

Таблиця 5 – Абсолютні і відносні відхили границь довірчого інтервалу функції пропозиції

| Ціна $x$ | Верхня границя надійності |          |                                    |     | Нижня границя надійності  |          |                                    |     |
|----------|---------------------------|----------|------------------------------------|-----|---------------------------|----------|------------------------------------|-----|
|          | $\tilde{z}_{\text{аадо}}$ | $z_{em}$ | $\tilde{z}_{\text{аадо}} - z_{em}$ | %   | $\tilde{z}_{\text{іеаі}}$ | $z_{em}$ | $\tilde{z}_{\text{іеаі}} - z_{em}$ | %   |
| 10       | 32,07                     | 30,70    | 1,37                               | 4,5 | 29,6                      | 30,70    | -1,10                              | 3,6 |
| 15       | 41,16                     | 40,66    | 0,50                               | 1,2 | 40,23                     | 40,66    | -0,43                              | 1,1 |
| 20       | 47,27                     | 46,53    | 0,74                               | 1,6 | 45,72                     | 46,53    | -0,81                              | 1,7 |

**Висновки.** Виконані методом статистичних випробувань обчислення систематичних і випадкових похибок визначення параметрів функцій попиту і пропозиції дозволили кількісно оцінити їх залежність як від довжини вибірки, так і від величини коефіцієнта детермінації. Для досягнення статистично обґрунтованих результатів використання вибірок довжиною  $n \leq 20$  і коефіцієнта детермінації  $R^2 \leq 0,9$  недоцільне. І навіть при виконанні цих умов інтерпретація кожного параметра залежності окремо, в тому числі тих, що мають економічний зміст, не є виправданим внаслідок великих систематичних і/або випадкових похибок. В той же час взаємно компенсуючий вплив різних параметрів дозволяє оцінити функції регресії з достатньою для використання точністю.

## ЛІТЕРАТУРА

1. Назаренко О.М. Основи економетрики: підручник / О.М. Назаренко. – К.: „Центр навчальної літератури”, 2004. – 392с.
2. Айвазян С.А. Прикладная статистика и основы эконометрики / С.А. Айвазян, В.С. Мхитарян. – М.: Издательское объединение „ЮНИТИ”, 1998. – 1022с.
3. Красс М.С. Математика для экономистов / М.С. Красс, Б.П. Чупринов. – СПб.: Питер, 2007. – 464с.

УДК 65.011.56:681.3

ТИТЮК В.К., к.т.н.

МИХАЙЛЕНКО О.Ю., аспірант

Криворізький технічний університет

### АНАЛІЗ ПРОДУКТИВНОСТІ БАГАТОСТАДІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ З УРАХУВАННЯМ СТАТИСТИЧНИХ ВІДХИЛЕНЬ ПРОДУКТИВНОСТІ ОКРЕМИХ СТАДІЙ

**Вступ.** Періодичним є технологічний процес, в якому за порівняно невеликий проміжок часу (години або дні) виробляється певна, обмежена кількість кінцевого продукту. При цьому протягом відведеного проміжку часу періодичний процес є безперервним.

В [1] дається наступне визначення для періодичного режиму роботи технологічного процесу: «Режими, в которых характеризующие процесс переменные периодичны, а состояния процесса испытывают разрывы, называют периодическими. Обычно такие разрывы связаны с загрузкой и выгрузкой продуктов из аппарата, что сопровождается прекращением процесса и остановкой аппарата на некоторое время».

До широкого класу періодичних технологічних процесів (ТП) відносяться процеси плавки в металургії, нагрів зливків в нагрівальних колодязях і камерних печах перед гарячою обробкою тиском (плющення, пресування, кування), транспортування вантажів, процеси металообробки, виробництво полімерів і багато інших. Часто виробни-

чий процес є багатостадійним, коли оброблювані продукти проходять послідовно декілька стадій виробництва.

В реальних виробничих умовах продуктивність окремих стадій технологічного процесу не є постійною величиною, містить статистичні відхилення, що безпосередньо впливає на продуктивність технологічного процесу в цілому.

Через широку поширеність даного класу технологічних процесів проблема подальшого підвищення ефективності роботи таких технологічних процесів є актуальною.

**Постановка задачі.** Метою роботи є дослідження впливу статистичних відхилень продуктивності окремих стадій на продуктивність технологічного процесу в цілому.

**Результати роботи.** В роботі [2] розглядається багатостадійний технологічний процес, що складається з декількох послідовних стадій обробки, при цьому вихідний продукт  $i$ -ї стадії поступає в  $(i+1)$ -у (рис.1).

Для спрощення початкового аналізу проблеми прийємо наступні допущення: всі стадії технологічного процесу ідентичні одна одній, продуктивність окремої стадії виражається випадковим, рівномірно розподіленим в діапазоні  $(1; Q_{\max})$  цілим числом.

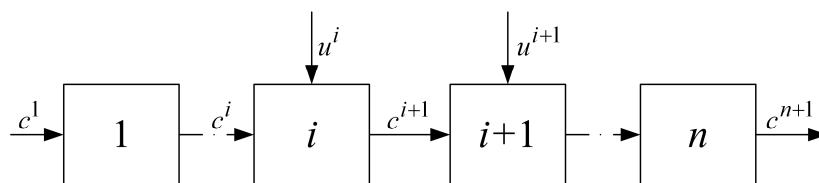


Рисунок 1 – Структурна схема багатостадійного технологічного процесу

Очевидно, що середнє значення продуктивності окремої стадії можна обчислити за допомогою виразу  $p_{cm} = 0,5 \cdot (1 + Q_{\max})$ .

Інтуїтивно вірним здається припущення, що середня продуктивність багатостадійного процесу виявиться рівною середній продуктивності стадії:  $p_{np} = p_{cm}$ . Статистичні відхилення продуктивності в меншу сторону повинні компенсуватися відхиленнями в більшу сторону від середнього.

Проте робота кожної стадії процесу залежить від результатів роботи попередньої стадії, багатостадійний технологічний процес є ланцюгом залежних подій. Результати роботи багатостадійного процесу неможливо представити у вигляді комбінації незалежних випадкових подій, що представляють результати роботи окремих стадій процесу.

Яка ж буде продуктивність багатостадійного процесу в цілому, від яких чинників вона залежить?

Для дослідження продуктивності багатостадійного технологічного процесу була розроблена імітаційна модель стадії технологічного процесу. Для простоти продуктивність стадій і кількість продуктів, що зберігаються та переміщуються, описувалися цілими числами.

Стадія ТП як окремий блок функціональної схеми (рис.1) характеризується наступними параметрами: кількість продуктів  $q$ , що зберігаються в даному блоці; місткість блоку ( $q_{\max}$ ) – максимально можлива кількість продуктів, яку може зберігати блок;  $x$  – кількість вхідних продуктів, отриманих від попередньої стадії ТП;  $y$  – кількість вихідних продуктів, що передаються наступній стадії ТП.

В процесі передачі продуктів між окремими стадіями ТП не повинно відбуватися переповнення блоку (тобто повинна виконуватися нерівність  $q \leq q_{\max}$ ), а також рівень запасів в блоці не може бути меншим нуля (тобто повинна виконуватися нерівність  $y \leq q$ ).

Алгоритм функціонування імітаційної моделі окремої стадії ТП, що задовольняє наведеним вище вимогам, зображено на рис.2.

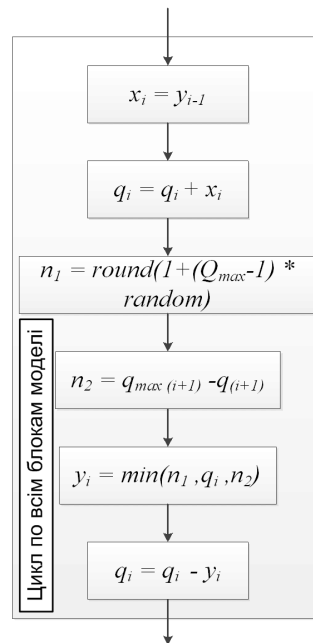


Рисунок 2 – Блок-схема імітаційної моделі стадії ТП

Модель багатостадійного ТП містить два особливі блоки: перший блок ТП, через який відбувається завантаження продуктів, і останній блок ТП, вихід якого співпадає з продуктивністю ТП в цілому. Розглянемо функціонування цих особливих блоків.

Вхід першого блоку ТП підключений до зовнішнього джерела продуктів, що має умовно необмежений запас. Значення вхідного сигналу першого блоку обчислюватимемо так само, як ми визначаємо продуктивність внутрішнього блоку:  $x_1 = \text{round}(1 + (Q_{\max} - 1) \cdot \text{random})$ . Останній блок ТП фактично передає повністю оброблену продукцію на склад готової продукції або кінцевому споживачу. Припустимо, що ми розглядаємо модель ідеально збалансованого технологічного процесу, для якого продуктивність ТП в точності дорівнює ринковому попиту. Тому значення вихідного сигналу останнього блоку приймається рівним середній продуктивності внутрішнього блоку:  $y_N = \text{round}(1 + (Q_{\max} - 1) \cdot \text{random})$ .

Модель багатостадійного ТП може бути представлена у вигляді зв'язного списку або масиву окремих блоків з послідовною обробкою всіх блоків, що входять до складу ТП.

Для програмної реалізації описаних вище алгоритмів було використано середовище розробки Lazarus як мову програмування, в якій використовується Object Pascal.

Основною задачею в ході математичного моделювання багатостадійного ТП було визначення середньої продуктивності ТП і визначення чинників, що впливають на цей показник. Як чинники, що впливають, доцільно розглянути довжину технологічного ланцюжка (кількість стадій ТП), характер закону розподілу продуктивності (рівномірний, нормальний розподіл), максимальну місткість стадії ТП  $q_{\max}$ .

В досліджуваній моделі було прийнято, що продуктивність блоку змінюється в діапазоні від 1 до 3, тобто  $Q_{\max} = 3$ , а середнє значення продуктивності окремого блоку дорівнює 2.

Спочатку був розглянутий режим роботи багатостадійного ТП з практично необмеженими за місткістю стадіями ( $q_{\max} = 1000$ ), рис.3.

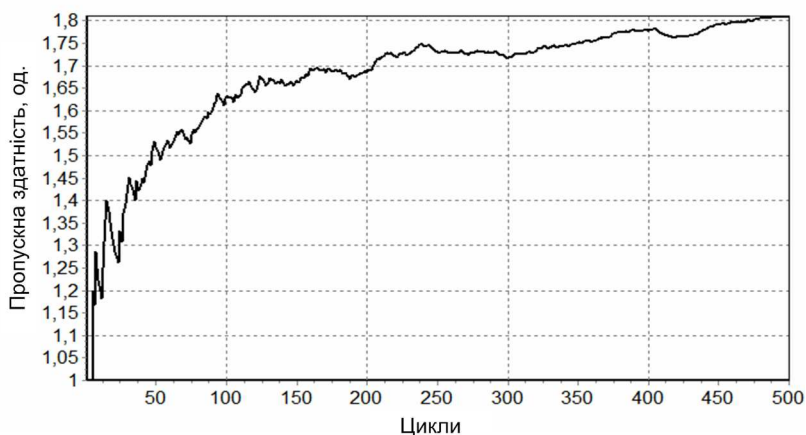


Рисунок 3 – Зміна продуктивності ТП

На рис.3 наведена початкова ділянка залежності продуктивності багатостадійного ТП від часу. Як показує більш детальний аналіз математичної моделі, з часом продуктивність ТП асимптотично наближається до середньої продуктивності окремого блоку (в даному випадку  $p_{np} = p_{cm} = 2$ ). Проте при цьому монотонно зростають запаси продуктів, що знаходяться всередині окремих стадій ТП. В реальних виробничих умовах запаси продуктів усередині окремих стадій ТП існують, але обмежені як геометричними розмірами агрегатів, так і економічними міркуваннями. Значні внутрішньосистемні витрати сировини і продукції збільшують зв'язаний капітал виробничої системи і знижують показники ефективності її функціонування.

В наступній серії експериментів варійованим параметром була максимальна місткість стадії ТП  $q_{max}$ . В ході експериментів фіксувалися сталі значення продуктивності ТП і середнє по стадіях значення запасу продуктів (штук на стадію). Отримані в ході моделювання результати представлені на рис.4.

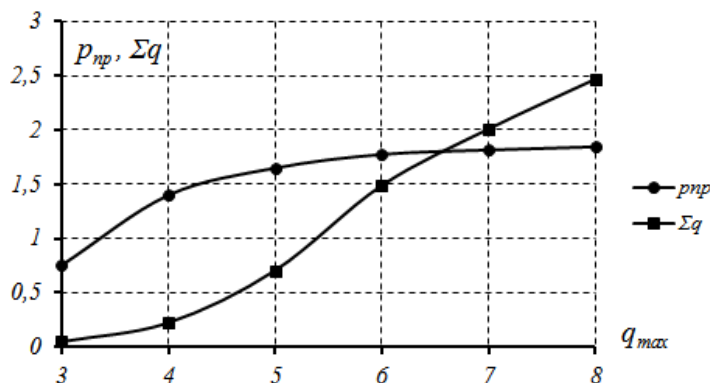


Рисунок 4 – Залежність продуктивності ТП та середнього значення внутрішньосистемних запасів ТП від максимальної місткості стадії ТП для рівномірного закону розподілення продуктивності ТП

З наведених графіків видно, що максимальна місткість стадії ТП  $q_{max}$  значно впливає на показники роботи ТП в цілому.

Збільшення  $q_{max}$  супроводжується монотонним збільшенням продуктивності багатостадійного ТП та продуктивності окремої стадії, що асимптотично наближається до середнього значення (в нашому випадку  $p_{cm.сep} = 2$ ). Одночасно із зростанням про-

дуктивності ТП відбувається різке, по характеру близьке до лінійного, збільшення внутрішньосистемних запасів.

В результаті досліджень математичної моделі було встановлено, що при даному алгоритмі роботи окремих стадій ТП збільшення кількості стадій ТП призводить лише до незначного (на частки відсотка) збільшення середнього значення внутрішньосистемних запасів і не впливає на продуктивність ТП в цілому.

На наступному етапі експериментів з математичною моделлю замість рівномірного закону розподілу продуктивності стадії ТП був використаний нормальний закон розподілу (рис.5) з тим же середнім значенням (в нашому випадку були використані значення  $y_{сер} = 2$  і середньоквадратичне відхилення рівне 0,333). В алгоритмі роботи моделі стадії ТП необхідно внести відповідні зміни в блок 3 алгоритму (рис.2).

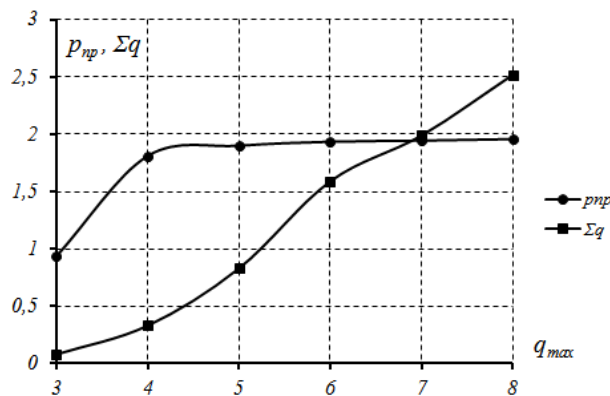


Рисунок 5 – Залежність продуктивності ТП та середнього значення внутрішньосистемних запасів ТП від максимальної місткості стадії ТП для нормального закону розподілення продуктивності стадії ТП

При рівних значеннях максимальної місткості стадії ТП  $q_{max}$  і нормальному законі розподілу продуктивності виходять більш високі рівні продуктивності ТП. Значення внутрішньосистемних запасів при цьому змінюються трохи.

**Висновки.** Встановлено, що продуктивність багатостадійного ТП за наявності відхилень вірогідності продуктивності стадій виявляється завжди меншою від середньої продуктивності окремої стадії. Це пояснюється тим, що робота окремих стадій ТП повинна розглядатися як ланцюжок зв'язаних, взаємозалежних випадкових подій. Через це статистичні відхилення продуктивності в багатостадійному ТП не усереднюються в часі, а нагромаджуються.

Встановлено, що найважливішим чинником, що впливає на середню продуктивність багатостадійного ТП, є допустима величина внутрішньосистемних запасів, які нівелюють коливання продуктивності. Підвищення продуктивності багатостадійного ТП супроводжується значним підвищенням внутрішньосистемних запасів, що негативно впливає на економічні показники функціонування ТП.

Таким чином, одним з важливих і універсальних шляхів підвищення ефективності багатостадійних ТП є керування внутрішньосистемними запасами.

#### ЛІТЕРАТУРА

1. Шорин В.Г. Автоматизация подземных транспортных машин и комплексов / Шорин В.Г., Стрельников Л.П., Пейсахович Г.Я. – М.: Недра, 1973. – 392с.
2. Цирлин А.М. Оптимальное управление технологическими процессами: [учеб. пособие для вузов] / Цирлин А.М. – М.: Энергоатомиздат, 1986. – 400с.