

УДК 65.011:004/722(045)

з 817

В.Д. Кузовик, д-р техн. наук  
О.Б. Іванець**ЗАСТОСУВАННЯ МЕРЕЖ ПЕТРІ ПРИ ТОПОЛОГІЧНОМУ МОДЕЛЮВАННІ  
ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНИХ СИСТЕМ**

Національний авіаційний університет, fsu@nau.edu.ua

*Розглянуто методологічний підхід до розв'язання актуальної проблеми оптимального керування такого об'єкта дослідження, як антарктична експедиція. Здійснено аналіз потоку матеріального ресурсу в об'єкті за допомогою топологічної моделі з використанням методів та засобів теорії мереж Петрі. Застосування такого системного інженерного аналізу дозволяє досконально дослідити характеристики, які спостерігаються в складних техніко-економічних системах, зокрема в антарктичній експедиції.*

**Постановка проблеми  
у загальному вигляді**

Одним із етапів системного керування складними комплексами є етап виконання інженерного аналізу об'єкта дослідження [1]. Як об'єкт дослідження розглядається фрагмент процесу реалізації антарктичної експедиції.

Антарктична експедиція – це складна велика ерготехнічна система, яка призначена для збору в Антарктиці та в навколишній акваторії наукової інформації.

У цій системі тісно взаємопов'язані п'ять потоків ресурсів:

- інформаційний;
- матеріальний;
- інвестиційний;
- трудовий;
- інтелектуальний.

**Постановка задачі**

Безпосередньою задачею дослідження є всебічний аналіз потоку матеріального ресурсу та побудова топологічної моделі процесу переміщення ресурсу з метою планування і керування антарктичною експедицією.

Для задачі топологічного моделювання встановлені такі обмеження. Топологічна модель процесу доставки ресурсів повинна забезпечувати розв'язання задачі оптимального планування процесу переміщення матеріального ресурсу з урахуванням заданого рівня безпеки.

Під рівнем безпеки розуміють реалізацію мети – безперешкодну доставку матеріального ресурсу в зазначений термін та за встановлену суму грошей.

**Розв'язання задачі**

Для розв'язання задачі необхідно побудувати топологічну модель, за допомогою якої можливо визначити тенденції параметрів, що характеризують динаміку потоку матеріального ресурсу в антарктичній експедиції.

Топологічну модель розроблено на базі методів та засобів теорії мереж Петрі [2], які дозволяють працювати з проектами або процесами, що відрізняються високою невизначеністю терміну їх виконання, та з тими, що мають так звані "люфт" термінів, і з процесами, які підлягають впливу ризиків.

Керування ризиками відноситься до якості системи та включає аналіз, планування, організацію, керівництво, координацію і керування діяльністю, направленою на запобігання втрат. Такі моделі легко перекладаються на мови ЕОМ, що суттєво підвищує ефективність проведення інженерного аналізу [3].

Використання мереж Петрі обумовлено такими властивостями даного апарату:

- наочністю відображення якісного і кількісного складу елементів матеріального ресурсу;
- мобільністю засобів дослідження;
- інваріантністю до дії можливих збурень.

Для подання процесу шляхом топологічного моделювання враховується, що маршрут експедиції прокладається через порти. Топологічну модель необхідно побудувати так, щоб були враховані всі елементи матеріального ресурсу, а також всі можливі зв'язки між ними. Для побудови топологічної моделі матеріального потоку ресурсів визначають його початкові характеристики.

Матеріальний ресурс має такі складові:

- продукти харчування для зимівників станції;
- обмундирування для зимівників;
- обладнання для станції;
- паливно-мастильні матеріали для станції.

Безпосередньо в процесі реалізації сьомої антарктичної експедиції на динаміку потоку матеріального ресурсу суттєво впливає зміна стану елемента "Продукти харчування". Інші елементи матеріального ресурсу закуповують в першому та останньому портах маршруту.

Паливо-мастильні матеріали для станції закуповують безпосередньо в останньому порту

маршруту Ушуая. Це пов'язано з необхідністю закупівлі великої кількості пального, обсяг якого становить близько 162 т, та невідністю закупки в інших портах.

Обмундирування для зимівників та обладнання для станції закуповують у порту Севастополь, що пов'язано з специфікою даних елементів матеріального ресурсу. Продукти харчування для зимівників закуповують у різних портах маршруту експедиції.

Рішення щодо вибору порту та обсягів закупівлі ухвалюється з погляду на ряд факторів, наприклад, ціни на продукти харчування, рівня завантаження судна в конкретному порту, та ін.

На динаміку потоку матеріального ресурсу впливають збурення зовнішніх факторів різної природи (економічного ризику, форс-мажорних та ін.)

З викладеного постає необхідність подання топологічною моделлю не тільки складу елементів матеріального ресурсу та портів маршруту переходу, а і кількісних характеристик кожного з елементів.

Один із засобів подання топології потоку матеріального ресурсу може бути теорія мереж Петрі [2], яка дозволяє за допомогою використання її елементів ("фішок") уявити кількісний склад і характеристики елементів матеріального потоку ресурсу. Маршрут експедиції прокладається через морські порти (рис. 1).

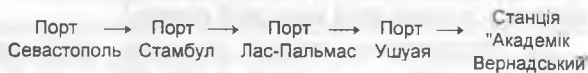


Рис. 1. Маршрут проведення VII антарктичної експедиції

Послідовна пара портів є відрізком маршруту експедиції, на якому відбувається перетворення матеріального ресурсу [4].

Маршрут експедиції топологічною моделлю можна подати послідовно зв'язаними позиціями. Вони, у свою чергу, зв'язані з позиціями елементів матеріального ресурсу.

Теорія мереж Петрі дозволяє побудувати топологічну модель, яка адекватно відображає максимально можливі тенденції і закономірності, притаманні об'єкту дослідження [5]. Топологічна модель побудована на принципах мереж Петрі та інваріантна до можливих змін у властивостях об'єкту дослідження.

Топологічну модель необхідно побудувати так, щоб у ній були враховані елементи матеріального ресурсу, наприклад, продукти харчування, можливі порти закупки, а також усі можливі зв'язки між ними.

Структура мереж Петрі визначається її складовими:

- позиціями;
- переходами;
- вхідними функціями;
- вихідними функціями.

Позиції для даної топологічної моделі будуть відображати елементи матеріального ресурсу, а також ділянки послідовних портів. У графічному зображенні структура мереж Петрі є сукупністю позицій і переходів. Орієнтовані дуги з'єднують позиції та переходи. При цьому деякі дуги спрямовані від позицій до переходів, а інші – від переходів до позицій. Дуга, яка спрямована від позиції до переходу визначає позицію, яка являє собою вхід переходу.

Складовими елементів структури топологічної моделі є (рис. 2):

- елемент матеріального ресурсу: продукти харчування, зміна стану якого визначає характер динаміки матеріального потоку;
- складові маршруту експедиції: ділянки між послідовними портами переміщення матеріального ресурсу.

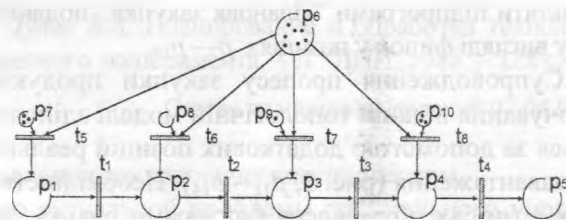


Рис. 2. Топологічна модель "Планової закупки елемента матеріального ресурсу":

$p_1$  – порт Севастополь;  $p_2$  – порт Стамбул;  $p_3$  – порт Лас-Пальмас;  $p_4$  – порт Ушуая;  $p_5$  – станція "Академік Вернадський";  $p_6$  – продукти харчування;  $p_7, p_8, p_9, p_{10}$  – планова закупка продуктів харчування

На моделі в позиціях проставлено фішки для визначення:

- необхідної кількості елементів матеріального ресурсу та характеристик їх переміщення в кожному з портів;
- алгоритму перетворення елементів матеріального ресурсу за допомогою реалізації штучного процесу відкриття і закриття кожного із переходів.

Наприклад, необхідна кількість закупівлі продуктів харчування становить 14 т із масштабуванням фішок 1:2, тобто одна фішка відповідає 2 т продуктів харчування, а таких фішок – сім. Їх розміщують у позиції "Продукти харчування".

Проведення маркування топології процесу, поданого мережами Петрі, необхідне для позначення обсягу елементів матеріального ресурсу, які заплановано для придбання у ході експедиції.

Процедура маркування відноситься до позицій топології і має зміст присвоєння цим позиціям фішок. Фішка має логічний зміст промасштабованої кількісної міри параметра, який обрано для характеристики даної позиції.

#### Алгоритмізація завдання

Управління процесом закупки продуктів харчування в процесі здійснення антарктичної експедиції складається з планування і супроводження процесу закупки та доставки. Щоб за допомогою моделі спланувати процес закупки продуктів харчування для станції необхідно відповідно до кожного з портів додати ще по одній позиції, які б відповідали "плановій" закупці в цьому порту продуктів харчування [6].

Фішки в цих портах відповідають кількості продуктів харчування, які планується придбати та завантажити на судно у відповідному порту.

Розміщення фішок в "планових" позиціях ( $p_7 - p_{10}$ ) здійснюється за допомогою додаткової програми "Планова закупка". Результатом дії цієї підпрограми є визначення кількості закупки в кожному з портів з урахуванням цін на продукти в цих портах та кількістю вільного місця на судні. Результати підпрограми "Планова закупка" подаються у вигляді фішок у позиціях  $p_7 - p_{10}$ .

Супроводження процесу закупки продуктів харчування в даній топологічній моделі здійснюється за допомогою додаткових позицій реального завантаження (рис. 3,  $p_{11} - p_{14}$ ). Необхідність в цих позиціях обумовлена факторами ризику, які можуть діяти в процесі закупки та завантаження продуктів харчування в кожному з портів.

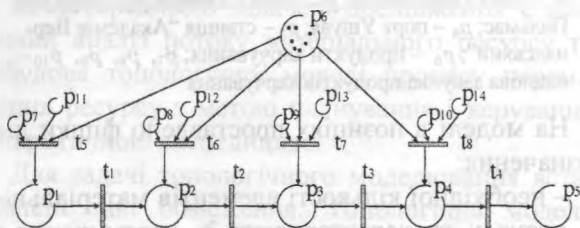


Рис. 3. Топологічна модель "Процес переміщення елемента матеріального ресурсу":

$p_1$  – порт Севастополь;  $p_2$  – порт Стамбул;  $p_3$  – порт Лас-Пальмас;  $p_4$  – порт Ушуая;  $p_5$  – станція "Академік Вернадський";  $p_6$  – продукти харчування;  $p_7, p_8, p_9, p_{10}$  – планова закупка продуктів харчування;  $p_{11}, p_{12}, p_{13}, p_{14}$  – реальне завантаження

Фішки в "реальних" позиціях ( $p_{11} - p_{14}$ ) розміщуються за допомогою додаткової програми "Реальне завантаження", яка здійснює процес відображення реального завантаження продуктів харчування на судно. Кількість продуктів харчування відображається у вигляді фішок, які відповідно розміщуються в позиціях  $p_{11} - p_{14}$ .

Керування процесом закупки продуктів харчування здійснюється в такій послідовності.

1. Для зимівників станції "Академік Вернадський" визначається необхідна кількість продуктів харчування. Як обумовлено Українським антарктичним центром, ця кількість становить 14 т. Після масштабування ця кількість відлювідає семи фішкам, які встановлюються в позиції  $p_6$ .

2. За допомогою підпрограми "Планова закупка" найбільш ефективний розподіляються закупки всього обсягу продуктів харчування між портами. Результати, отримані під час розв'язання задачі ефективного розподілу закупки за допомогою підпрограми, масштабуються та подаються у вигляді фішок у позиціях  $p_7 - p_{10}$ .

3. За допомогою програми "Реальне завантаження" визначається реальне завантаження продуктів харчування на борт судна. Результати, отримані за допомогою підпрограми, масштабуються та подаються у вигляді фішок у позиціях  $p_{11} - p_{14}$ .

4. За допомогою підпрограми "Відпрацювання топології" виконується перехід фішок, який відповідає правилам виконання мереж Петрі, для якої переходи відпрацьовуються за такими правилами:

- пріоритет для відкриття мають ті переходи, які розташовані в порядку послідовності заходу судна в порти;

- перехід відкривається тоді, коли всі його вхідні позиції мають хоча б по одній фішці;

- операція переходу виконується шляхом вилучення фішок із вхідних позицій та їх установлення у відповідній вихідній позиції.

Ця підпрограма також дозволяє порівняти планову закупку з реальною. Розбіжності між цими показниками можуть виникнути в зв'язку з дією факторів ризику. Якщо такі розбіжності є, підпрограма "Відпрацювання топології" дає команду перерозподілу закупки продуктів, урахувавши розбіжність між плановою та реальною закупкою (4). Таким самим способом послідовно відпрацьовується кожний із портів.

Алгоритм керування процесом закупки подано на рис. 4.

#### Висновки

Наведений матеріал дає змогу запропонувати теорію мереж Петрі як один із можливих методів для розв'язання задачі керування процесом закупки та доставки матеріального ресурсу до станції "Академік Вернадський" у процесі здійснення антарктичної експедиції.

Застосування мереж Петрі як одного з методів розв'язання задачі вбачається в можливості:

- наочного відображення процесу переміщення матеріального ресурсу в процесі здійснення антарктичної експедиції;

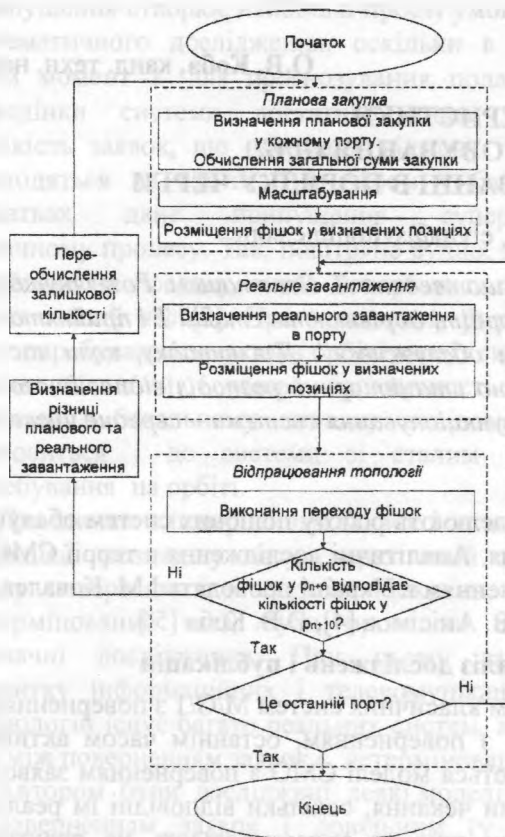


Рис. 4. Алгоритм програми "Керування процесом переміщення матеріального ресурсу"

– відображення як якісних, так і кількісних характеристик елементів матеріального ресурсу;  
– безпосереднього відображення динаміки перетворення елементів матеріального ресурсу за допомогою фішок;

– відображення як планових, так і реальних процесів перетворення елементів ресурсу та надання змоги керування процесом закупки та доставки елемента матеріального ресурсу в антарктичній експедиції.

#### Список літератури

1. Долгов Б.А. Информационный подход к моделированию технологических процессов. – Кишинев: Штиинца, 1984. – 172 с.
2. Питерсон Дж. Теория сетей Петри и моделирование систем. – М.: Мир, 1984. – 263 с.
3. Иоффе А.Ф. Персональные ЭВМ в организационном управлении. – М.: Наука, 1988. – 208 с.
4. Лазутин Ю.Д. Анализ для моделирования технологического процесса. – Рязань: РРТИ, 1981. – 80 с.
5. Барбатов В.А. Теоретико-графовые модели при сетевой обработке информации. – М.: МИФИ, 1984. – 84 с.
6. Лунев В.А. Планирование и обработка технологического эксперимента. – Л.: ЛПИ, 1985. – 128 с.

Стаття надійшла до редакції 02.04.03.

В.Д. Кузовик, О.Б. Иванец

Использование сетей Петри для рационального управления технологическим процессом

Рассмотрены методологические подходы к решению актуальной проблемы оптимального управления технологическим процессом производства. На формальном уровне изложен алгоритм построения такой системы управления. Определен критерий оптимизации для разработки оптимальной системы управления. Приведен оригинальный материал относительно моделирования процесса управления технологическим процессом сетями Петри.

V.D. Kuzovik, O.B. Ivanets

Use of networks Petri for rational control of technological process

At this article was considered methodological approach to solution actual problem of optimum direction of technological process of production. At formal level was adduced algorithm construction this system of direction. The criterion of optimization for development of an optimum control system is determined. The original material concerning modeling process of management of technological process by networks Petri is given.