

УДК 681.513.54

**В. М. Дубовой<sup>1</sup>**  
**І. В. Пилипенко<sup>1</sup>**  
**Р. С. Стець<sup>1</sup>****ПРОГНОЗУВАННЯ ДОЦІЛЬНОЇ КІЛЬКОСТІ  
ПОВТОРЕНЬ ЦИКЛІЧНОГО ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ**<sup>1</sup>Вінницький національний технічний університет

*Виконано прогнозування щодо доцільної кількості повторень розгалуженого циклічного технологічного процесу, визначено оптимальний ризик та оцінено витрати на виконання операції. Показано залежність сумарного ризику, бажаного та небажаного стану операції від кількості циклів виконання. Описано застосування марковської моделі для процесу тестування програмного забезпечення.*

**Ключові слова:** циклічний технологічний процес, ризик, втрати, прийнятний ризик, вірогідність.

**Вступ**

У виробничій практиці набувають поширення складні циклічні технологічні процеси. Складність технологічного процесу визначається кількістю його технологічних циклів. Технологічні цикли визначаються однотипністю виконуваних послуг (продукції) з єдиною робочою зоною [1].

Якщо виконання циклів процесів некеруване, тривалість циклів зростає втричі, тому що тоді календарне вирівнювання кожної частини процесу перевищить розмір найбільшого циклу відповідної частини процесу. Некеруване виконання призводить до значного перевищення раціонального рівня незавершеного виробництва та спричиняє великі втрати робочого часу робітників і обладнання [1]. Управління виконанням циклів технологічних процесів та їх частин необхідні як основа керування виробничим процесом з метою мінімізації витрат на виробництво. Для забезпечення конкурентоспроможності підприємства можливість мінімізації витрат на виробництво має, як правило, першочергове значення [2].

Питання управління виконанням та синхронізації циклів технологічних процесів розглянуті у наукових працях таких вчених, як В. Г. Василькова, А. Г. Кальченко, С. О. Іщук, О. І. Амоша, Є. І. Бойко, Є. К. Смирницького, М. І. Іванова та ін.

Однак, одним з основних критеріїв управління циклічними технологічними процесами є прийняття рішення щодо доцільної кількості повторень технологічних циклів. Ця проблема притаманна розгалуженим технологічним процесам (РТП) з циклічністю та залишається невирішеною.

Важливо знайти оптимальне рішення щодо доцільної кількості виконання циклів технологічного процесу за найменших витрат.

Оптимальне управління процесом може розглядатись як прийняття визначених рішень, що відповідають змінам ситуації. Прийняття рішення пов'язане з вибором якогось одного рішення з їх можливої множини. Чим більше варіантів, тим більше інформації необхідно для їх характеристики і тим громіздкішим буде опис усієї задачі [3].

Хід і результати виконання окремих підпроцесів технологічного процесу залежать від вхідних параметрів предмета виробництва і не залежать від того, якими засобами і як ці параметри предмету виробництва отримані. У циклічних РТП на хід виконання одного потоку операцій може впливати хід виконання циклічного потоку операцій. Тому можна припустити, що циклічний РТП може бути описаний неоднорідною марковською моделлю [4, 5].

Марковську модель технологічного процесу представлено як сукупність марковських моделей операцій і підпроцесів. За основу взято неоднорідну марковську модель [6].

В [7] наведена лінеаризована модель для оцінювання вірогідності стану двох підпроцесів

$$\tilde{b}_{vj} = \sum_{i=1}^m \left\{ \tilde{b}_{vi} \left[ c_{vij}^{00} + \sum_{l=1}^n \sum_{h=1}^m (c_{vij}^{lh} \cdot \tilde{b}_{lh}) \right] \right\}, \quad v=1..n, \quad i, j=1..m, \quad (1)$$

де  $\tilde{B}^{(k)} \{ \tilde{b}_{vj} \}$  — матриця вірогідностей станів підпроцесів;  $C_v \{ c_{vij}^{lh} \}$  — 4-вимірний масив вагових коефіцієнтів  $[n, m, n+1, m+1]$ .

Мета роботи полягає у прогнозуванні доцільної кількості повторень циклічного технологічного процесу.

### Розв'язання задачі прогнозування

Для кожної технологічної операції існує бажаний та небажаний стани, у якому може бути операція після виконання підпроцесу. Як наведено в [7], зі зростанням кількості циклів виконання підпроцесу, вплив на вірогідність стану збільшується. Це зумовлено взаємним впливом підпроцесів, що визначає неоднорідність марковського ланцюга. При цьому, вірогідність небажаного стану зменшується зі зростанням кількості циклів виконання підпроцесу, а вірогідність бажаного стану — збільшується.

На рис. 1 показано залежність бажаного стану операції від кількості циклів виконання, залежність небажаного стану операції від кількості циклів виконання та залежність сумарного ризику від кількості циклів виконання підпроцесу.

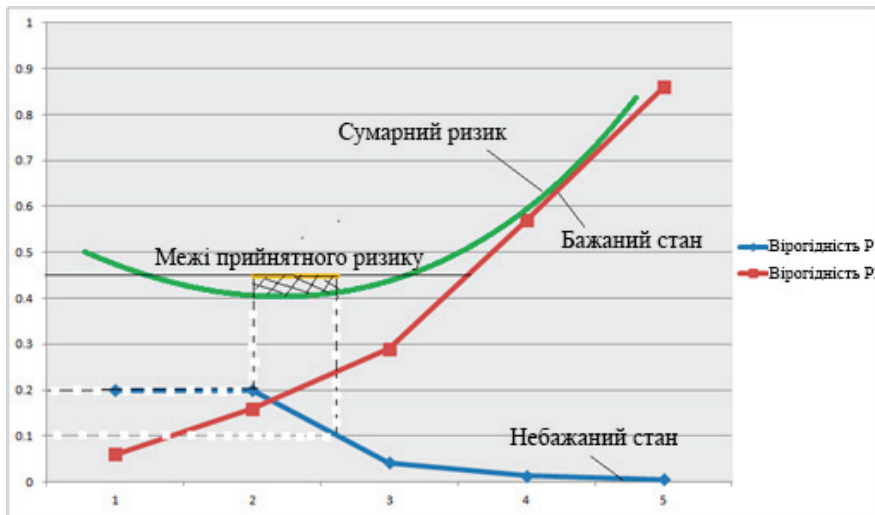


Рис. 1. Прогнозування прийнятного ризику виконання циклічного підпроцесу

Згідно з показаним графіком, вплив на вірогідність стану підпроцесу дає можливість прийняти рішення щодо доцільної кількості виконання циклів. Проте, зі збільшенням кількості циклів виконання збільшуються і витрати на проходження технологічного підпроцесу. Необхідно знайти таку допустиму кількість циклів виконання підпроцесу, за якої втрати були б прийнятним, а ризик був би найменшим.

Прийнятний ризик — це компроміс між бажаним станом та небажаним станом операції. Концепція прийнятного (допустимого) ризику може бути застосована для визначення меж допустимих витрат, які виникають зі зростанням циклів виконання підпроцесу.

Очевидно, що ризик визначається як добуток вірогідності стану операції підпроцесу на витрати, які пов'язані з виконанням цієї операції:

$$R_{vj} = \tilde{b}_{vj} \cdot V_{vj}, \quad (2)$$

де  $R_{vj}$  — ризик від реалізації  $j$ -ї операції, що знаходиться у  $v$ -му стані;  $\tilde{b}_{vj}$  — вірогідність стану;  $V_{vj}$  — витрати на виконання  $j$ -ї операції, що знаходиться у  $v$ -му стані.

Витрати залежать від витрат на кожному циклі виконання технологічного підпроцесу

$$V_{vj} = \sum_{k=1}^S V_{vj}^k, \quad (3)$$

де  $S$  — кількість циклів;  $V_{vj}^k$  — витрати на  $k$ -му циклі на виконання  $j$ -ї операції, що знаходиться в  $v$ -му стані.

В економічній теорії розрізняють постійні, змінні та загальні витрати

$$\begin{aligned} FC + VC &= TC; \\ TC - FC &= VC; \\ TC - VC &= FC, \end{aligned} \quad (4)$$

де  $FC$  — постійні витрати;  $VC$  — змінні витрати;  $TC$  — загальні витрати. Залежність компонентів витрат від кількості циклів показана на рис. 2.

Тобто витрати на  $k$ -му циклі на виконання  $j$ -ї операції, що знаходиться в  $v$ -му стані становлять

$$V_{vj}^k = TC_{vj}^k = FC_{vj}^k + VC_{vj}^k. \quad (5)$$

Покажемо блок-схему управління циклічністю розгалуженим технологічним процесом (рис. 3).

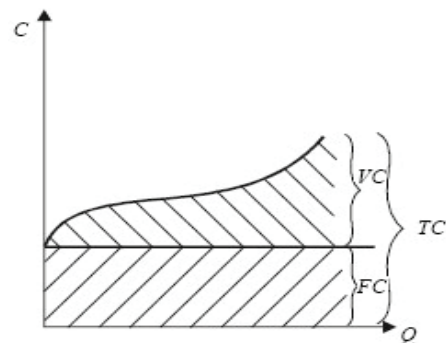


Рис. 2. Загальні витрати:  
 $C$  — витрати;  $Q$  — кількість циклів;  
 $FC$  — постійні витрати;  $VC$  — змінні витрати;  
 $TC$  — валові (загальні) витрати

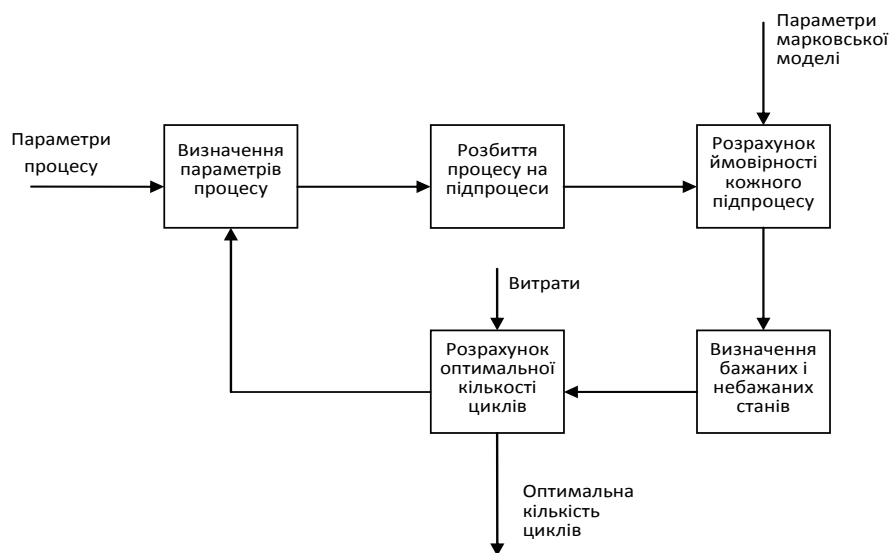


Рис. 3. Блок-схема управління циклічністю розгалуженого технологічного процесу

Блок-схема складається з 5 основних блоків:

1. **Визначення параметрів процесу** — використовується для визначення вхідних параметрів процесу (наприклад, кількість операцій, стадій, циклів і т. п.)

2. **Розбиття процесу на підпроцеси** — використовується для знаходження всіх можливих циклів процесу і розбиває процес на підпроцеси

3. **Розрахунок ймовірності кожного підпроцесу** — описується за допомогою марковської моделі. Блок вимагає вхідних параметрів для обчислення марковської моделі.

4. **Визначення бажаних і небажаних станів** — виконується після обчислення ймовірностей станів, що дає змогу зробити висновок про бажаний чи небажаний стан операції.

5. **Розрахунок оптимальної кількості циклів** — після обчислення бажаного та небажаного стану системи можна зробити висновок щодо оптимальної кількості циклів процесу на основі критерію оптимальності. За критерій оптимальності виступає мінімальний ризик, який визначається як середні витрати на виконання кожного підпроцесу технологічного процесу.

### Практичне застосування

Запропонована модель застосована до процесу тестування програмного забезпечення (ПЗ) як розгалужено-циклічного технологічного процесу. Розглянемо процес навантажувального тестування. У проектах тестування навантаження можна виділити такі етапи [8]:

- аналіз і проектування моделі навантаження;
- налаштування випробувального стенда;
- розробка типових сценаріїв;
- реалізація моделі навантаження;
- проведення навантажувального тестування;
- аналіз результатів випробувань і побудова моделей прогнозу.

Одним з оптимальних підходів у використанні навантажувального тестування для вимірювань продуктивності системи є тестування на стадії ранньої розробки. Далі, у ході подальшої розробки, етапи процесу тестування виконуються циклічно. На кожному етапі необхідно прийняти рішення щодо доцільності виконання сценарію. Зі зростанням циклів виконання зростають і затрати на їх виконання. Але здійснення навантажувального тестування зменшує ризик розробки ПЗ, час та витрати на розробку, вдосконалення та супроводження.

Маємо 2 підпроцеси P1 (проведення навантажувального тестування) та P2 (аналіз результатів випробувань і побудова моделей прогнозу). Нехай підпроцес P1 має 1 стан — S1 (проведено навантажувальне тестування) з вірогідністю  $\tilde{b}_{11}$ ; а підпроцес P2 має 2 стани — S1 (навантажувальне тестування проведено не вдало), S2 (навантажувальне тестування проведено вдало) з відповідними вірогідностями  $\tilde{b}_{21}$  та  $\tilde{b}_{22}$ . Стан S1 підпроцесу P2 переходить в стан S2 з вірогідністю  $b_{212}$ . Стан S1 підпроцесу P1 впливає на перехід між станами S1—S2 підпроцесу P2: вплив з часом  $\tau_{12}$ , вплив з вагою  $c_{212}^{11}$  (коефіцієнт фінансових витрат). Складемо таблицю значень (табл. 1).

Таблиця 1

Параметри марковської моделі РЦП тестування ПЗ

Цикл	Операція	Стан	Вірогідність стану	Вплив		Перехід з вірогідністю
				час	вага	
P <sub>1</sub>	Операція 1	S <sub>1</sub>	$b_{11} = 0,2$	$\tau_{12} = 2$	$c_{212}^{11} = 0,3$	$b_{212} = 0,7$
P <sub>2</sub>	Операція 1	S <sub>1</sub>	$b_{21} = 0,4$			
		S <sub>2</sub>	$b_{22} = 0,6$			

Отже, розрахуємо вірогідність того, що друга (P2) операція системи після виконання 4 циклів буде знаходитись в 2-му (S2) стані

$$\tilde{b}_{22}^{(4)} = \tilde{b}_{21}^{(4-1)} \cdot [b_{11} + (c_{212}^{12} \cdot \tilde{b}_{11}^{(4-2)})];$$

$$\tilde{b}_{22}^{(4)} = (0,4)^3 \cdot (0,2 + 0,3 \cdot 0,2^2) = 0,013568.$$

Після трьох циклів:

$$\tilde{b}_{22}^{(3)} = (0,4)^2 \cdot (0,2 + 0,3 \cdot 0,2^1) = 0,0416.$$

Після двох циклів:

$$\tilde{b}_{22}^{(2)} = (0,4)^1 \cdot (0,2 + 0,3 \cdot 0,2^0) = 0,2.$$

Залежність вірогідності стану операції P2 системи від кількості циклів виконання показана на рис. 4.

Для цього випадку стан S1 є бажаним для операції P2, а стан S2 — небажаним. Тобто вірогідність небажаного стану S2 зменшується зі зростанням кількості циклів виконання підпроцесу.

На основі залежності вірогідності бажаного та небажаного станів від кількості циклів виконання процесу (див. рис. 1) побудуємо залежність прямих витрат на тестування (бажаний стан), витрат на виправлення помилок та вдосконалення (небажаний стан) від кількості циклів тестування та покажемо межі вартості якості ПЗ (рис. 5).

Кількість циклів	Вірогідність
1	0,2
2	0,2
3	0,0416
4	0,01
5	0,00518144
6	0,002052915
7	0,000819593
8	0,000327711

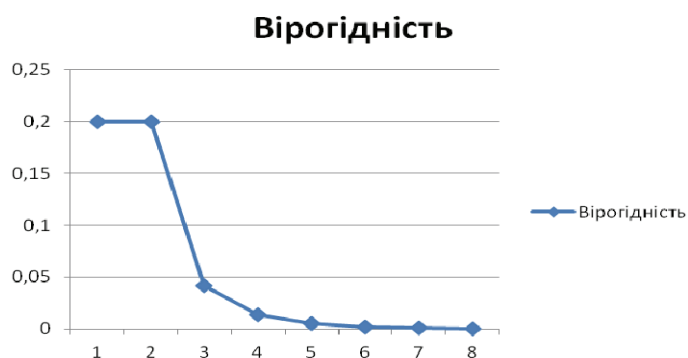


Рис. 4. Залежність вірогідності стану підпроцесу P2 від кількості операцій виконання

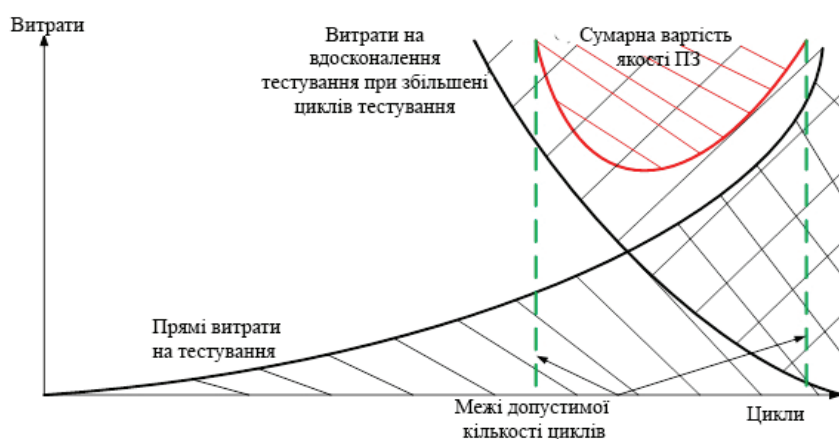


Рис. 5. Прогнозування доцільності циклів тестування

У відповідності до розробленої методики, на рис. 5 показані загальні витрати та межі допустимого ризику (допустимих витрат) на виконання тестування. Згідно з такою графічною інтерпретацією, можна зробити висновок щодо доцільності циклів виконання технологічного процесу тестування ПЗ (штрихова лінія на рис. 5.).

Отже, для процесу тестування програмного забезпечення вплив на вірогідність стану підпроцесу (витрат) дає можливість прийняти рішення щодо доцільності виконання кількості циклів тестування. Від цього рішення буде залежати ефективність виявлення помилок та ефективність роботи програмного забезпечення в цілому.

## Висновки

Отримана неоднорідна марковська модель дозволяє оцінити ризик варіантів реалізації циклічного РТП і обрати реалізацію з мінімальним ризиком.

На основі розробленої моделі можна здійснити прогнозування доцільної кількості повторень циклічного технологічного процесу, досягнувши при цьому бажаного результату за мінімальних витрат.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Васильков В. Г. Організація виробництва : навч. посіб. / В. Г. Васильков. — К. : КНЕУ, 2003. — 524 с.
2. Кальченко А. Г. Логістика / А. Г. Кальченко. — К. : КНЕУ, 2003. — 284 с.
3. Волоха М. П. Принципи моделювання технологічних процесів виробництва цукрових буряків [Електронний ресурс] / М. П. Волоха. — Режим доступу до ресурсу : <http://ecobio.nau.edu.ua/index.php/ecobiotech/article/download/5503/6215>.
4. Горкуненко А. Б. Математичне моделювання економічних циклічних процесів для їх автоматизованого аналізу та прогнозу / А. Б. Горкуненко, С. А. Лупенко, А. М. Луцків // Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки. — Хмельницький, 2010. — № 3. — С. 269—275.
5. Слуцкий Е. Е. Сложение случайных причин как источник циклических процессов / Е. Е. Слуцкий // Вопросы конъюнктуры. — 1997. — Т. 3, вып. 1. — С. 34—64.

6. Дубовой В. М. Моделі прийняття рішень в управлінні розподіленими динамічними системами : моногр. / В. М. Дубовой, О. О. Ковалюк. — Вінниця : УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2008. — 190 с.
7. Прийняття рішень в управлінні розгалуженими технологічними процесами : моногр. / В. М. Дубовой, Г. Ю. Дерман, І. В. Пилипенко, М. М. Байас. — Вінниця : ВНТУ, 2014 — 216 с.
8. Технологія навантажувального тестування клієнт-серверних систем [Електронний ресурс]. — Режим доступу до ресурсу : [http://www.rusnauka.com/11\\_EISN\\_2008/Informatica/29792.doc.htm](http://www.rusnauka.com/11_EISN_2008/Informatica/29792.doc.htm).

Рекомендована кафедрою комп'ютерних систем управління ВНТУ

Стаття надійшла до редакції 20.11.2014

*Дубовой Володимир Михайлович* — д-р. техн. наук, професор, завідувач кафедри комп'ютерних систем управління;

*Пилипенко Інна Віталіївна* — аспірантка кафедри комп'ютерних систем управління;

*Стець Роман Сергійович* — студент Інституту автоматичної та комп'ютерних систем управління, e-mail: romastets94@gmail.com.

Вінницький національний технічний університет, Вінниця

**V. M. Dubovoy<sup>1</sup>**  
**I. V. Pylypenko<sup>1</sup>**  
**R. S. Stets<sup>1</sup>**

## Prediction of the reasonable number of repetitions for the cyclic technological process

<sup>1</sup>Vinnitsia National Technical University

*Prediction of the reasonable number of repetitions for the cyclic technological process has been performed in the article. The optimal risk has been determined and the expenditures for performing operation have been valued. The dependence between total risk, desired and undesired state of operation and the number of cycles of performing has been presented in this article. The applying of Markov model for the process of software testing has been described.*

**Keywords:** cyclic technological process, risk, loss, acceptable risk, probability.

*Dubovoy Volodymyr M.* — Dr. Sc. (Eng.), Professor, Head of the Chair of Computer Control Systems;

*Pylypenko Inna V.* — Post-Graduate Student of the Chair of Computer Control Systems;

*Stets Roman S.* — Student of Institute of Automation and Computer Control Systems, e-mail: romastets94@gmail.com

**В. М. Дубовой<sup>1</sup>**  
**І. В. Пилипенко<sup>1</sup>**  
**Р. С. Стець<sup>1</sup>**

## Прогнозирование целесообразного количества повторений циклического технологического процесса

<sup>1</sup>Вінницький національний технічний університет

*Спрогнозована целесообразность количества повторений разветвленного циклического технологического процесса, определен оптимальный риск и оценены расходы на выполнение операции. Показана зависимость суммарного риска желательного и нежелательного состояния операции, от количества циклов выполнения. Описано применение марковской модели для процесса тестирования программного обеспечения.*

**Ключевые слова:** циклический технологический процесс, риск, потери, приемлемый риск, достоверность.

*Дубовой Владимир Михайлович* — д-р техн. наук, профессор, заведующий кафедрой компьютерных систем управления;

*Пилипенко Инна Витальевна* — аспирант кафедры компьютерных систем управления;

*Стець Роман Сергеевич* — студент Института автоматичної та комп'ютерних систем управління, e-mail: romastets@94@gmail.com