

**ФАКУЛЬТЕТ АВТОМАТИКИ, ТЕЛЕМЕХАНИКИ ТА ЗВ'ЯЗКУ**  
**Кафедра «Автоматика та комп'ютерне телекерування**  
**рухом поїздів»**

**МОДЕЛЮВАННЯ ПРИСТРОЇВ ТА СИСТЕМ**  
**ЗАЛІЗНИЧНОЇ АВТОМАТИКИ В СІТКАХ ПЕТРІ**

**МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ**  
**до лабораторних занять, самостійної роботи,**  
**курсowego та дипломного проектування**  
**з дисципліни**  
***«СИСТЕМНИЙ АНАЛІЗ СКЛАДНИХ СИСТЕМ***  
***УПРАВЛІННЯ»***

**Харків 2010**

Методичні вказівки розглянуто та рекомендовано до друку

на засіданні кафедри «Автоматика та комп'ютерне телекерування рухом поїздів» 30 жовтня 2008 р., протокол № 4.

Описано основи сіток Петрі, принципи побудови моделей у сітках Петрі. Методичні вказівки містять усю необхідну інформацію щодо підготовки та виконання лабораторної роботи.

Методичні вказівки призначені для студентів спеціальності 7(8).092507.01 «Автоматика та автоматизація на транспорті», що вивчають курс «Системний аналіз складних систем управління» всіх форм навчання.

Укладачі:

доц. В.П. Мороз,  
асистенти С.О. Змій, Р.В. Турчинов

Рецензент

проф. В.Ш. Хісматулін

## МОДЕЛЮВАННЯ ПРИСТРОЇВ ТА СИСТЕМ ЗАЛІЗНИЧНОЇ АВТОМАТИКИ В СІТКАХ ПЕТРІ

### МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

до лабораторних занять, самостійної роботи,  
курсowego та дипломного проектування

з дисципліни

*«СИСТЕМНИЙ АНАЛІЗ СКЛАДНИХ СИСТЕМ  
УПРАВЛІННЯ»*

Відповідальний за випуск Мороз В.П.

Редактор Еткало О.О.

---

Підписано до друку 30.01.09 р.

Формат паперу 60x84 1/16 . Папір писальний.

Умовн.-друк.арк. 1,25. Обл.-вид.арк. 1,50.

Замовлення № Тираж 200. Ціна

---

Видавництво УкрДАЗТу, свідоцтво ДК № 2874 від. 12.06.2007 р.  
Друкарня УкрДАЗТу,  
61050, Харків - 50, майдан Фейєрбаха, 7

УКРАЇНСЬКА ДЕРЖАВНА АКАДЕМІЯ  
ЗАЛІЗНИЧНОГО ТРАНСПОРТУ

ФАКУЛЬТЕТ АВТОМАТИКИ, ТЕЛЕМЕХАНІКИ  
ТА ЗВ'ЯЗКУ

Кафедра «Автоматика та комп'ютерне  
телекерування рухом поїздів»

МОДЕЛЮВАННЯ ПРИСТРОЇВ ТА СИСТЕМ  
ЗАЛІЗНИЧНОЇ АВТОМАТИКИ В СІТКАХ ПЕТРІ

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ  
ДО ЛАБОРАТОРНОЇ РОБОТИ  
З ДИСЦИПЛІНИ  
«СИСТЕМНИЙ АНАЛІЗ СКЛАДНИХ СИСТЕМ  
УПРАВЛІННЯ»

Для студентів спеціальності 7(8).092507.01  
«Автоматика і автоматизація на транспорті»  
всіх форм навчання

Харків 2010

Методичні вказівки розглянуто та рекомендовано до друку на засіданні кафедри «Автоматика та комп'ютерне телекерування рухом поїздів» 30 жовтня 2008 р., протокол № 4.

Описано основи сіток Петрі, принципи побудови моделей у сітках Петрі. Методичні вказівки містять усю необхідну інформацію щодо підготовки та виконання лабораторної роботи.

Методичні вказівки призначені для студентів спеціальності «Автоматика та автоматизація на транспорті», що вивчають курс «Системний аналіз складних систем управління» всіх форм навчання.

Укладачі:

доц. В.П. Мороз,  
асистенти С.О. Змій, Р.В. Турчинов

Рецензент

проф. В.Ш. Хісматулін

## ЗМІСТ

Вступ	4
Мета роботи	5
1 Короткі відомості з теорії сіток Петрі	5
2 Порядок виконання роботи	17
2.1 Завдання до лабораторної роботи	17
2.2 Опис програми PetriNet	19
3 Вимоги до оформлення звіту з лабораторної роботи	21
Контрольні запитання	21
Список літератури	22

## Вступ

Будь-яка дослідницька, проектна, управлінська діяльність певним чином пов'язана з моделюванням. Креслення деталі, апаратне й програмне забезпечення ЕОМ, макет літака або будинку, системи рівнянь, що описують технологічний процес або рух кінематичного механізму, - все це моделі об'єктів виготовлення, будівництва й керування.

Різноманіття об'єктів, цілей і завдань моделювання породило безліч різних типів моделей. *Модель* – це подання у математичних співвідношеннях того, що вважається найбільш характерним у досліджуваному об'єкті або системі. Використовуючи модель, можна одержати нові знання про явище, що моделюється, уникаючи небезпеки, дорожнечі або незручності користування самим реальним явищем.

Сітки Петрі (СП) являють собою графічний і математичний спосіб моделювання, застосовний до систем будь-яких типів. Вони являють собою перспективний інструмент опису й дослідження мультипрограмних, асинхронних, розподілених, паралельних, недетермінованих та/або стохастичних систем. Як графічний засіб, сітки Петрі можуть використовуватися для наочного подання системи, що моделюється, подібно до блок-схем, структурних схем і мережних графіків. Поняття фішок, що вводиться у цих сітках, дозволяє моделювати динаміку функціонування систем і паралельні процеси. Як математичний спосіб, аналітичне подання сітки Петрі дозволяє застосовувати рівняння стану, алгебраїчні рівняння й інші математичні співвідношення, що описують динаміку систем. Сітки Петрі можуть із успіхом використовуватися й теоретиками, і практиками, а, отже, стають ефективним засобом їхнього взаємного спілкування: практики можуть перейняти у теоретиків методологію побудови моделей, а теоретики - навчитися у практиків, як наблизити свої моделі до реальності.

## Мета роботи

1 Ознайомитися з основними поняттями й визначеннями, пов'язаними із сітками Петрі.

2 Ознайомитися з основними елементами емулятора сіток Петрі.

3 Спроекувати модель об'єкта залізничної автоматики за допомогою сіток Петрі з використанням емулятора (згідно із завданням)

## 1 Короткі відомості з теорії сіток Петрі

**Сітки Петрі** є прикладом семантичних сіток, представлених різновидом орієнтованих двочасткових графів і призначених для моделювання динамічних властивостей різних систем (систем відносин між людьми, послідовностей дій при виконанні якої-небудь роботи й т.ін.).

Сітка Петрі складається із чотирьох елементів: множини позицій  $P$  (схематично позначаються кружками), множини переходів  $T$  (позначаються рисками), а також вхідної функції  $I$  і вихідної функції  $O$ . Вхідна й вихідна функції пов'язані з переходами й позиціями. Вхідна функція  $I$  відображає перехід  $t_j$  у множині позицій  $I(t_j)$ , названих вхідними позиціями переходу. Вихідна функція  $O$  відображає перехід  $t_j$  у множині позицій  $O(t_j)$ , названих вихідними позиціями переходу. Орієнтовані дуги (стрілки) з'єднують позиції й переходи, при цьому деякі дуги спрямовані від позицій до переходів, а інші – від переходів до позицій (рисунок 1).

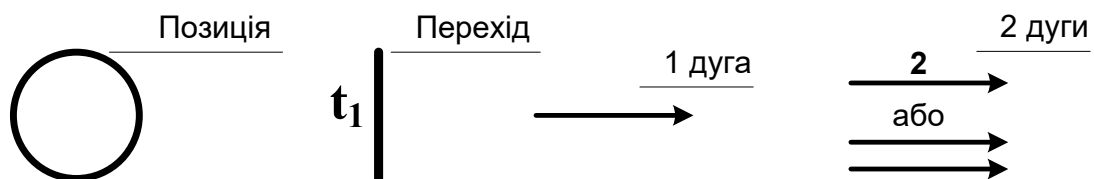


Рисунок 1



Структура сітки Петрі визначається її позиціями, переходами, вхідною й вихідною функціями:

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

де  $P = \{p_1, p_2, \dots, p_n\}$  – множина позицій,  $n \geq 0$ ;

$T = \{t_1, t_2, \dots, t_m\}$  – множина переходів,  $m \geq 0$ ;

$I$  - вхідна функція;

$O$  - вихідна функція.

Множини позицій і переходів не перетинаються,  $P \cap T = \emptyset$ .  
 $I: T \rightarrow P^n$  є вхідною функцією - відображенням з переходів у комплекти позицій.  $O: T \rightarrow P^n$  є вихідна функція - відображення з переходів у комплекти позицій.

Потужність множини  $P$  є кількість позицій  $n$ , а потужність множини  $T$  є кількість переходів  $m$ . Довільний елемент  $P$  позначається символом  $p_i$ ,  $i = 1, \dots, n$ , а довільний елемент  $T$  — символом  $t_j$ ,  $j = 1, \dots, m$ .

Приклад сітки Петрі у вигляді математичного опису може бути поданий таким чином:

$$C = (P, T, I, O);$$

$$P = \{p_1, p_2, p_3, p_4, p_5\};$$

$$T = \{t_1, t_2, t_3, t_4\};$$

$$I(t_1) = \{p_1\};$$

$$O(t_1) = \{p_2, p_3, p_5\};$$

$$I(t_2) = \{p_2, p_3, p_5\};$$

$$O(t_2) = \{p_5\};$$

$$I(t_3) = \{p_3\};$$

$$O(t_3) = \{p_4\};$$

$$I(t_4) = \{p_4\};$$

$$O(t_4) = \{p_2, p_3\}.$$

Проведемо аналіз математичного опису. Із цього опису маємо, що структура сітки Петрі подана у вигляді четвірки, яка складається з множини позицій  $P$ , множини переходів  $T$ , вхідної функції  $I: T \rightarrow P^n$  і вихідної функції  $O: T \rightarrow P^n$ .

Позиція  $p_i$  є вхідною позицією переходу  $t_j$  у тому випадку, якщо  $p_i \in I(t_j)$ ;  $p_i$  є вихідною позицією, якщо  $p_i \in O(t_j)$ . Сукупність входів й виходів переходів можуть являти собою не лише множини, а й комплекти позицій. *Комплект* є узагальненням множини, у яку включені багаторазово

повторювані елементи — тиражовані елементи. Використання комплектів, а не множин для входів і виходів переходу дозволяє позиції бути кратним входом або кратним виходом переходу. *Кратність* вхідної позиції  $p_i$  для переходу  $t_j$  є число появ позиції у вхідному 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 вхідна й вихідна функції є множинами (а не комплектами), то кратність кожної позиції є або 0, або 1.

Вхідні й вихідні функції використовуються для відображення позицій у комплекти переходів, а також для відображення переходів у комплекти позицій. Визначимо, що перехід  $t_j$  є входом позиції  $p_i$ , якщо  $p_i$  є виходом  $t_j$ . Перехід  $t_j$  є виходом позиції  $p_i$ , якщо  $p_i$  є входом  $t_j$ .

Визначимо розширені вхідну і вихідну функції

$$I: P \rightarrow T^m, O: P \rightarrow T^m \quad (2)$$

таким чином, що

$$\#(t_j, I(p_i)) = \#(p_i, O(t_j)), \quad \#(t_j, O(p_i)) = \#(p_i, I(t_j)).$$

Для наведеного прикладу сітки Петрі, відповідно до її мате-матичного опису, розширеними вхідною й вихідною функціями є:

$$\begin{array}{ll} I(p_1) = \{\emptyset\}, & O(p_1) = \{t_1\}, \\ I(p_2) = \{t_1, t_4\}, & O(p_2) = \{t_2\}, \\ I(p_3) = \{t_1, t_4\}, & O(p_3) = \{t_2, t_3\}, \\ I(p_4) = \{t_3\}, & O(p_4) = \{t_4\}, \\ I(p_5) = \{t_1, t_2\}, & O(p_5) = \{t_2\}. \end{array}$$

У значній мірі теоретична робота із сітками Петрі заснована на формальному визначенні сіток Петрі, викладеному вище. Проте для ілюстрації понять теорії сіток Петрі найбільш зручним є графічне подання. Теоретико-

графовим поданням сітки Петрі є двочастковий орієнтований мультиграф.

Орієнтовані дуги (стрілки) з'єднують позиції й переходи, при цьому деякі дуги спрямовані від позицій до переходів, а інші — від переходів до позицій. Дуга, спрямована від позиції  $p_i$  до переходу  $t_j$ , визначає позицію, що є входом переходу. Кратні входи в перехід вказуються кратними дугами із вхідних позицій у перехід. Вихідна позиція вказується дугою від переходу до позиції. Кратні виходи також представлені кратними дугами.

Сітка Петрі є *мультиграфом*, тому що він припускає існування кратних дуг від однієї вершини графа до іншої. Варто додати, що, так як дуги є спрямованими, то це орієнтований мультиграф. Ми знаємо, що вершини графа можна розділити на дві множини (позиції й переходи) таким чином, що кожна дуга буде спрямована від елемента однієї множини (позицій або переходів) до елемента іншої множини (переходів або позицій); отже, такий граф є *двочастковим* орієнтованим мультиграфом. Надалі для простоти будемо називати його просто графом сітки Петрі.

*Граф  $G$  сітки Петрі* є двочастковий орієнтований мультиграф,  $G = (V, A)$ , де  $V = \{u_1, u_2, \dots, u_s\}$  - множина вершин, а  $A = \{a_1, a_2, \dots, a_r\}$  - комплект спрямованих дуг,  $a_i = (u_j, u_k)$ , де  $u_j, u_k \in V$ . Множина  $V$  може бути розбита на дві непересічні підмножини  $P$  і  $T$ , таких, що  $V = P \cup T$ ,  $P \cap T = \emptyset$ , і для будь-якої спрямованої дуги  $a_i \in A$ , якщо  $a_i = (u_j, u_k)$ , тоді або  $u_j \in P$  і  $u_k \in T$ , або  $u_j \in T$ , а  $u_k \in P$ .

Граф сітки Петрі, побудований для прикладу математичної моделі сітки Петрі, зображений на рисунку 2.

Для демонстрації еквівалентності цих двох описів сітки Петрі — структури й графа сітки Петрі — покажемо, яким чином можна перетворити один в інший. Припустимо, нам дана структура сітки Петрі  $S = (P, T, I, O)$  з  $P = \{p_1, p_2, \dots, p_n\}$  і  $T = \{t_1, t_2, \dots, t_m\}$ . Тоді граф сітки Петрі можна визначити в такий спосіб.

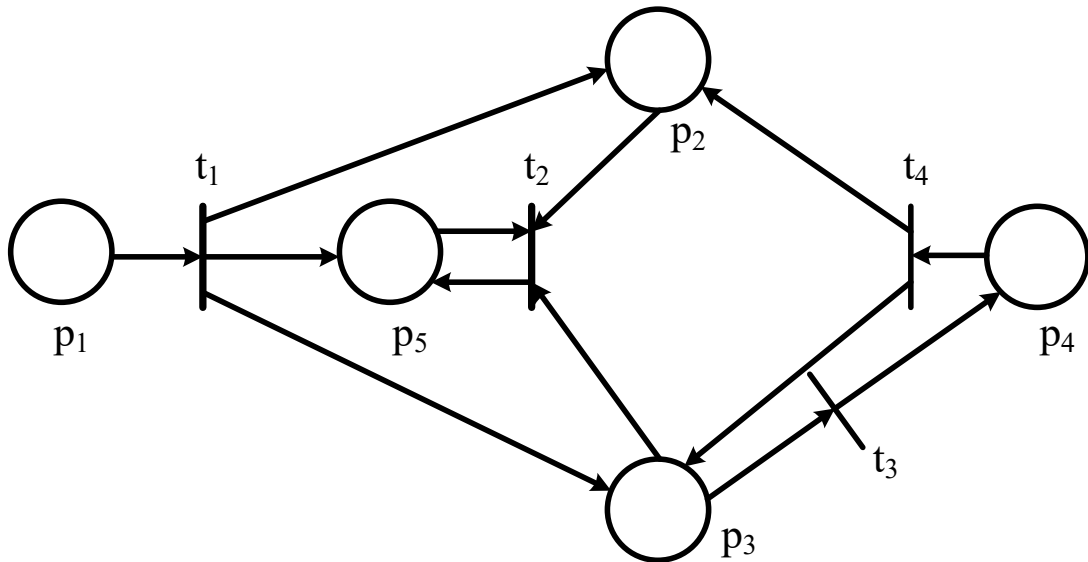


Рисунок 2 – Граф сітки Петрі, еквівалентний математичній моделі

Визначимо  $V = P \cup T$ . Визначимо  $A$  як комплект спрямованих дуг, такий, що для всіх  $p_i \in P$  і  $t_j \in T$

$$\begin{aligned} \#((p_i, t_j), A) &= \#(p_i, I(t_j)), \\ \#((t_j, p_i), A) &= \#(p_i, O(t_j)). \end{aligned}$$

$G = (V, A)$  є граф сітки Петрі, еквівалентний структурі сітки Петрі  $C = (P, T, I, O)$ .

Зворотне перетворення (від графа сітки Петрі до структури) здійснюється подібним чином.

*Маркування  $\mu$*  - присвоєння фішок позиціям сітки Петрі. Фішка - примітивне поняття сіток Петрі. Фішки присвоюються (можна вважати, що вони належать) позиціям. Кількість і положення фішок при виконанні сітки Петрі можуть змінюватися. Фішки використовуються для визначення виконання сітки Петрі.

Маркування  $\mu$  сітки Петрі  $C = (P, T, I, O)$  є функція, що відображає множину позицій  $P$  у множині додатних цілих чисел  $N$ .

$$\mu: P \rightarrow N$$

Маркування  $\mu$  може бути також визначено як  $n$ -вектор  $\mu = (\mu_1, \mu_2, \dots, \mu_n)$ , де  $n = |P|$  і кожне  $\mu_i \in \mathbb{N}$ ,  $i = 1, \dots, n$ . Вектор  $\mu$  визначає для кожної позиції  $p_i$  сітки Петрі кількість фішок у цій позиції. Кількість фішок у позиції  $p_i \in \mu_i$ ,  $i = 1, \dots, n$ . Зв'язок між визначеннями маркування як функції і як вектора очевидно установлюється співвідношенням  $\mu(p_i) = \mu_i$ . Позначення її у вигляді функції є більш загальним і тому вживається набагато частіше.

Маркована сітка Петрі  $M = (C, \mu)$  є сукупність структури сітки Петрі  $C = (P, T, I, O)$  та маркування  $\mu$  і може бути записана у вигляді  $M = (P, T, I, O, \mu)$ .

На графі сітки Петрі фішки зображуються маленькою крапкою в кружку, що являє собою позицію сітки Петрі (якщо число фішок у позиції більше 5, то в кружку цифрою записується їхня кількість). На рисунку 3 наведений приклад графічного подання маркованої сітки Петрі.

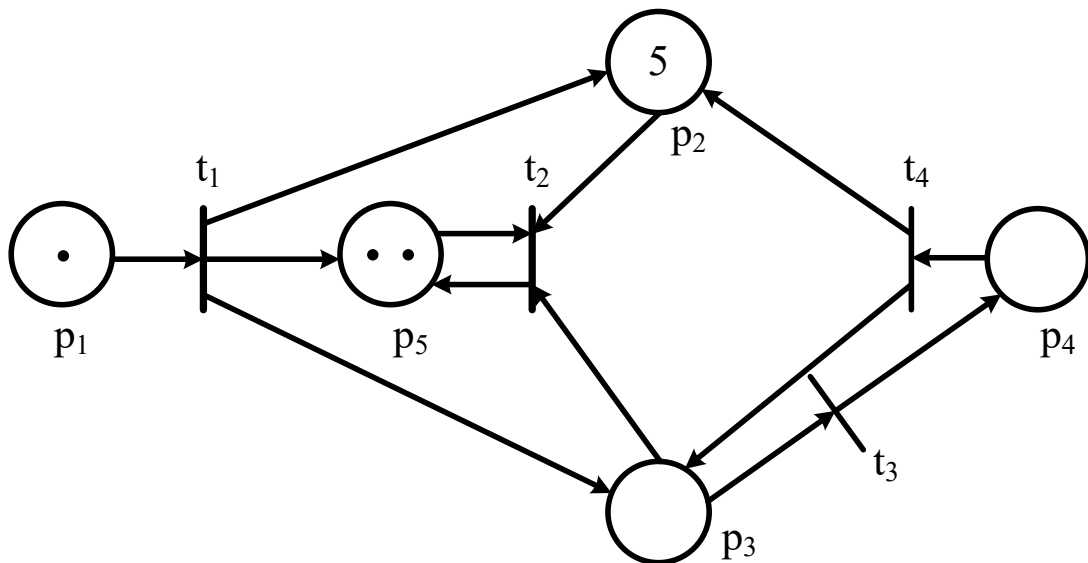


Рисунок 3 – Маркована сітка Петрі. Маркування –  $\mu_0 (1, 5, 0, 0, 2)$

Так як кількість фішок, що може бути визначена для кожної позиції, необмежена, то в цілому для сітки Петрі існує нескінченно багато маркувань. Множина всіх маркувань сітки Петрі, що має  $n$  позицій, є множина всіх  $n$  – векторів,  $\mathbb{N}^n$ . Ця множина хоча й нескінченна, є зчисленною.

**Правило спрацьовування переходу.** Перехід називається дозволеним, якщо кожна з його вхідних позицій має число фішок, принаймні рівне числу дуг з позиції в перехід. Прочитайте попереднє твердження ще декілька разів. Наприклад, якщо позиції служать входами для переходу, тоді він дозволений, якщо кожна з позицій має хоча б по одній фішці (рисунок 4).

Наступний приклад: для переходу із вхідним комплектом позиція повинна володіти принаймні трьома фішками, для того щоб він був дозволений (рисунок 5).

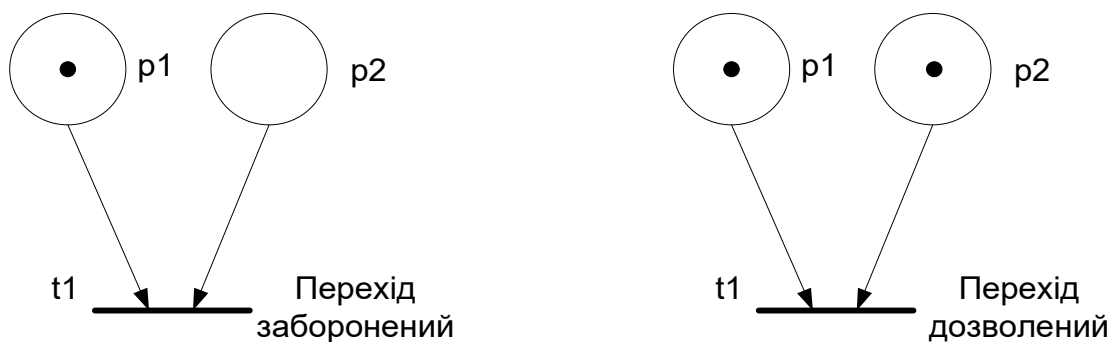


Рисунок 4

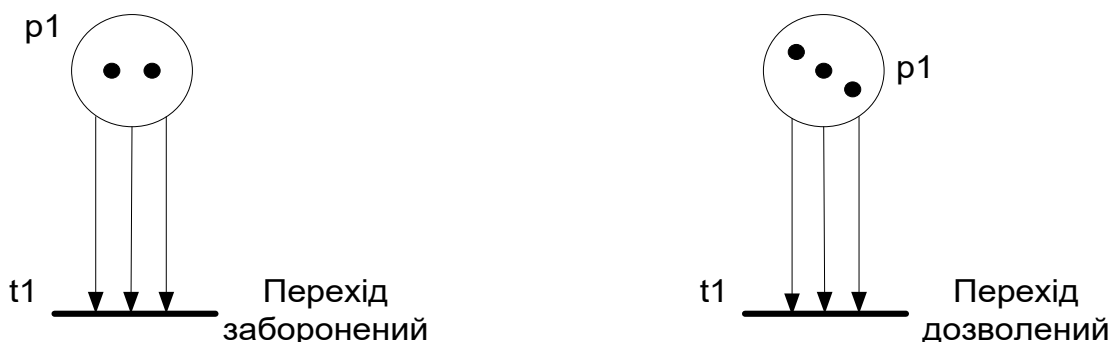


Рисунок 5

Перехід запускається видаленням фішок з його вхідних позицій і наступним переміщенням у кожен з його вихідних

позицій, по одній фішці для кожної дуги (рисунок 6).

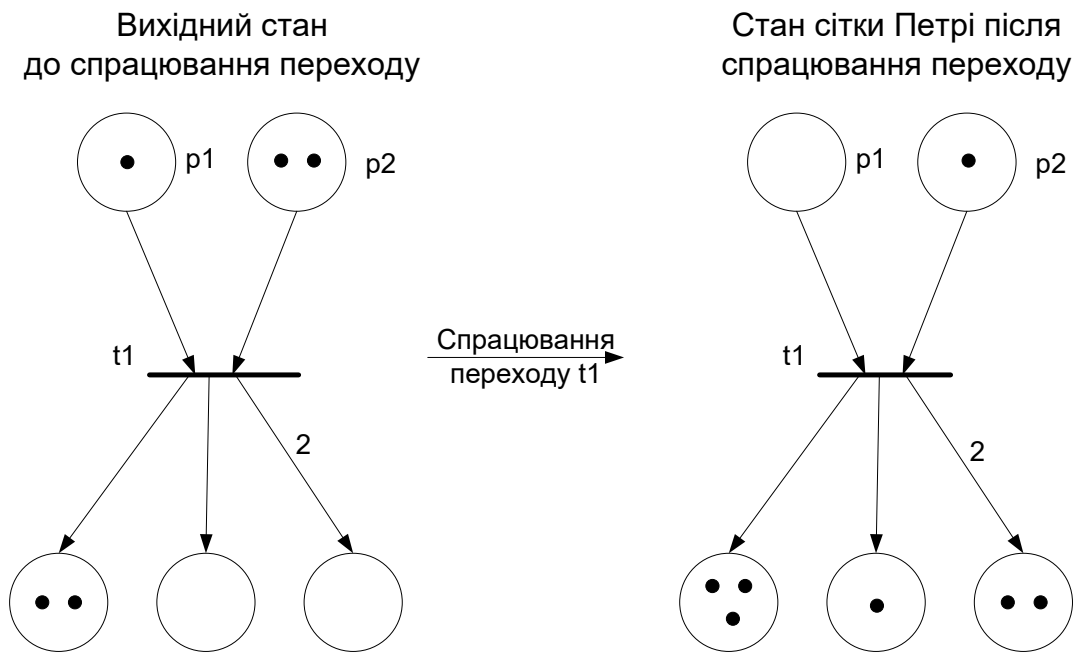


Рисунок 6

Запуски можуть здійснюватися доти, поки існує хоча б один дозволений перехід. Коли не залишиться жодного дозволеного переходу, виконання *припиняється*.

При моделюванні процесів за допомогою сіток Петрі її позиції інтерпретують собою деякі умови, стани, значення змінних і т.д. Переходи інтерпретують собою логічні пропозиції (прийняття рішень), що відповідають виконанню дій, при цьому вхідні позиції - умови виконання дій, вихідні позиції - результат виконання дій. Дія (перехід) пов'язана із прийняттям якого-небудь рішення, що ініційоване певними умовами й результатом якого є новий стан (умова).

Інакше кажучи, позиція – це іменник, а перехід – дієслово.

Сітка Петрі багато в чому подібна до блок-схеми: блок-схема подана у вигляді вузлів двох типів (прийняття рішення позначаються ромбами, а обчислення позначаються прямокутниками) і дуг між ними. Зручний спосіб виконання блок-схеми – введення фішки, що подає поточну інструкцію. При виконання інструкцій фішка пересувається по блок-схемі.

Переведення блок-схеми в сітку Петрі: вузли блок-схеми замінюються на переходи сітки Петрі, а дуги блок-схеми – на позиції сітки Петрі (рисунок 7).

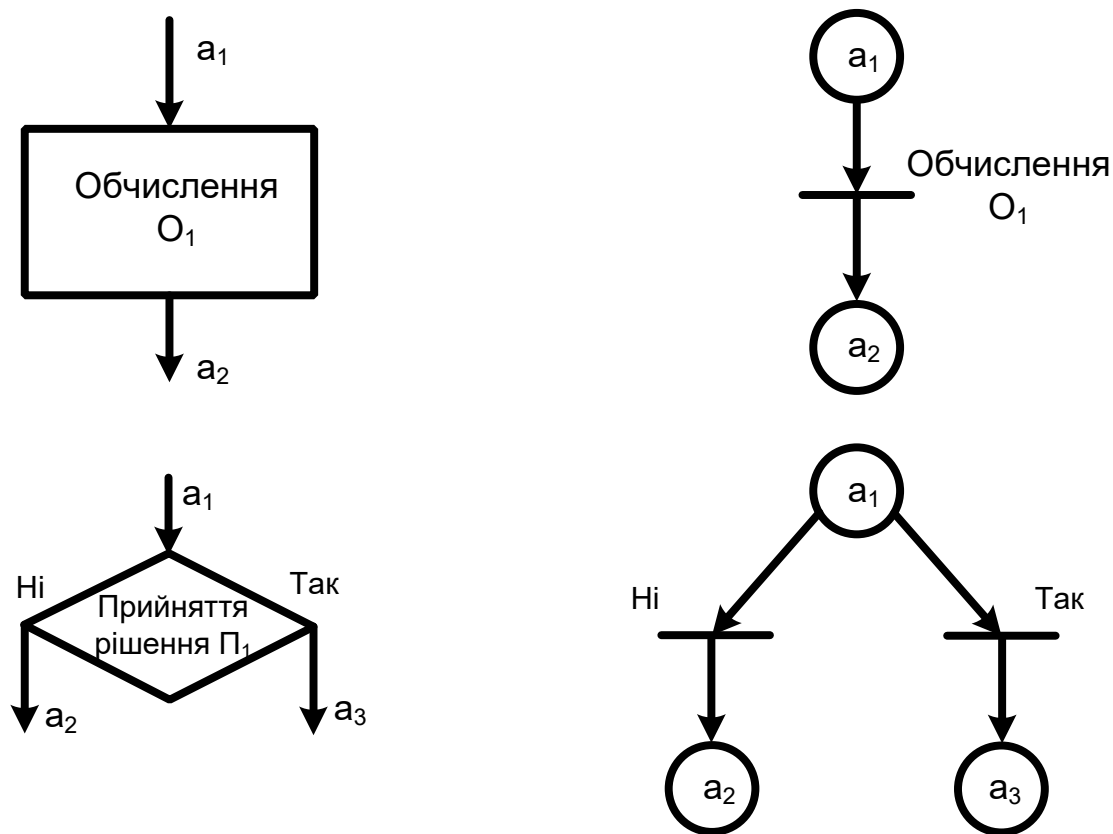


Рисунок 7 – Переведення вузлів обчислення й прийняття рішення блок-схеми в переходи сітки Петрі

**Приклад 1.** Розглянемо завдання моделювання простого мікропроцесора (МП). МП перебуває в стані очікування до тих пір, поки не з'явиться запит на обробку вхідних даних, які необхідно обробити, й надсилає адресату результат. Умовами для такої системи є: а) МП вільний; б) запит надійшов і чекає; в) МП виконує обробку даних; г) запит виконаний (рисунок 8).

Подіями будуть: 1) запит надійшов; 2) МП починає обробку; 3) МП закінчує виконання запиту; 4) дані передаються адресату.



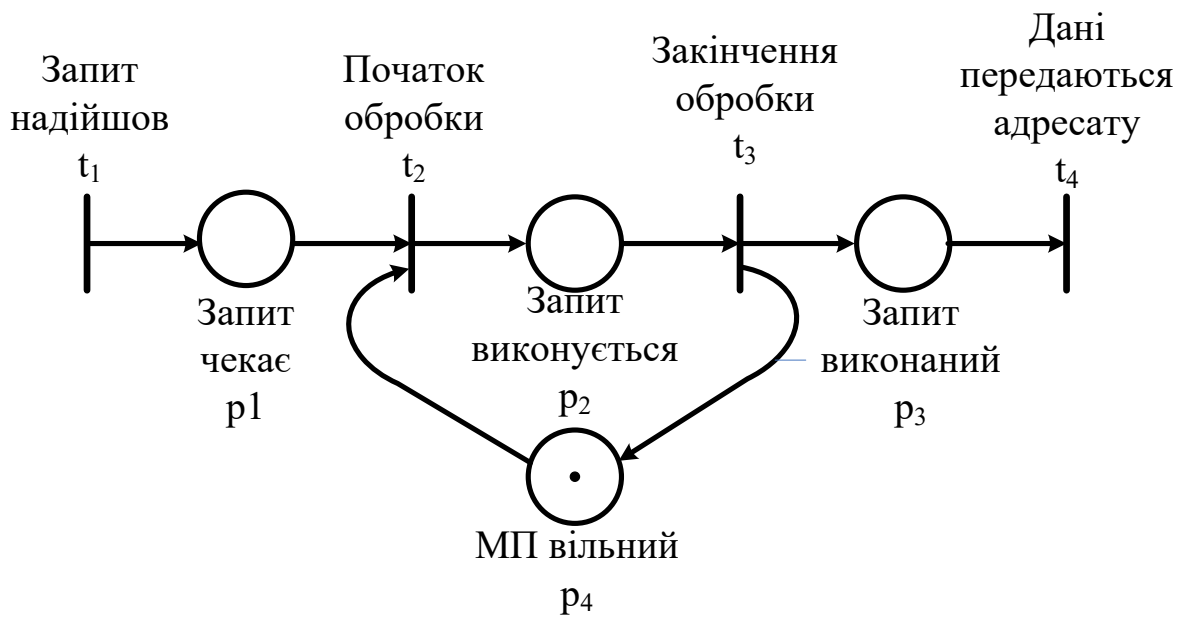


Рисунок 8 – Сітка Петрі для простого МП

**Приклад 2.** Розглянемо спрощену модель автоблокування (АБ). При автоблокуванні весь перегін між станціями розбивається на блок-діляниці. Поїзди рухаються з однієї станції на іншу. Рух поїзда можливий тільки при вільному стані як мінімум однієї блок-діляниці (рисунок 9).

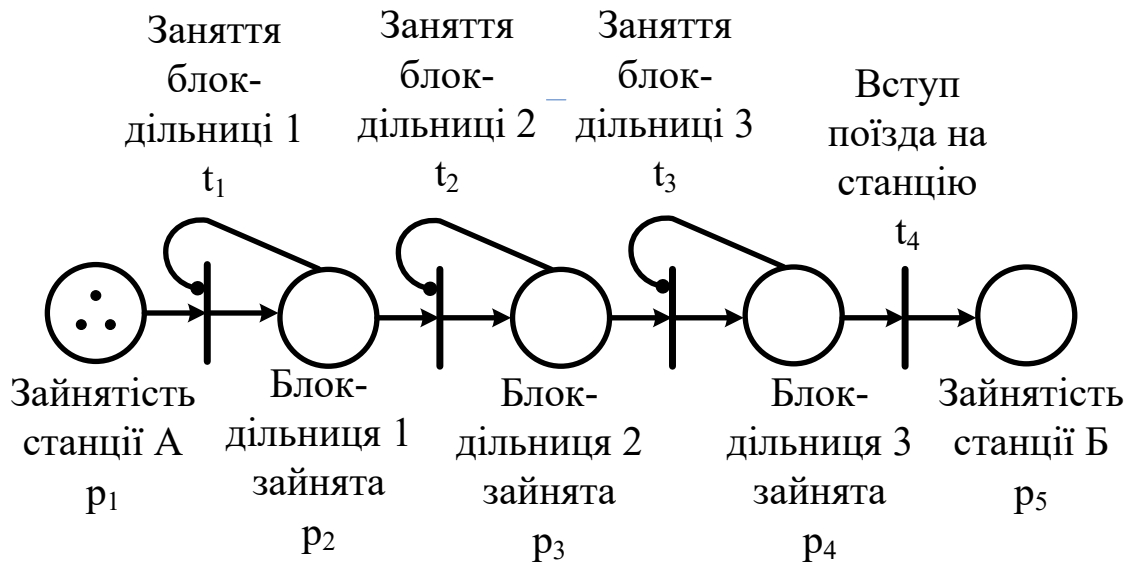


Рисунок 9 – Сітка Петрі АБ

У даному прикладі як заборона переходу застосовуються *інгібіторні* дуги (дуга із точкою). Якщо в позиції, з якої виходить інгібіторна дуга, розміщується хоча б один маркер, то перехід буде заборонений. Так, при зайнятій поїздом першій блок-дільниці інгібіторна дуга забороняє перехід  $t_1$  до того моменту, поки маркер (поїзд) буде знаходитися в другій позиції (на першій блок-дільниці).

Виконаємо переведення сітки Петрі, наведеної на рисунку 8, у блок-схему (рисунок 10).

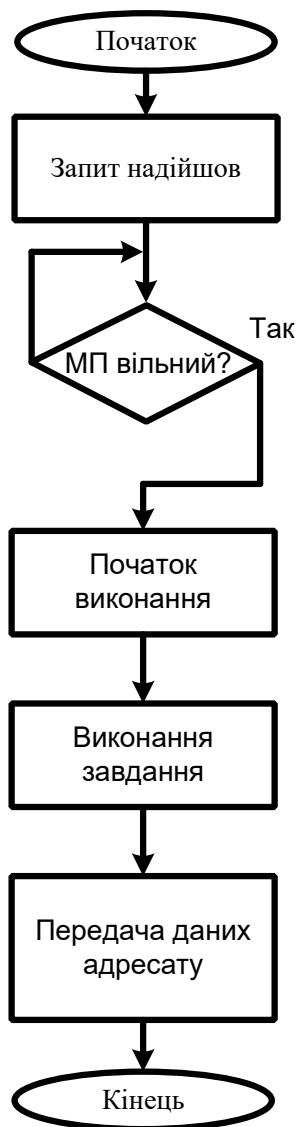


Рисунок 10 – Блок-схема, аналогічна сітці Петрі на рисунку 8

За допомогою графа можуть бути визначені властивості сітки Петрі й, в остаточному підсумку, системи, що моделюється. До них належать:

- **живість** (відсутність тупикових станів);
- **безпечність** (сітка безпечна, якщо в мітки вершин входять тільки «0» і «1») – фізично безпека означає відсутність зациклень;
- **правильність** (якщо сітка безпечна й жива, то вона правильна);
- **зворотність** (сітка зворотна, якщо в графі є хоча б одна дуга, спрямована до початкового маркування  $M_0$  (див. рисунок 8);

- **пасивність переходів** (перехід  $t_i$  пасивний, якщо він не відповідає жодній дузі графа).

Сітка Петрі називається **k-обмеженою**, якщо в будь-якому стані в будь-якій позиції накопичується не більше k фішок.

Для розглянутого прикладу на рисунку 8 можна зробити висновок, що сітка правильна, оборотна й без пасивних переходів.

**Будь-яка система ПОВИННА подаватися ПРАВИЛЬНОЮ сіткою.**

Певні властивості сіток Петрі характеризують систему, що моделюється. Так, якщо система моделюється живою сіткою, то в системі відсутні стани, після яких подальші дії неможливі. Практичне значення та найбільш ясну інтерпретацію мають такі види сіток Петрі:

1) **марковані графи** – кожна позиція такої сітки Петрі повинна мати не більше одного вхідного й одного вихідного переходу;

2) **автоматні сітки** (А-сітки) – кожний перехід такої СП повинен мати не більше однієї вхідної й однієї вихідної позиції;

3) **сітка з вільним вибором** (СВВ) – це ординарна сітка Петрі, у якій кожна дуга з будь-якої позиції являє собою або єдину вихідну дугу, або єдину вхідну дугу для переходу.

## **2 Порядок виконання роботи**

### **2.1 Завдання до лабораторної роботи**

Дано описи дій, які виконуються в деякій системі. За ними потрібно побудувати сітку Петрі, визначити її властивості (живість, обмеженість і т.ін.). Варіанти завдань наведені нижче й визначаються за вказівкою викладача.

Програмним забезпеченням лабораторної роботи є програма **PetriNet v.1.3.**

### **Варіант 1**

Побудувати модель станів вхідного світлофора. Вихідний стан світлофора – горить заборонне показання (червоний). Умовами увімкнення дозвільного показання світлофора є задання маршруту та перевірка виконання всіх умов безпеки. Показання світлофора залежить від типу маршруту та марки хрестовин стрілок, через які встановлюється маршрут. Так, при установленні маршруту на головну приймально-відправну колію на світлофорі вмикається жовте показання, на бокову по пологих стрілках – зелене, жовте та зелена смуга, на бокову по не пологих стрілках - 2 жовтих. У разі невиконання умов безпеки руху через несправність апаратури і необхідності приймання поїзда, черговий по станції натискає кнопку запрошувального і доки він її тримає, на світлофорі буде горіти місячно-білий і червоний вогні. Вимкнення дозвільного показання світлофора відбувається при проходженні поїзда за світлофор або при скасуванні маршруту черговим по станції.

### **Варіант 2**

Побудувати модель станів вихідного світлофора. Вихідний стан світлофора – горить заборонне показання (червоний). Умовами увімкнення дозвільного показання світлофора є задання маршруту та вільний стан як мінімум першої ділянки віддалення. Показання світлофора залежить від стану двох ділянок віддалення: якщо вільний стан тільки першої ділянки, то на світлофорі вмикається жовтий, при вільному стані обох ділянок – зелений. Якщо перша ділянка віддалення зайнята рухомим складом, то на світлофорі залишається горіти червоний. Вмикання червоного вогню світлофора відбувається при вступі поїзда на маршрут.

### **Варіант 3**

Побудувати модель станів маневрового світлофора. Вихідний стан світлофора – горить заборонне показання. Умовами вмикання дозвільного показання світлофора є

задання маршруту та виконання всіх умов безпеки. Вимкнення дозвільного показання на світлофорі відбувається якщо: маневровий склад зайняв ділянку за світлофором і звільнив ділянку перед маршрутом або якщо на ділянці перед маршрутом залишилися вагони, то вимкнення дозвільного сигналу відбувається при звільненні ділянки за світлофором і занятті наступної.

#### **Варіант 4**

Побудувати модель алгоритму роботи схеми керування стрілочним електроприводом. Вихідний стан – стрілка знаходиться у плюсовому положенні. Переведення стрілки здійснюється після подачі команди та перевірки вільності стрілки від рухомого складу. При цьому, якщо приходить команда на переведення стрілки в те положення, в якому вона знаходиться, то схема не повинна реагувати на неї. Крім того, при помилковій зайнятості стрілки черговий по станції може перевести стрілку, натиснувши кнопку допоміжного переведення.

#### **Варіант 5**

Побудувати модель станів охоронного переїзду. Нормальний стан переїзду – відкритий. При вступі поїзда на ділянку попередження відбувається автоматичне вмикання звукової й світлової сигналізації, а також опускання автошлагбаумів. Відкриття переїзду відбувається або після проходження поїздом переїзду, або натисканням відповідної кнопки черговим по переїзду.

## **2.2 Опис програми PetriNet**

Файл програми:

PetriNet.exe (<http://loofsoft.narod.ru/Files/PetriNet/PetriNet.zip> або на навчальних ПК).

Програма має такі можливості: побудова сітки Петрі на екрані за допомогою миші, редагування сітки, створення й перегляд сітки Петрі (рисунок 11).

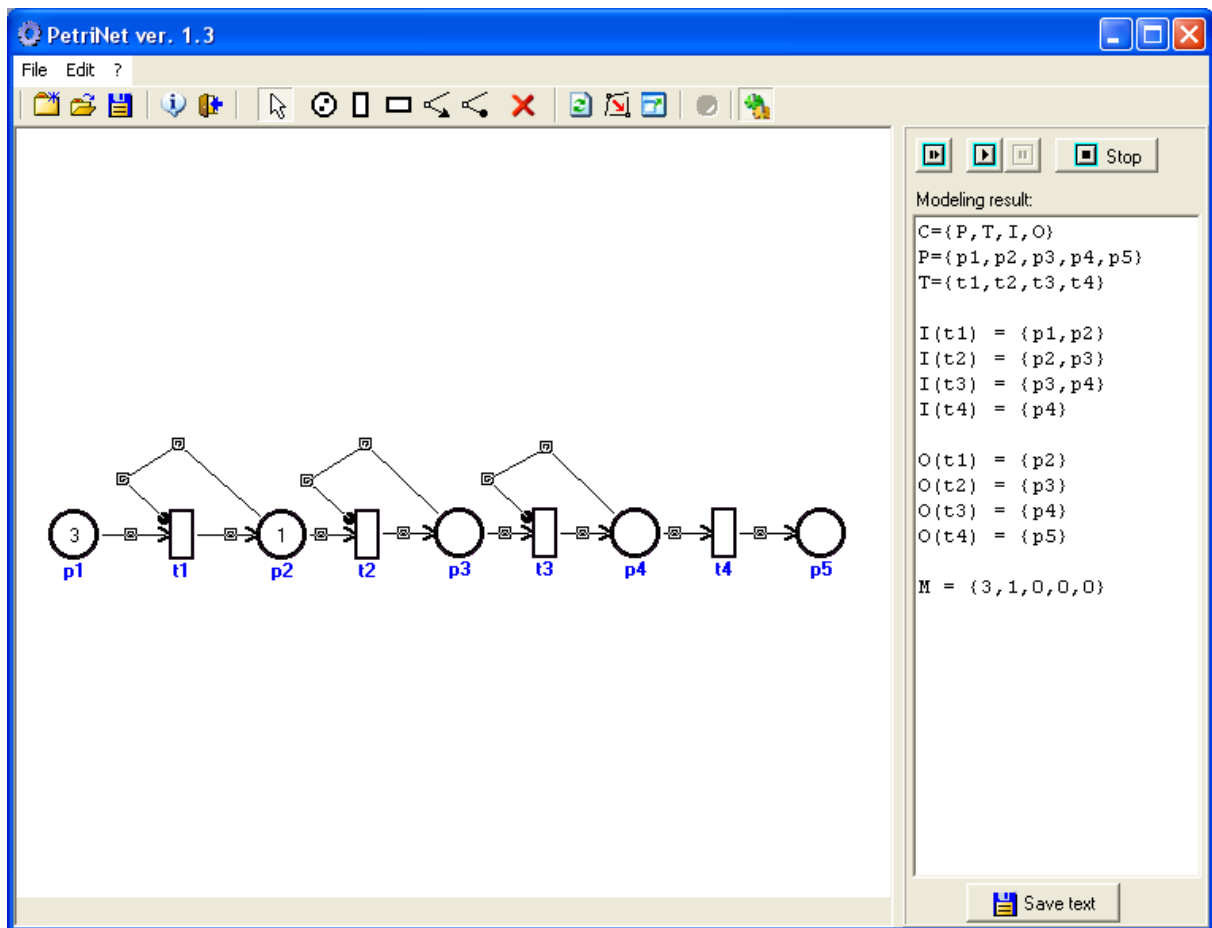





Рисунок 11 - Головне вікно програми PetriNet

На панелі інструментів програми є набір кнопок, згрупованих за функціональними ознаками. Призначення груп кнопок наведені нижче один за одним, зліва направо:


1) кнопки роботи з диском:


-  *Створити нову модель* – очищає поле для рисування або синтезу нової сітки;



-  *Відкрити* – завантаження сітки Петрі, заздалегідь збереженої на диску. При натисканні кнопки на екран виводиться діалог відкриття файла;



-  *Зберегти* – збереження поточної сітки у файл. Якщо сітка раніше не зберігалася в окремому файлі, то буде запитане ім'я нового файлу;


2) кнопки редагування сітки:

-  *Вибір об'єкта* – дозволяє вибрати який-небудь вузол сітки (позицію або перехід). Може бути використана для перетаскування позицій або переходів по полю з метою кращого розташування;


-  *Позиція* – при натиснутій кнопці наступний натиск лівою кнопкою миші на поле породить нову позицію. При натисканні правою кнопкою на позиції відкривається вікно, у якому потрібно задати кількість маркерів для обраної позиції;

- *Переходи* (вертикальні  й горизонтальні ) – аналогічно попередній, але натискання породжує новий перехід, розміщений відповідно;

- *Дуги* (спрямовані  та інгібіторні ) - у даному режимі здійснюється з'єднання позицій і переходів. Для того, щоб з'єднати два об'єкти між собою, необхідно спочатку вказати об'єкт, із якого почнеться з'єднання, клацнувши на ньому лівою кнопкою миші. Лінія може бути ламаною. Установлення вузла лінії здійснюється натисканням лівої кнопки миші на робочому полі. Для завершення з'єднання необхідно, так само як і спочатку, клацнути лівою кнопкою миші над одним з об'єктів. При цьому варто врахувати, що з'єднання можна встановити тільки між протилежними об'єктами – позицією й переходом. Для зміни типу дуги або установлення необхідної кількості дуг необхідно натиснути правою кнопкою миші над дугою. У вікні, що з'явилося, потрібно задати параметри дуги;


-  – видалення якого-небудь вузла (вузлів) сітки. При видаленні вузла разом з ним видаляються й усі дуги, що з ним пов'язані;

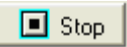
3) кнопки запуску процесу моделювання:

-  - при натиснутій кнопці відкривається вікно запуску моделі:

-  - покрокове виконання моделі;

-  - запуск виконання моделі;

-  - пауза;

-  - зупинка моделювання й закриття вікна запуску моделювання.

### 3 Вимоги до оформлення звіту з лабораторної роботи



Звіт з лабораторної роботи повинен містити:

- титульний аркуш;
- мету роботи;
- завдання;
- роздруковані на комп'ютері креслення;
- результати, висновки.

Оформляється звіт на аркушах формату А4 з однієї сторони. Допускається виконання на аркушах іншого формату.

### **Контрольні запитання**

- 1 Дайте визначення сітки Петрі.
- 2 Які є види вузлів сітки Петрі та за яким принципом вони з'єднуються дугами?
- 3 Що таке маркування сітки й що воно символізує?
- 4 Як будується граф?
- 5 Що символізують вузли сітки Петрі, а що вузли графа?
- 6 За яким принципом спрацьовують переходи?
- 7 Які властивості системи визначаються по сітках Петрі?
- 8 Якщо сітка Петрі жива (обмежена, правильна), що можна сказати про систему, яка моделюється?
- 9 Чи повинна система моделюватися зворотною сіткою Петрі?
- 10 Чи повинна система моделюватися обмеженою сіткою Петрі?
- 12 Чим описується стан системи, що моделюється?
- 11 Якщо в якому-небудь стані системи можлива поява декількох маркерів в одній позиції, то що це означає?

### **Список літератури**

- 1 Питерсон Дж. Теория сетей Петри и моделирование систем / Пер. с англ. - М.: Мир, 1984. - 264 с., ил.
- 2 Тадао Мурата. Сети Петри: Свойства, анализ, приложения // ТИИЭР. – 1989. – Т.77, № 4. – С. 41-85.

