

## ІМІТАЦІЯ ПОВЕДІНКИ ТЕХНОЛОГІЧНИХ СИСТЕМ З ВИКОРИСТАННЯМ МЕРЕЖ ПЕТРІ

Імітаційне моделювання виконувалося для автоматичної лінії, що містить три одиниці технологічного обладнання та обслуговується конвеєрною системою і роботами-маніпуляторами. Імітаційне моделювання має на увазі порівняння технологічних структур, в якості мети ставилося підвищення ступеня використання обладнання, враховувалося узгодження роботи ланок автоматичної лінії, поява і усунення відмов обладнання.

**Ключові слова:** мережі Петрі, імітаційне моделювання, деталь, мітка, алгоритм, керовані переходи, інгібіторні дуги, жвавість мережі Петрі.

**Введення.** Відображення взаємодії елементів системи в часі і в просторі у вигляді руху маркерів через позиції і переходи мережі Петрі відкриває можливість ставити і вирішувати нові завдання проектування та модернізації систем.

**Аналіз останніх досліджень і літератури.** З огляду останніх робіт слідє [1,2,4], що питанням імітаційного моделювання приділяється велика увага. При виборі засобу імітаційного моделювання керуються рядом вимог, таких як можливість перевірки роботоспроможності, відображення коректного формування та взаємодії паралельних потоків, можливість відстеження тупикових ситуацій, можливість перевірки коректності реалізації завдання в паралельному алгоритмі. Такі завдання виникають при моделюванні логістичних завдань, завдань щодо ефективного розміщення, завдань щодо оптимального використання виробничих ресурсів і багатьох подібних завдань.

**Метою** даної статті є розгляд питань оптимального використання виробничих ресурсів при здійсненні складних технологічних процесів.

**Постановка проблеми.** При формулюванні завдання про ефективне використання виробничих ресурсів важливо задати обмеження, що накладаються внутрішніми і зовнішніми обставинами, а також початкові ресурси та їх розподіл. Критерієм оптимальності є максимізація продуктивності, підвищення ступеня використання обладнання при мінімізації часу обробки і задіяних виробничих ресурсів. При вирішенні задачі повинні бути враховані особливості оброблюваних деталей, технологічні можливості верстатів і передбачені алгоритми мінімізації виробничих ресурсів.

Імітаційне моделювання проводиться в наступній послідовності:

- Опис технологічного процесу;
- Розрахунок часу виконання технологічних операцій;
- Формування логічних умов процесу;
- Складання мережі Петрі;

- Заповнення форм імітатора для матриць інцидентів і інгібіторних дуг, векторів початкової маркування, тимчасових затримок і пріоритетів переходів;

- Завдання часу і кроку імітації;

- Пуск імітаційного моделювання процесу для вихідних даних;

- Отримання матриці поточної маркування та оцінка часу руху маркерів;

- Проведення імітаційних експериментів шляхом зміни структури і параметрів моделі;

- Побудова залежностей технологічних показників від структури і параметрів системи.

Для синтезу варіантів технологічної структури елементи системи з'єднують технологічними (узгодження технологічних процесів одиниць обладнання), кінематичними (об'єднання одиниць обладнання), конструктивними (виконання одним пристроєм функцій різних одиниць обладнання) і керуючими (блокування команд управління) зв'язками. Імітаційне моделювання застосовувалося для порівняння варіантів по мінімуму питомої трудомісткості і тривалості робочого циклу при обмеженнях на час виконання  $i$ -ю одиницею обладнання  $j$ -ї операції і вартістю обладнання  $\Sigma C_i$ .

Одним із завдань є підвищення ступеня використання обладнання. Імітаційні експерименти проводяться з метою скорочення простоїв автономних одиниць обладнання в технологічному процесі. Безліч позицій мережі розбивають на  $S$  підмножин по числу одиниць обладнання. Для  $i$ -ї одиниці обладнання оцінюється коефіцієнт її використання в часі.

У мережі Петрі (рис.1)  $P_1, P_2, P_3$  - обробка на технологічних системах;  $P_4$  - робота накопичувача заготовок;  $P_5, P_6, P_7, P_8, P_9$  - здійснення вантажно-розвантажувальних операцій роботами-маніпуляторами;  $P_{10}$  - конвеєрна система;  $P_{11}, P_{12}, P_{13}$  - робота проміжних накопичувачів (складів);  $P_{14}$  - робота накопичувача готових деталей.

Важливим питанням є узгодження роботи ланок автоматичної лінії.

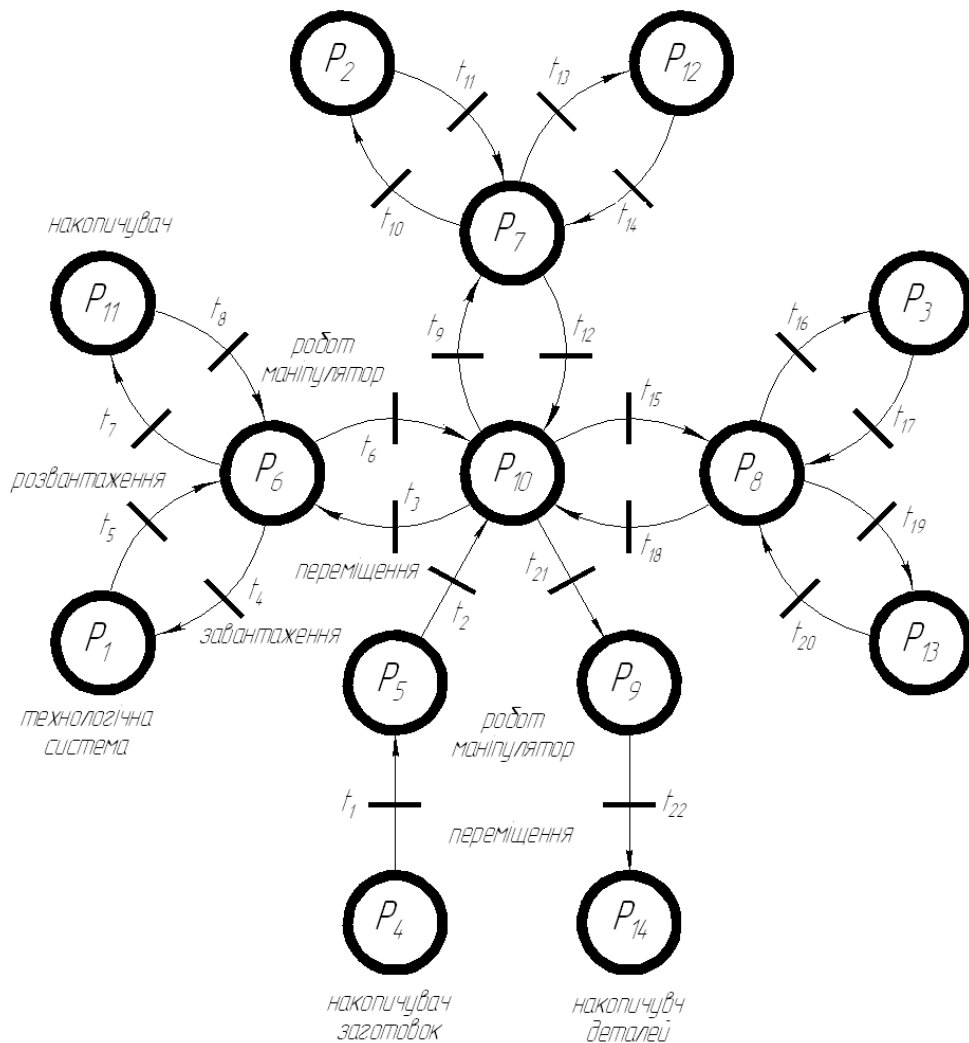


Рис.1 – Модель керування автоматичною лінією, що містить три одиниці технологічного обладнання

Розбіжність в продуктивності технологічних систем призводить до накопичення обсягів незавершеного виробництва. Визначення місць затримки маркерів перед позиціями дозволить змінювати продуктивність ділянок автоматичної лінії так, щоб між ними були відсутні проміжні склади (проміжні накопичувачі). В автоматичній лінії, що містить три технологічні системи, всі операції завантаження і розвантаження здійснюються п'ятьма роботами маніпуляторами, обслуговуючими конвеєрну систему. Виникає необхідність узгодження швидкості переміщення конвеєрної системи і часу технологічної операції на кожній з технологічних систем. Імітаційна модель розроблена у вигляді мережі Петрі з 14 позиціями і 22 переходами. В результаті імітаційних експериментів обрані співвідношення часу обробки і швидкості переміщення конвеєрної системи.

Відмова елемента автоматичної лінії є випадковою подією, а його усунення триває протягом випадкового часу. В перехід між позиціями початку P1 і закінчення P2 операції вводять інгібіторну дугу, що закриває рух маркерів на час появи та усунення відмови (рис.2).

У нормальному режимі маркери рухаються від позиції P1 до позиції P2 через перехід t1. Середнє число відмов генерується датчиком випадкових чисел ДВЧ. При цьому в позиціях P3, P4 з'являється N маркерів і перехід t1 закривається інгібіторною дугою. Одночасно маркер з позиції P5 переходить в позицію P6 усунення відмов і затримується в ній на випадковий час Z усунення відмови. Після усунення відмови маркер переходить в позицію P5 і перехід t2 відкривається для усунення наступної відмови. Усунення N відмов призводить до відкриття переходу t2 і продовження роботи.

Імітація відмов можлива також шляхом введення пріоритетів переходів (рис.3).

У нормальному режимі маркери рухаються від позиції P1 до позиції P2 через перехід t1. Відмови елементів імітуються випадковою появою N маркерів у позиції P3. Оскільки пріоритет переходу t3 вище пріоритету t1, то маркери з позиції P1 починають рухатися через позицію P4. Вони затримуються в ній на випадковий час Z усунення відмови, а потім переходять в позицію P2 нормальної роботи.

При проведенні імітаційних експериментів задають появу відмови і час її усунення, після чого визначають середній час проходження маркерів для

ряду експериментів з середніми значеннями часу невідкладної роботи і часу усунення відмови.

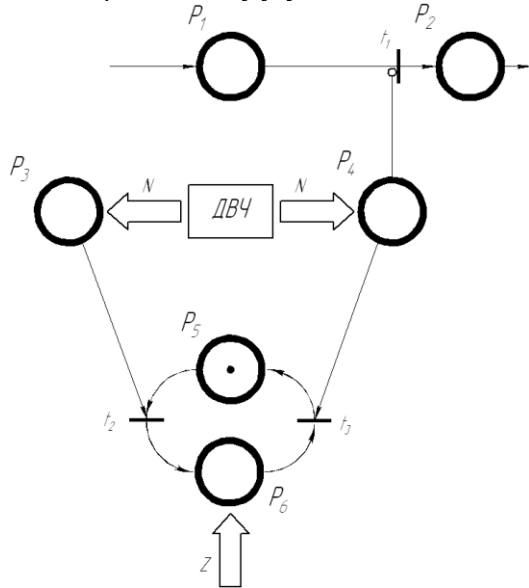


Рис.2 – Імітація появи та усунення відмов шляхом введення інгібіторної дуги.

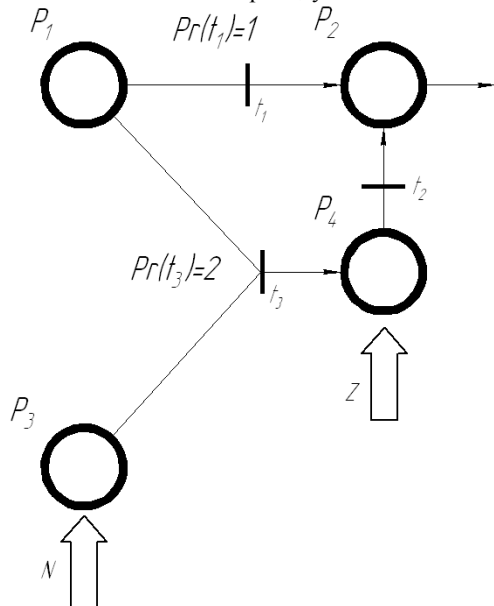


Рис.3 – Імітація появи та усунення відмов шляхом введення пріоритетів переходів.

Потім порівнюють час проходження маркерів до і після відмов.

Завдання керування в нормальних і аварійних ситуаціях полягає в забезпеченні керування при повному безлічі технологічних ситуацій. Мережу Петрі перевіряють на жвавість – можливість проходження маркерів по мережі без заходу в тупики. Побудова графа досяжності мережі дозволяє перерахувати безліч технологічних ситуацій, які розпізнаються системою керування.

### Застосування імітаційного моделювання для вибору проектного рішення.

При проектуванні імітаційне моделювання може бути застосоване як з метою вибору проектного рішення, так і з метою перевірки обраного проектного рішення.

При виборі проектного рішення складається план імітаційних експериментів, в якому входом моделі є різні проектні рішення, а виходом - показники роботи об'єкта моделювання, відповідні технічному завданню. Мета експериментів - виявити залежності показників функціонування моделі від її структури і параметрів. Результати імітаційних експериментів інтерпретують як зв'язок показників системи з її структурою та параметрами. В результаті вибирають проектні рішення, які найкраще задовольняють вимогам технічного завдання.

Для перевірки проектного рішення імітують поведінку системи з перевіряємим рішенням і оцінюють ступінь досягнення і вимог технічного завдання. Проектувальник вводить у вікна мнемосхеми технологічного процесу умови роботи і характеристики обраних одиниць обладнання. Після їх перетворення в мережу Петрі і введення в імітатор з'являються дані про тривалість процесу обробки на автоматичній лінії.

### Висновки

Імітація взаємодії одиниць обладнання у вигляді мережі Петрі дозволяє вибрати структуру складної технологічної системи, узгодити роботу одиниць обладнання, виявити «вузькі місця» в роботі одиниць технологічного обладнання автоматичної лінії, визначити ємності проміжних накопичувачів, оцінити рівень відмовостійкості системи, визначити вплив часу переналадження обладнання на продуктивність системи.

**Список літератури:** 1. Мурата Т. Сети Петри: свойства, анализ и приложения. // Тр. ТИИЭР, пер. с англ. Т. 77 No4. 1989. С.41-79. 2. Moore K., Chiang J. ALPHA/Sim Simulation Software Tutorial // Proc. Of the 1999 Winter Simulation Conference. USA: Phoenix. P. 621–625. 3. Konyukh V., Davidenko V. Petri Nets as a Tool for Mine Simulation // Mineral Resources Engineering. 1999. Vol. 8. No 4. P. 361–371. 4. Конюх В.Л. Компьютерное моделирование динамики горных работ // Горный журнал. Изв. Вузов. 2002. No6. С. 16-24. 5. Кузьмук В.В. Модифицированные сети Петри и устройства моделирования параллельных процессов // В.В. Кузьмук, О.О. Супруненко : Монография. - Киев: Маклаут, 2010. -252с.

**Bibliography (transliterated):** 1. Murata T. *Seti Petri: svojstva, analiz i prilozenija* Tr. ТИИЭР, per. S angl. T 77 No4. 1989. pp.41-79. Print. 2. Moore K., Chiang J. *ALPHA/Sim Simulation Software Tutorial* Proc. Of the 1999 Winter Simulation Conference. USA: Phoenix. pp. 621–625. Print. 3. Konyukh V., Davidenko V. *Petri Nets as a Tool for Mine Simulation* Mineral Resources Engineering. 1999. Vol. 8. No 4. pp. 361–371. Print. 4. Konjuh V.L. *Kompjuterne modelirovanije dinamiki gornih rabot* Gornij gurnal. Izv. Vuzov. 2002. No6. pp. 16-24. Print. 5. Kuzmuk V.V. *Modificirovannye seti Petri i ustrojstva modelirovaniya paralelnyh processov* V.V. Kuzmuk, O.O. Suprunenko : Monografiya. – Kiev: Maklout. 2010. -252p. Print.

Поступила (received) 26.03.2015

Приходько Ольга Юріївна – канд. техн. наук, доц. НТУ «ХПІ», тел.: (057)-720-66-25, e-mail: olmurakami@mail.ru;

Сліпченко Сергій Євгенович – ст. викл. НТУ «ХПІ», тел.: (057)-720-66-25, e-mail: serg.slip@gmail.com.