

А.І. Пукач, асистент кафедри САП, НУ “Львівська політехніка”,  
В. М. Теслюк, д.т.н., професор кафедри САП, НУ “Львівська політехніка”.

## **РОЗРОБЛЕННЯ МОДЕЛІ НА ОСНОВІ МЕРЕЖ ПЕТРІ ДЛЯ СИСТЕМИ ПРОЕКТУВАННЯ МОБІЛЬНИХ РОБОТОТЕХНІЧНИХ СИСТЕМ**

Стаття присвячена розробленню моделі системи проектування мобільних робототехнічних систем (МРТС) на основі мереж Петрі, що дає змогу дослідити динаміку процесу проектування МРТС на всіх стадіях проектування — від аналізу технічного завдання до етапу здачі МРТС в промислову експлуатацію. Крім того, розроблена модель на основі мереж Петрі дає змогу в подальшому оцінити надійність системи проектування МРТС.

The article is devoted to development of a model for the system of mobile robotic systems (MRTS) design, which is based on Petri nets, and allows to investigate the dynamics of the MRTS design process at all stages of design - from requirements specification analysis to the stage of industrial exploitation of developed MRTS. In addition, developed model, based on Petri nets, in further allows to evaluate the reliability of the MRTS design system.

### **Вступ**

Завдяки досягненням науково-технічного прогресу впродовж останніх десятиліть дедалі активніше та масштабніше відбувається процес автоматизації та поступового витіснення людського втручання в більшості процесів — як виробничих, так і дослідницьких. Така тенденція зумовлена, насамперед, необхідністю розширення людських можливостей за умов, несприятливих та загрозованих для людини (несприятливі погодні, кліматичні та екологічні умови, забруднення навколишнього середовища різних типів, аварії та катастрофи природного або техногенного характеру, та інші). В таких умовах на заміну людині виступають різноманітного роду допоміжні та захисні засоби, або ж МРТС [1–4]. Такі системи вже зарекомендували себе на сучасному ринку мікроелектроніки та продовжують користуватися все більшим інтересом серед науковців, інженерів та спеціалістів багатьох інших галузей людської діяльності — від військових та космічних технологій до галузей медицини. Саме тому розроблення різноманітного роду МРТС є актуальною задачею сьогодення і потребує розроблення відповідних інформаційних, математичних, технічних, програмних та інших засобів, призначених для розроблення МРТС [5].

Зокрема, в даній статті розроблена модель системи проектування МРТС на основі мереж Петрі [6, 7], що дає змогу дослідити динаміку процесу проектування МРТС на всіх стадіях проектування — від аналізу технічного завдання до етапу здачі МРТС в промислову експлуатацію. Крім того,  
© А.І. Пукач, В. М. Теслюк

розроблена модель на основі мереж Петрі дає змогу в подальшому оцінити надійність системи проектування МРТС [8, 9].

### 1. Розроблення алгоритму проектування МРТС

Процес проектування різноманітних систем та комплексів є надзвичайно багатограничним, і потребує філігранної точності та здійснення ряду перевірок після кожного етапу проектування, адже виявлення помилок на більш ранніх етапах проектування дає змогу значно зменшити витрати, пов'язані на їх усунення, ніж виявлення цих помилок на більш пізніх етапах. І чим складніша система чи комплекс, — тим більшої уваги їм необхідно приділяти саме на ранніх етапах проектування. В той час як елементний та компонентний рівні являються складовими сучасної елементної бази (СЕБ), і їх вибір знаходиться в межах СЕБ, системний рівень проектування МРТС являється одним із базових. Саме тому важливим фактором на даному етапі проектування є оцінка динаміки та надійності процесу проектування МРТС, чого вдається досягти шляхом побудови відповідних моделей, і одним з таких шляхів є використання апарату теорії мереж Петрі [6, 7].

Основні етапи проектування МРТС такі ж, як і при проектуванні робототехнічних комплексів (РТК), і можуть бути представлені відповідним алгоритмом [10], спрощена блок-схема якого представлена на рис. 1.

### 2. Розроблення моделі на основі мереж Петрі системи проектування МРТС

Нижче, на рис. 2, представлена розроблена модель системи проектування МРТС на основі кольорових мереж Петрі. Розроблена модель (див. рис. 2) працює наступним чином. Маркер поміщається в позицію початку роботи **p1**, а також додатково в позиції **p9** та **p14**. Активацією переходу **t1** здійснюється аналіз вхідних даних і технічних вимог до МРТС і маркер повертається в позицію **p1** з метою забезпечення можливості циклічності роботи моделі. Крім того, маркер переходить в позицію **p2**, що відображає стан формування критеріїв якості проекту, звідки активацією переходу **t2** запускається процес вибору та узгодження основних засобів технологічного оснащення (ЗТО), а також вибір системи координат і формування апроксимованих компонувальних схем ЗТО та МРТС вцілому. Після цього маркер потрапляє в позицію **p3**, що відповідає за формування вимог і відшукування основних проектних рішень з матеріального та інформаційного обміну на границях МРТС із зовнішніми системами. Далі в залежності від відсутності (наявності) маркерів в позиції **p4** (наявність маркерів в даній позиції відповідає за існуюче типове проектне рішення, а  $n1$  – кількість випадків виконання даної умови), здійснюється активація переходу **t3** або **t4** відповідно.

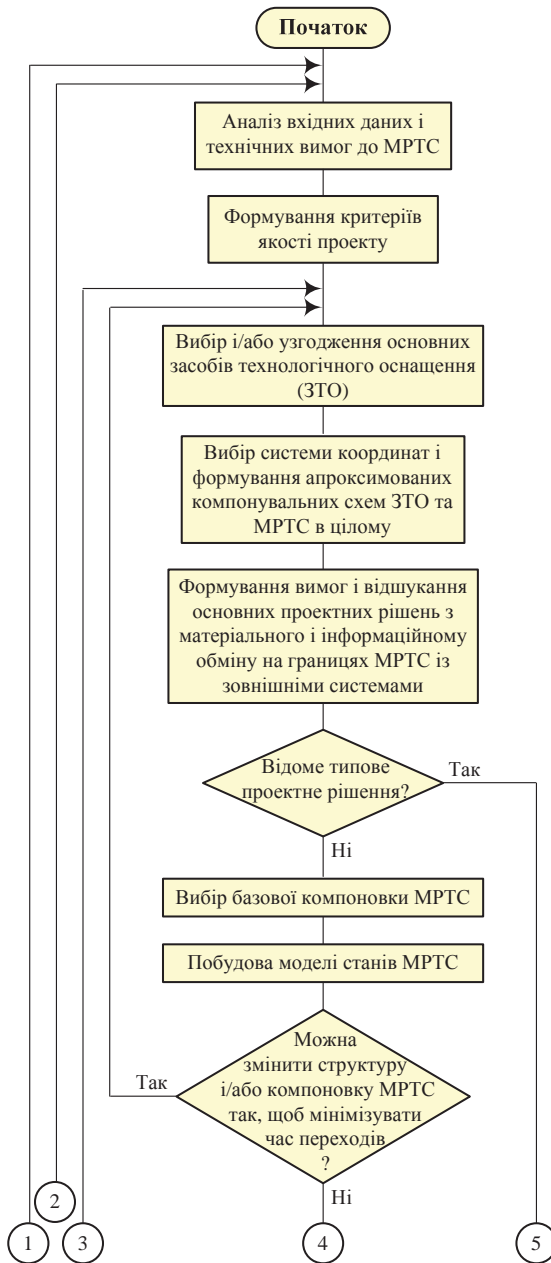


Рис. 1. Спрощена блок-схема алгоритму проектування МРТС

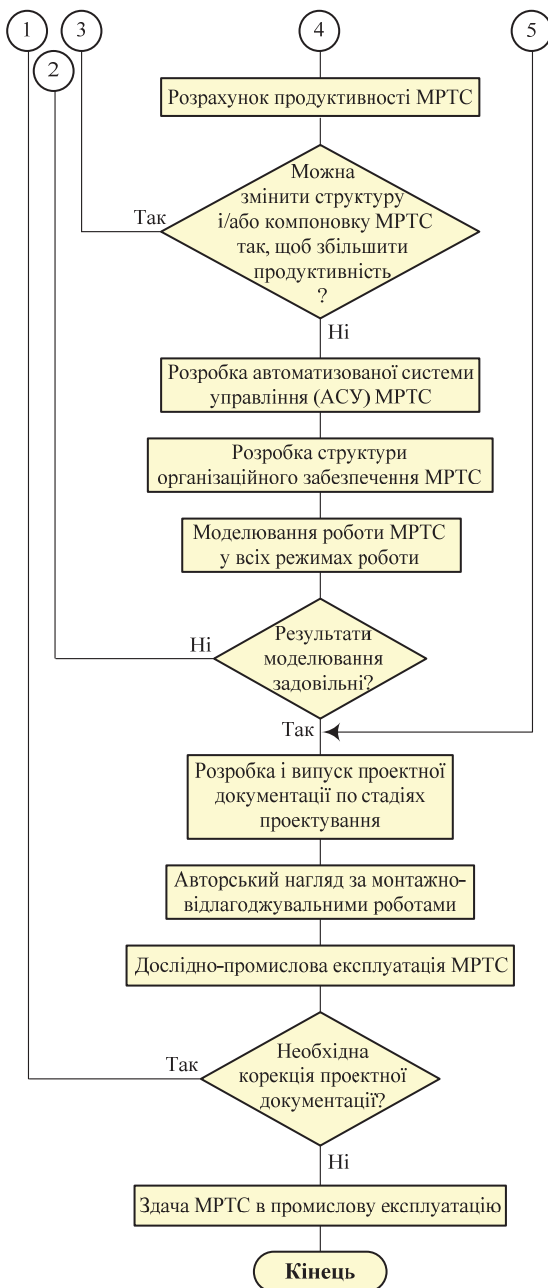


Рис. 1. Спрощена блок-схема алгоритму проектування МРТС (Продовження)

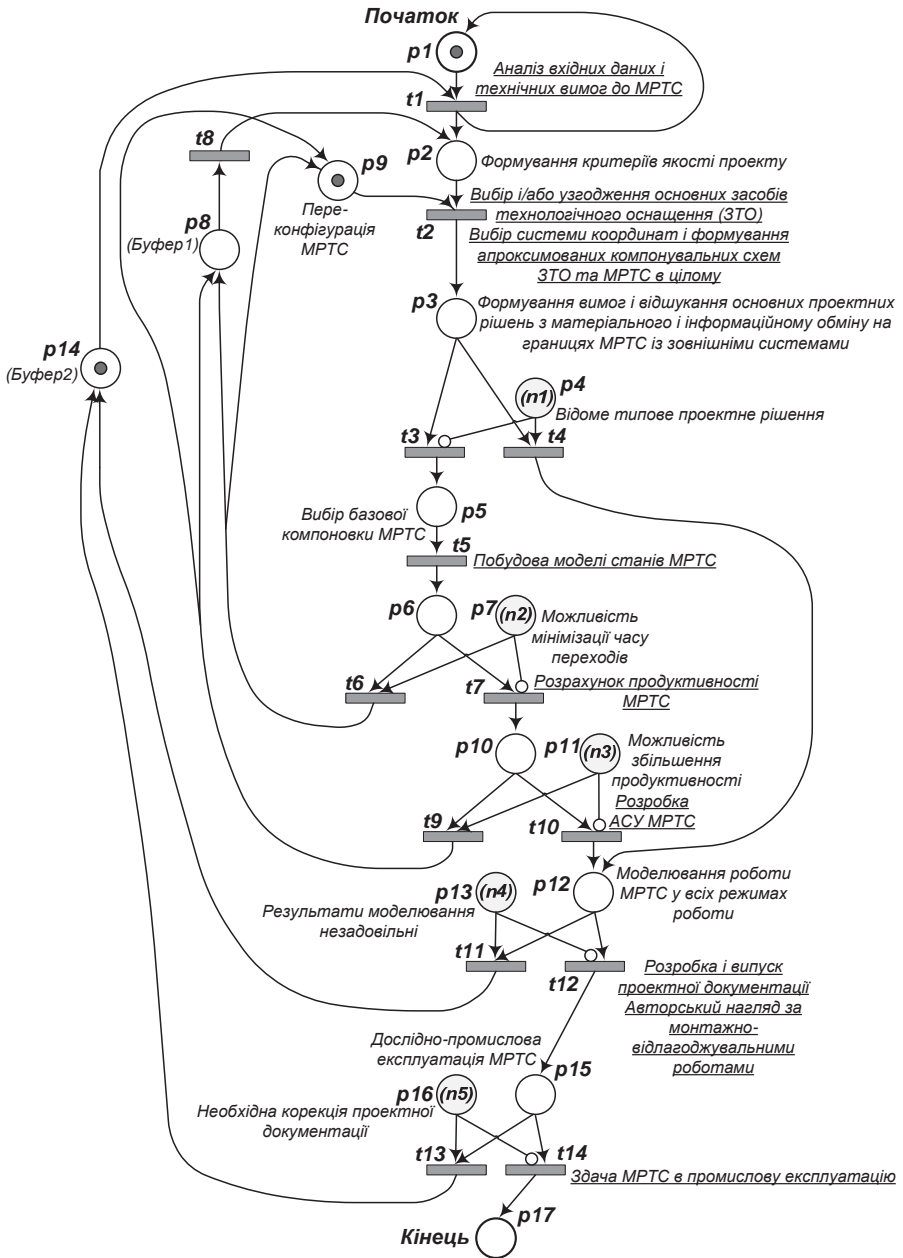


Рис. 2. Модель системи проектування МРТС на основі мереж Петрі

У разі спрацювання переходу **t3** маркер переходить в позицію **p5**, що відповідає за вибір базової компоновки МРТС, після чого здійснюється побудова станів моделі МРТС запуском переходу **t5**, і маркер потрапляє в позицію **p6**. Після цього в залежності від наявності (відсутності) маркерів в позиції **p7** (наявність маркерів в даній позиції відповідає за реалізацію можливості мінімізації часу переходів, а  $n2$  – кількість випадків виконання даної умови), спрацьовує один із переходів **t6** або **t7** відповідно. У разі спрацювання переходу **t6** маркери потрапляють в позиції **p8** та **p9**, причому з позиції **p8**, яка являється буферною позицією (*Буфер1*), активацією переходу **t8** маркер потрапляє в позицію **p2**, а наявність маркера в позиції **p9** свідчить про пере конфігурацію МРТС. Наявність маркерів в позиції **p2** та **p9** призводить до активізації переходу **t2**, і процес проектування продовжується. У випадку ж спрацювання переходу **t7** здійснюється розрахунок продуктивності МРТС, маркер переходить в позицію **p10**, звідки активізується один з переходів (**t9** або **t10**) в залежності від наявності чи відсутності маркерів в позиції **p11** (наявність маркерів в даній позиції свідчить про можливість збільшення продуктивності, а  $n3$  – кількість випадків виконання цієї умови). При наявності маркера(-ів) в позиції **p11** активізується перехід **t9** і маркер переходить в позиції **p8** та **p9**, причому з позиції **p8**, яка являється буферною позицією (*Буфер1*), активацією переходу **t8** маркер потрапляє в позицію **p2**, а наявність маркера в позиції **p9** свідчить про пере конфігурацію МРТС. Наявність маркерів в позиції **p2** та **p9** призводить до активізації переходу **t2**, і процес проектування продовжується. При відсутності маркера(-ів) в позиції **p11** активізується перехід **t10**, відбувається розробка автоматизованої системи управління (АСУ) МРТС, і маркер переходить в позицію **p12**, що свідчить про досягнення стадії моделювання роботи МРТС у всіх режимах роботи. У випадку, якщо отримані результати моделювання роботи МРТС незадовільні (про що свідчить наявність маркера(-ів) в позиції **p13**, де  $n4$  – кількість випадків виконання цієї умови), спрацьовує перехід **t11** і маркер переходить в позицію **p14**, що являється буферною позицією (*Буфер2*), звідки здійснюється активація переходу **t1**, і процес проектування продовжується. У випадку, якщо отримані результати моделювання роботи МРТС задовільні (про що свідчить відсутність маркерів в позиції **p13**), спрацьовує перехід **t12**, здійснюється розробка і випуск проектної документації, а також авторський нагляд за монтажно-відлагоджувальними роботами, і маркер потрапляє в позицію **p15**, що свідчить досягнення етапу дослідно-промислової експлуатації МРТС.

Досягнення етапу дослідно-промислової експлуатації МРТС можливе також і у випадку спрацювання переходу **t4** як результат відсутності маркерів в позиції **p4**.

У випадку наявності маркера(-ів) в позиції **p16**, що відповідає за необхідність корекції проектної документації (а  $n5$  – кількість випадків виконання цієї умови), відбувається спрацювання переходу **t13** і маркер з

позиції **p16** переходить в позицію **p14**, що являється буферною позицією (*Буфер2*), звідки здійснюється активізація переходу **t1**, і процес проектування продовжується. У випадку ж відсутності маркерів в позиції **p16** активізується перехід **t14**, відбувається здача МРТС в промислову експлуатацію, і маркер потрапляє в позицію завершення роботи моделі та, відповідно, завершення процесу проектування МРТС.

Нижче, на рис. 3, представлений також побудований граф досяжності станів розробленої моделі на основі мереж Петрі.

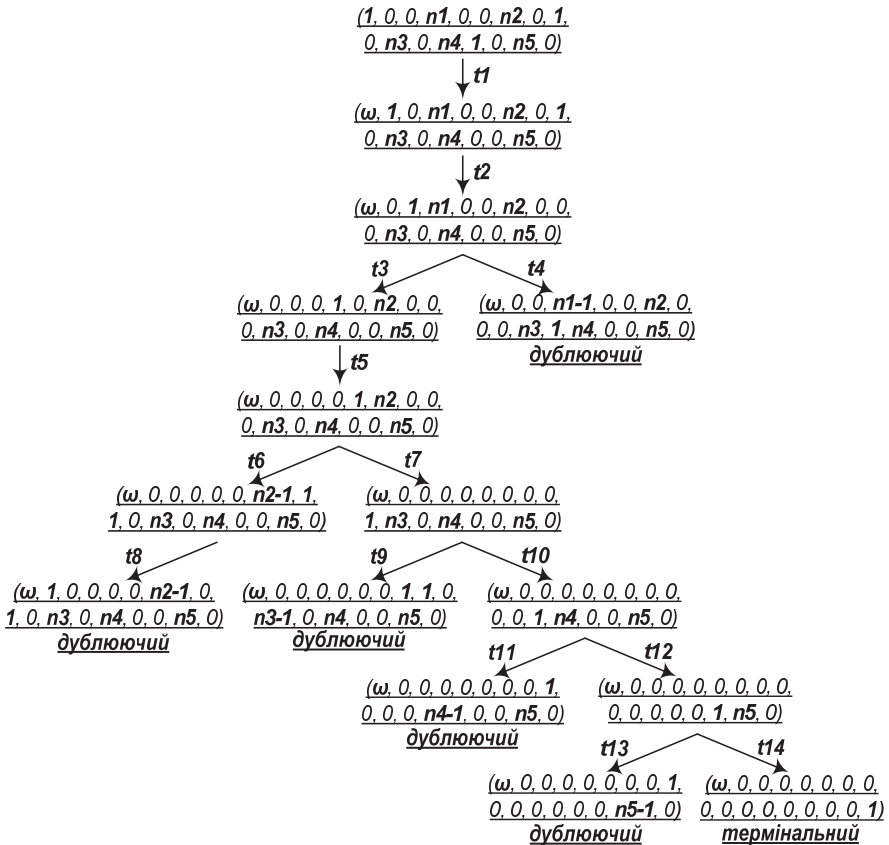


Рис. 3. Граф досяжності станів розробленої моделі на основі мереж Петрі.

Побудований граф досяжності (див. рис. 3) відображає досяжність кожного із можливих станів розробленої моделі на основі мереж Петрі (див. рис. 2) та скінченність множини станів, що виключає можливість тупикових ситуацій.

## Висновки

В даній статті розроблена модель функціонування системи проектування МРТС на основі мереж Петрі, що дає змогу дослідити динаміку процесу проектування МРТС на всіх стадіях автоматизованого проектування — від аналізу технічного завдання до етапу здачі МРТС в промислову експлуатацію. Побудований граф досяжності відображає досяжність кожного із можливих станів розробленої моделі та скінченність множини станів.

Таким чином, розроблена модель на основі мереж Петрі дає змогу в подальшому дослідити динаміку та надійність системи проектування МРТС.

- [1] *Юревич, Е.И.* Основы робототехники /Е.И. Юревич. — 2-е изд., перераб.и доп. — СПб.: БХВ-Петербург, 2005. — 416 с.
- [2] *Макаров И. М., Топчиев Ю. И.* Робототехника: История и перспективы. — М.: Наука; Изд-во МАИ, 2003. — 349 с.
- [3] *Зенкевич С. Л., Ющенко А. С.* Основы управления манипуляционными роботами. 2-е изд. — М.: Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2004. — 480 с.
- [4] *Воробьев В. А., Булгаков А. Г.* Промышленные роботы. Кинематика, динамика, контроль и управление; Воробьев В.А., Булгаков А. Г.; Солон-Пресс; 2007. — 485 с.
- [5] *Грицик В.В., Цмоць І.Г., Теслюк В.М.* Методологія системного проектування нейрокомп'ютерних засобів мобільних робототехнічних систем // Доповіді Національної академії наук України. — Київ, 2013. — № 1. — С. 30 – 36.
- [6] *Котов В.Е.* Сети Петри. — М.: Наука, 1984. — 160 с.
- [7] *Питерсон Дж.* Теория сетей Петри и моделирование систем. — М. Мир, — 1984 — 435с.
- [8] *Теслюк В. М., Хамза Алі Юсеф Аль Шавабкех* Моделі та засоби аналізу МЕМС на основі стохастичних мереж Петрі // 36. наук. пр. ІППМЕ ім.Г.С.Пухова НАН України. — Київ, 2009, Вип. 52. — С.175 – 179.
- [9] *Sydor A. R., Teslyuk V. M.* Mathematical models of reliability parameters for complicated power systems // *Tekhnichna elektrodynamika*. — 2012, No. 3. — p. 37 – 38.
- [10] *Лукинов А. П.* Проектирование мехатронных и робототехнических устройств: Учебное пособие. — СПб.: Издательство «Лань», 2012. — 608 с.

*Поступила 11.9.2013р.*