

## ПЕТРИ-ОБ'ЄКТНА МОДЕЛЬ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ ТРАНСПОРТНИМ РУХОМ

В статье рассматривается имитационное моделирование системы управления транспортным движением, основывающееся на петри-объектной технологии. Динамика петри-объектов системы описывается стохастической временной сетью петри с конфликтными и многоканальными переходами, что позволяет воссоздать различные виды управления транспортным движением.

The article considers the simulation of traffic control's system based on Petri-object modeling. The dynamics of Petri-objects of the system are described by stochastic timed Petri net with conflict and multichannel transitions that allows to recreating various types of traffic control.

### Вступ

Розрахунок параметрів діючих в Україні систем управління дорожнім рухом здійснюється виключно на підставі забезпечення безпеки руху та не передбачає швидке реагування на змінування потоку транспорту [1]. Розвиток сучасних технологій відеоспостереження дорожнього руху та технічних засобів регулювання дорожнім рухом відкриває можливість розвитку технологій управління дорожнім рухом на перехресті, що ґрунтуються на поточних даних про показники дорожнього руху. Такі технічні засоби, як датчики дорожнього руху, керовані дорожні знаки та світлофорні об'єкти, що управляються центральним пунктом, складають достатню базу для створення інформаційно-аналітичної системи управління транспортним рухом на перехресті, яка б враховувала поточний стан дорожнього руху та здійснювала оперативне реагування на погіршення умов дорожнього руху.

Існуючі моделі транспортного руху не враховують встановлених засобів регулювання руху у місцях перетину доріг [2]. Важливість розробки деталізованої імітаційної моделі дорожнього руху підкреслюється в роботі [3]. В [4] запропонована формальна модель нерегульованого перехрестя. В [5] розглядається алгоритм відтворення руху авто по дорозі з урахуванням маневрів обгону та зміни смуги руху.

Складність системи обумовлює використання підходу, який поєднує в собі об'єктно-орієнтовану технологію та технологію імітаційного моделювання мережами Петрі, і отримав назву Петрі-об'єктного моделювання [6].

### Постановка задачі моделювання

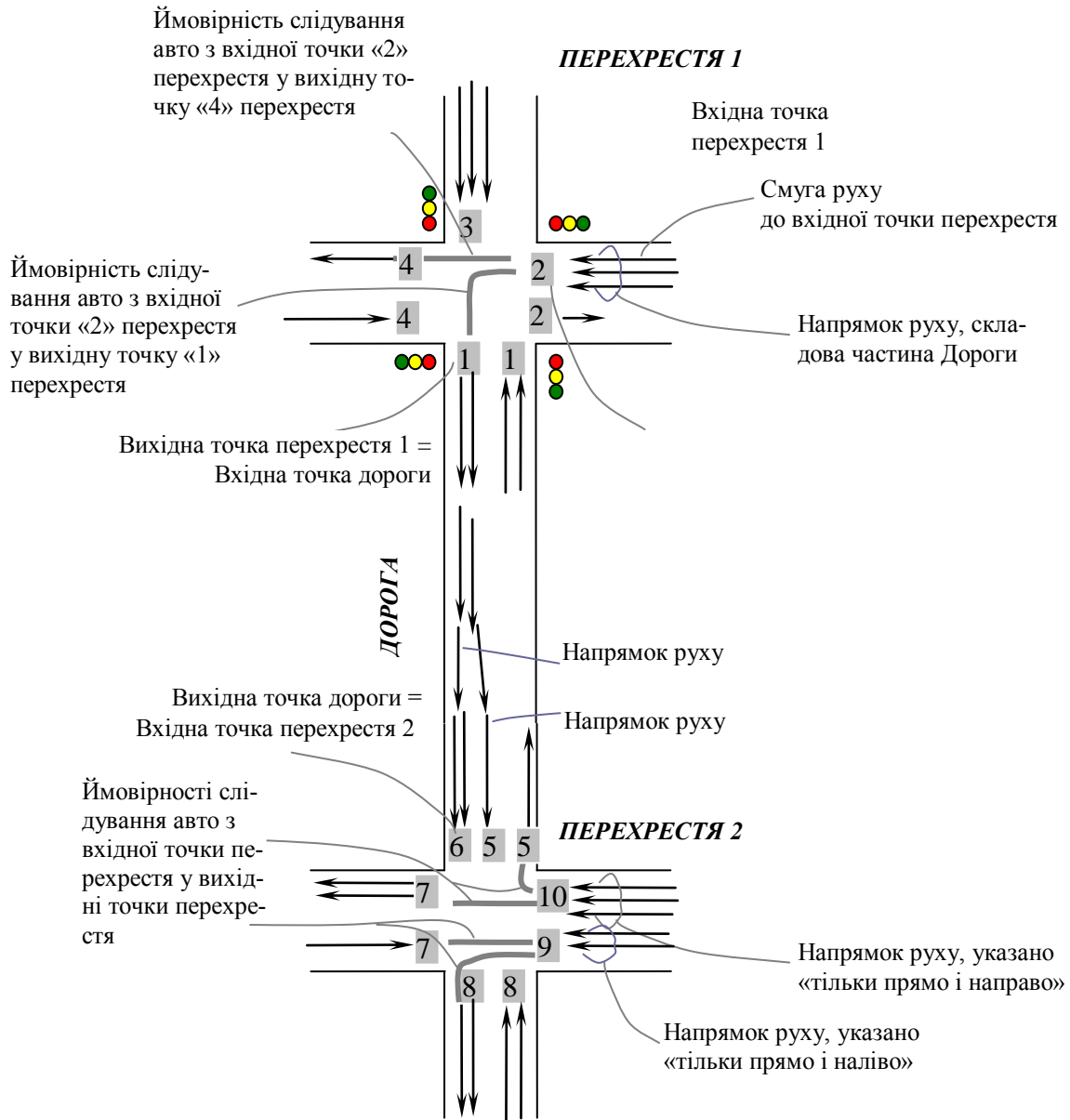
Модель системи управління транспортним рухом виходить з таких припущень: 1) відомі середні значення інтенсивностей надходження авто у визначених вхідних точках транспортної системи; 2) відомі значення середньої швидкості руху та довжина шляху між двома сусідніми перехрестями; 3) для кожного перехрестя відома кількість вхідних та вихідних напрямків руху, кількість смуг руху у кожному напрямку та ймовірності слідування авто, що надійшло у визначеному вхідному напрямку, до кожного з вихідних напрямків перехрестя; 4) для кожного перехрестя відомі засоби регулювання, які можуть бути використані на даному перехресті з огляду на безпеку руху і встановлення яких досліджується; 5) для перехрестя, регульованого світлофорами, відомі інтервали горіння жовтого сигналу світлофора, розрахованого з урахуванням структури перехрестя та вимог безпеки руху автомобілів, які в'їхали на перехрестя під час горіння зеленого сигналу світлофору.

Петрі-об'єктна модель системи управління транспортним рухом, яка розроблена, не враховує такі фактори: погодні умови; стан дорожнього покриття; рух пішоходів; рух автомобілів по відношенню один до одного; індивідуальні характеристики учасників автомобільного руху.

Транспортна система міста розглядається як сукупність перехресть, з'єднаних між собою дорогами (рис.1). Авто, що під'їжджають до перехрестя, рухаються по смугах руху до вхідних точок перехрестя. Переїзд перехрестя автомобілем розглядається як подія, при якій авто потрапляє з вхідної точки перехрестя до вихідної точки перехрестя. Кожна вхідна точка перехрестя характеризується однаковими правилами руху, які задаються розміткою проїзної частини, встановленими дорожніми знаками та

світлофорами. Авто, що знаходиться у вхідній точці перехрестя з заданою ймовірністю слідування прямує до вихідної точки перехрестя.. Ця ймовірність дорівнює нулю, якщо рух заборонений. Автомобіль, що потрапив у вихідну точку перехрестя, слідує по дорозі до наступного перехрестя, якщо є дорога, або вважається таким, що залишив транспортну систему. Якщо

дорога переповнена (має місце транспортний затор), то авто не може потрапити у вхідну точку дороги через відсутність місця на ній. Потрапивши у вихідну точку дороги, авто опиняється у вхідній точці іншого перехрестя і т.д. доки авто не залишить транспортну систему або закінчився час моделювання.



**Рис. 1. Схема фрагмента транспортної системи, що включає два перехрестя і дорогу, що їх з'єднує**

Технічними засобами регулювання на перехресті є дорожні знаки, які визначають перевагу того чи іншого напрямку руху, та світлофори, які сигналізують про надання дозволу на рух транспорту в тому чи іншому напрямку руху перехрестя. Алгоритм управління світлофорними об'єктами технічно реалізується дорож-

німи контролерами, що переключають сигнали світлофорів циклічно по заданій програмі.

Якість системи управління транспортним рухом оцінюється показниками, що вимірюють накопичення автомобілів у місцях перетину доріг. В конспекті [1] використовується середній час очікування транспортної одиниці. Але така величина не завжди правильно характеризує

стан дорожнього руху. Нехай, наприклад, на перехресті в одних напрямках спостерігається значне очікування в чергах, а в інших – спостерігається нульове. Середнє значення очікування, за рахунок нульових значень, приймає невелике значення. Чи може таке управління вважатись якісним? Очевидно, що обмеживши рух транспорту в тих напрямках, на яких спостерігається нульове значення, отримуємо додатковий резерв для зменшення очікування у більш завантажених напрямках. Отже, середнє очікування, а також середня кількість авто у чергах не можуть представляти оцінку якості управління.

В [7] запропоновано для оцінки якості управління транспортним рухом використовувати максимальну кількість автомобілів, які знаходяться в очікуванні:

$$z = \max(L_{11}, L_{12}, L_{13}, \dots, L_{kn}) \rightarrow \min, \quad (1)$$

де  $L_{ji}$  – середня кількість машин, що очікують переїзду на  $j$ -ому перехресті в  $i$ -ому напрямку.

У правилах дорожнього руху вказуються дорожні перехрестя кількох типів: Т-подібне трьохстороннє, хрестоподібне чотирьох-стороннє, Х-подібне чотирьохстороннє, У-подібне трьохстороннє, багатостороннє перехрестя, площа, кільце. В [7] показано, що з хрестоподібних перехресть можна конструювати усі інші складні перехрестя, якщо розглядати напрямки руху як відкриті, так і закриті. В [8] розроблена технологія відшукування оптимальних параметрів управління дорожнього руху через регульовані перехрестя міста, що базується на імітаційній моделі та еволюційних методах оптимізації.

### Об'єктно-орієнтований аналіз транспортної системи

Транспортний рух у місцях перетину доріг здійснюється за правилами дорожнього руху (розділ 16 правил дорожнього руху) в залежності від встановлених на перехресті засобів регулювання: авто здійснює проїзд регульованого перехрестя, якщо встановлений світлофорний об'єкт, здійснює проїзд нерегульованого перехрестя нерівнозначних доріг, якщо встановлені знаки дорожнього руху „Головна дорога” та „Уступи дорогу”, які визначають перевагу напрямку руху, та проїзд нерегульованого перехрестя рівнозначних доріг, якщо не визначена перевага будь-якого з напрямків руху.

Функціонування світлофорного об'єкта задається послідовністю фаз. Кожна фаза складається з основного та проміжного тактів. Під час основного такту здійснюється рух транспорту на перехресті на зелений сигнал світлофора. Проміжний такт необхідний для забезпечення безпеки руху автомобілів та пішоходів і розраховується виключно з умов безпеки за формулами, які наведені в [1]. Сигнали світлофорів перемикаються дорожніми контролерами циклічно за заданою програмою. У табл. 1 представлена схема переключень сигналів  $N$ -фазного світлофорного циклу, що задає сигнали для  $M$  світлофорів відповідно до  $M$  вхідних точок транспортного руху. Такий підхід достатньо гнучкий, щоб відтворити усі можливі комбінації світлофорних сигналів. Якщо, наприклад, встановлений світлофор зі стрілкою, то потрібно створити додаткову вхідну точку для авто, які слідує у напрямку руху стрілки, і додати відповідний рядок у таблицю переключень сигналів світлофорів.

Табл. 1.  $N$ -фазний світлофорний цикл

Фаза/ Вхідна точка перехрестя	Фаза 1		Фаза 2		...		Фаза $N$	
	Основний такт	Проміжний такт	Основний такт	Проміжний такт	...	...	Основний такт	Проміжний такт
1	зелений	жовтий	червоний	жовтий	...	...	червоний	червоний і жовтий
2	зелений	жовтий	червоний	жовтий	...	...	червоний	жовтий
3	червоний	жовтий	зелений	жовтий	...	...	зелений	жовтий
4	червоний	жовтий	зелений	жовтий	...	...	зелений	жовтий
...	...	...	...	...	...	...	...	...
$M$	червоний	червоний і жовтий	зелений	зелений ми- гаючий			жовтий	жовтий мигаючий
Тривалість	$t_1$	$t_2$	$t_3$	$t_3$			$t_{2N-1}$	$t_{2N}$

Таким чином, управління світлофорним об'єктом характеризують такі величини: тривалість світлофорного циклу, кількість фаз у світлофорному циклі, кількість світлофорів, сигна-

ли світлофорів відповідно до кожного такту і кожної фази світлофорного циклу.

Якщо світлофорний об'єкт на перехресті не встановлений, то регулювання рухом може

здійснюватись знаками дорожнього руху „Головна дорога” та „Уступи дорогу”. Встановлення знаку „Головна дорога” означає, що указаний напрямок руху має перевагу перед іншими напрямками руху перехрестя. Встановлення знаку „Уступи дорогу”, навпаки, означає, що указаний напрямок руху не має ніяких переваг перед іншими напрямками руху перехрестя.

Якщо на перехресті не встановлені світлофорний об’єкт чи знаки дорожнього руху, що указують на перевагу тих чи інших напрямків руху, то це перехрестя рівнозначних доріг. Регулювання рухом на такому перехресті здійснюється за правилом дорожнього руху (п. 16.12 Правил дорожнього руху), що транспорт, який наближається праворуч, має перевагу. Будемо називати таке правило „Пропустити авто праворуч”.

Регулювання транспортного руху за правилом „Пропустити авто праворуч” та регулювання дорожніми знаками мають спільну рису – вони встановлюють перевагу того чи іншого напрямку руху автомобілів перед іншими. Але дорожні знаки „Головна дорога” та „Уступи дорогу” встановлюють перевагу напрямку незалежно від поточного стану транспортного руху на перехресті, тобто безумовну перевагу напрямку руху. А правило „Пропустити авто праворуч” встановлює перевагу напрямку в залежності від наявності транспорту у напрямку справа, тобто в залежності від поточного стану транспортного руху на перехресті.

Регулювання транспортним рухом на перехресті світлофорним об’єктом та дорожніми знаками „Головна дорога” та „Уступи дорогу” теж мають спільну рису – вони встановлюють безумовну перевагу руху. Але дорожні знаки встановлюють перевагу руху тільки для транспорту, що рухається. Наприклад, якщо на головній дорозі не має транспорту, що рухається, то головна дорога втрачає свою перевагу і транспорт, який рухається в інших напрямках, набуває дозвіл для здійснення руху. А регулювання світлофорним об’єктом встановлює перевагу того чи іншого напрямку руху незалежно від наявності транспорту на ньому. Дійсно, червоний сигнал світлофора забороняє рух транспорту, навіть, якщо у напрямку з зеленим сигналом світлофора не рухається транспорт.

З порівняння засобів регулювання слідує, що світлофорне регулювання та регулювання іншими засобами суттєво відрізняються: перше не залежить від наявності автомобілів у тому чи іншому напрямку перехрестя. Ця різниця обу-

мовлює представлення різних видів регулювання в моделі різними об’єктами.

Структура моделі системи управління транспортним рухом представляється такими об’єктами: Автомобіль, Дорога, Перехрестя, Світлофорне регулювання, Регулювання (дорожні знаки). Стан транспортної системи визначається кількістю транспортних одиниць, що накопичились у місцях перетину доріг, тобто на перехрестях. Об’єкт Перехрестя складається з вхідних та вихідних точок транспортного руху і визначає, з яких вхідних точок можна потрапити у які вихідні точки. Дорога – це ділянка транспортного руху між двома сусідніми перехрестями. Об’єкт Дорога містить множину напрямків руху. Початок напрямку руху знаходиться у вихідній точці одного перехрестя, а кінець – у вхідній точці іншого перехрестя.

Об’єкт Автомобіль представляє середньостатистичний об’єкт транспортного руху, який описується параметрами такими, як номер автомобіля, тип автомобіля, поточне розташування. Середня швидкість руху середньостатистичного автомобіля – це властивість дороги, на якій знаходиться автомобіль. А ймовірності слідування середньостатистичного автомобіля уздовж різних напрямків перехрестя – це властивість перехрестя.

Об’єкти Дорога, Перехрестя, Автомобіль є статичними і відтворюють тільки структурні властивості елементів транспортного руху. Автомобіль, хоч і змінює своє місце розташування в часі, але не містить власного опису правил, за якими змінюється його розташування. Змінювання місця розташування авто залежить від структури та засобів регулювання перехрестя, що переїжджає авто, або від властивостей дороги, уздовж якої їде. Тому автомобіль розглядається як статичний об’єкт.

Динамічними об’єктами моделі є Вхідна точка перехрестя, Вихідна точка перехрестя, Світлофорне регулювання, Регулювання (дорожні знаки), Генератор автомобілів. Динамічні об’єкти представляються Петрі-об’єктами і створюються з використанням конструктору класу Петрі-об’єкт (PetriSim), що передбачає обов’язкову передачу мережі Петрі, яка представляє динаміку функціонування об’єктів [2] у відповідне поле об’єкта.

Діаграма класів Петрі-об’єктної моделі системи представлена на рис. 2. Класи Вхідна точка перехрестя (CrossPointIn), Вихідна точка перехрестя (CrossPointOut), Світлофорне регулювання (TrafficLight), Регулювання

(TrafficControl), Генератор авто (GeneratorCars) наслідують клас Петрі-імітатор (PetriSim). Класи Вхідна точка перехрестя (CrossPointIn) та Вихідна точка перехрестя (CrossPointOut) слугують для створення класів Точка перехрестя (CrossPoint) та Напрямок руху (Direction). Класи Точка перехрестя (CrossPoint) та Напрямок руху (Direction), в свою чергу, слугують для

створення класів Перехрестя (CrossRoad) та Дорога (Road). Клас Перехрестя (CrossRoad) передбачає використання об'єктів класу Світлофорне регулювання (TrafficLight) для створення своїх екземплярів. А клас Регулювання (TrafficControl) використовує клас Перехрестя (CrossRoad) для встановлення переваги того чи іншого напрямку руху.

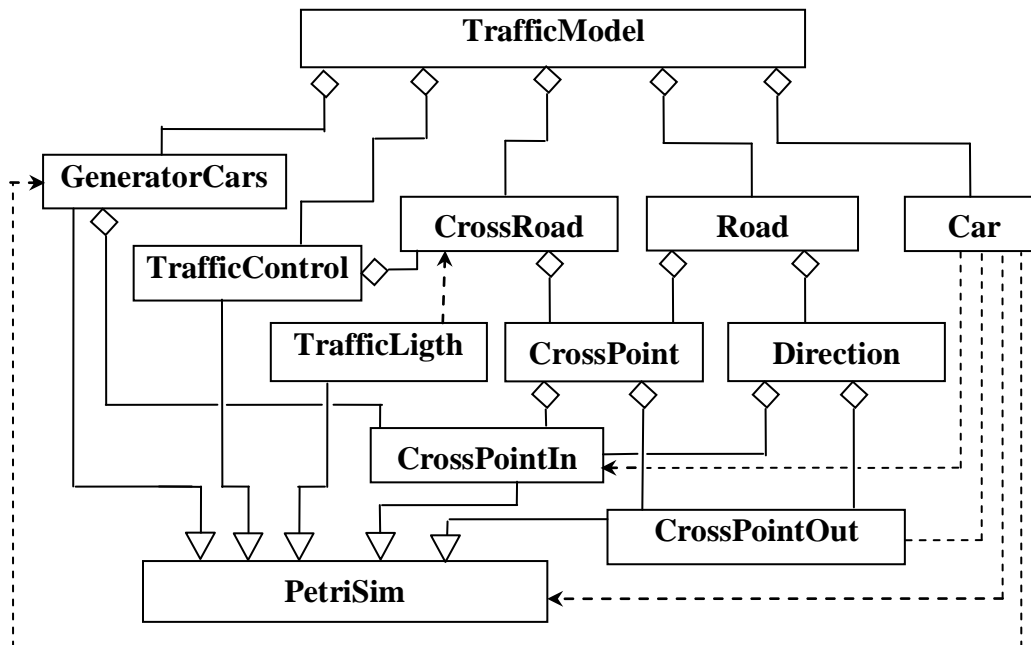


Рис. 2. Діаграма класів Петрі-об'єктної моделі системи управління транспортним

регулювання руху з використанням дорожніх знаків „Головна дорога” та „Уступи дорогу” або правила „Пропустити авто праворуч” спирається на поточний стан автомобільного руху на перехресті. Звідси слідує, що опис класу Регулювання (TrafficControl) містить поле, що указує на екземпляр класу Перехрестя (CrossRoad), для якого створюється регулювання.

Світлофорне регулювання містить динаміку, що визначає переключення сигналів світлофора незалежно від стану автомобільного руху. Тому клас Світлофорне регулювання (TrafficLight) створюється незалежно від класу Перехрестя (CrossRoad). Але клас Перехрестя (CrossRoad) залежить від класу Світлофорне регулювання (TrafficLight), оскільки автомобільний рух на перехресті, керованому світлофорним об'єктом, має враховувати поточні сигнали світлофорів у всіх своїх напрямках.

Клас Автомобіль (Car) використовується для формування списку автомобілів, що являються учасниками транспортного руху, основним класом моделі - класом Транспортна Модель (TrafficModel). Інформація про автомобіль використовується методами Петрі-об'єктів Вхідна точка перехрестя (CrossPointIn), Вихідна точка пе-

рехрестя (CrossPointOut) та Генератор авто (GeneratorCars) для визначення та змінювання розташування автомобіля.

### Побудова Петрі-об'єктної моделі системи управління транспортним рухом

Складемо мережі Петрі-об'єктів моделі транспортного руху, керуючись технологією формалізованого представлення моделі системи стохастичною мережею Петрі з часовими затримками, викладеною в [8].

Мережа Петрі-об'єкта Генератор автомобілів представлена на рис. 3 і складається з однієї події „Генерувати авто”, що відбувається з інтервалом часу, заданим випадковим числом.

Мережа Петрі-об'єкта Вихідна точка перехрестя представлена на рис. 4 і враховує час переїзду, який залежить від довжини дороги та швидкості руху середньостатистичного автомобіля, та максимальну кількість автомобілів, що одночасно можуть здійснювати переїзд. Максимальна кількість автомобілів визначається кількістю смуг руху та довжиною середньостатистичного автомобіля.

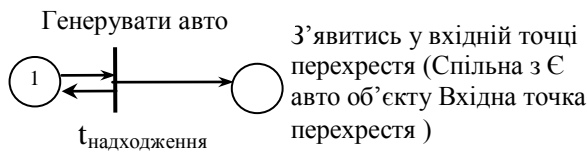


Рис. 3. Мережа Петрі-об'єкта Генератор автомобілів

Мережа Петрі-об'єкта Вхідна точка перехрестя визначається переліком наступних подій: з'явилося авто у вхідній точці; авто має дозвіл на переїзд перехрестя; авто слідує до вихідної точки  $j$  перехрестя  $j=1, \dots, M$ ; переїзд до вихідної точки  $j$  перехрестя,  $j=1, \dots, M$  (рис. 5).

Подія „З'явилося авто у вхідній точці” слугує для змінювання поточного стану об'єкту Вхідна точка перехрестя, що запам'ятовується у позиціях „Загальна кількість авто у вхідній точці перехрестя” та „Максимальна кількість авто у вхідній точці перехрестя”. Значення маркування у цих позиціях використовується об'єк-

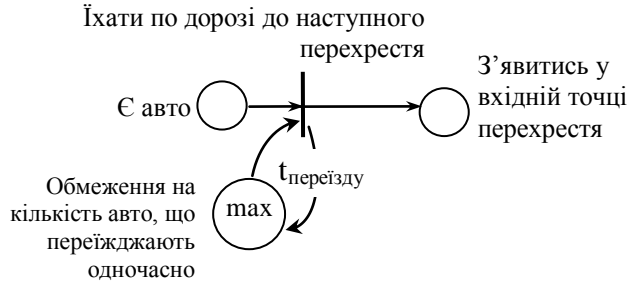


Рис. 4. Мережа Петрі-об'єкта Вихідна точка перехрестя

том Регулювання. Подія „Авто має дозвіл на переїзд перехрестя” здійснюється за умови, що є автомобіль у вхідній точці перехрестя і є дозвіл на здійснення руху. Якщо перехрестя оснащено світлофорним об'єктом, то позиція, що відповідає за надання дозволу на рух, є спільною з об'єктом Світлофорне регулювання і маркер в позиції з'являється у відповідності до сигналів світлофорного об'єкта. Якщо перехрестя нерегульоване світлофорами, то маркер у позиції „Дозвіл на переїзд” з'являється в результаті функціонування об'єкту Регулювання.

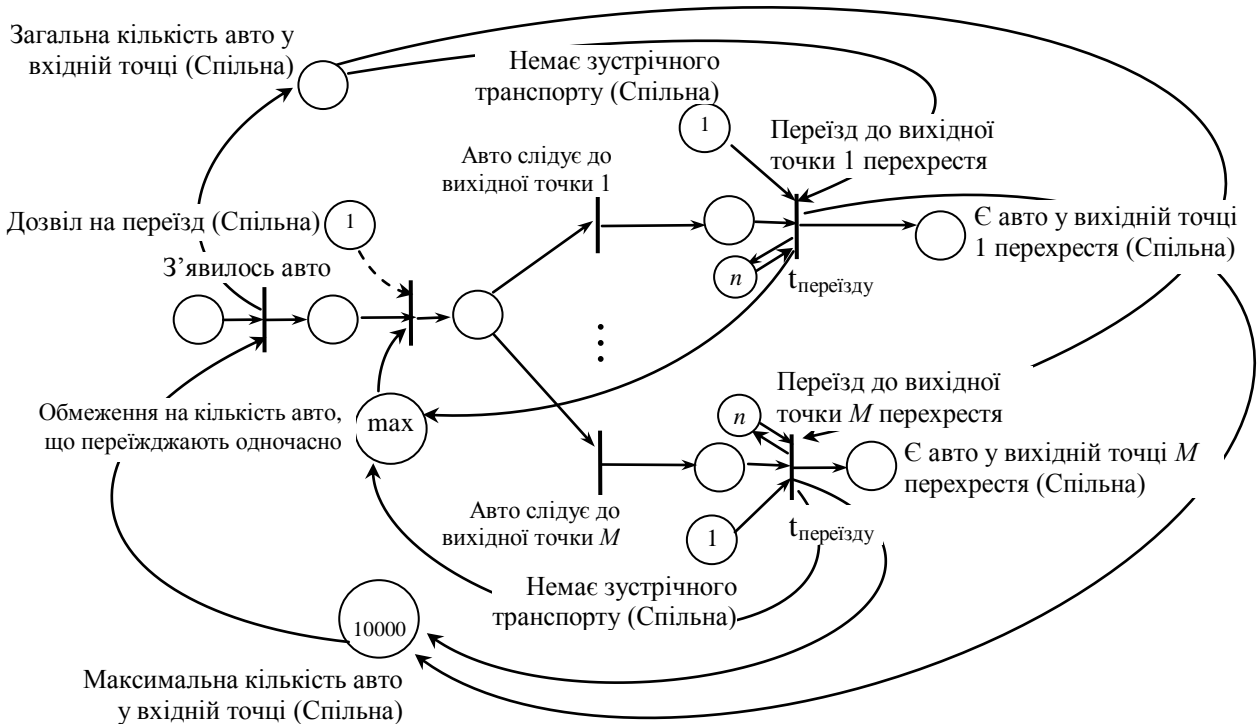


Рис. 5. Мережа Петрі-об'єкта Вхідна точка перехрестя

Авто, яке має дозвіл на переїзд перехрестя, відправляється у відповідності до маршруту свого слідування в одну з вихідних точок перехрестя. Переходи „Авто слідує до вихідної точки  $j$  перехрестя” є конфліктними. Конфлікт розв'язується випадковим вибором переходу у

відповідності до заданих ймовірностей запуску переходів.

Траєкторії руху авто, які отримали дозвіл на переїзд з різних вихідних точок перехрестя, можуть перетинатись. Позиція „Немає зустрічного транспорту”, яка є спільною для відповідних об'єктів Вхідні точки перехрестя, надає до-

звіл на переїзд одному з авто, що рухаються по зустрічних траєкторіях руху.

Переходи „Переїзд до вихідної точки  $j$  перехрестя” мають часову затримку, рівну тривалості переїзду перехрестя у відповідному напрямку руху.

Мережа Петрі-об'єкта Світлофорне регулювання для випадку  $N$ -фазного світлофорного об'єкта представлена на рис. 6. Чергування фаз (див. табл.1) утворює коло подій з відповідними переключеннями сигналів світлофорів. Тривалості фаз задаються при конструюванні ме-

режі Петрі. Маркери в позиціях, які сигналізують про завершення того чи іншого такту, відразу зникають, оскільки являються умовою запуску наступного переходу кола подій. Тому створені позиції „Є зелене світло для авто у вхідних точках  $i, j, \dots$ ”, маркери в яких з'являються на початку основного такту фази і зникають на початку проміжного такту фази. Аналогічно можуть бути створені позиції для будь-якого сигналу світлофору, якщо вони використовуються іншими Петрі-об'єктами.

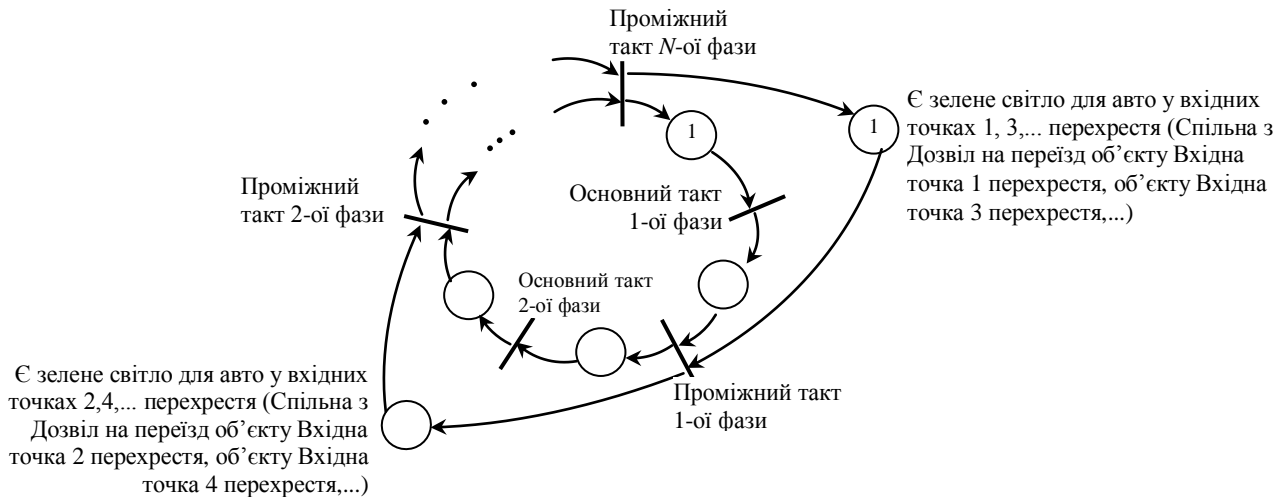


Рис. 6. Мережа Петрі-об'єкта Світлофорне регулювання

Регулювання за допомогою знаків дорожнього руху чи правила «Пропустити авто праворуч» спирається на інформацію про наявність авто у вхідних точках перехрестя, що надходить з позицій «Загальна кількість авто у напрямку  $j$ », «Максимальна кількість авто у напрямку  $j$ ». Позиція «Загальна кількість авто у напрямку  $j$ » використовується для з'ясування, чи є авто у  $j$ -напрямку руху, а позиція «Максимальна кількість авто у напрямку  $j$ » – для з'ясування нульової кількості авто у  $j$ -напрямку руху на перехресті. Рух у головних напрямках перехрестя відновлюється за умови, що з'являється хоч одне авто в будь-якому з головних напрямків руху. А дозвіл на рух у неголовних напрямках перехрестя з'являється за умови, що немає жодного авто для руху у будь-якому з головних напрямків руху. На рис. 7 наведений приклад мережі Петрі-об'єкта Регулювання для випадку, коли дорожні знаки «Головна дорога» встановлені у напрямках 1 і 3.

Регулювання знаками дорожнього руху «Уступи дорогу» еквівалентно встановленню знаків «Головна дорога» для всіх інших напрямків перехрестя, для яких не встановлені знаки «Уступи дорогу».

Регулювання за правилом «Пропустити авто праворуч» використовується для перехресть, на яких не встановлені дорожні знаки, що визначають перевагу того чи іншого напрямку руху перехрестя, і передбачає, що напрямок руху праворуч від авто, яке надходить до перехрестя, має більшу перевагу за напрямком руху, в якому надходить авто. При моделюванні цього способу регулювання важливо враховувати усі умови, при яких дозвіл на рух виникає, та умови, при яких дозвіл на рух зникає. Авто, яке надходить, спричиняє подію «Надати дозвіл на рух у напрямку  $j$ » тільки, якщо у цьому напрямку наявні авто, а у напрямку праворуч спостерігається нульова кількість авто і, водночас, наявність дозволу на здійснення руху. Дійсно, якщо не має авто у напрямку руху, то не потрібно надавати дозвіл на рух. Одночасне виконання умов «спостерігається нульова кількість авто» та «спостерігається наявність дозволу на здійснення руху у напрямку праворуч» означає, що в поточний момент часу спостерігається припинення руху авто у напрямку праворуч. Виконання події «Надати дозвіл на рух у напрямку  $j$ » спричиняє виконання умови «є дозвіл на рух

у напрямку  $j$ » та виконання умови «не має дозволу на рух у напрямку ліворуч».

Іншими словами, дозвіл на рух у напрямку  $j$  з'являється, якщо у напрямку праворуч рух припиняється, а зникає, коли припиняється рух авто у напрямку  $j$  і надійшло авто у напрямку ліворуч. Таким чином, отримуємо мережу Петрі-об'єкта Регулювання, приклад якої у випадку руху за правилом «Пропустити авто праворуч» на чотирьохсторонньому хрестоподібному перехресті наведений на рис. 8.

Конструювання мережі Петрі-об'єкта Регулювання здійснюється для визначеного об'єкта Перехрестя і має з ним спільні позиції „Загальна кількість авто у напрямку  $j$ ”, „Максимальна

кількість авто у напрямку  $j$ » та „Є дозвіл на рух у напрямку  $j$ ».

Зв'язки між Петрі-об'єктами Вхідна точка перехрестя, Вихідна точка перехрестя, Світлофор, Генератор автомобілів представлені на рис. 9 і формуються виключно за допомогою спільних позицій.

Модель системи управління транспортним рухом реалізована засобами мови програмування Java (J2SE) та інтегрованого середовища Netbeans IDE 6.5. За результатами імітаційного моделювання спостерігається кількість авто, що очікують переїзду в кожному з об'єктів Вхідна точка перехрестя та розраховується критерій якості параметрів управління (1).

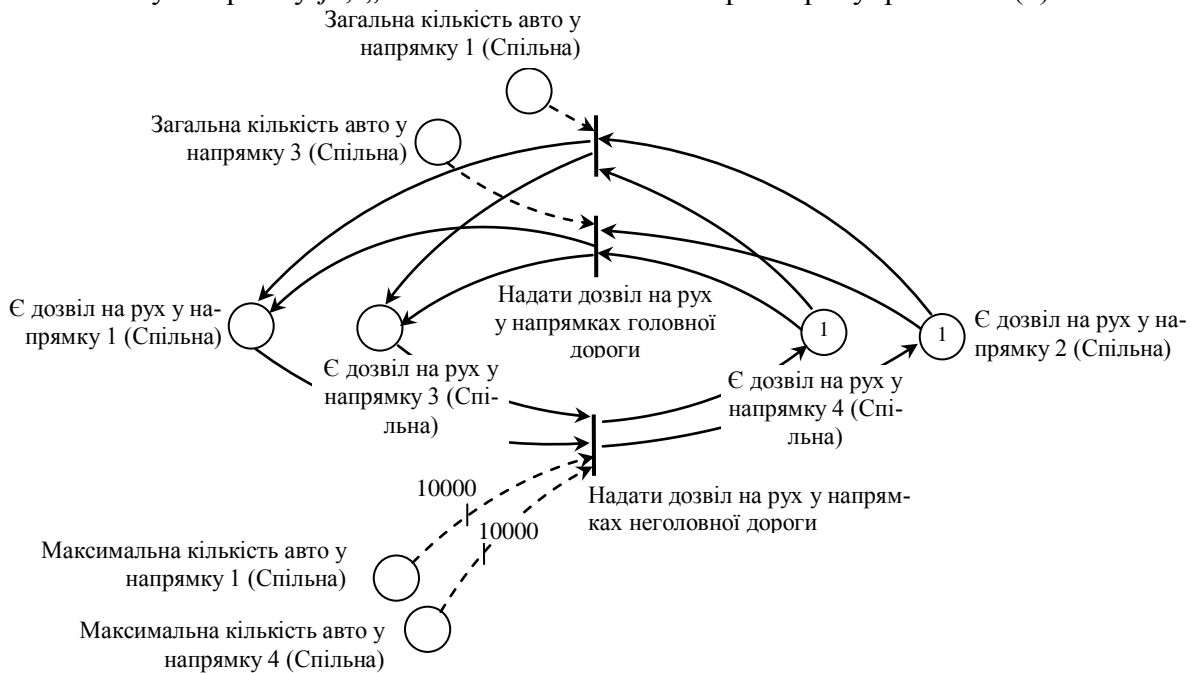
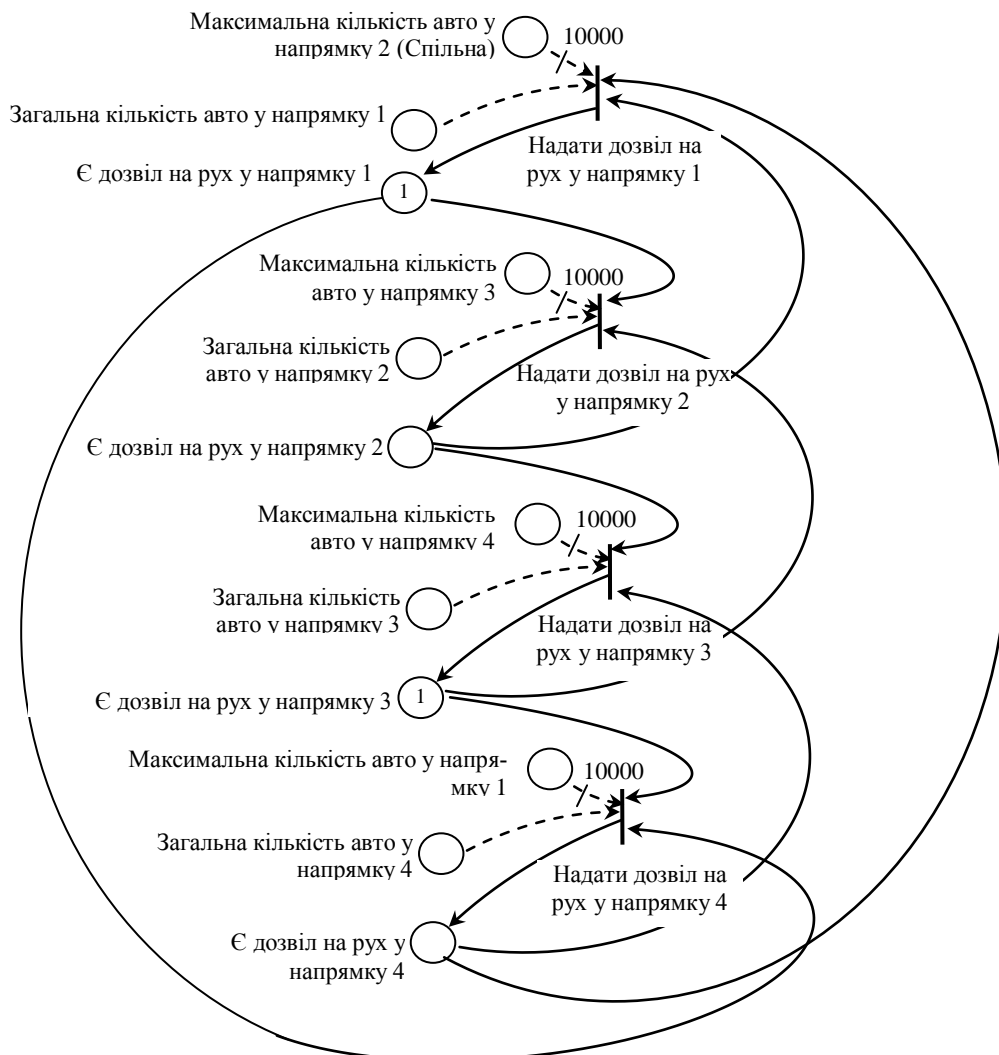


Рис. 7. Мережа Петрі-об'єкта Регулювання за знаками дорожнього руху «Головна дорога»





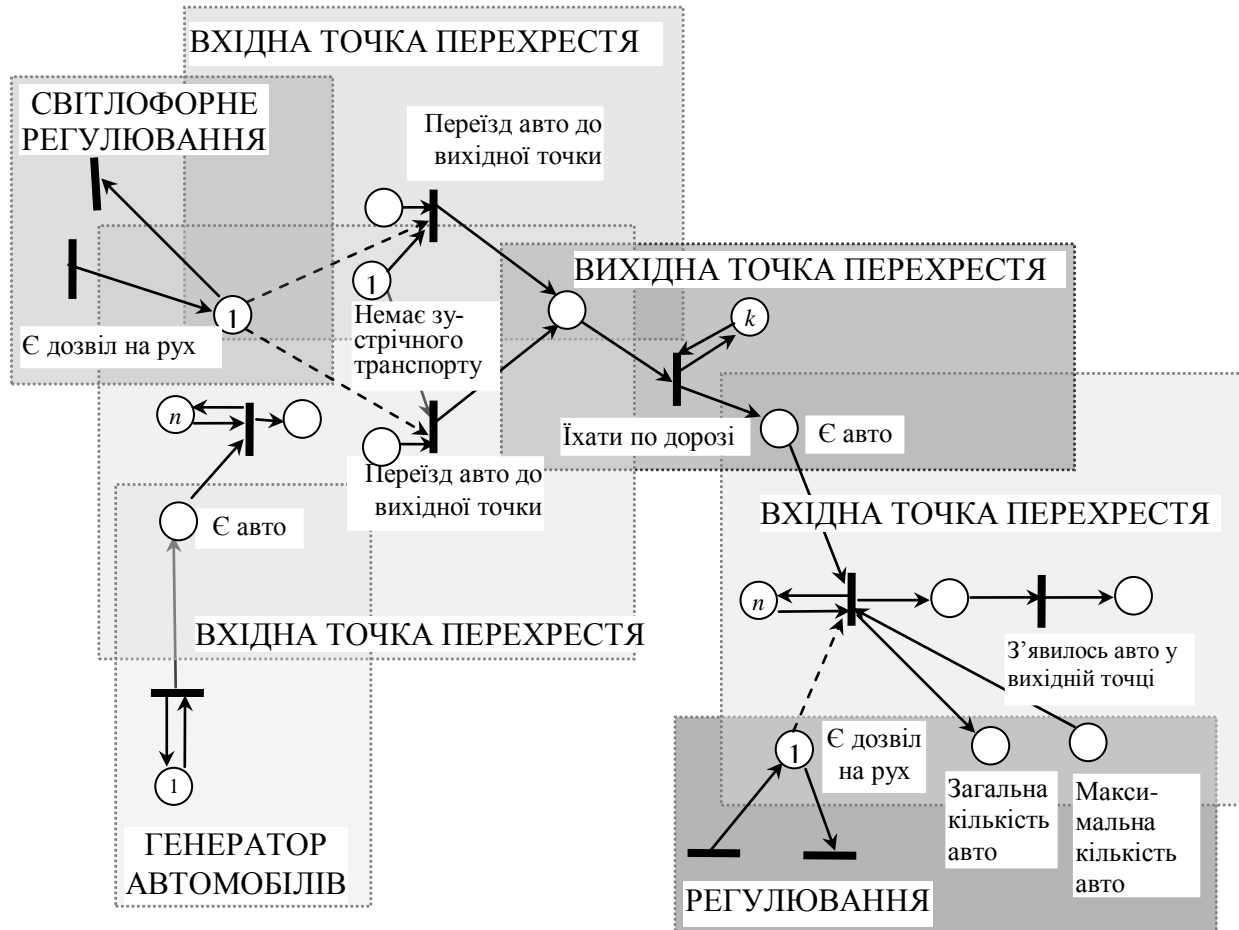
**Рис. 8. Мережа Петрі-об'єкта Регулювання у випадку регулювання за правилом «Пропустити авто праворуч»**

### Висновки

Застосування Петрі-об'єктної технології моделювання до моделі системи управління дорожнім рухом дозволило вперше побудувати імітаційну модель системи з урахуванням різних способів регулювання, що використовуються в транспортних системах, та з урахуванням сумісного впливу управляючих параметрів. Петрі-об'єкти моделі системи управління транспорт-

ним рухом, які розроблені, можуть стати підґрунтям для розробки предметно-орієнтованої системи імітаційного моделювання транспортних систем.

Оптимізація параметрів управління за критерієм якості (1) з використанням еволюційної стратегії, описаної в [8], відкриває перспективу розробок у напрямку створення систем адаптивного управління транспортними потоками міста.



**Рис. 9. Зв'язки між Петрі-об'єктами Вхідна точка перехрестя, Вихідна точка перехрестя, Світлофорне регулювання, Регулювання, Генератор автомобілів**

### Список літератури

1. Віниченко В.С. Конспект лекцій з дисципліни «Автоматизовані системи управління на транспорті» (для студентів 4 курсу всіх форм навчання напряму підготовки 1004 «Транспортні технології»). – Харків: ХНАМГ, 2007. – 68 с.
2. Інформаційне забезпечення для моделювання та керування транспортними потоками у великих містах. Автореф. дис. канд. техн. наук: 05.13.06 / М.А. Григоров; Одес. нац. політехн. ун-т. – О., 2005. – 18 с.
3. Томашевський В.М. Концептуальні основи імітаційного моделювання автомобільного дорожнього руху / Томашевський В.М., Печенежський Д.С. // Праці П'ятої Української конференції з автоматичного управління "Автоматика-98", – ч. III – Київ: НТУУ "КПІ", 1998. С. 317 - 323.
4. Парамонов А.М., Томашевський В.М. Определение формальной модели нерегулируемого перекрестка в системе моделирования автомобильного дорожного движения // Нові технології. Науковий вісник КУЕІТУ. – Кременчук: КУЕІТУ, 2009. – №1(23).– С.135-138.
5. Парамонов А.М., Томашевський В.М. Формалізація алгоритма моделювання руху автомобільного дорожнього транспорту // Вісник НТУУ «КПІ». Інформатика, управління, обчислювальна техніка. – Київ, 2008. - №48. – С.7-12.
6. Стеценко І.В. Формальне описання систем засобами Петрі-об'єктних моделей // Вісник НТУУ «КПІ». Інформатика, управління та обчислювальна техніка: Зб. наук. пр. – К.: ВЕК+, 2011. – № 53. – С.74-81.
7. Стеценко І.В. Імітаційне моделювання транспортного руху через світлофорні об'єкти / Стеценко І.В., Батора Ю.В. // Вісник Черкаського державного технологічного університету. – Черкаси, 2006. – №3. – С.75-79.
8. Стеценко І.В. Інформаційна технологія визначення оптимальних параметрів управління транспортним рухом через світлофорні об'єкти міста / Стеценко І.В., Батора Ю.В. // Математичні машини і системи. – Київ, 2007. – №3,4 – С.211-217.
9. Стеценко І.В. Моделювання управляючих систем засобами мереж Петрі з інформаційними зв'язками // Вісник Черкаського державного технологічного університету. – Черкаси: ЧДТУ, 2011. – №3. – [В друку].