

УДК 65.012.8: 338.246

С. П. Лобов,

*к. е. н., доцент кафедри обліку, аналізу, аудиту і адміністрування підприємств гірничо-металургійного комплексу, ДВНЗ "Криворізький національний університет"*

## ЗАСТОСУВАННЯ ТЕОРІЇ РЕГУЛЯРНИХ МЕРЕЖ ПРИ ПЛАНУВАННІ ДІЯЛЬНОСТІ ПІДПРИЄМСТВ

S. Lobov,

*PhD in Economics, Associate professor of the Department of accounting, analysis, auditing and administration of the enterprises of a mining and metallurgical complex, SHEI "Kryvyi Rih National University"*

### THE APPLICATION OF THE THEORY OF REGULAR NETWORKS WHEN PLANNING ACTIVITIES OF ENTERPRISES

*Проведений аналіз можливості використання теорії регулярних мереж при плануванні діяльності підприємств, зокрема в процесі оперативного контролю наявності товарно-матеріальних запасів. Розглянуто можливості використання буфера у системі "Виробництво-споживання". Розроблено метод визначення оптимального обсягу партії товарно-матеріальних запасів з урахуванням правила-продукції, що пропонується впровадити в систему "Виробництво-споживання".*

*The analysis of the possibility of using the theory of regular networks when planning activities of enterprises, in particular in operational control of presence inventory. Consider the use of a buffer in the system of "Production-consumption". The method of determining the optimal lot size inventory with accounting rules-product that is proposed to introduce the system of "Production-consumption".*

*Ключові слова: система підтримки прийняття рішень, гнучкі виробничі системи, мережа Петрі, правило-продукція, орієнтований граф, товарно-матеріальні запаси.*

*Key words: decision support, flexible manufacturing systems, Petri nets, rule-production, directed graph inventories.*

#### ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМИ

Реалізація цілей планування діяльності сучасного виробництва залежить від раціональності систем підтримки прийняття рішень, що є основою та інформаційною базою системи генерування різноманітних варіантів вирішення задач планування виробництва, виконання певних операцій, тактичних завдань, стратегічних планів та оцінки їх ефективності. Це спонукає до необхідності створення такої семантичної моделі, що обумовлює визначення конкретних схем-підсистем за допомогою яких підприємство представляється як інтегрована виробнича система. Розглянемо деякі науково-практичні можливості до їх проектування та впровадження.

#### АНАЛІЗ ОСТАННІХ ДОСЛІДЖЕНЬ І ПУБЛІКАЦІЙ

Важливим та ключовим моментом у вирішенні цієї задачі, на нашу думку, може бути комплексна концепція розвитку експертних підтримуючих систем засобами аналізу і проектування інформаційних систем та осередків, що сприяють підвищенню раціональності обґрунтування управлінських рішень.

У цьому зв'язку доцільно звернути увагу на важливість для сучасного промислового підприємства використання гнучких виробничих систем (ГВС), які мають бути системами, що забезпечують підтримку прийняття рішень та спроможними пристосовуватися в реальному масштабі часу до змін у виробництві, плануванні, конструкції виробів, використанні робочих місць, технологічних маршрутів тощо. Ціль ГВС полягає в зберіганні загальної раціональної операційної конфігурації, що включає всі необхідні функції від проектування виробу до складання остаточного продукту "у ширину" і від планування бізнесу та управління до цехових операцій "у глибину".

В усіх випадках реалізація цих цілей залежить від системи підтримки прийняття рішень, які залежать від можливості інформаційної системи підтримувати адекватну інформацію для моделювання рішень на підприємстві в тому виді, у якому вона існує з метою генерування сценаріїв (перегляд на всіх рівнях), зокрема, у плануванні продукту, моделюванні альтернатив, реалізації обраної альтернативи і представляти моментальні "знімки" функціонування підприємства і його ефективності. В цьому зв'язку комплексна концепція

розвитку систем підтримки прийняття рішень веде до створення системи економіко-математичних моделей, за якими підприємство представляється як інтегрована інформаційна система.

Виробничі одиниці на цій картині є просто об'єктами з входом і виходом, які забезпечують вхід в інформаційну, моделюючу систему, що інформує про функціонування окремих виробничих одиниць і про їх відмови. Такі системи підтримки прийняття рішень можуть бути не завжди надійними з точки зору забезпечення достовірності інформації, що укладанню аналіз операцій у системі менеджменту. В ситуаціях, що не є добре структурованими, тобто потребують судження людини при обґрунтуванні альтернатив, незалежно від того як вона ставиться до раціональної роботи підприємства чи до виняткових умов, людське втручання буде доцільним для здійснення управління роботою виробничих одиниць або інформаційною системою в загалі.

Виробнича система управляється відповідно вхідних впливів, що надходять із ринку у формі прямих вимог на продукцію, ринкових умов і зворотних зв'язків за виробництвом з різноманітними інформаційними перспективами. У широкому плані всі види діяльності, що реалізуються в цій системі, можуть бути класифіковані як менеджмент (включаючи стратегічне планування), проектування, планування виробництва і виробничих операцій. Для узгодженої роботи виробничих системи необхідно організувати проходження інформаційних потоків з одного рівня на інший тощо.

Аналіз вищевказаних цілей, компонентів і структури ГВС виявляє різноманітні вимоги до інформації, що відрізняються складністю обробки, локальною пам'яттю, типом інтерфейсу і характеристиками реагування. Інформаційні вимоги деяких із цих видів діяльності можуть бути агреговані в інформаційну підсистему, або, навпаки, інформаційні вимоги по одному виду діяльності можуть бути розподілені по декільком інформаційним підсистемам. Такі окремі підсистеми можна назвати інформаційними осередками, функціонування яких будуть забезпечувати певні "правила-продукції" [1].

Мотивація до моделювання конструкції інформаційної системи з'являється через наступні дві обставини:

— більшість відмов систем можуть бути пояснені комунікаційними бар'єрами між конструкторами і користувачами;

— мало аналітиків з інформаційних систем явно цікавляться практичними рішеннями, які б підтримували потоки інформації, і більшість просто зосереджують свою увагу на аналізі існуючих повідомлень і потоків даних.

Інформаційні осередки можуть пом'якшувати проблеми аналізу і проектування систем через:

- створення структур, що допомагають ідентифікувати необхідну інформацію для успішної роботи ГВС;
- ідентифікацію й оцінку управлінських систем;
- визначення рівнів ієрархії системи;
- ідентифікацію різноманітних підсистем на кожному рівні і специфікацію їхніх компонентів;

— систем підтримки прийняття рішень при участі користувача в аналізі функціонування виробничо-економічної системи і процесі проектування використовуючи структуру інформаційного осередку як інструмент для аналізу.

Використовуючи цю структуру, конструктор інформаційної системи може побудувати одну або систему моделей, що дозволяють описати вимоги інформаційної системи для заданого середовища ГВС. Наступний бажаний крок удосконалення цих моделей з наміром одержати адекватні системи виробничо-економічних систем. Така ціль може бути досягнута, якщо є можливість для експериментування зі створеними моделями. Ці можливості включають дворівневу систему моделювання. Перший рівень використовується для того, щоб сконструювати модель, а другий — щоб її досліджувати, зібрати дані про функціонування і виміряти її ефективність. Значення показників ефективності використовуються потім для визначення, як варто перебудувати або модифікувати модель, щоб нова модель була кращим представленням і більш підходила для вивчення вимог інформаційної системи. Нова модель може бути використана потім для подальшого експериментування.

## МЕТА СТАТТІ

Метою статті є аналіз можливості використання теорії регулярних мереж при плануванні діяльності підприємств, зокрема в процесі оперативного контролю наявності товарно-матеріальних запасів.

## ВИКЛАДЕННЯ ОСНОВНОГО МАТЕРІАЛУ

У розподіленій системі підтримки прийняття рішень існують осередки, які виконують функції, що синхронізуються один з одним при необхідності. Тоді загальна картина, що виникає, зображує мережу інформаційних осередків (правил-продукцій), взаємозалежних один з одним через потоки інформації, що діють таким чином, щоб задовольняти цілям гнучкого виробництва.

На основі проведених досліджень, а також використовуючи накопичений досвід у даній області [2; 3; 4; 5; 6], нами пропонується використати формальний апарат представлення продукційних знань, що, з одного боку, був би теоретично вичерпним, а, з іншого — мав високу потужність для даного класу задач та одночасно характеризувався простотою практичної реалізації.

Таким засобом, на нашу думку, як і багатьох інших авторів досліджень у цій області, може служити математичний апарат мереж Петрі, що дає можливість представлення розширеними мережами Петрі структур моделей виробничо-економічної діяльності на основі класифікації типів його дій.

Мережі Петрі дозволяють моделювати паралелізм у спрацюванні "правил-продукцій", формувати оцінні характеристики, що надаються процесу, не накладають обмежень на вихідну експертну інформацію, надають можливість розширення баз знань. У той же час мережі Петрі характеризуються наочністю і простотою сприйняття, що робить їх зручними для опису і реалізації у виді програмного продукту. Крім цього, мережі Петрі адекватно описують причинно-наслідкові залежності в структурі процесів функціонування складних систем.

Можливо декілька шляхів практичного застосування мереж Петрі при проектуванні й аналізі систем. Спочатку для системи будується модель у виді мережі Петрі, потім модель аналізується. Оцінка системи, яка є результатом аналізу, призведе, як очікується, до кращої системи. Отже, актуальними є дослідження в сфері систем підтримки прийняття рішень спрямовані на вдосконалення і розробку нових методів моделювання й аналізу складних систем мережами Петрі.

Розглянемо основні формальні визначення та поняття, що використовуються в аналізі систем і їх моделей та є необхідними для їх правильного розуміння.

Мережа Петрі є формалізованим інструментарієм дослідження структури і динаміки поведінки складних систем, який дозволяє моделювати причинно-наслідкові зв'язки їх окремих компонентів, що мають складні взаємозв'язки. Базова (основна) модель мережі Петрі складається з чотирьох ключових (головних) елементів: множини позицій  $P$ , множини переходів  $T$ , вхідної функції  $I$  і вихідної функції  $O$ . Вхідна і вихідна функції характеризують взаємозв'язки з переходами і позиціями. Вхідна функція  $I$  відображає перехід  $t_j$  у множині позицій  $I(t_j)$ , які називаються вхідними позиціями переходу. Вихідна функція  $O$  відображає перехід  $t_j$  у множині позицій  $O(t_j)$ , які називаються вихідними позиціями переходу.

У загальноприйнятому підході при використанні теорії мереж Петрі як інструментарію моделювання систем формалізована структура мережі Петрі визначається її позиціями, переходами, вхідною і вихідною функціями [4].

Мережа Петрі є сукупністю:

$$C = \{P, T, I, O\} \quad (1),$$

де  $P = \{p_1, p_2, \dots, p_n\}$  — кінцева множина позицій ( $n \geq 0$ );

$T = \{t_1, t_2, \dots, t_m\}$  — кінцева множина переходів ( $m \geq 0$ );

$I: T \rightarrow P^\infty$  — відображення із переходів у комплекти позицій (вхідна функція);

$O: T \rightarrow P^\infty$  — відображення з переходів у комплекти позицій (вихідна функція). При цьому множини позицій і переходів не перетинаються:  $P \cap T = \emptyset$ .

Потужність множини  $P$  є число  $n$ , а потужність множини  $T$  є число  $m$ . Певний елемент множини  $P$  позначається символом  $p_i$ ,  $i = 1, \dots, n$ , а відповідний елемент множини  $T$  символом  $t_j$ ,  $j = 1, \dots, m$ .

Позиція  $p_i$  є вхідною позицією переходу  $t_j$  у тому випадку, якщо  $p_i \in I(t_j)$ , а вихідною, якщо  $p_i \in O(t_j)$ . Входи і

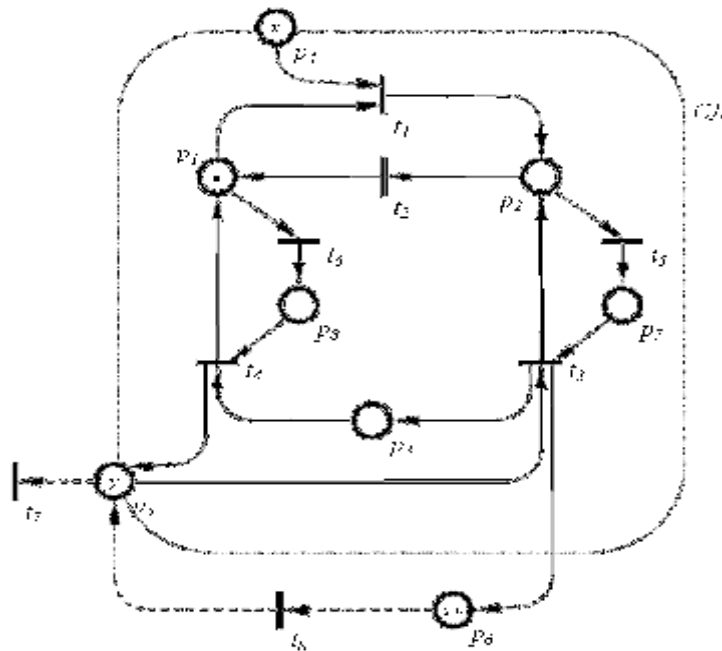


Рис. 1. Мережа Петрі, що реалізує формулу для визначення комплексних рейтингових оцінок

виходи переходів є комплектами позицій. Комплект — це узагальнення множини, у який багаторазово включені одні й ті ж елементи (тиражовані елементи). Використання комплектів, а не множин для входів і виходів переходу дозволяє певній позиції бути кратним входом або кратним виходом переходу. Кратність входної позиції  $P_i$  для переходу  $t_j$  є число появи позиції у входному комплекті переходу  $\#(p_i, I(t_j))$ . Аналогічно кратність вихідної позиції  $P_i$  для переходу  $t_j$  є число появ позиції у вихідному комплекті переходу  $\#(p_i, O(t_j))$ . Якщо входна і вихідна функції є множинами (а не комплектами), то кратність кожної позиції є або 0, або 1.

Для ілюстрації та розширення понять теорії мереж Петрі доволі зручним є їх графічне представлення. Теоретико-графічним представленням мережі Петрі є орієнтований граф, що відображає дві множини: сукупностей позицій та переходів (рис. 1).

Вище було зазначено, що структура мережі Петрі включає сукупність позицій і переходів. Відповідно до цього граф мережі Петрі включає два типа графічних об'єктів: коло — позиція і планка — перехід.

Орієнтовані дуги (стрілки) з'єднують позиції і переходи. При цьому деякі дуги мереженої моделі спрямовані від позицій до переходів, а інші — від переходів до позицій. Дуга такої формалізованої моделі причинно-наслідкових зв'язків спрямована від  $p_i$  до переходу  $t_j$ , визначає позицію, що є входом переходу. Кратні входи в перехід указуються кратними дугами з входних позицій у перехід. Вихідна позиція вказується дугою від переходу до позиції. Кратні виходи також подані кратними дугами.

Отже, надалі будемо вважати, що графічне представлення мережі Петрі є орієнтованим графом, який характеризується своїми певними особливостями, які в процесі вивчення та дослідження можна буде розвивати.

Мережа Петрі є мультиграфом, тому що він припускає існування кратних дуг від однієї вершини графа до іншої. Варто додати, що дуги є важливими елементами при моделюванні системи підтримки прийняття рішень, тому їх спрямування, і визначає цей орієнтований мультиграф. Вже визначено, що вершини графа можна розділити на дві підмножини (позиції і переходи) таким чином, що кожна дуга буде системним елементом підтримки прийняття рішення спрямованим від елемента однієї множини (позиції або переходу) до елемента іншої множини (переходу або позиції). Охарактеризувавши зазначені властивості такої графічної моделі, надалі для прощення теоретико-методологічних глумачень будемо називати його просто графом мережі Петрі.

Маркірування мереж Петрі є потужним інструментом, що значно розширює їх можливості при моделюванні систем.

Маркірування ( $\mu$ ) присвоєння фішок позиціям мережі Петрі. Фішка — це вдосконалення формалізованого поняття мереж Петрі (подібне позиціям і переходам). Фішки присвоюються (можна вважати, що вони належать) позиціям. Кількість і положення фішок при функціонуванні мережі Петрі можуть змінюватися. Вони використовуються для визначення виконання (моделювання) певних операцій мережею Петрі.

На графі мережі Петрі фішки зображуються маленькою точкою в кружечку, який представляє позицію мережі Петрі. При необхідності (якщо фішок багато) кількість фішок у позиціях можна вказувати цифрами.

Мережа Петрі функціонує за допомогою запусків (спрацювання) переходів. Перехід запускається видаленням фішок із його входних позицій і утворенням нових фішок, що вміщуються в його вихідні позиції. Функціонування мережі Петрі забезпечується управлінням кількістю і розподілом фішок у мережі. Фішки знаходяться в кружечках — умовах моделі, що задає можливі варіанти управління запусками переходів мережі.

Перехід може запускатися тільки в тому випадку, коли він дозволений. Перехід називається дозволеним, якщо кожна з його входних позицій має число фішок принаймні рівне числу дуг із позиції у цей перехід. Кратні фішки необхідні для кратних входних дуг. Фішки у входній позиції, які дозволяють перехід, називаються його фішками, що дозволяють його запуск.

Перехід запускається видаленням усіх фішок, що дозволяють його запуск із його входних позицій і наступним поміщенням у кожному з його вихідних позицій по одній фішці для кожної дуги. Кратні фішки утворюються для кратних вихідних дуг. Запуск переходу змінює маркірування  $\mu$  мережі Петрі на нове маркірування  $\mu'$ .

Запуски можуть здійснюватися доти, доки існує хоча б один дозволений перехід. Якщо не залишиться жодного дозволеного переходу, функціонування мережі Петрі припиняється.

Стан мережі Петрі визначається її маркіруванням. Будь-який запуск переходу змінює стан мережі Петрі шляхом зміни маркірування мережі.

Важливим підходом у моделюванні систем мережами Петрі є так звані "розширення", зокрема, введення в граф моделі стримуючих дуг, які допускають перевірку на нульове маркірування [4; 6].

Звичайно, в моделях систем підтримки прийняття рішень, на нашу думку, необхідно застосовувати цю розширену функцію, яка дозволить раціонально формувати вузли обчислення і прийняття рішення, що виконують логічні операції. При цьому застосування стримуючих дуг змінює правило запуску переходу.

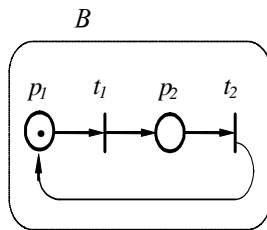


Рис. 2. Фрагмент мережі, що демонструє властивості: обмеженість, безпеку, точне зберігання

Безпека є однією з найважливіших властивостей мережі Петрі, що використовується при моделюванні різного роду реальних систем. Позиція мережі Петрі є безпечною, якщо число фішок у ній ніколи не перевищує 1. Мережа Петрі безпечна, якщо безпечні всі позиції мережі. Якщо інтерпретувати мережі як умови і події, маркірування кожної позиції повинне бути безпечно.

Якщо позиція не є кратною вхідній або кратною вихідній для переходу, її можна зробити безпечною. До позиції  $p_i$ , яку необхідно зробити безпечною, додається нова позиція  $p'$ . Переходи, в яких  $p_i$  використовується у якості вхідної або вихідної позиції, модифікуються у такий спосіб:

Якщо  $p_i \in I(t_j)$  і  $p_i \notin O(t_j)$ , тоді додати  $p'_i$  до  $O(t_j)$ .

Якщо  $p_i \in O(t_j)$  і  $p_i \notin I(t_j)$ , тоді додати  $p'_i$  до  $I(t_j)$ .

Зауважимо, що така примусова безпека можлива тільки для позицій, які у початковому маркіруванні є безпечними та вхідна і вихідна кратність яких дорівнює 0 або 1 для всіх переходів. Позиція, що має для деякого переходу вихідну кратність 2, буде одержувати при його запуску дві фішки і, отже, не може бути безпечною.

Безпека — це окремий випадок більш загальної властивості обмеженості. Безпека дозволяє реалізувати позицію тригером, але в більш загальному випадку можна використовувати лічильник. Проте будь-який апаратно реалізований лічильник обмежений за максимальним числом, яке він може представити. Позиція є  $k$ -безпечною або  $k$ -обмеженою, якщо кількість фішок у ній не може перевищувати ціле число  $k$ .

Позиція називається обмеженою, якщо вона  $k$ -безпечною для деякого  $k$ , а мережа Петрі обмежена, якщо усі її позиції обмежені. Обмежену мережу Петрі можна реалізувати апаратно, тоді як мережу Петрі з необмеженими позиціями в загальному випадку реалізувати апаратно не можна.

Особливістю властивості зберігання є можливість використовувати Мережі Петрі для моделювання систем управління ресурсами. Наприклад, мережа Петрі може моделювати замовлення і розподіл ресурсів. У цих моделях деякі фішки можуть представляти ресурси.

Отже, для мереж Петрі такого типу крім інших важли-

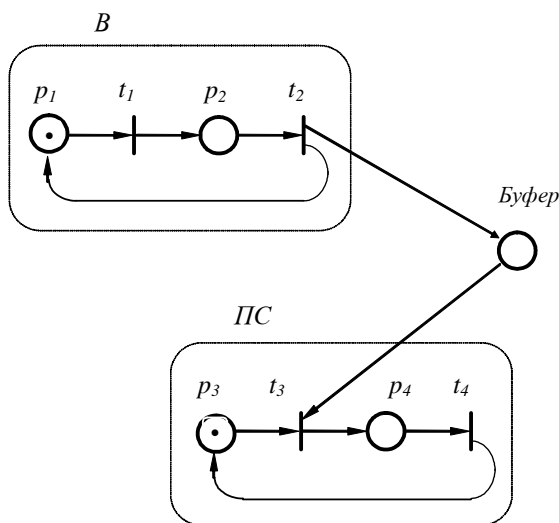


Рис. 3. Фрагмент мережі Петрі, що позбавлена властивості зберігання

вою властивістю є зберігання. Для цього необхідно показати, що фішки, які представляють ресурси, ніколи не створюються і не знищуються. Найпростіший засіб — це реалізувати — задовольнити вимогу, щоб загальне число фішок у мережі залишалося постійним.

Мережа Петрі  $C = \{P, T, I, O\}$  з початковим маркіруванням  $\mu$ , називається мережею, яка строго зберігає, якщо для усіх  $\mu' \in R(C, \mu)$ :

$$\sum_{p_i \in P} \mu'(p_i) = \sum_{p_i \in P} \mu(p_i) \quad (2)$$

Строге зберігання — це дуже жорстке обмеження. Наприклад, із нього слідує, що число входів у кожний перехід повинно рівнятися числу виходів,  $|I(t_j)| = |O(t_j)|$ . Якби це було не так, запуск переходу змінює би число фішок у мережі.

Отже, мережа Петрі повинна зберігати ресурси, які вона моделює. Проте взаємно однозначної відповідності між фішками і ресурсами немає. Фішка може представляти й один програмний лічильник або будь-який інший елемент і може представляти декілька ресурсів відразу. В іншому випадку фішка пізніше використовується для створення кратних фішок (по одній на ресурс) шляхом запуску переходу з більшим числом виходів, чим входів.

У загальному випадку варто визначити зважування фішок. Зважена сума для всіх досяжних маркірувань повинна бути постійною. Фішкам, які не є важливими, можна присвоїти вагу 0, іншим фішкам, відповідно, присвоїти ваги 1, 2, 3, ... (будь-яке інше ціле). Припустимо раціональне зважування, оскільки для визначення цілого таке зважування можна помножити на загальне кратне. Ірраціональне зважування не представляється необхідним.

Оскільки фішка визначається її позицією в мережі, то всі фішки в позиції нерозрізнені. Отже, зважування застосовується до кожної позиції мережі. Вектор зважування  $w = (w_1, w_2, \dots, w_n)$  визначає вагу  $w_i$  для кожної позиції  $p_i \in P$ .

Якщо розглянути окремо елементарний фрагмент моделювання виробництва продукції мережею Петрі, що представлена на рисунку 2 (блок "Виробництво продукції"), то навіть поверховий аналіз вказує на наступні властивості цієї мережі: обмеженість, безпеку, строге зберігання. На рисунку 2 умовами моделі є:  $p_1$  — очікування на дозвіл розпочати виробництво продукції;  $p_2$  — процес виробництва продукції, а подіями:  $t_1$  — команда "почати процес виробництва продукції";  $t_2$  — команда "завершити процес виробництва продукції".

Продемонструємо зміну властивостей мережі при об'єднанні в процесі моделювання двох взаємозалежних ланок: "Виробництво" і "Споживання", представлених елементарними мережами (рис. 2), які як окремі об'єкти мали властивості: обмеженість, безпеку, строге зберігання в одну модель — систему "Виробництво-споживання" (рис. 3, де ПС процес споживання). На рисунку 3 умовами моделі мережі Петрі є:  $p_1$  — очікування на дозвіл розпочати виробництво продукції;  $p_2$  — процес виробництва продукції;  $p_3$  існуюча потреба в продукції;  $p_4$  — процес споживання продукції, а подіями:  $t_1$  — команда "почати процес виробництва продукції";  $t_2$  — команда "завершити процес виробництва продукції";  $t_3$  команда "розпочати процес споживання продукції";  $t_4$  команда "завершити процес споживання продукції".

Як бачимо, утворена мережа позбавлена властивості зберігання. Разом з тим, особливих наявних ускладнень і проблем щодо сутності самого процесу моделювання не виникло.

Розглянемо систему, що включає два різноманітних ресурси  $q$  і  $г$  та два процеси  $a$  і  $b$ . Якщо обидва процеси потребують обидва ресурси, то їм необхідно буде їх спільно використовувати. Для виконання цього будемо вважати, що кожний процес здійснює замовлення на ресурс, а потім звільняє його. Тепер припустимо, що процес  $a$  спочатку потребує ресурс  $q$ , потім ресурс  $г$  і, нарешті, звільняє  $q$  і  $г$ . Процес  $b$  функціонує аналогічно, але спочатку замовляє  $г$ , а потім  $q$ . Проте може виникнути ситуація, коли процес  $a$  використовує ресурс  $q$ , і бажає отримати ресурс  $г$ , а процес  $b$  використовує ресурс  $г$ , і бажає отримати ресурс  $q$ . Система заблокована і жоден із процесів функціонувати не може.

Тупик у мережі Петрі — це перехід (або множина переходів), що не можуть бути запущені.

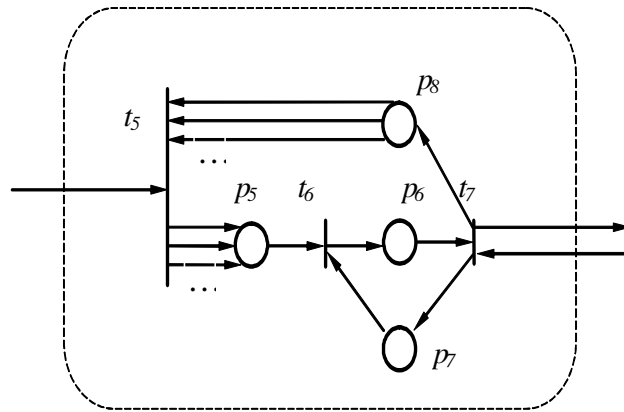


Рис. 4. "Правило-продукція", що здійснює контроль наявності товарно-матеріальних запасів

Розглянемо приклад підвищення ефективності систем підтримки прийняття рішень спрямований на удосконалення управління товарообігом шляхом впровадження в систему "Виробництво-споживання" "Правила-продукції" (рис. 4), що здійснює контроль наявності товарно-матеріальних запасів у системі [1; 2] і розширює функціональні якості буфера.

У моделі представлений на рисунку 4 умова  $P_8$  здійснює контроль рівня поповнення запасів, а умова  $P_7$  запобігає перенасиченню товарно-матеріальними запасами.

Тоді інтенсивність витрат запасів у моделі Уільсона [1; 2] урахуємо наступним чином:

$$b = \frac{\Delta n}{t_k | P_8(n_{\max} - \Delta n) - t_0} \quad (3)$$

де  $\Delta n$  — витрати запасів, що відповідають точці поповнення;

$t_k | P_8(n_{\max} - \Delta n) - t_0$  термін, за який витрачається  $\Delta n$  запасів.

Отже, оптимальний обсяг партії товарно-матеріальних запасів розраховується за формулою

$$n_0 = \sqrt{2 \cdot \frac{\Delta n}{t_k | P_8(n_{\max} - \Delta n) - t_0} \cdot \frac{C_1}{C_2}} \quad (4)$$

де  $C_1$  — витрати на постачання партії товарно-матеріальних запасів, грн.;

$C_2$  — зберігання запасів на складі, грн. в добу.

Більшість задач, до яких доводиться звертатися при моделюванні мережами Петрі, стосуються досяжних маркірувань. Задача досяжності є, очевидно, найбільш простою для формулювання.

Задача досяжності: для даної мережі Петрі  $S$  з маркіруванням  $\mu$  і маркіруванням  $\mu'$  визначити:  $\mu' \in R(S, \mu)$ .

Інший підхід до аналізу заснований не на позиціях, а на послідовностях запусків переходів, тобто пов'язаний з активністю, оскільки доречне питання: чи є можливість запустити перехід (інакше, чи не є він пасивним)? У більш загальному випадку можна поставити завдання визначити, чи можлива задана послідовність запусків переходів або чи можлива якась послідовність із множини послідовностей запусків.

У процесі розробки систем планування часто виникають задачі оптимізації. Чи можна змінити (оптимізувати) мережу Петрі, не змінюючи її функціонування? Зміна означає видалення пасивних переходів (які ніколи не можна запустити), або пасивних позицій (які ніколи не можуть бути маркіровані), або перевизначення деяких переходів. Це дозволило б модифікувати мережі Петрі для збільшення паралелізму, зменшення вартості реалізації або поліпшення інших функціоналів, що підлягають оптимізації.

## ВИСНОВКИ

Отже, математичний апарат мереж Петрі дає можливість представлення розширеними мережами Петрі структур моделей виробничо-економічної діяльності на основі класифікації типів його дій. Мережі Петрі дозво-

ляють моделювати паралелізм у спрацьовуванні "правил-продукції", формувати оцінні характеристики, що надаються процесу, не накладають обмежень на вихідну експертну інформацію, надають можливості розширення баз знань. У той же час мережі Петрі характеризуються наочністю і простотою сприйняття, що робить їх зручними для опису і реалізації.

## Література:

1. Афанасьєв Є.В., Афанасьєва М.Г. Оптимізація управління товарно-матеріальними запасами промислових підприємств з урахуваннями ризику // Економіка: проблеми теорії та практики: Збірник наукових праць. — Дніпропетровськ: ДНУ, 2005. — Вип. 208: У 4 т. Том IV. — С. 912—920.
2. Афанасьєв Є.В., Довгаль І.А., Ткаліченко С.В. Моделювання процесів управління товарно-матеріальним забезпеченням виробничих систем // Комп'ютерне моделювання та інформаційні технології в науці, економіці та освіті: Матеріали Всеукраїнської науково-практичної конференції. — Кривий Ріг, 23—24 квітня 2002 р. — Кривий Ріг: Збірник тез, 2002. — С. 203—212.
3. Котов В.Е. Сети Петри. — М.: Наука, 1984. — 160 с.
4. Питерсон Дж. Теория сетей Петри и моделирование систем. — М.: Мир, 1984. — 264 с.
5. Руднев В.В. К вопросу об описании конвейерных процессов сетями Петри // Автоматика и телемеханика. — 1985. — № 8. — С. 115—121.
6. Синчук О.Н., Афанасьєв Є.В., Гузов Э.С., Афанасьєва М.Г. Сети Петри и структурный анализ импульсных систем управления в режимах комбинированного электрического торможения рудничных электровозов // Электротехника. — 1994. — № 3. — С. 33—38.

## References:

1. Afanas'iev, Ye.V. and Afanas'ieva, M.H. (2005), "Optimizing the management of inventory of industrial enterprises with regard to risk", *Ekonomika: problemy teorii ta praktyky*, vol. 208, pp. 912—920.
2. Afanas'iev, Ye.V. Dovhal, I.A. and Tkalichenko, S.V. "Simulation process management inventory software manufacturing systems" *Zbirnyk tez vseukrains'koi naukovopraktychnoi konferentsii [Abstracts of the all-Ukrainian scientific-practical conference] Komp'iuterne modelivannia ta informatsijni tekhnologii v nauksi, ekonomitsi ta osviti [Computer modeling and information technologies in science, economics and education] Kryvyi Rih, Ukraine*, pp. 203—212.
3. Kotov, V.E. (1984), *Seti Petri [The Petri Nets]*, Nauka, Moscow, Russia
4. Piterson, J. (1984), *Teorija setej Petri i modelirovanie sistem [Theory of Petri nets and simulation systems]*, Mir, Moscow, Russia.
5. Rudnev, V.V. (1985), "To the question about the description of the pipeline processes with Petri nets", *Avtomatika i telemehnika* vol. 8, pp. 115—121.
6. Sinchuk, O.N. Afanas'ev, E.V. Guzov, Je.S. and Afanas'eva, M.G. (1994), "Petri nets and structural analysis of impulsive control systems in the modes of the combined electric braking runicdisease" *Elektrotehnika* vol. 3, pp. 33—38.

Стаття надійшла до редакції 16.10.2014 р.