

УДК 681.515:519.2

ДУБОВОЙ В.М., ПИЛИПЕНКО І.В.

Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця

ОПТИМІЗАЦІЯ ПАРАМЕТРІВ СППР ПРИ УПРАВЛІННІ РОЗГАЛУЖЕНИМ ТЕХНОЛОГІЧНИМ ПРОЦЕСОМ

Анотація. В роботі подана розробка підходу до оптимізації параметрів СППР при управлінні розгалуженим технологічним процесом на прикладі технологічного процесу обробки овочів. Реалізовано алгоритм оцінювання ризику розгалужено-циклічного технологічного процесу (РЦТП) обробки овочів та розраховано загальний ризик.

Ключові слова: системи підтримки прийняття рішень, розгалужено-циклічний технологічний процес, ризик.

Аннотация. В работе представлена разработка подхода к оптимизации параметров СППР при управлении разветвленным технологическим процессом на примере технологического процесса обработки овощей. Реализован алгоритм оценки риска разветвленно-циклического технологического процесса (РЦТП) обработки овощей и рассчитан общий риск.

Ключевые слова: системы поддержки принятия решений, разветвленно-циклический технологический процесс, риск.

The Abstract. This paper presented design approach to optimize the parameters of DSS in the management of branched technological process on the example of the technological processing of vegetables. Implemented algorithm for risk assessment of the branched-cyclic technological process (RCTP) of vegetables and calculated total risk.

Key words: decision support systems, branched-cyclic technological process, risk.

Вступ

В багатьох галузях промислового виробництва інтенсивно поширюються складні розгалужено-циклічні технологічні процеси (РЦТП) [1]. Особливості задач управління РЦТП полягають у необхідності прийняття рішень наприкінці кожної операції, причому складність алгоритму прийняття рішень залежить від структури РЦТП [2]. Зокрема, на відміну від розгалужених деревоподібних процесів, в РЦТП може відбуватися багатократне повернення до виконання певних стадій процесу. Прикладами таких процесів є технічна діагностика, чистова обробка поверхонь тощо.

При розгалуженості процесу потрібно приймати рішення щодо подальших операцій на основі результатів контролю, які мають обмежену вірогідність. Прийняти рішення – значить обрати конкретний варіант дій з безлічі варіантів, а отже буде існувати і ризик. Під ризиком розуміємо середні втрати від прийнятого рішення [3].

При прийнятті рішень застосовують весь арсенал методів сучасної прикладної математики. Вони використовуються для оцінки ситуації та прогнозування при виборі цілей, для генерування безлічі можливих варіантів рішень і вибору з них найкращого [4]. При прийнятті рішень застосовують як імовірнісно-статистичні моделі, так і методи аналізу даних. Перш за все, це методи оптимізації (математичного програмування). Для боротьби з багатокритеріальністю використовують різні методи згортки критеріїв, а також інтерактивні комп'ютерні системи, що дозволяють виробляти рішення в процесі діалогу людини і ЕОМ. Застосовують імітаційне моделювання, що базується на комп'ютерних системах, що відповідають на питання: "Що буде, якщо ...?", метод статистичних випробувань (Монте-Карло), моделі надійності і масового обслуговування [5].

Сформульовану математично задачу управління можна розв'язати одним з відомих математичних методів. Наприклад, задачі управління запасами можуть розв'язуватись методами математичного програмування та із застосуванням теорії масового обслуговування. Сітьове планування і управління використовують різноманітні математичні методи. Наприклад, методи елементарної математики використовуються в економічних розрахунках при обґрунтуванні потреб у ресурсах, обліку витрат на виробництво, розробці планів, проектів, при балансових розрахунках і т.д. [6].

Проблемою прийняття рішення при управлінні РЦТП є послідовність рішень, при яких на поточне рішення впливає попереднє. Наприклад, гра в шахи – гра, де необхідно прийняти складні, "ступінчаті" рішення. В даному випадку для прийняття рішення використовують метод дерева рішень. Це зручний метод для прийняття послідовних рішень, де результати одного рішення впливають на подальші рішення [7]. Проте, даний метод не враховує можливість циклічності рішень, що властиве для РЦТП.

Актуальність

При управлінні РЦТП необхідно аналізувати ризик, який виникає при прийнятті хибного рішення. 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 [8]. Рішення приймається в залежності від стадій та операцій, що відповідають цим стадіям технологічного процесу. Результати виконання кожного підпроцесу РЦТП впливають на всі наступні рішення і підпроцеси. Витрати на окремих підпроцесів залежать від кількості і якості контрольних операцій для визначення вихідних характеристик, які необхідні для прийняття рішення. Ефективне управління такими процесами є **актуальною** проблемою

Центральне місце в оцінці ризику займають аналіз і прогнозування можливих втрат ресурсів при здійсненні технологічного процесу [9]. Оцінювання ризику є **важливою задачею** на шляху ефективного управління технологічними процесами. Для РЦТП доцільно використовувати критерій мінімального ризику, а метод його оцінювання потрібно вдосконалити.

Мета

Метою роботи є розробка підходу до оптимізації параметрів СППР при управлінні розгалуженим технологічним процесом на прикладі технологічного процесу обробки овочів.

Задачі

1. Формування підходу до оцінювання ризику при управлінні розгалужено-циклічними технологічними процесами у вигляді алгоритму.
2. Розрахунок ризику при управлінні технологічним процесом обробки овочів.

Розв’язання задач

В [10] розроблено підхід до оцінювання ризику при управлінні розгалужено-циклічними технологічними процесами. Сформулюємо цей підхід у вигляді алгоритму:

1. Зобразимо схему РЦТП у вигляді графа, де вершини відповідають операціям РЦТП S_i , а дуги – переходам між операціями. У місця розгалуження знаходяться операції K_i – контроль стану та прийняття рішення. Граф опишемо матрицею суміжності $A = \{a_{ij}\}$; $i, j = 1 \dots n$, де n – кількість операцій; $a_{ij} = 1$, якщо перехід від i -ї операції до j -ї можливий і $a_{ij} = 0$, якщо перехід неможливий.

2. Кожна операція РЦТП характеризується вектором вхідних параметрів \vec{X} і вектором вихідних параметрів \vec{Y} . Оскільки вхідні параметри можуть мати розкид, то кожна операція процесу будується так, щоб отримати результат \vec{Y} з мінімальним відхиленням ΔY від бажаного \vec{Y}_0 незалежно від розкиду $\Delta \vec{X}$.

3. Витрати g на стабілізацію результату операції тим більші, чим більше збурення, тобто відхилення умов її виконання $\Delta \vec{X}$. Лінеаризована модель витрат операції:

$$g = \vec{A} \cdot \Delta \vec{X}^T + b,$$

де \vec{A} – вектор питомих витрат на стабілізацію по кожному з вхідних параметрів, b – номінальні витрати операції.

4. Контроль результату виконання операції РЦТП здійснюється з певною залишковою невизначеністю, яка залежить від похибки вимірювальних приладів та недостовірності експертних оцінок. Використовуємо для опису невизначеності результатів контролю узагальнюючу функцію невизначеності β_Y .

5. Оцінимо загальну ймовірність переходу до наступної операції з урахуванням стабілізаційної властивості операції РЦТП. Ця властивість характеризується передаточною функцією збурення $W_{\Delta X}$. Тоді функцію невизначеності результату операції запишемо у векторно-операторному вигляді:

$$\beta_{\vec{Y}}(\vec{Y}) = \Phi^{(n)}(W_{\Delta X}, \vec{Y}) \cdot \beta_{\Delta \vec{X}}(\Delta \vec{X}) \quad (1)$$

Тоді ймовірність переходу від операції S_i до операції S_j :

$$P_{ij} = \int_{\vec{Y} \in D_{ij}} \left[\Phi^{(n)}(W_{\Delta X}, \vec{Y}) \cdot \beta_{\Delta \vec{X}}(\Delta \vec{X}) \right] d\vec{Y}. \quad (2)$$

6. Утворимо множину шляхів $L_{1n} = \{l_i\}$ від початкової до кінцевої операції у графі РЦТП з урахуванням можливої кратності циклів. Кожен такий шлях є варіантом реалізації технологічного процесу, який реалізується в результаті прийняття окремих рішень.

Ймовірність реалізації l_i :

$$P_i = \prod_{j \in l_i} P_{j-1} \cdot j. \quad (3)$$

7. Підрахуємо загальні втрати реалізації РЦТП. Оскільки втрати є величиною адитивною, то загальні втрати РЦТП для реалізації l_i :

$$G_i = \sum_{j \in l_i} g_j + A \cdot \Delta \bar{Y}_n,$$

де перший доданок є загальними втратами на усіх операціях реалізації l_i , а другий доданок є втратами від відхилення параметрів остаточного результату РЦТП від номінального значення.

8. Підрахуємо ризик реалізації l_i :

$$R_i = G_i P_i. \quad (4)$$

9. Загальний ризик РЦТП:

$$R = \sum_{\forall l_i \in L} G_i P_i. \quad (5)$$

Запропонований алгоритм застосуємо до розв'язання поставленої задачі.

Технологічний процес обробки овочів складається з таких операцій: сортування, калібрування, миття, обчищення, промивання, нарізування [11].

1. Технологічний процес обробки овочів має наступні вхідні параметри:
2. Загальна кількість овочів – x_1 .
3. Ступінь досягання – x_2 .
4. Якість – x_3 .
5. Розміри – x_4 .
6. Ступінь забруднення – x_5 .
7. Наявність непридатних до вживання частин – x_6 .
8. Наявність залишків бруду – x_7 .
9. Форма овочів – x_8 .

Для оцінювання ризику складемо таблицю вхідних і вихідних параметрів кожної операції технологічного процесу обробки овочів, показано в табл. 1.

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 σ_{x_i} . За даними характеристиками складемо закон розподілу вихідного параметру y_i та розрахуємо його математичне сподівання m_{y_i} та середньоквадратичне відхилення σ_{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 табл. 2.

Таблиця 1 – Технологічний процес обробки овочів

Операція	Вхідні параметри	Вихідні параметри	Прийняте рішення
Сортування	1. Загальна кількість овочів, x_1 2. Ступінь досягання, 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
Обчищення	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	–

Таблиця 2 – Статистичні характеристики результатів операцій

Операція	Модель	Вхідні характеристики	Вихідні характеристики
Сортування	$y_1 = x_1 \cdot x_2 \cdot x_3$ $x_1 = const$ $y_1 = x_2 \cdot x_3$	$m_{x2} = 0.5$ $\sigma_{x2} = 0.1$ $m_{x3} = 0.8$ $\sigma_{x3} = 0.2$	$m_{y1} = 0.4$ $\sigma_{y1} = 0.02$
Калібрування	$y_2 = y_1 \cdot x_4$	$m_{x4} = 0.8$ $\sigma_{x4} = 0.1$	$m_{y2} = 0.32$ $\sigma_{y2} = 0.002$
Миття	а) $y_3 = y_1 \cdot x_5$ б) $y_3 = y_2 \cdot x_5$	$m_{x5} = 0.4$ $\sigma_{x5} = 0.1$	а) $m_{y3} = 0.16$ $\sigma_{y3} = 0.002$ б) $m_{y3} = 0.128$ $\sigma_{y3} = 0.0002$
Обчищення	$y_4 = y_3 \cdot x_6$	$m_{x6} = 0.2$ $\sigma_{x6} = 0.1$	а) $m_{y4} = 0.032$ $\sigma_{y4} = 0.0002$ б) $m_{y4} = 0.026$ $\sigma_{y4} = 0.00002$
Промивання	$y_5 = y_4 \cdot x_7$	$m_{x7} = 0.3$ $\sigma_{x7} = 0.1$	а) $m_{y5} = 0.0096$ $\sigma_{y5} = 0.00002$ б) $m_{y5} = 0.00768$ $\sigma_{y5} = 0.000002$

Продовження табл. 2

Операція	Модель	Вхідні характеристики	Вихідні характеристики
Нарізування	1) $y_6 = y_5 \cdot x_8$ 2) $y_6 = y_3 \cdot x_8$	$m_{x8} = 0.8$ $\sigma_{x8} = 0.1$	1) а) $m_{y6} = 0.00768$ $\sigma_{y6} = 0.000002$ б) $m_{y6} = 0.00614$ $\sigma_{y6} = 0.0000002$ 2) а) $m_{y6} = 0.128$ $\sigma_{y6} = 0.0002$ б) $m_{y6} = 0.102$ $\sigma_{y6} = 0.00002$

Розраховуємо ймовірності переходів між операціями. Для рішення K_1 :

$$P_{12} = \int_0^{0.7} \frac{1}{\sigma_{y_1} \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(y_1 - m_{y_1})^2}{2\sigma_{y_1}^2}} dy_1, \quad P_{13} = 1 - P_{12}. \quad (6)$$

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

Таблиця 3 – Ймовірності переходів між операціями

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

Розглянемо перехід від операції S_1 до операції S_2 . На вхід операції S_1 (сортування) потрапляють параметри: кількість, ступінь забруднення та якість овочів - $\bar{X}_1 = \{x_1, x_2, x_3\}$ (вектор вхідних параметрів). При цьому показники даних параметрів мають деяке відхилення $\Delta\bar{X}_1 = \{\Delta x_1, \Delta x_2, \Delta x_3\}$, 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 $g_1 = \bar{A}_1 \cdot \Delta\bar{X}_1^T + b_1$, де $A_1 = \{a_1, a_2, a_3\}$ - витрати на стабілізацію відхилень $\Delta\bar{X}_1 = \{\Delta x_1, \Delta x_2, \Delta x_3\}$; b_1 - витрати на виконання операції (фінансові, трудові, часу).

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

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. Ймовірність переходу від операції S_1 до операції S_2 : визначимо з використанням операторного методу [2]:

$$P_{12} = \int_{\bar{Y}_1 \in D_{12}} \left[\Phi^{(n)}(W_{X_1}, \bar{Y}_1) \cdot \beta_{\bar{X}_1}(\Delta\bar{X}_1) \right] d\bar{Y}_1 \quad (7)$$

Таблиця 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 досягання	$a_{12} = 15$	
	Якість	$a_{13} = 12$	
Калібрування S_2	Розміри	$a_{21} = 7.5$	$b_2 = 35$
Миття S_3	Ступінь забруднення поверхні	$a_{31} = 35$	$b_3 = 87$
Обчищення 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	$a_{61} = 24$	$b_6 = 65$

До операції S_3 :

$$P_{13} = \int_{\vec{Y}_1 \in D_{13}} \left[\Phi^{(n)}(W_{X_1}, \vec{Y}_1) \cdot \beta_{\vec{X}_1}(\Delta \vec{X}_1) \right] d\vec{Y}_1. \quad (8)$$

Ймовірність помилки при прийнятті рішення K_1 :

1) $\vec{Y}_1 \in D_{12}$, а приймається рішення K_{12} – помилка I роду:

$$P^I_{K1} = \iint_{z \in D_{13}, Y \in D_{12}} \beta(\vec{Y}_1) \beta(z) dY_1 dz,$$

де $z = Y_1 + \Delta Y_1$; $\beta_{Y_1} = \Phi^{(n)}(W_{\vec{X}_1}, Y_1) \beta_{\vec{X}_1}(\vec{X}_1)$; $\beta_{\Delta Y_1} = \Phi^{(n)}(W_{\Delta \vec{X}_1}, \Delta Y_1) \beta_{\Delta \vec{X}_1}(\Delta \vec{X}_1)$;
 $\beta_z = \Phi^{(2)}(Y_1 + \Delta Y_1) \beta_{\vec{Y}_1}(\vec{Y}_1) \beta_{\Delta Y_1}(\Delta Y_1)$.

2) $\vec{Y}_1 \in D_{13}$, а приймається рішення K_{11} – помилка II роду:

$$P^{II}_{K1} = \iint_{z \in D_{12}, Y \in D_{13}} \beta(\vec{Y}_1) \beta(z) dY_1 dz.$$

Оцінюємо ймовірнісні характеристики кожного варіанту шляху у графі розгалуженого процесу, подано в табл. 5.

Таблиця 5 – Ймовірнісні характеристики кожного варіанту шляху процесу

Шлях		Ймовірність операції	Ймовірність помилки	Втрати
N	Операція			
1	S_1	1	0	–
	S_3	$P_{13} = 0.436$	$P^I_{K1} = 0.159$	$a_{31} \cdot P^I_{K1} + b_3 \cdot P_{13} = 43.497$
	S_6	$P_{13} \cdot P_{36} = 0.19$	$P^{II}_{K2} = 0.159$	$a_{61} \cdot P^{II}_{K2} + b_6 \cdot P_{13-36} = 16.166$

Шлях		Ймовірність операції	Ймовірність помилки	Втрати
N	Операція			
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	$P_{12} \cdot P_{36} = 0.246$	$P^{II}_{K_2} = 0.159$	$a_{61} \cdot P^{II}_{K_2} + b_6 \cdot P_{12-36} = 15.99$

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 [12].

Висновки

1. 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.
2. 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.

Список літератури

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. Новиков Д. А. Модели управления конфликтами и рисками / Д. А. Новиков, С. А. Баркалов, В. Н. Бурков, В. И. Новосельцев, А. В. Щепкин - Воронеж: Научная книга, 2008. – 439 с.
5. Принятие управленческих решений [Электронный ресурс] – Режим доступа: [http://www.refu.ru/refs/47/9472/1.html].

6. Смітюх Я.В. Оптимізація управління процесами брагоректифікації / Я.В. Смітюх, В. Д. Кишенюк // Оптимальное управление объектами и системами, ААЭКС. – 2006. - №2(18). – С. 23-38
7. Купалова Г.І. Теорія економічного аналізу / Г.І. Купалова. – К. : Знання, 2008. – 639 с.
8. 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
9. Тейл Г. Економетричні прогнози і прийняття рішень / Г.Тейл – М.: Статистика, 1971. – 488 с.
10. 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
11. Баранов В.С. Технология производства продуктов общественного питания / В.С. Баранов – М.: Экономика, 1982. – 399 с.
12. Сушков Ю.А. Об одном способе организации случайного поиска / Ю.А. Сушков // Автоматика и вычислительная техника. – 1974. - № 6. – С.41-48

Відомості про авторів

Дубовой Володимир Михайлович – д.т.н., професор, завідувач кафедри комп'ютерних систем управління, Вінницький національний технічний університет, тел.: +380 (432) 598 157.

Пилипенко Інна Віталіївна – студент кафедри комп'ютерних систем управління Вінницького національного технічного університету, Хмельницьке шосе, 95, м. Вінниця, 21021, e-mail: inna_1791@mail.ru