподіленими динамічними системами / В.М. Дубовой, О.О. Ковалюк / Монографія. – Вінниця: УНІВЕРСУМ – Вінниця, 2008. – 185 с.
3. Кузьмин И. В. Оценка эффективности и оптимизация автоматической системы контроля и управления / И.В. Кузьмин – М.: Радио и связь, 1971. – 296 с.
4. Москвіна С. М. Математична модель прийняття рішень в умовах ризику в системах управління технологічним процесом / С. М. Москвіна, Д. О Ковалюк // Вісник ВПІ. – 2005. – №1. – С. 62-68.
5. Тейл Г. Економетричні прогнози і прийняття рішень / Г.Тейл – М.: Статистика, 1971. – 488 с.
6. Дубовой В.М. Оцінювання ризику розгалужено-циклічних технологічних процесів / В.М. Дубовой, І.В. Пилипенко, А.В. Денисов // Вісник ХНУ. – 2011. – №6. – С. 165-168.
7. Баранов В.С. Технология производства продуктов общественного питания / В.С. Баранов – М.: Экономика, 1982. – 399 с.
8. Кравець П. О. Методи розпаралелювання випадкового пошуку / П.О. Кравець // Lviv Polytechnic National University Institutional Repository. – 2003. – С. 163-177.
9. Сушков Ю.А. Об одном способе организации случайного поиска / Ю.А. Сушков // Автоматика и вычислительная техника. – 1974. – № 6. – С.41-48

Надійшла – 16.03.2012.