

Міністерство освіти і науки України
Тернопільський національний економічний університет
Факультет комп'ютерних інформаційних технологій
Кафедра комп'ютерної інженерії

Зубко Ростислав Анатолійович

**Моделювання контролю руху міського транспорту
на основі мереж Петрі / Modelling of urban transport
traffic control based on Petri nets.**

Спеціальність 8.091501 – Комп'ютерні системи та мережі

Дипломна робота за освітньо-кваліфікаційним рівнем «магістр»

Науковий керівник
д.т.н., професор Теслюк В.М.

Дипломну роботу допущено до захисту

«__» _____ 20__ р.

Зав. кафедри КІ

Березький О.М. _____

Тернопіль – 2017

ЗМІСТ

Вступ.....	8
1 Аналіз особливостей, моделей та систем транспортної системи міста.....	10
1.1 Аналіз транспортної системи міста.....	10
1.2 Аналіз існуючих моделей роботи транспортної мережі міста.....	15
1.3 Програмно-апаратні засоби для контролю руху транспорту.....	21
1.4 Постановка завдання.....	32
2 Математичне забезпечення системи.....	33
2.1 Особливості застосування апарату мереж Петрі для дослідження системи контролю руху міського транспорту.....	33
2.2 Модель системи контролю міського транспорту на основі мереж Петрі. .	40
2.3 Алгоритми вузлів об'єктів Петрі-мереж.....	47
3 Система контролю руху.....	56
3.1 Структура системи контролю руху міського транспорту.....	56
3.2 Технічне забезпечення системи контролю.....	69
3.3 Програмно-апаратне забезпечення системи контролю.....	73
Висновки.....	77
Список використаних джерел.....	79
Додаток А Довідка про використання результатів дипломної роботи.....	85
Додаток Б Копія публікації.....	86
Додаток В Алгоритм роботи моделі руху міського транспорту.....	94
Додаток Г Модель системи руху на основі мереж Петрі та граф станів змодельованої системи.....	95

ВСТУП

Актуальність теми. У сучасному світі з ростом населення збільшується і кількість транспортних засобів. У свою чергу це має наслідки які негативно впливають на допустиме навантаження на транспортні шляхи, особливо в урбанізованих містах. Це проблема яка потребує швидкого вирішення, оскільки кількість транспортних засобів буде зростати і надалі.

Мета і завдання дослідження. Мета дипломного проекту - це розробка моделі за допомогою мереж Петрі, для програмного апарату, що вдосконалює роботу системи відслідковування транспортних потоків.

Завдання дипломної роботи:

- дослідження засобів створення транспортних моделей;
- принцип роботи і функціонування транспортних моделей;
- класифікація транспортних моделей та їх розподіл;
- генерування ключових вузлів мереж Петрі;
- розробка та впровадження моделі для вдосконалення відслідковування транспортних потоків.

Об'єкт дослідження - урегулювання руху транспорту, його розподіл, та безпеку під час руху. Щоб досягти максимально ефективного результату, застосовуються системи моделювання транспортних потоків, та системи відслідковування трафіку в реальному часі. За допомогою таких інструментів, з'явилася можливість створення сучасної інтелектуальної транспортної системи.

Предмет дослідження - сучасні моделі для покращення розподілу транспортних потоків, та перерозподілу трафіку в межах міста. Визначення ділянок з критичним накопичення транспорту, та упередженням таких утворень є першочерговим завданням.

Методи досліджень базуються на використанні методів для моделювання макро та мікро моделей транспортних потоків для яких є певний набір програмних продуктів, таких як PTV Visum та Aimsun, які дають можливість

створення та дослідження будь якої ситуації на транспортних шляхах. В подальшому модель буде застосовано для аналізу реальних транспортних потоків.

Наукова новизна одержаних результатів. При отриманні результатів у дослідженні реальних транспортних потоків з накладанням дослідженої моделі, буде можливим пошук критичних точок на місцях пересікання реальних транспортних потоків, які в свою чергу дадуть змогу зменшувати завантаженість цих потоків у межах міст.

Публікації та апробація ДР. Тези даної дипломної роботи були опубліковані у матеріалах VI Всеукраїнської школи-семінару молодих вчених і студентів АСІТ'2016 “Сучасні комп’ютерні інформаційні технології”, за 20-21 травня 2016 року, яка проходила у Тернопільському Національному Економічному Університеті [7].

Впровадження результатів ДР. Результати даної дипломної роботи плануються до впровадження та подальшого вдосконалення на базі ТОВ “Сучасні інтелектуальні технології”.

1 АНАЛІЗ ОСОБЛИВОСТЕЙ, МОДЕЛЕЙ ТА СИСТЕМ ТРАНСПОРТНОЇ СИСТЕМИ МІСТА

1.1 Аналіз транспортної системи міста

Транспортна система відіграє досить значну роль в соціально-економічних явищах будь-якого суспільства, тому не дивно, що вона виступає досить привабливим об'єктом дослідження у сфері інформаційних технологій. Для дослідження транспортної системи інформаційні технології використовують весь свій методологічний інструментарій.

Методологію будь-якої науки формує сукупність категорій, на які вона спирається, а також система певних методів дослідження та алгоритм розв'язання завдань практичної спрямованості. Методологічною основою соціально-економічної географії є матеріалістична діалектика, відповідні економічні категорії та закони. Будь-яка наука використовує широкий арсенал певних наукових прийомів і операцій для відтворення предмета, що вивчається, та досягнення поставленої мети дослідження. Виділяють чотири рівні наукових методів дослідження:

- Загальнонауковий.
- Міждисциплінарний (спільний для кількох галузей знань).
- Конкретно-науковий, або спеціальний.
- Методико-технічний.

Прикладом загальнонаукових методів слугують діалектичний та системний методи пізнання, їх застосування дає змогу досліджувати соціально-економічні явища, у тому числі і транспортну систему, як складну динамічну систему, вся сукупність елементів якої перебуває у певних взаємозв'язках і відносинах, утворюючи єдину цілісність. До міждисциплінарних методів, які є найпоширенішою групою, належать, зокрема, історичний і математичний. Вони широко використовуються різними галузями науки для аналізу динаміки розвитку процесів або явищ. Спеціальні методи застосовуються для конкретно-

наукових досліджень. До них можна віднести, наприклад, статистичний і картографічний. Методи наукових досліджень, що утворюють методико-технічний рівень, дають змогу виконувати техніко-економічні розрахунки різної складності й здійснювати формалізацію окремих положень і рішень.

За призначенням виділяють транспорт загального користування (для перевезення готової продукції, сировини та напівфабрикатів з місць виробництва до пунктів споживання або подальшої переробки, задоволення потреб населення у просторовому переміщенні з виробничою або приватною метою), відомчий (внутрішньовиробничий, внутрішньо будівельний, внутрішньогосподарський, внутрішньозаводський і внутрішньо-портовий) та особистого призначення [4].

Розрізняють також транспорт наземний (залізничний, автомобільний, гужовий, в'ючний), йодний (морський, річковий, озерний), повітряний та трубопровідний.

Усі види транспорту є складовими єдиної транспортної системи - територіального поєднання взаємозв'язаних видів транспорту, які найповніше задовольняють потреби народного господарства й населення в перевезеннях вантажів і пасажирів.

Автомобільний транспорт особливо зручний для перевезення вантажів на короткі відстані, доставки їх до залізничних станцій, пристаней і портів, обслуговування місцевого й сільськогосподарського вантажообігу. За обсягом вантажообігу автотransпорт не поступається залізничному й морському транспорту.

Україна сполучена добрими автомобільними шляхами з Центральним, Північнокавказьким і Поволзьким економічними районами Росії, з Молдовою та Білоруссю. Найважливіші автомагістралі: Київ – Брест; Москва - Харків; Дніпропетровськ - Запоріжжя - Сімферополь; Дніпропетровськ - Нікополь; Львів - Київ; Харків - Ростов-на-Дону.

Автотранспортом перевозиться продукцію здебільшого сільського господарства, харчової та легкої промисловості, будівельні матеріали, в районах Донбасу і Придніпров'я - продукцію вугільної промисловості. У 2003 р.

автомобільним транспортом перевезено 2403 мли пасажирів. Вантажний парк зосереджений переважно (70%) в господарствах та авто-підприємствах (АТП) двох домінуючих систем - агропрому (58%) та корпорації «Укравтотранс» (12%), інші - па підприємствах більш як 80 відомств.

Переважає сфера використання автотранспорту-перевезення всередині підприємства (технологічні), в межах міста, між населеними "пунктами областей. Частково автотранспорт використовується в міжреспубліканських і міжнародних перевезеннях.

Міський пасажирський транспорт – до нього належать метрополітени, трамваї, тролейбуси, автобуси, таксі [6].

Формами територіальної організації транспорту є залізничні лінії, вузли, автостанції, морські і річкові порти, пристані, аеропорти. Взаємодія різних видів транспорту здійснюється в транспортних вузлах змішаного типу.

Транспортний вузол - це комплекс транспортних споруд у пункті, де сходяться, перетинаються або розгалужуються не менш як три лінії одного чи двох видів магістрального транспорту, котрі, взаємодіючи, обслуговують транзитні та місцеві перевезення вантажів і пасажирів. Залежно від видів транспорту, що стикаються, розрізняють вузли залізнично-автошляхові (Львів, Харків), залізнично-водно-автошляхові (Одеса, Київ, Миколаїв, Херсон) і водно-автошляхові (Ялта, Алушта, Канів). У кожному з них може бути ще н повітряний та трубопровідний , транспорт.

Для територіальної організації транспортної системи характерним є поєднання лінійних і пунктирних елементів. До лінійних елементів належить мережа шляхів сполучення. Густота цієї мережі, її конфігурація, пропускна і провізна спроможність окремих напрямів визначають значною мірою обсяг транспортної роботи. Формування транспортної мережі, її видова структура, густота (щільність) шляхів сполучення як у цілому, так і окремих видів ' транспорту, проходження основних магістралей визначаються галузевою структурою господарства, його виробничою спеціалізацією, територіальною організацією, густотою населених пунктів, особливостями історичного розвитку,

природними умовами, а також економіко-географічним положенням території країни або її регіонів.

Україна має надзвичайно сприятливі передумови для формування і розміщення транспортної мережі. Зокрема, галузева структура народного господарства та його територіальна організація, вигідне економіко-географічне положення визначили розвиток і розміщення залізничного, автомобільного, трубопровідного транспорту [11].

Роботу всіх видів транспорту забезпечує транспортна інфраструктура - економічно збалансована сукупність шляхів сполучення, рухомого складу, засобів управління і зв'язку, різноманітного технічного обладнання. Ефективність її функціонування визначається рівнем економічного збалансування всіх її складових, якого можна досягти лише за раціонального розподілу загального обсягу перевезень між окремими видами транспорту залежно від сфери найвигіднішого використання кожного з них. Просторова залежність транспортних мереж від розміщення продуктивних сил впливає на територіальну організацію транспорту в цілому та його складових частин. Це яскраво виявляється в існуванні первинних форм просторового розосередження транспорту - транспортних вузлів, пунктів.

Структура транспортної системи будь-якого, в тому числі і великого, міста визначається видами транспорту, що використовуються та можуть бути схарактеризовані транспортними мережами, що її складають. Розрізняють в основному три види міського транспорту: пасажирський, вантажний та спеціальний (санітарні та пожежні машини, транспорт для прибирання вулиць тощо) . Також за характером оточуючого середовища, що використовується для руху, пасажирський транспорт поділяють на наземний, водний, повітряний, а також транспорт, який використовує штучно створене середовище (найчастіше підземний) (рисунок 1.1) [12].

Пасажирський транспорт є найважливішою складовою соціальної інфраструктури великого міста. Стійка і ефективна робота транспорту є необхідною умовою стабілізації та підйому економіки, поліпшення умов і рівня

життя населення. Сучасний пасажирський транспорт забезпечує перевезення людей, їх ручної поклажі і багажу в різних видах сполучення. Перевезення людей можуть здійснюватися, як на професійній основі, так і самостійно громадянами в особистих (побутових) цілях. Такі перевезення можуть бути комерційними та некомерційними. Комерційні перевезення виконуються перевізником з метою отримання економічного результату (вигоди) і поділяються на перевезення транспортом загального користування та технологічні перевезення. Некомерційні перевезення виконуються громадянами з метою задоволення особистих (побутових) потреб, а також організаціями в інтересах державної або муніципальної служби (перевезення військовослужбовців, міліціонерів, чиновників і т.д.).

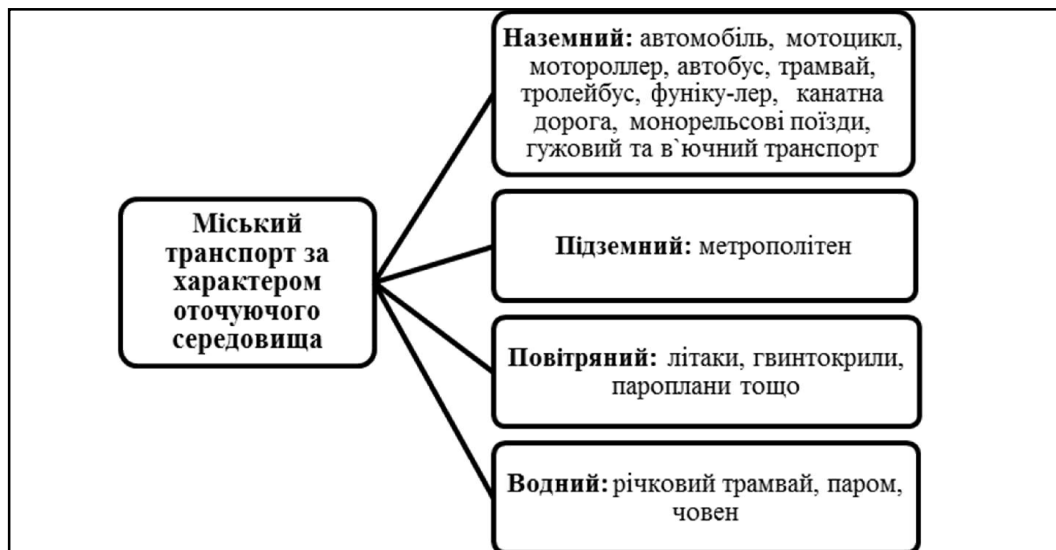


Рисунок 1.1 - Класифікація міського транспорту за характером оточуючого середовища

Пасажирська система великого міста формується поступово. Спочатку вона включає один вид транспорту, яким, як правило, є автомобільний. Потім з розвитком міста йде процес ускладнення міської пасажирської транспортної системи [15]. У великих містах система пасажирського транспорту є соціально-складною, в ній взаємодіють різні види транспорту серед яких автомобіль, метрополітен, трамвай, тролейбус, автобус, мікроавтобус, маршрутне таксі,

міський і приміський електропоїзди, річковий трамвай, фунікулер, таксі, гвинтокрил, гужовий та в'ючний транспорт тощо. За правом власності та кількістю пасажирів транспорт поділяється на громадський масовий транспорт, громадський транспорт індивідуального використання та транспорт особистого індивідуального використання.

Якість обслуговування пасажирів та соціальна користь транспортних послуг є важливою соціальною і економічною проблемою для кожного міста, так як необхідно задовольнити вимоги всіх груп населення. Якістю обслуговування пасажирів, зокрема раціональним плануванням мереж маршрутів, зупиночних станцій та місць пересадки з одного виду транспорту на інший, транспортуванням та розподілом вантажів займаються міська логістика та районне планування як галузь суспільної географії.

Інтенсивність функціонування транспорту є важливою складовою життя мегаполісу, що впливає на розвиток і добробут населення. Ефективність транспортної системи забезпечує сталий економічний та соціальний розвиток суспільства. Успішна реалізація питань підвищення мобільності населення можлива тільки при умові стійкого та ефективного функціонування транспортної галузі як особливої складової виробничої структури країни, що суттєво підвищує рівень життя населення. Саме тому дослідження транспортної системи міста Харкова в умовах сьогодення не втрачає актуальності, вимагає комплексного, міждисциплінарного підходу, зокрема з позицій суспільно географії.

1.2 Аналіз існуючих моделей роботи транспортної мережі міста

Крім вулиць в населених пунктах споруджують такі ж дороги як прокладені на незабудованих територіях. Їх поперечний профіль найчастіше має обрис польової дороги. Якщо ж вздовж неї в майбутньому передбачено

забудову, то поперечний профіль може бути виконаний як вуличний обрис з необхідним набором елементів.

Вулиці й дороги, взаємопов'язані в плані, створюють вулично-дорожню мережу (ВДМ), яка визначає структуру планування населеного пункту. Чим більший населений пункт, тим більш розгалуженою є його ВДМ [17].

В енциклопедії місто трактується як велике селище, жителі якого зайняті переважно у промисловості і торгівлі (не менше 60%). За даними прогнозу, кількість міст буде поступово збільшуватись.

Великі міста акумулюють матеріальні та духовні цінності, сприяють інтенсифікації людської діяльності, науково-технічного та соціального прогресу. Проте великі міста й недоліки, до яких слід віднести планувальну непорядкованість, загострення транспортних проблем, забруднення навколишнього природного середовища. Значно зростають питомі витрати на благоустрій та інженерне обладнання. Все це спонукає до обмеження зростання міст, особливо їх територій. Майбутні міста будуть розвиватись переважно по вертикалі.

Проектування попередньої транспортної мережі міста, яка мусить пов'язати всі пасажироутворюючі та пасажиропоглинаючі пункти буде розглянута на прикладі умовного міста.

Щільність транспортної мережі δ мусить бути в межах:

$$1,65 \leq \delta \leq 2,2 \text{ (км/км}^2\text{)} \quad \delta = L_{mp} / F, \quad (1.1)$$

де L_{mp} - довжина транспортної мережі, $L_{mp} = 21,7 \text{ км}$;

F - площа території транспортного обслуговування, $F = 10,14 \text{ км}^2$;
 $\delta = 21,7 / 10,14 = 2,14 \text{ (км/км}^2\text{)}$.

Територію міста поділяємо, приблизно на рівні по площі, чотири райони. Геометричні центри цих транспортних районів зносимо на транспортну мережу міста [21]. Основні місця призначення пасажиропотоку знаходяться у всіх транспортних районах.

Площа районів складає відповідно:

$$F_1 = 3,78 \text{ км}^2;$$

$$F_2 = 2,396 \text{ км}^2;$$

$$F_3 = 1,412 \text{ км}^2;$$

$$F_4 = 2,46 \text{ км}^2.$$

Площа всього міста складає: $F_m = 10,138 \text{ км}^2$.

Визначення кількості населення для кожного району:

$$N_{mp.i} = (F_{mp.i} \cdot H) / F, \quad (1.2)$$

де $N_{mp.i}$ – чисельність і-го транспортного району, тис.чол.;

$F_{mp.i}$ – площа і-го транспортного району;

F – площа території міста;

H – чисельність міста.

$$N_{mp.1} = (3,782 \cdot 510) / 10,138 = 194,375 \text{ тис.чол.},$$

$$N_{mp.2} = (2,395 \cdot 510) / 10,138 = 120,508 \text{ тис.чол.},$$

$$N_{mp.3} = (1,412 \cdot 510) / 10,138 = 71,028 \text{ тис.чол.},$$

$$N_{mp.4} = (2,466 \cdot 510) / 10,138 = 124,1 \text{ тис.чол.}$$

Вірне стратегічне управління транспортною системою міста, крім усього іншого, безпосередньо впливає на пасажироутворення в місті, обслуговування населення та безпеку дорожнього руху.

Головною перевагою транспортних моделей є те, що вони дозволяють експериментувати не з людьми, а лише з комп'ютерним поданням їх щоденної поведінки [27].

Таблиця 1.1 - Пасажироутворення в місті

№ Районів та місця Прикладення Праці	Чис. нас. районів (N _i), тис.чол.	Кіль-ть прац. тис.чол	Питома вага відвідування підприємств обслуг.	Пасажироутв., млн. переміщ. за рік		
				З труд. метою	З культурно - побут. метою	Сумарні
1	194,4	33,05	178,24	17,35	97,99	115,34
2	120,5	20,49	110,51	10,75	60,75	71,50
3	71,0	12,07	65,13	6,34	35,81	42,14

Визначемо рухомість населення міста:

$$P = \frac{\sum C_{Ti}}{H}, \quad (1.3)$$

$P = 438710 / 510 = 860,216$ (переміщень на 1 мешканця / рік).

Кореспонденція пасажирів розраховується за загальною формулою гравітаційної моделі:

$$P_{ij} = C_{Ti} \times \frac{N_j \times d_{ij}}{\sum_j N_j \times d_{ij}}, \quad (1.4)$$

де P_{ij} - кореспонденції в переміщенні між районом прибуття до районів відправлення;

C_{Ti} - кількість прибуваючих в район;

N_j - кількість населення в районі відправлення;

d_{ij} - коеф. впливу витрат часу на частоту зв'язків,

$$d_{ij} = 100/T_{ij}^2,$$

де T_{ij} - витрати часу на поїздку між районами.

$$T_{ij} = 2 t^{nx} + t^{oc}_{mp} + l_{ij} \cdot 60 / V_{cn},$$

де t^{nx} – витрати часу на пішохідний підхід до зупинки, приймається 4 хв.;

t^{oc}_{mp} - витрати часу на очікування транспорту, приймається 2 хв.;

V_{cn} - швидкість сполучення на транспорті, приймається 15 км/год;

L_{ij} - відстані між i та j , км.

Визначення відстаней між об'єктами прибуття та відправлення вимірюються на плані, а внутрішньорайонні визначаються за формулою:

$$L_{ij} = 0,7 \sqrt{F_i}, \quad (1.5)$$

де F – площа району, яка вимірюється на плані міста відповідно до заданого масштабу, км.

Для спрощення, розрахунки виконуються в табличній формі.

Визначається завантаженість всіх ділянок транспортної мережі пасажиропотоками.

Величина внутрішньорайонного пасажиропотоку визначається за формулою:

$$D^{6h} = D^p / \sum l_{ij}, \quad (1.6)$$

де D^p - кількість поїздок в межах даного району;

$\sum l_{ij}$ - довжина районної транспортної мережі, яка складається із суми довжин ділянок в межах району.

Таблиця 1.2 – Відстані L_{ij} , км

j	I			
	1	2	3	4
1	1,8	6,0	4,4	3,2
2	6,0	1,5	1,6	3,4
3	4,4	1,6	0,8	2,0
4	3,2	3,4	2,0	2,0
ЦМ	4,4	1,6	0,8	2,0
ПП1	1,7	7,7	6,1	4,9
ПП2	6,8	0,8	2,4	4,2
Вокзал	1,4	5,9	4,2	3,0
ПКіВ	4,4	1,6	0,8	2,0
ТЦ	2,5	3,6	1,9	0,7

Таблиця 1.3 - Коефіцієнт впливу витрат часу, d_{ij}

j	I			
	1	2	3	4
1	1,000	0,086	0,131	0,192
2	0,086	1,000	0,368	0,180
3	0,131	0,368	1,000	0,311
4	0,192	0,180	0,311	1,000
ЦМ	0,131	0,368	0,563	0,311
ПП1	0,354	0,060	0,085	0,114
ПП2	0,072	0,574	0,258	0,139
Вокзал	0,419	0,089	0,138	0,207
ПКіВ	0,131	0,368	0,563	0,311

1.3 Програмно-апаратні засоби для контролю руху транспорту

Темпи розвитку сучасних міст, постійне зростання автомобілізації призводять до загострення цілого ряду проблем, таких як створення раціональної організації дорожнього руху, розміщення місць для паркування, забезпечення якості дорожніх покриттів, та охорони навколишнього середовища. Вирішення зазначених проблем вимагає «правильного», системного управління, ефективної організації транспортних потоків і оптимального планування транспортної інфраструктури.

Для управління транспортною системою та прийняття оптимальних рішень в галузі транспортного планування необхідні конкретні системні знання про існуючу транспортну ситуацію і можливі сценарії її розвитку [24].

«Неможливо управляти тим, що не можна виміряти» (Том Демарко), можна сказати, що відсутність кількісного опису транспортної ситуації значно ускладнює і без того складний вибір між варіантами розвитку міської транспортної системи. Ліквідація різниці між бажаним і реальним результатом може бути досягнута за допомогою сучасних інструментів планування та оцінки наслідків прийнятих рішень, а саме єдиної транспортної моделі міста.

Як показує досвід, транспортна модель міста, що використовується для підтримки прийняття управлінських рішень при стратегічному транспортному плануванні, є оптимальним інструментом для кількісної оцінки пропонованих варіантів розвитку транспортної мережі, їх подальшого порівняння та обґрунтованих висновків про доцільність інвестицій у проекти з розвитку транспортної інфраструктури.

Транспортні моделі, побудовані на сучасних інформаційних технологіях представляють собою наймогутніші обчислювальні програмні комплекси, які на основі функціонально-просторових характеристик міста в сукупності з усіма наявними даними про транспортний попит і пропозицію розраховують найімовірніший розподіл транспортних і пасажирських потоків по вулично-

дорожній мережі. Ці розрахунки потім лягають в основу прогнозів розвитку міста та є необхідною аналітичною базою для прийняття рішень з розвитку транспортної інфраструктури міста.

Транспортні моделі, засновані на принципах комп'ютерного моделювання розподілу транспортних потоків, вперше створені в 1960 р. Однією з перших програм, що реалізують чотирьох ступеневу процедуру прогнозування завантаження транспортних мереж, була програма ЕММЕ (Equilibre Multimodal, Multimodal Equilibrium), що означає «мультимодальна рівновага»), розроблена і застосована для міста Монреаль (Канада).

Бурхливий розвиток обчислювальних потужностей сучасних комп'ютерів дозволив за останні роки в десятки разів прискорити основні обчислювальні процедури, істотно уточнити і деталізувати моделі транспортних мереж міст, врахувати в розрахунках набагато більшу кількість різних факторів, що визначають поведінку сучасних учасників дорожнього руху. На сьогоднішній день в світі існують десятки програмних продуктів для макро-моделювання транспортних потоків, наприклад Tmodel2, Cube, Emme/4, Transcad, Transnet, Visum.

За допомогою цих програмних комплексів побудовані транспортні моделі в таких містах, як Нью-Йорк, Лос-Анджелес, Лондон, Париж, Мілан та інші. Побудована модель транспортної мережі майже всієї Європи від кордонів США до Атлантичного океану.

Самою докладною (з найбільшою кількістю елементів) транспортною моделлю в світі є транспортна модель Німеччини, виконана в PTV Vision VISUM. Крім того, розроблена транспортна модель Швейцарії що включає також сусідні країни Європи в якості зовнішніх районів.

За останні роки кілька російських та два українських міста розробили транспортні моделі з використанням програмного забезпечення PTV Vision VISUM і зараз успішно їх експлуатують. Серед них Москва, Санкт -Петербург, Перм, Самара, Томськ, Астрахань, Барнаул, Вологда, Львів, Івано-Франківськ.

Транспортна модель в цілому являє собою програмний комплекс, що складається з інформаційних і розрахункових блоків.

Інформаційні блоки складають єдину базу даних, призначену для зберігання та обробки інформації, необхідної для розрахунку транспортних потоків. Розрахункові блоки реалізують алгоритми розв'язання задач математичного програмування, орієнтованих на розрахунок потреби в пересуваннях і транспортних потоків.

Виходячи з цього, створення основи моделі і наповнення її вихідними даними можна розділити на два незалежних один від одного етапу – це створення транспортної пропозиції та створення (розрахунок) транспортного попиту (рисунок .1.2) [29].



Рисунок 1.2 - Етапи створення транспортної моделі

Транспортна пропозиція складається з елементів, за допомогою яких транспортна система міста задовольняє існуючий транспортний попит.

Транспортний попит кількісно і якісно визначає потребу мешканців міста в переміщенні.

Транспортна пропозиція:

- картографічна інформація (цифровий план міста, топографічна карта);
- мережа шляхів руху для різних видів транспорту, її властивості і умови руху, включаючи технічні засоби організації дорожнього руху;
- типи вулиць і доріг, середньорічна добова інтенсивність, пропускна здатність перегонів і перехресть і т.д.

– Транспортний попит:

- дані статистики: відомості про населення, працездатне населення, робочі місця, робочі місця у сфері послуг, кількість студентів, і навчальних місць;
- дані статистики про розподіл кореспонденцій по цілях поїздки;
- дані про загальний поділ транспортних потоків за видами транспорту на досліджуваній території.

Транспортна модель пропозиції включає в себе модель пропозиції індивідуального та громадського транспорту.

Транспортна пропозиція індивідуального транспорту, складається з перехресть (вузлів) і перегонів (ділянок доріг між перехрестями).

Вузли – точки перетину транспортних комунікацій (магістралей, трамвайних шляхів), призначення яких полягає в модельному поданні перехресть. Кожному відрізку однозначно відповідає пара вузлів. Відповідно, в число атрибутів кожного вузла входять ідентифікатори відрізків, відповідних даному вузлу, а також бінарні змінні, що показують, чи є даний вузол початком або кінцем даного відрізка.

Для кожного вузла задаються відповідні атрибути (номер, тип, ім'я, пропускну здатність, регулювання у вузлі, додаткові значення).

Відрізки пов'язують вузли і відображають геометрію транспортної мережі. Для кожного відрізка вказуються відповідні атрибути (номер, назва, тип, пропускну спроможність, кількість смуг, швидкість, дозволені системи транспорту). Статистичні дані для вузлів та відрізків отримуються з різних інформаційних джерел. Характеристики відрізка в прямому і зворотному напрямках руху задаються окремо [30].

Транспортна пропозиція міського пасажирського транспорту (МПТ) складається з зупиночних пунктів, маршрутів руху та розкладу (інтервалів) руху. Маршрути руху МПТ проходять по існуючим відрізкам і вузлам через задані зупиночні пункти (рисунок 1.3).

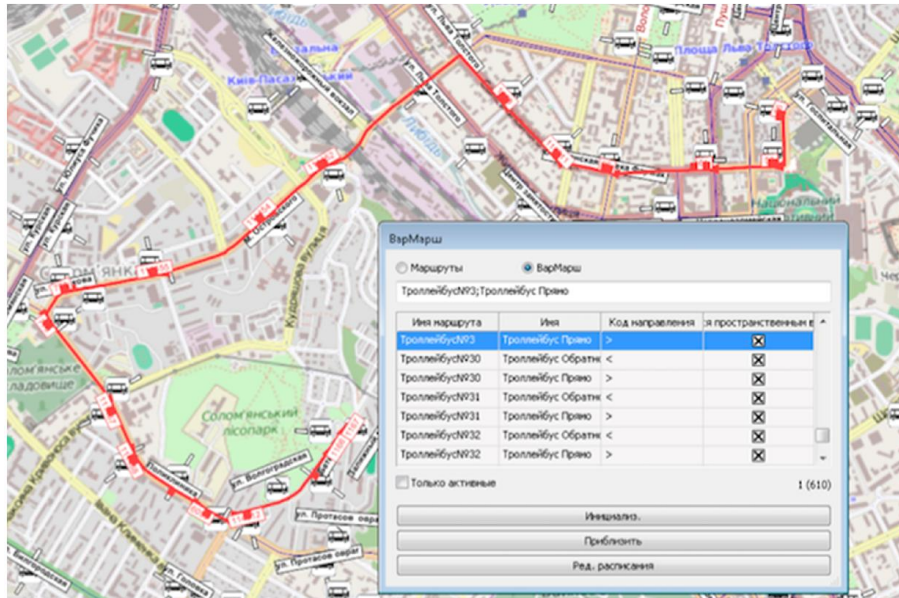


Рисунок 1.3 - Маршрути руху МПТ в програмному комплексі

Інформація про зупиночні пункти, маршрути руху та розкладу руху МПТ (рисунок 1.4) отримуються з різних джерел інформації і заносяться в програмний комплекс.

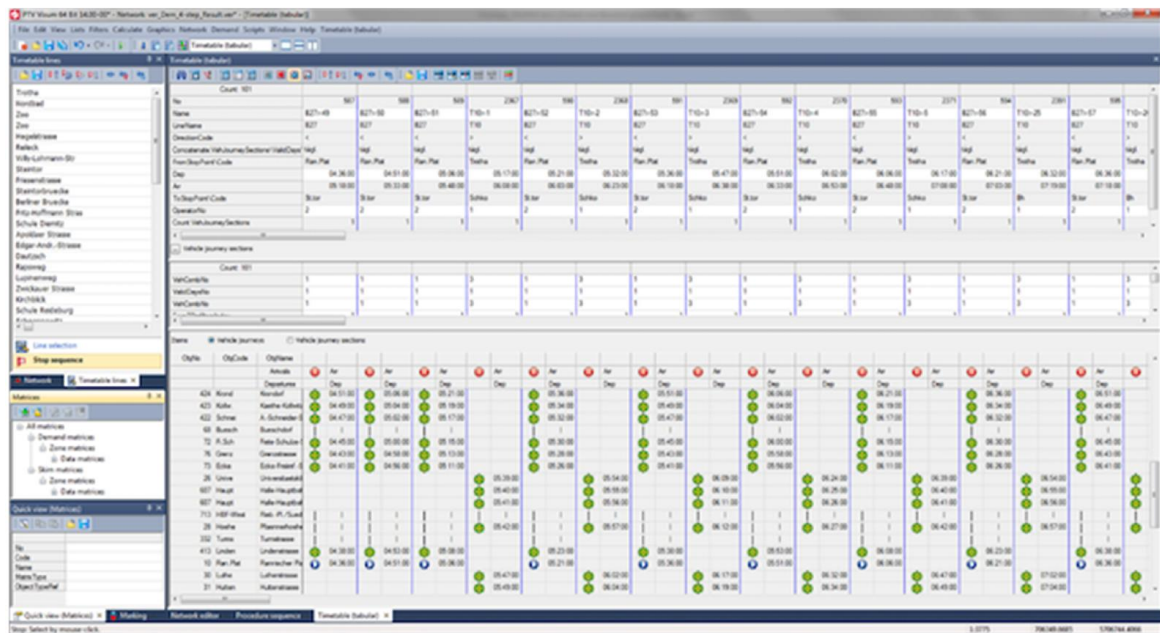


Рисунок 1.4 - Розклад руху в програмному комплексі

Побудова моделі транспортного попиту можлива при формалізації досліджуваної території. Вся досліджувана територія поділяється на певну кількість областей, що називаються транспортними районами.

В якості районів виступають умовно відокремлені територіальні утворення, підібрані з урахуванням порівняльної ідентичності в плані соціальних і економічних показників всередині даних районів (рисунок 1.5).

Кожен транспортний район містить статистичну інформацію про населення, працездатне населення, робочі місця, робочі місця у сфері послуг, кількість студентів, кількість навчальних місць та ін.



Рисунок 1.5 - Фрагмент транспортного районування м. Київ

Транспортні райони взаємодіють з ВДМ на основі примикань (рисунок 1.6).

Для розрахунку транспортного попиту необхідні дані про транспортну рухомість населення. Збір даних базується на опитуванні респондентів, розподілених по території міста згідно з принципами квотної вибірки відповідно до просторового розподілу населення та його статево — вікової структури.

Опитування проводиться на основі спеціально розробленої анкети.

При опитуванні жителів повинні бути отримані відповіді на питання:

- хто здійснює поїздку;
- з якою метою;
- звідки і куди поїздка відбувається;
- коли поїздка починається і закінчується;
- які транспортні засоби використовувались.

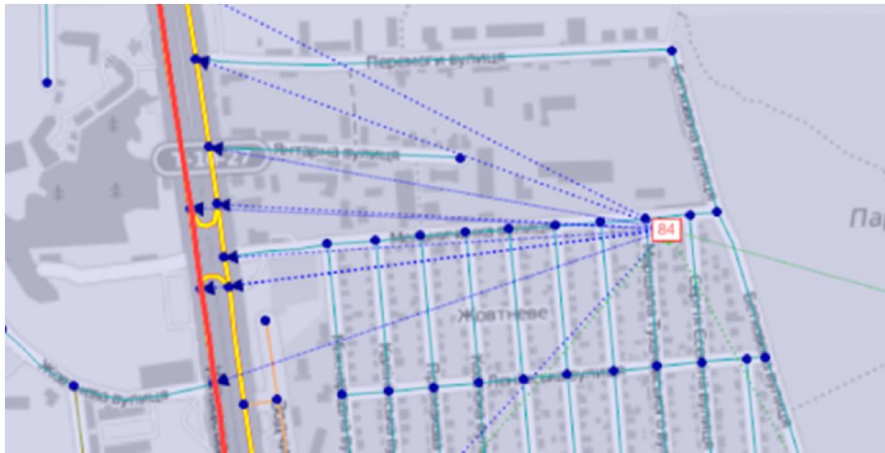


Рисунок 1.6 - Фрагмент примикань транспортних районів до ВДМ міста

На основі опитування формується ланцюжок пересувань респондента за добу. Прикладом типового ланцюжка переміщень або прикладом зміни людської діяльності впродовж дня є ряд послідовної активності Д-Р-М-Д (Дім – Робота – Магазин – Дім), з якого утворюються однорідні переміщення Д-Р (Дім – Робота), Р-М (Робота – Магазин), М-Д (Магазин – Дім), що в свою чергу, можуть бути як початком, так і кінцем цього переміщення тобто джерелом-ціллю переміщенням [33].

У місті існує велика кількість видів діяльності, які утворюють відповідний обсяг переміщень і мають джерело та ціль. Тому для спрощення розрахунку попиту на транспорт (що не впливає на точність його результатів) такі зв'язки, а відповідно види діяльності, узагальнюються. Для транспортної моделі міста сформовано 10 найхарактерніших видів діяльності (шарів попиту): Дім –Робота, Дім – Навчання, Дім-Інше, Навчання – Дім, Робота – Дім, Робота – Робота, Робота – Інше, Інше – Дім, Інше – Робота, Інше – Інше, та визначені джерела та цілі поїздок (таблиця 1.4).

З опитувань населення, визначаються кількість переміщень по шарах попиту.

Таблиця 1.4 - Джерела і цілі поїздки по шарах попиту

Шари попиту	Джерело поїздки	Ціль поїздки
Дім-Робота	Працююче населення	Місце роботи
Робота-Дім	Місце роботи	Працююче населення
Дім-Інше	Працююче населення	Місце роботи в сфері послуг
Інше-Дім	Місце роботи в сфері послуг	Працююче населення
Робота-Інше	Місце роботи	Місце роботи в сфері послуг
Інше-Робота	Місце роботи в сфері послуг	Місце роботи
Робота-Робота	Місце роботи	Місце роботи
Інше-Інше	Місце роботи в сфері послуг	Місце роботи в сфері послуг
Дім-Навчання	Учні	Навчальні місця
Навчання-Дім	Навчальні місця	Учні
Навчання-Інше	Навчальні місця	Місце роботи в сфері послуг
Інше-Навчання	Місце роботи в сфері послуг	Навчальні місця

В програмних комплексах представлені 3 альтернативні моделі розрахунку попиту:

- Чотирьохступенева модель.
- Модель EVA.
- Модель VISEM.

Для розрахунку попиту в транспортних моделях міст найчастіше використовуються класична чотирьохступенева модель. В роботі такої моделі можливо виділити чотири етапи (рисунок 1.7):

1. Генерація попиту.
2. Розподіл попиту.
3. Вибір режиму.
4. Перерозподіл.

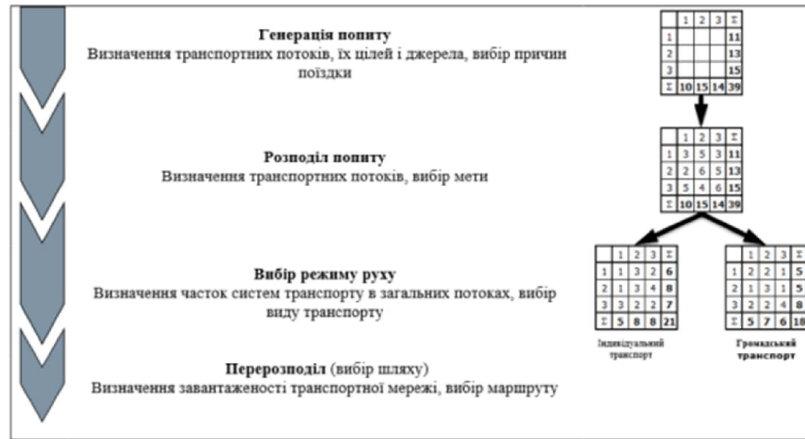


Рисунок 1.7 - Етапи розрахунку транспортного попиту

На основі транспортної пропозиції розраховуються витрати на здійснення кореспонденцій, тобто розраховуються матриці затрат. На основі обсягів генерованого попиту і матриць затрат відбувається розподіл попиту, тобто розраховуються матриці кореспонденцій для кожного шару попиту відповідного транспортного району.

Розподіл шарів попиту відбувається на основі функції оцінки (оцінки ймовірності здійснення переміщення з району i в район j). Функція оцінки визначається для кожного шару попиту на основі опитування населення міста про дальність (ймовірність) і середній час поїздки (рисунок 1.8) [36].

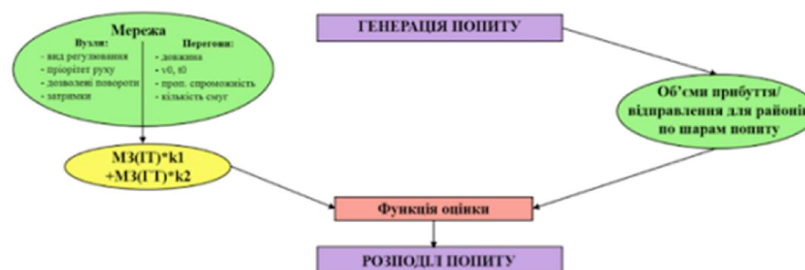


Рисунок 1.8 - Схема розподілу транспортного попиту

В транспортних моделях міст на етапі розподілу попиту використовується такі основні функції оцінки: Logit, Kirchoff, Vox-Cox, Комбіновано, виду:

$$f(U_{ij}) = e^{(c-U_{ij})} - \text{Logit функція}; \quad (1.6)$$

$$f(U_{ij}) = U_{ij}^c - \text{функція Kirchoff}; \quad (1.7)$$

$$f(U_{ij}) = a * U_{ij}^b * e^{(c-U_{ij})} - \text{функція Комбіновано} \quad (1.8)$$

$$f(U_{ij}) = \frac{1}{U_{ij}^b + c * U_{ij}^a} - \text{функція TModel}; \quad (1.9)$$

$$f(U_{ij}) = e^{(c - \frac{U_{ij}^b - 1}{b})} - \text{функція Vox-Cox}, \quad (1.10)$$

де $f(U)$ – ймовірність здійснення кореспонденції з затратами U ;
 U_{ij} – це затрати на здійснення кореспонденції з району i в район j ;
 a, b, c – коефіцієнти.

Функція оцінки типу «Комбіновано», представлена на рисунку 8. По горизонтальній осі відкладається час, що витрачається на здійснення транспортної кореспонденції, по вертикальній осі – ймовірність здійснення такої кореспонденції (рисунок 1.9).

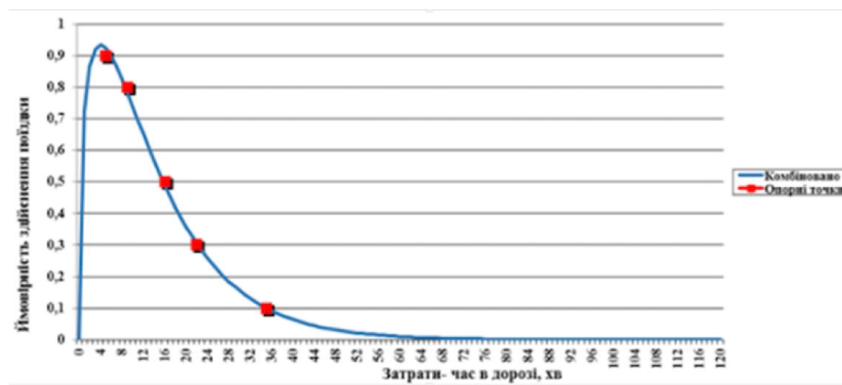


Рисунок 1.9 - Графік функції оцінки типу «Комбіновано»

Модель транспортної поведінки людей, основу якої становить функція оцінки, має незалежні параметри – коефіцієнти функції (a, b, c). Значення коефіцієнтів отримуються з результатів опитувань населення (рисунок 1.10).

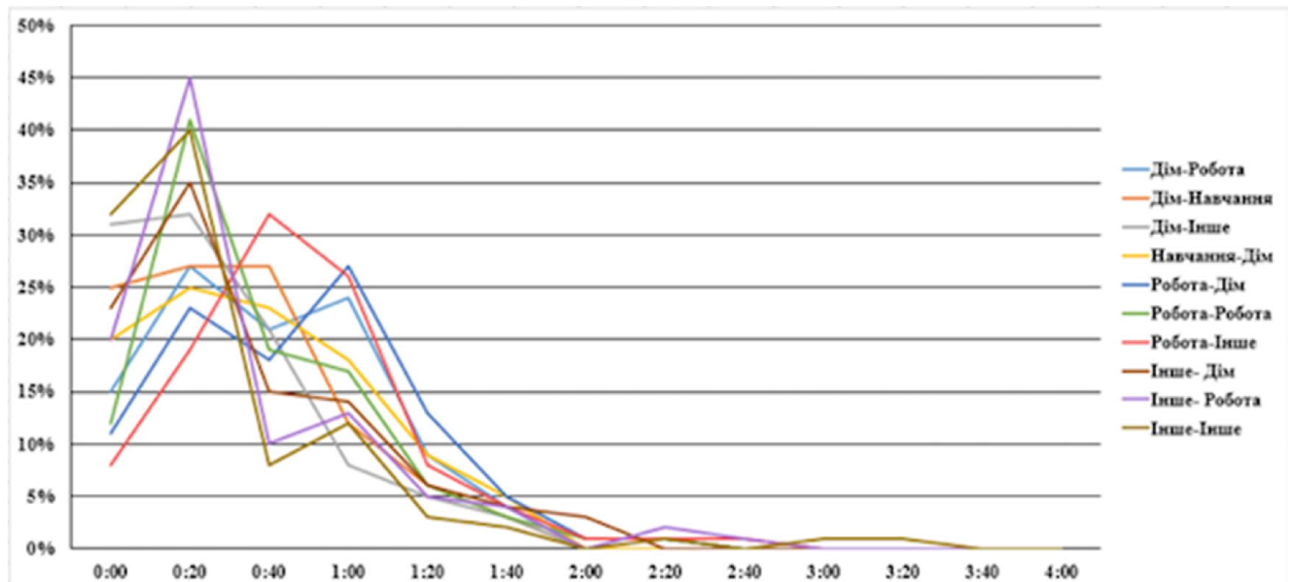


Рисунок 1.10 - Графік розподілу шарів попиту за дальністю і середнім часом поїздки (на основі опитування).

В результаті розрахунку процедури розподілу обчислюються матриці кореспонденцій для всіх шарів попиту.

Після розрахунку матриць кореспонденцій по шарах попиту, необхідно розділити ці матриці по режимам руху. Режим руху визначатиме спосіб реалізації кореспонденції – на індивідуальному (ІТ) або на громадському транспорті (ГТ).

Розподіл шарів попиту по режимам руху відбувається на основі функції оцінки: Logit, Kirchoff, Vox-Cox, Комбіновано, виду:

Функція оцінки визначається з опитування населення міста про дальність і середній час поїздки на певному виді транспорту (індивідуальному, громадському).

В результаті розрахунку, отримані матриці кореспонденції по всім режимам руху.

1.4 Постановка завдання

З викладеного вище, виникає можливість розробки оригінальної моделі транспортної системи на основі наявних моделей.

Завданням дипломного проекту є розробка моделі контролю руху міського транспорту, за допомогою алгоритмів і принципів функціонування сучасних систем контролю руху.

Таким чином дипломний проект буде розроблений на основі мереж Петрі, що дасть нам повний доступ до детальної розробки та подальшого створення нашої моделі.

Для виконання поставленого завдання виконуються наступні пункти:

- огляд основних принципів роботи мереж Петрі;
- аналіз алгоритмів та технології побудови транспортних систем;
- створення то конфігурація моделі контролю руху;
- розробка основних алгоритмів функціонування системи;
- моделювання алгоритмів руху міського транспорту.

2 МАТЕМАТИЧНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ СИСТЕМИ

2.1 Особливості застосування апарату мереж Петрі для дослідження системи контролю руху міського транспорту

Мережі Петрі (МП) - математичний апарат для моделювання динамічних дискретних систем. Вперше описані Карлом Петрі у 1962 році.

МП використовуються для моделювання асинхронних систем, що функціонують як сукупність паралельних взаємодіючих процесів. Аналіз МП дозволяє отримати інформацію про структуру та динамічну поведінку модельованої системи.

Причинно-наслідковий зв'язок подій в асинхронних системах задається множиною відношень вигляду "умови-події". У МП умови - це позиції, а події - переходи. Відповідно до цього граф МП є дводольним орієнтованим мультиграфом. Орієнтовані дуги можуть сполучати лише позиції і переходи в прямому і зворотному напрямі. МП є мультиграфом, оскільки допускається кратність дуг між позиціями і переходами.

В графах МП кількісні характеристики умов (числа натурального ряду) прийнято задавати числом міток у відповідних позиціях. Виконання якої-небудь умови пов'язане з появою однієї або декількох міток у відповідній цій умові позиції. Угоди про правила спрацьовування переходів є способом представлення причинно-наслідкових зв'язків між умовами і подіями в системі, що зображено на рисунку 2.1.

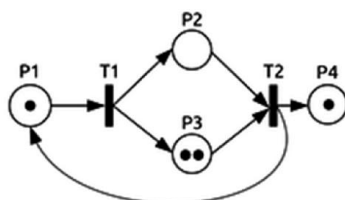


Рисунок 2.1 - Приклад мережі Петрі. Білими колами позначені позиції, смужками - переходи, чорними колами - мітки.

МП розроблялися спеціально для моделювання тих систем, які містять взаємодіючі паралельні компоненти. Вперше МП запропонував Карл Петрі у своїй докторській дисертації «Kommunikation mit Automaten» («Зв'язок автоматів»). Він сформулював основні поняття теорії зв'язку асинхронних компонент обчислювальної системи. Зокрема, детально розглянув опис причинних зв'язків між подіями. Його дисертація присвячена, головним чином, теоретичній розробці основних понять, з яких почали розвиток МП.

Робота Петрі привернула увагу А. В. Хольта і співробітників з Information System Theory (Теорія інформаційних систем) фірми Applied Data Research (ADR). Ними була розвинена велика частина початків теорії, запропоновані позначення і представлення МП, опубліковані в окремому звіті, що має назву «Events and Conditions» («Події і умови»). У цій роботі показано, як МП можна застосувати до аналізу і моделювання систем, що включають паралельні компоненти.

Робота Петрі привернула також увагу групи, що працює над проектом MAC в Массачусетському технологічному інституті (МТІ). Керована професором Дж. Б. Деннісом група обчислювальних структур стала джерелом значних досліджень і публікацій по МП, було написано декілька дисертацій на ступень доктора філософії і безліч звітів і меморандумів. Групою обчислювальних структур були проведені дві великі конференції з МП: Конференція Проекту MAC з паралельних систем і паралельних обчислень в 1970 р. у Вудс Холле і Конференції з МП і пов'язаних з ними методів в 1975 р. в МТІ. Обидві ці конференції внесли вклад до поширення результатів і методів теорії МП.

МП задається у вигляді маркованого дводольного орієнтованого графа. Розрізняють два типи вершин: позиції (позначаються колами) і переходи (позначаються смужками). МП може бути формально подана у вигляді як сукупність множин:

$$N = (P, T, G, \Omega), \quad (2.1)$$

де $P = \{p_1, p_2, \dots, p_n\}$ - множина всіх позицій (n – кількість позицій);
 $T = \{t_1, t_2, \dots, t_m\}$ - множина переходів (m – кількість переходів);
 $G = \{G_{p-t}, G_{t-p}\}$ - множина дуг мережі: $G_{p-t} = (p * t), G_{t-p} = (t * p)$, -
множини дуг, що ведуть відповідно від переходів до позицій і від позицій до
переходів (дуг, що з'єднують однорідні вершини, не існує);
 $\Omega = \{\omega_1, \omega_2, \dots, \omega_k\}$ - множина ваг дуг (k – кількість дуг).

Кожна позиція може бути маркована, тобто містити певну кількість маркерів. Якщо позначити числа міток, які перебувають в i -й позиції p_i , як m_i , то маркування всієї мережі: $M = \{m_1, m_2, \dots, m_n\}$. Тоді повне визначення МП, включаючи дані про початкове маркування, можна записати у вигляді:

$$PN = (N, M_0), \quad (2.2)$$

де M_0 - початкове маркування мережі.

При моделюванні процесів прийняття рішень за допомогою МП її позиції інтерпретують собою деякі умови, стани, значення змінних тощо. Переходи інтерпретують собою логічні пропозиції (прийняття рішень), відповідні виконанню дій, при цьому вхідні позиції - умови виконання дій, вихідні позиції - результат виконання дій. Дія (перехід) пов'язана з прийняттям будь-якого рішення, яке ініційоване певними умовами і результатом якого є новий стан (умова).

Перехід спрацьовує, якщо для кожної з його вхідних позицій виконується умова:

$$N_i \geq K_i, \quad (2.3)$$

де N_i - число маркерів в i -й вхідній позиції,

K_i - число дуг, що йдуть від i -ї позиції до переходу; при спрацьовуванні переходу число маркерів в i -й вхідній позиції зменшується на K_i , а в j -й вихідній позиції збільшується на M_j ,

M_j - число дуг, що пов'язують перехід з j -ю позицією.

На рисунку 2.2 показаний приклад розподілу маркерів по позиціях перед спрацьовуванням, це маркування записують у вигляді (2,2,3,1). Після спрацьовування переходу маркування стає іншим: (1,0,1,4).

У МП кожній вершині відповідає певне маркування, а кожній дузі - перехід, який спрацьовує при даному маркуванні. Таким чином, граф досяжності представляється як:

$$GD = (V, E), \quad (2.4)$$

де V - множина вершин (маркувань, відповідних вершин):

$$V = \{M_1, M_2, \dots, M_q\};$$

M_i -те маркування,

q - кількість маркувань;

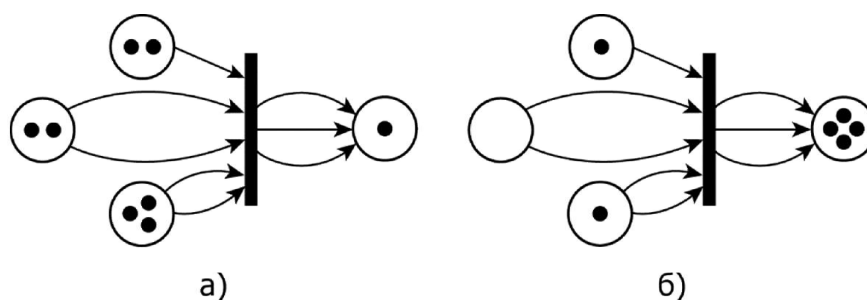


Рисунок 2.2 - Фрагмент мережі Петрі до а) і після б) спрацьовування переходу

$E = \{e_1, e_2, \dots, e_p\}$ - множина дуг, що зв'язують вершини (p - кількість дуг).

Кожна дуга представляється як сукупність:

$$e_i = \{\alpha_1, \alpha_2, T\}, \quad (2.5)$$

де α_1 і α_2 - номери початкової і кінцевої вершин графа;

$T = \{t_1, t_2, \dots, t_k\}$ - множина переходів, відповідний дузі,

k - кількість переходів, що одночасно спрацьовують при переході від одного маркування до іншого.

Види мереж Петрі:

1. Часова МП - мережа характеризується введенням затримок при переміщенні маркера, зв'язана як з переходом так і з позицією.

2. Стохастична МП - затримки є випадковими параметрами.

3. Функціональна МП - затримки визначаються як функції деяких аргументів, наприклад, кількості міток в яких-небудь позиціях, стани деяких переходів.

4. Кольорова МП - мітки можуть бути різних типів, що позначаються кольорами, тип мітки може бути використаний як аргумент у функціональних мережах.

5. Інгібіторна МП - можливі інгібіторні дуги, що забороняють спрацьовування переходу, якщо у вхідній позиції, пов'язаної з переходом інгібіторною дугою, знаходиться мітка.

6. Ієрархічна МП - містить не миттєві переходи, в які вкладені інші, можливо, також ієрархічні, мережі. Спрацьовування такого переходу характеризує виконання повного життєвого циклу вкладеної мережі.

7. Поточкова МП (Work Flow Petri Nets – WF) - називається мережею потоків робіт (WF-мережею), використовують для моделювання потоків робіт в Workflow системах.

8. Мережі з пріоритетами- додають до дозволених переходів пріоритети і тим самим дозволяють понизити недетермінованість спрацьовувань, обмежуючи безліч дозволених переходів групою переходів з найвищим пріоритетом.

Для дослідження різних варіантів можливого розвитку обчислювального процесу на мережевій моделі вводяться поняття деяких властивостей мереж Петрі.

1. Безпека позиції. Позиція $p_i \in P$ називається безпечною в заданому початковому маркуванні μ_0 , якщо в процесі роботи цієї мережі в даній позиції p_i

ніколи не з'явиться більш за один маркер, тобто $\mu(p_i) \leq 1$. Мережа Петрі називається безпечною, якщо безпечні всі її позиції. Ця властивість важлива при моделюванні каналів передачі даних (за відсутності буфера).

2. Обмеженість. Позиція $p_i \in P$ називається обмеженою в заданому початковому маркуванні μ_0 , якщо в процесі роботи цієї мережі в даній позиції p_i ніколи не з'явиться більш за k -маркерів, тобто $\mu(p_i) \leq k$.

3. Стійкість МП називається стійкою, якщо для будь-якого її переходу $t_i \in T$ виконується наступна умова: стан збудження цього переходу t_i^* не може бути зняте спрацьовуванням іншого будь-якого переходу. Якщо в мережі є альтернативні переходи, то вона є нестійкою.

4. Досяжність. Маркування μ' називається досяжним з деякого маркування μ , якщо для даної моделі МП можна вказати таку послідовність спрацьовування переходів.

5. Активність (жвавість). Перехід $t \in T$ називається активним (живим) в заданому початковому маркуванні μ' , якщо для будь-якого маркування μ' , досяжного з μ_0 можна вказати ланцюжок спрацьовувань переходів, який призводить до порушення переходу t . Ця властивість має важливе значення при дослідженні проблем зависання, зациклення і блокування процесів і можливості завершення процесу. Мережа називається активною в заданому початковому маркуванні μ_0 , якщо активні (живі) всі її переходи.

Процес функціонування мережі Петрі задається наступними двома правилами:

1. Якщо в деякий момент часу в кожній вхідній позиції переходу t є хоча б по одному маркеру, то перехід t називається збудженим.

$$\forall p \in I(t)(\mu(p) \geq 1) \Rightarrow t^* , \quad (2.6)$$

де t^* - збудження переходу.

2. Збуджений перехід може спрацювати; момент спрацьовування збудженого переходу не задається і може бути цілковито випадковим. Якщо

перехід t спрацює, то відбувається зміна маркування позицій і з кожної вхідної позиції видаляються по одному маркеру, а в кожну вихідну позицію додаються по одному маркеру:

$$\forall p \in I(t)(\mu(p) := \mu(p) - 1), \forall p \in O(t)(\mu(p) := \mu(p) + 1). \quad (2.7)$$

За цими правилами МП функціонують, починаючи з початкового маркування μ_0 , і процес буде тривати до тих пір, поки може бути збуджений хоча б один перехід. Маркування μ , при якому жоден перехід не збуджений, називається тупиковим. Після досягнення тупикового маркування робота мережі припиняється.

В процесі моделювання за допомогою МП інколи доводиться описувати стан, настання якого не прогнозоване. У класичних МП спрацьовування переходу залежить від того, чи вірна умова чи ні. Але інколи необхідна МП, здатна працювати з невизначеними величинами («малий», «великий», ...), – нечітка МП. Нечітка мережа Петрі задається 6-ма змінними:

$$\text{НМП} = \{P, T, W, \alpha(t), \tau(t), M_0(P)\}, \quad (2.8)$$

де, P – кінцевий набір нечітких позицій, і з'єднання між позиціями можуть набувати будь-яких не негативних натуральних значень.

T – кінцевий набір нечітких переходів.

W – нечітке відношення з маркуванням на P^*X або T^*P , зване ваговою функцією, яка показує вхідну величину на дузі від позиції до переходу або вихідну величину на дузі від переходу до позиції.

$\alpha(t)$ і $\tau(t)$ - невід'ємні речові функції від T , які показують пріоритет з'єднання і поріг спрацьовування переходу відповідно.

$M_0(t)$ - невід'ємна речова функція від P , що показує початкове маркування і також звана початковим розподілом ресурсів.

Нехай мітка буде носієм нечіткої величини, з'єднання будуть визначатися лінгвістичними висловлюваннями правил ЯКЩО-ТО і переходи будуть представляти базове нечітке відношення виходячи з правил ЯКЩО-ТО.

Нечіткі правила ЯКЩО-ТО - принцип, який використовується для опису логічної залежності між змінними в такій формі: ЯКЩО X_1 належить A_1 | X_n належить A_n ТО Y належить B , де A_1, \dots, A_n і B - певні вирази, що характеризують змінні X_1, \dots, X_n і Y . Вони найчастіше задаються лінгвістично. Частина перед ТО називається антецедент, частина після ТО називається сукцедент. Змінні X_1, \dots, X_n називаються вхідними або незалежними змінними. Мінлива Y називається вихідною або залежною змінною.

Нечіткі правила ЯКЩО-ТО зазвичай об'єднуються разом, утворюючи лінгвістичний опис.

2.2 Модель системи контролю міського транспорту на основі мереж Петрі

Розрахунок параметрів діючих в Україні систем управління дорожнім рухом здійснюється виключно на підставі забезпечення безпеки руху та не передбачає швидке реагування на змінювання потоку транспорту [22]. 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 [23]. Важливість розробки деталізованої імітаційної моделі дорожнього руху підкреслюється в роботі [25]. В [26] запропонована формальна модель нерегульованого перехрестя. В [27] 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 [29].

Модель системи управління транспортним рухом виходить з таких припущень:

1. Відомі середні значення інтенсивності 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 (рисунок 2.3). 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.

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 дорожніми 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 [29] використовується середній час очікування транспортної одиниці. Але така величина не завжди правильно характеризує стан дорожнього руху.

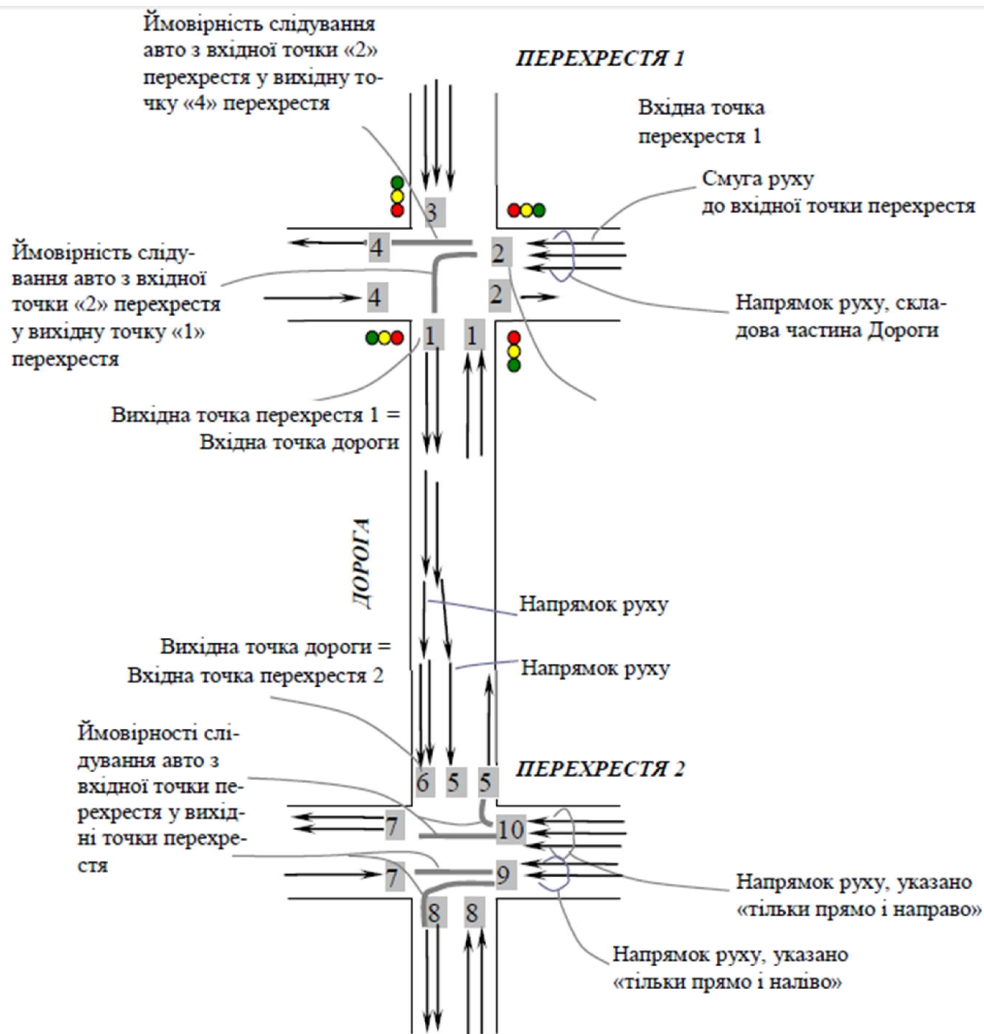


Рисунок 2.3 – Схема фрагмента транспортної системи, що включає два перехрестя і дорогу, що їх з'єднує

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, отримаємо 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 [30] запропоновано для оцінки якості управління транспортним рухом використовувати максимальну кількість автомобілів, які знаходяться в очікуванні:

$$z = \max(L_{11}, L_{12}, L_{13}, \dots, L_{kn}) \rightarrow \min, \quad (2.9)$$

де L_{ij} – 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 чотирьох-стороннє, У-подібне трьохстороннє, багатостороннє перехрестя, площа, кільце. В показано, що з хрестоподібних перехресть можна конструювати усі інші складні перехрестя, якщо розглядати напрямки руху як відкриті, так і закриті. В [31] розроблена технологія відшукування оптимальних параметрів управління дорожнього руху через регульовані перехрестя міста, що базується на імітаційній моделі та еволюційних методах оптимізації.

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 „Дати 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 [19]. Сигнали світлофорів перемикаються дорожніми контролерами циклічно за заданою програмою. У таблиця 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 слідують у напрямку руху стрілки, і додати відповідний рядок у таблицю переключень сигналів світлофорів (таблиця 2.1).

Таблиця 2.1 – 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 мигаючий	...	...	жовтий	жовтий мигаючий
Тривалість	t_1	t_2	t_3	t_4	...	...	t_{2N-1}	t_{2n}

Таким чином, управління світлофорним об'єктом характеризують такі величини: тривалість світлофорного циклу, кількість фаз у світлофорному циклі, кількість світлофорів, сигнали світлофорів відповідно до кожного такту і кожної фази світлофорного циклу. Якщо світлофорний об'єкт на перехресті не встановлений, то регулювання рухом може здійснюватися знаками дорожнього руху „Головна дорога” та „Дати дорогу”. Встановлення знаку „Головна дорога” означає, що указаний напрямок руху має перевагу перед іншими напрямками руху перехрестя. Встановлення знаку „Дати 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 „Дати 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 „Дати 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 обумовлює 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.

2.3 Алгоритми вузлів об'єктів Петрі-мереж

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 [32] у відповідне поле об'єкта. Діаграма

класів Петрі-об'єктної моделі системи представлена на рисунку 2.4. 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.

Регулювання руху з використанням дорожніх знаків „Головна дорога” та „Дати 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).

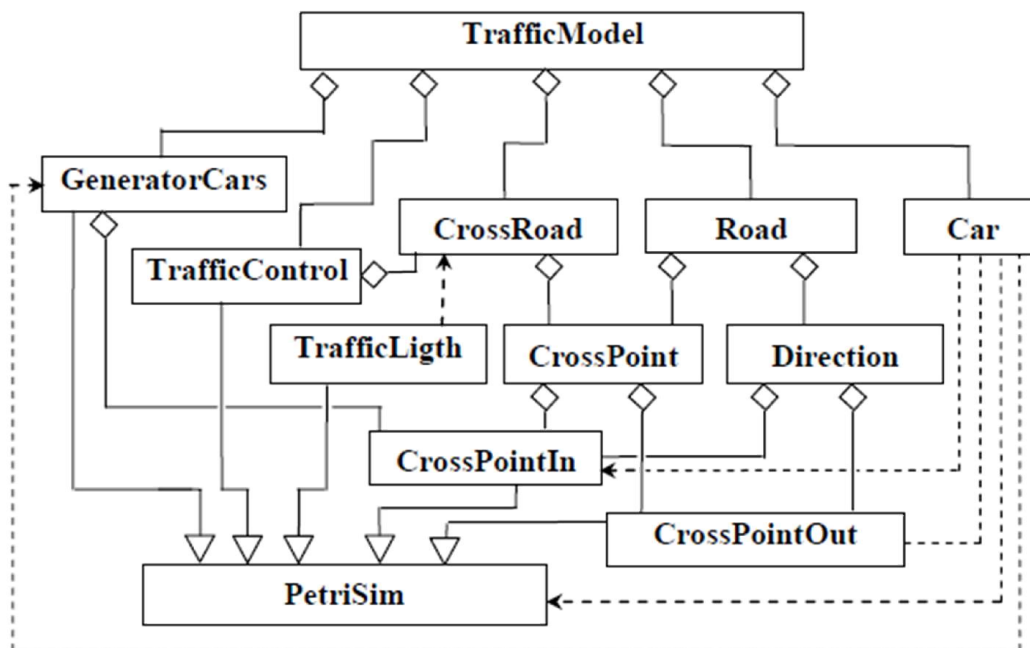


Рисунок 2.4 – діаграма класів Петрі-об’єктної моделі системи управління транспортом

Інформація про автомобіль використовується методами Петрі-об’єктів Вхідна точка перехрестя (CrossPointIn), Вихідна точка перехрестя (CrossPointOut) та Генератор авто (GeneratorCars) для визначення та змінювання розташування автомобіля. Складаючи 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 рисунку 2.5 і складається з однієї події „Генерувати авто”, що відбувається з інтервалом часу, заданим випадковим числом. Мережа Петрі-об’єкта Вихідна точка перехрестя представлена на рисунку 2.6 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.

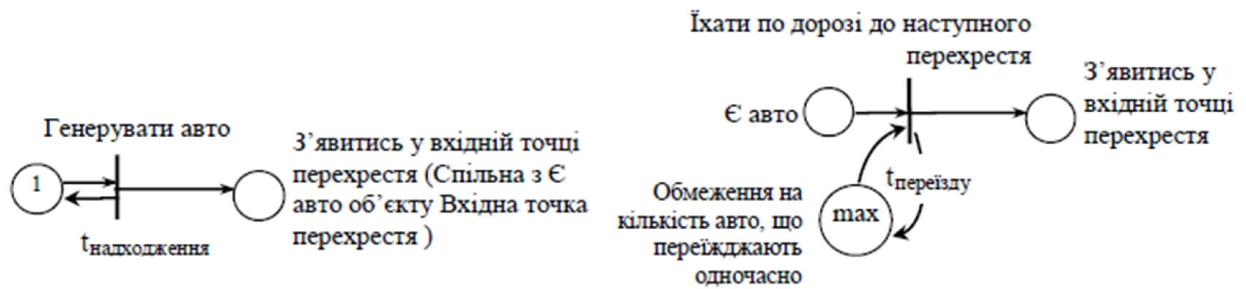


Рисунок 2.5 – Мережа Петрі-об'єктів Генератор автомобілів та Мережа Метрі-об'єкта Вихідна точка перехрестя

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, $j=1, \dots, M$ [45].

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 маркірування у цих позиціях використовується об'єктом 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.

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.

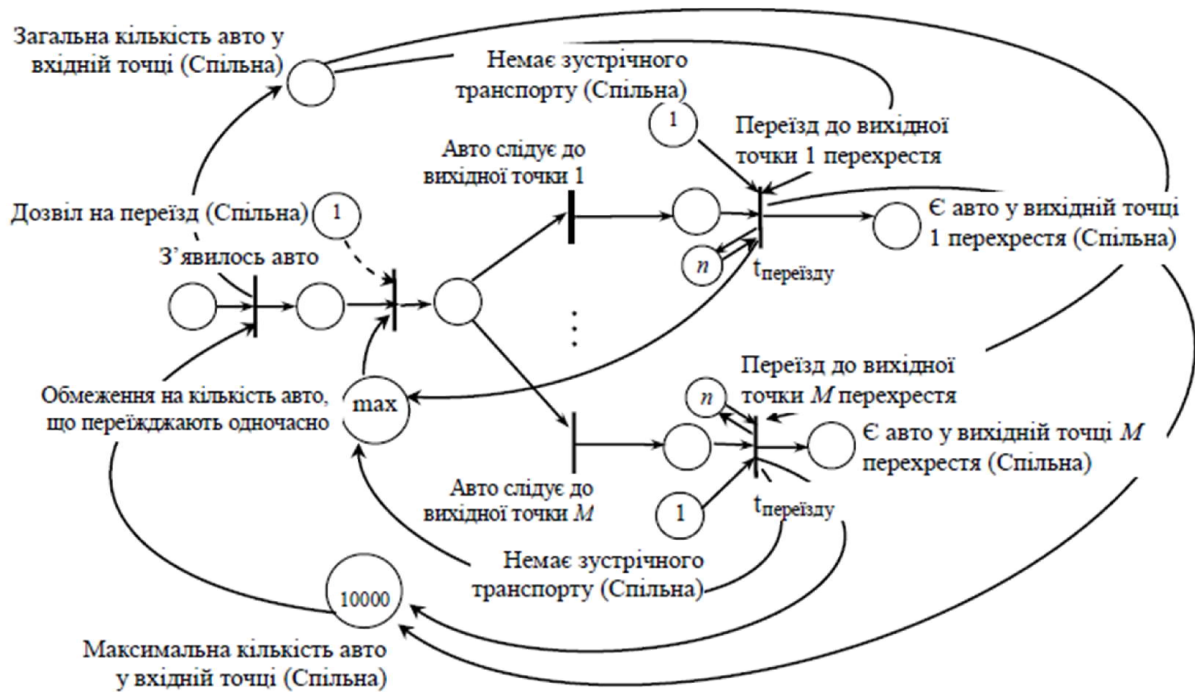


Рисунок 2.6 – Мережа Петрі-об'єкта Вхідна точка перехрестя

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 дозвіл на переїзд одному з авто, що рухаються по зустрічних траєкторіях руху. Переходи „Перейзд до вихідної точки j перехрестя” мають часову затримку, рівну тривалості переїзду перехрестя у відповідному напрямку руху [56]. Мережа Петрі-об'єкта Світлофорне регулювання для випадку N -фазного світлофорного об'єкта представлена на рисунку 2.7. Чергування фаз (див. таблиця 1) утворює коло подій з відповідними переключеннями сигналів світлофорів. Тривалості фаз задаються при конструюванні мережі 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.

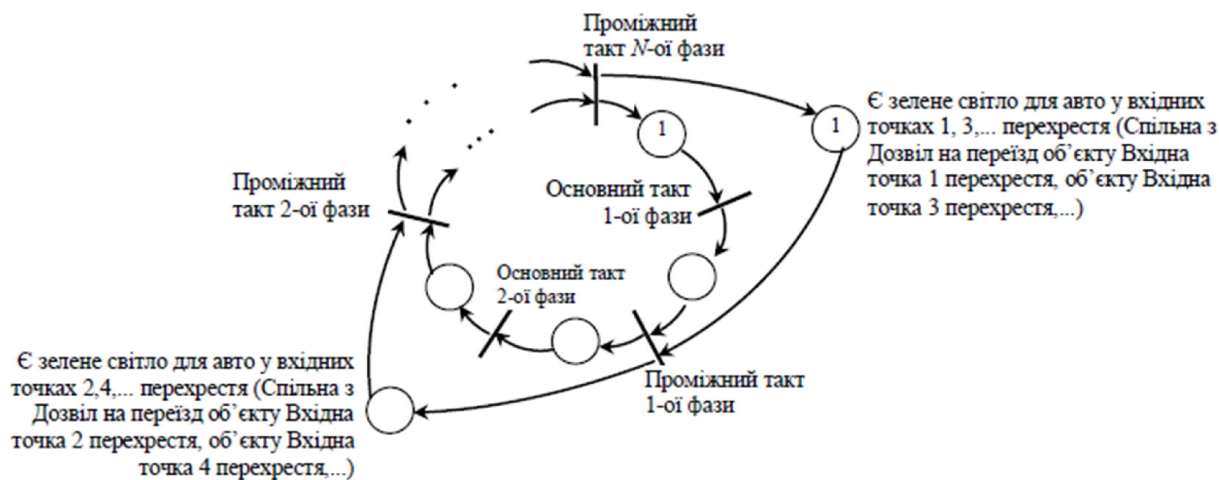


Рисунок 2.7 – Мережа Петрі-об'єкта Світлофорне регулювання

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 [33]. 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 рисунку 2.8 наведений приклад мережі Петрі-об'єкта Регулювання для випадку, коли дорожні знаки «Головна дорога» встановлені у напрямках 1 і 3. Регулювання знаками дорожнього руху «Дати дорогу» еквівалентно встановленню знаків «Головна дорога» для всіх інших напрямків перехрестя, для яких не встановлені знаки «Дати 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 i , водночас, наявність дозволу на здійснення руху. Дійсно, якщо немає авто у напрямку руху, то не потрібно надавати дозвіл на рух.

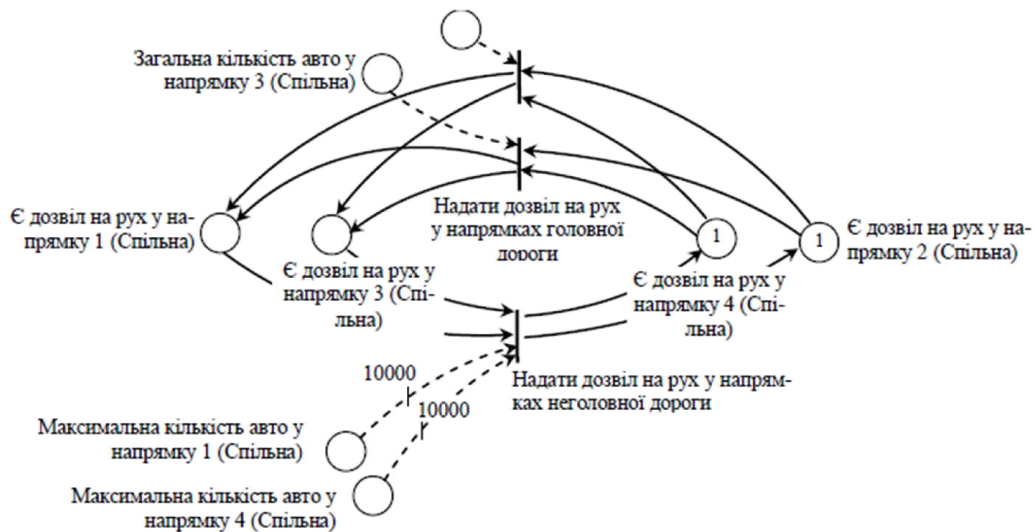


Рисунок 2.8 – Мережа Петрі-об’єктна Регулювання за знаками дорожнього руху «Головна дорога»

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 руху напрямку j ”. Зв’язки між Петрі-об’єктами Вхідна точка перехрестя, Вихідна точка перехрестя, Світлофор (рисунок 2.9).

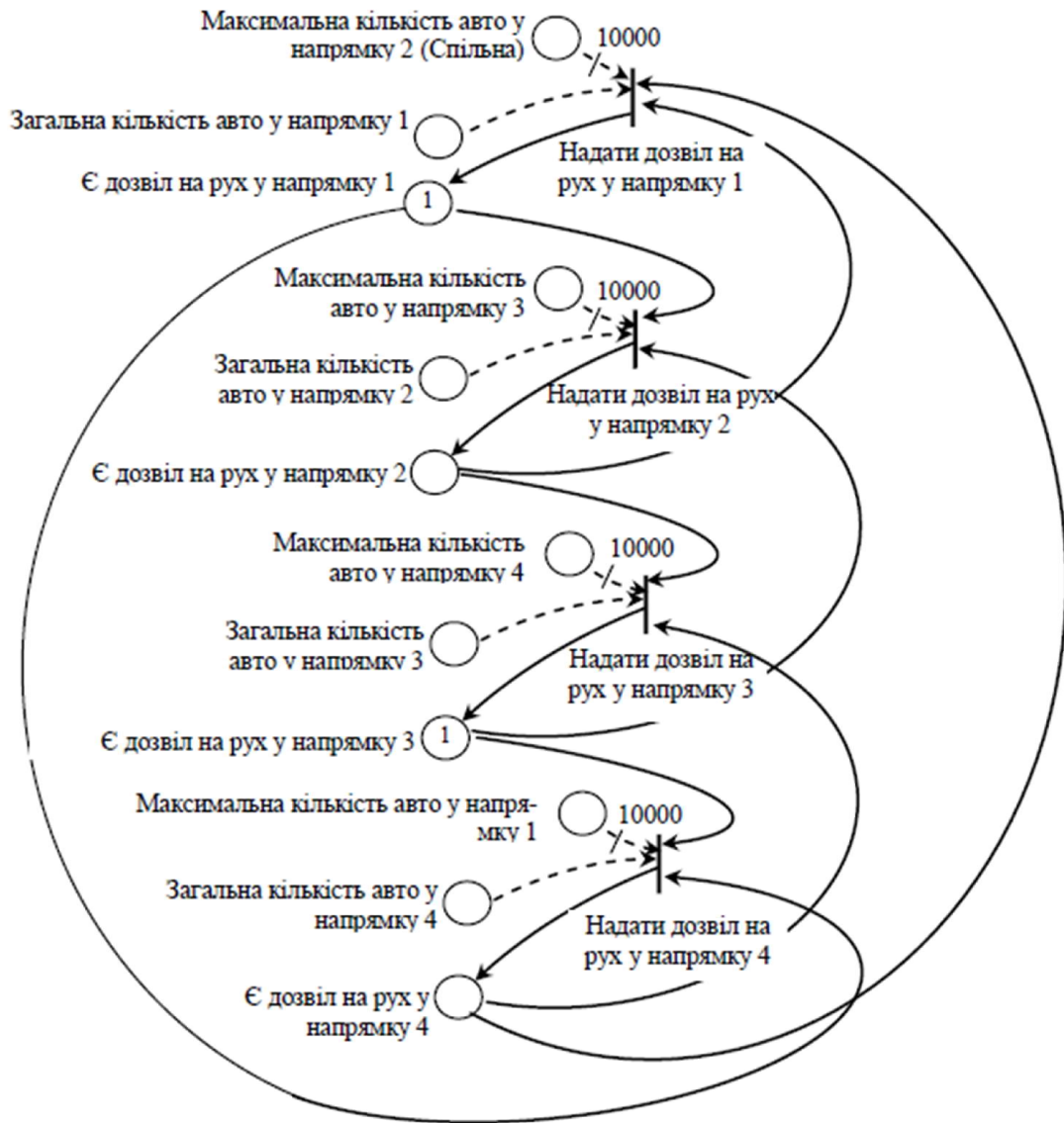


Рисунок 2.9 – Мережа Петрі-об'єкта Регулювання у випадку регулювання за правилом «Пропустити авто праворуч»

Генератор автомобілів 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 [33].

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».

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 [35]. Таким чином, отримуємо мережу Петрі-об'єкта Регулювання, приклад якої наведений у випадку руху за правилом «Пропустити авто праворуч» на чотирьох-сторонньому хрестоподібному перехресті.

3 СИСТЕМА КОНТРОЛЮ РУХУ

3.1 Структура системи контролю руху міського транспорту

В результаті перерозподілу потоків будується картограма пасажиропотоків маршрутів громадського транспорту (рисунок 3.1) та картограма інтенсивності транспортних потоків на ВДМ міста (рисунок 3.2).



Рисунок 3.1 - Картограма пасажиропотоків маршрутів громадського транспорту

Після того як отримані матриці кореспонденцій по шарах попиту, і вони розділені на види транспорту, якими будуть реалізовані, необхідно провести перерозподіл отриманих матриць кореспонденцій по транспортній пропозиції для вибору того чи іншого шляху реалізації цих кореспонденцій.



Рисунок 3.2 - Картограма інтенсивності транспортних потоків на ВДМ міста

Заключний етап розробки транспортних моделей зводиться до вдосконалення і адаптації основних визначальних співвідношень, що характеризують закономірності перерозподілу транспортного попиту з урахуванням чинної транспортної пропозиції стосовно місцевих умов. Цей етап називається калібруванням моделі.

Процес калібрування моделі є одним з найважливіших етапів у створенні транспортної моделі. В процесі калібрування необхідно домогтися максимальної близькості результатів, отриманих на основі моделювання, і даних, зібраних в результаті проведених обстежень пасажирських потоків та інтенсивності транспортних потоків.

Розглянемо приклад моделі транспортної мережі міста Львова. Підвищення інтенсивності транспортних потоків та невинне зростання кількості транспортних засобів в умовах обмеженої транспортної мережі та недосконалої організації руху транспорту зумовлюють подальше загострення транспортних проблем у великих містах.

Особливо це стосується старовинного міста Львова, зокрема, його центральної історичної частини, насиченої великою кількістю архітектурних пам'яток, вузьких вулиць та припаркованого транспорту. Обмежені можливості для модернізації та розвитку транспортної мережі в межах центральної, а також деяких периферійних частин міста унеможливають подальшу концентрацію транспортних потоків на невеликій кількості магістральних доріг, пропускну здатність і технічні параметри яких не відповідають необхідним вимогам[40].

Зокрема, у м. Львові рух основних потоків транспорту здійснюється по 60 вулицях загальною довжиною 150 кілометрів, хоча загальна кількість вулиць і їхня довжина набагато більші. Тоді як центральні вулиці міста перевантажені рухомим транспортом і працюють практично на межі їхньої пропускну здатності, значна кількість дрібних вулиць не використовується для руху міського транспорту. Можна стверджувати, що у багатьох великих містах підхід до організації руху транспорту, оснований на зосередженні транспортних потоків на невеликій кількості магістральних вулиць, себе вичерпав.

Подальший розвиток транспортної системи таких міст вимагає переходу від зосереджених до розподілених потоків. Такий перехід вже відбувся і добре зарекомендував себе в системах передавання даних та мікроелектронних пристроях.

Рівномірний розподіл транспортних потоків по території міста не тільки забезпечує додаткові можливості для руху транспорту, але й зменшує надмірний рівень загазованості та шуму в зоні транспортних магістралей. Забезпечення розподілу транспортних потоків вимагає розроблення, ідентифікації та аналізу відповідних моделей транспортної системи міста із широким застосуванням сучасної комп'ютерної техніки.

Потокові моделі транспортної мережі міста та їхня ідентифікація. Для опису топології транспортної мережі міста широко використовуються графові моделі, вершини яких відповідають перехрестям, а дуги – вулицям, що з'єднують ці перехрестя з урахуванням дозволених напрямків руху транспорту. Якщо кожній дузі такого графа поставити у відповідність число, яке відповідає інтенсивності транспортного потоку, то отримаємо мережеву модель (вузлову потокову модель), яка може використовуватись для аналізу та планування руху транспорту.

Такі самі моделі доцільно використовувати для опису транспортних потоків міста з урахуванням їх перерозподілу на перехрестях. Частину вхідного потоку p_{in} , яка через вузол n перерозподіляється до вершини j , можна визначити через коефіцієнт розподілу:

$$k_{inj} \quad k_{inj} = p_{inj} / p_{in}, \quad (3.1)$$

Відповідно вихідний потік p_{nj} можна визначити підсумуванням всіх потоків, які проходять через вершину n до вершини j [42].

Ідентифікація мережевої моделі для опису транспортних потоків м. Львова та їх перерозподілу на перехрестях здійснена з використанням відео зйомки 170 перехресть для дообіднього та післяобіднього періодів спостережень

(тривалістю 6 хвилин на кожне перехрестя). В результаті обробки відеоматеріалів аналітиками визначено потоки $pinj$ і спеціалізованою програмою розраховано коефіцієнти розподілу $kinj$ для всіх 170 вузлів мережевої моделі міста. Здійснена класифікація транспортних засобів за видом транспорту (легкові автомобілі, чотири групи вантажних автомобілів з урахуванням вантажопідйомності, чотири групи автобусів з урахуванням пасажиромісткості).

Така класифікація необхідна для формування транспортних сумішей в процесі комп'ютерного імітаційного моделювання. Для автоматизації обробки відеоматеріалів розроблена експериментальна програма, яка забезпечує розпізнавання і підрахунок автомобілів на лінійних ділянках. Однак задача автоматичного розпізнавання і класифікації транспортних засобів для визначення їх перерозподілу на перехрестях ще потребує подальшого розв'язання. Виконання обстежень двома періодами протягом дня дає змогу врахувати денні зміни напрямів та інтенсивності транспортних потоків і визначити відповідні коефіцієнти розподілу. Крім того, для кожної із семи зон, на які було поділене місто, виділялись ключові перехрестя, для яких обстеження здійснювались через кожні дві години протягом доби. Це дало змогу визначити добові зміни інтенсивності транспортних потоків для різних видів транспорту на ключовому перехресті [62].

Надалі вважалось, що такі добові зміни є характерними для всіх перехресть виділеної зони (оскільки більша частина транспорту зони проходить через ключове перехрестя).

Приведену інтенсивність транспортного потоку pim (що входить у вузол m) для будь-якого годинного періоду доби tx можна визначити як:

$$pim(tx) = pim(tz)/din(tz)*din(tx), \quad (3.2)$$

де $pim(tz)$ – приведена годинна інтенсивність потоку, що входить у вузол m для періоду спостережень tz ;

$din(tz), din(tx)$ – приведені годинні інтенсивності потоку, визначені на основі добового розподілу інтенсивності потоків ключового перехрестя для періодів спостережень tz та tx .

Вузлова потокова модель дає змогу визначити через pin або pni сумарну інтенсивність транспортних потоків у перетинах вулиць. Однак складові цих транспортних потоків представлені слабо. Тому для аналізу і наочного подання складових інтенсивності транспортних потоків у перетинах вулиць, а також опису перерозподілу транспортних потоків на перехресті пропонується потокова модель для перетинів.

Потокову модель для перетинів розроблена програма будує на основі вузлової потокової моделі. При цьому вершинам мережі відповідають перетини вулиць, а дугам транспортні потоки, визначені на основі вхідних потоків і коефіцієнтів розподілу на перехресті. Перетворення вузлової потокової моделі характерних перехресть у потокову модель для перетинів подане на рисунку 3.3.

Запропоновані моделі використано для аналізу транспортних потоків проблемної ділянки міста на вул. Стрийській (рисунок 3.4). На основі обстежень перехресть цієї ділянки визначено транспортні потоки та ідентифіковано вузлову потокову модель. Як видно з добового розподілу транспортних потоків, ключове перехрестя вул. Стрийська–Хуторівка–Наукова перевантажене транспортом практично протягом усього дня/ Кардинальним вирішенням цієї проблеми було б будівництво дворівневої розв'язки, яке відкладається через брак коштів. Тому актуальним є пошук альтернативних варіантів розв'язання цієї задачі [66].

Запропоновані потокові моделі забезпечують наочність подання транспортних потоків, виявлення критичних ділянок, формування нових маршрутів руху і пропозицій для вдосконалення транспортної мережі.

Розвиток цього підходу оснований на подальшій формалізації та автоматизації виявлення критичних ділянок, пошуку перспективних маршрутів руху транспорту (модифікація методу Дійкстри) і може бути використаний в сучасних системах автомобільної навігації (рисунок 3.5).

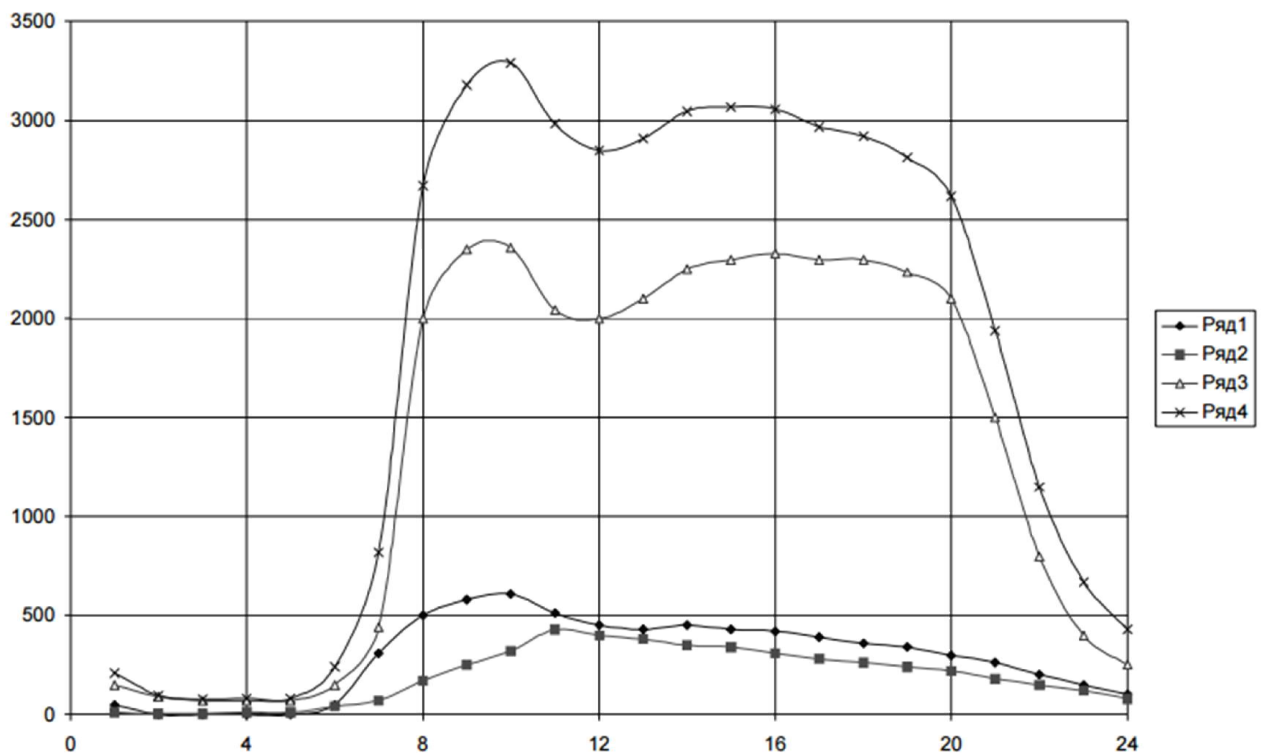


Рисунок 3.3 - Добовий розподіл інтенсивності потоків різних видів транспорту на ключовому перехресті вул. Стрийська–Хуторівка–Наукова

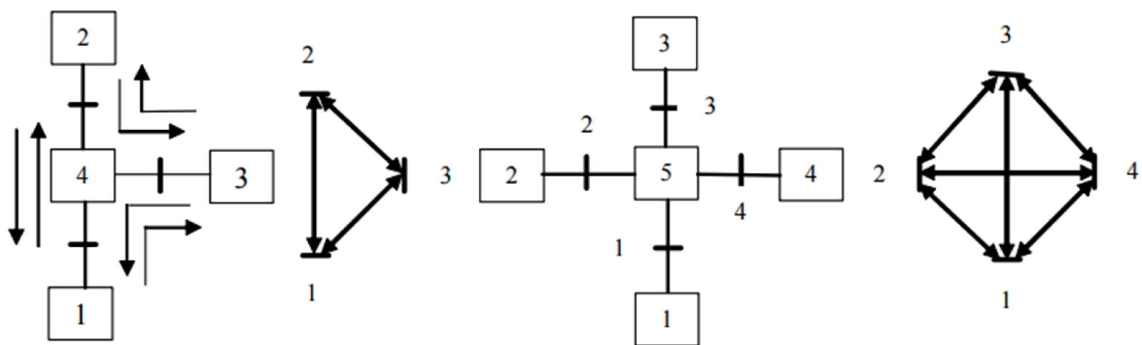


Рисунок 3.4 - Перетворення вузлової потокової моделі для характерних перехресть у потокову модель для перетинів

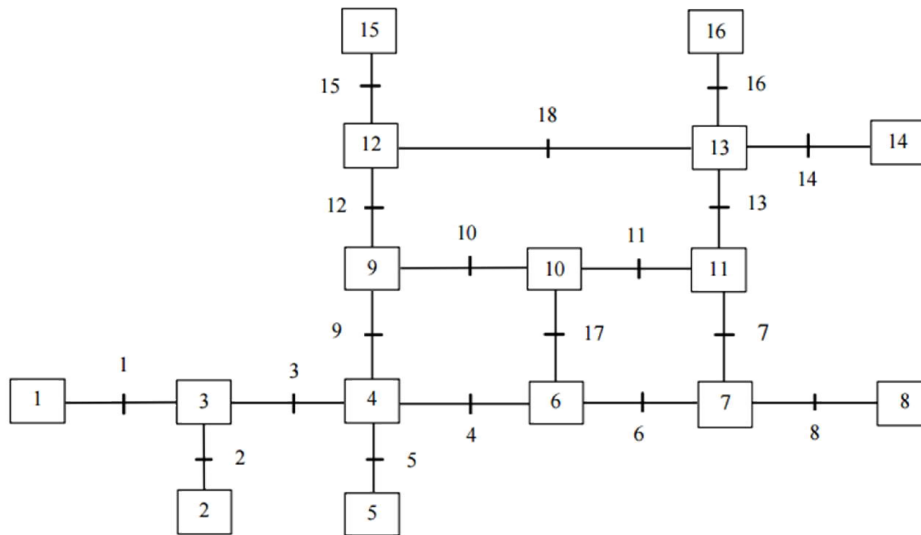


Рисунок 3.5 - Вузлова потокова модель ділянки міста на вул. Стрийській

Для аналізу транспортних потоків вул. Стрийської та прилеглих вулиць на основі вузлової потокової моделі побудована потокова модель для перетинів (рисунок 3.6).

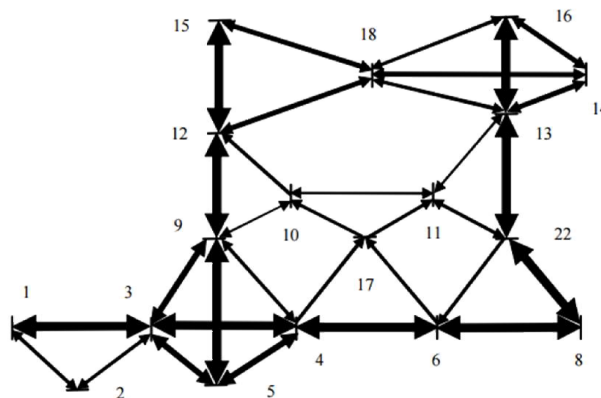


Рисунок 3.6 - Потокова модель для перетинів проблемної ділянки міста

Як видно з рисунка, прилеглі до вул. Стрийської вулиці значно менше завантажені транспортом. Для розвантаження перехрестя вул. Стрийська–Хуторівка–Наукова (вузол 4) перспективні перетини 6-17-10-12 (зменшення конфліктного для пішоходів потоку з Стрийської на Наукову – перетин 4-9) та перетин 4-17-11-13 (відкладений лівий поворот з Стрийської на Наукову). Крім

того, відсутність пішохідних потоків дає можливість побудувати правосторонні з'їзди на вул. Стрийську з вул. Наукова та вул. Хуторівка, що забезпечує пропускання потоків перетинів 5-4 та 9-3 без виїзду на перехрестя. Реалізація вказаних заходів забезпечує зменшення завантаження перехрестя на 15–20 %.

Зростання інтенсивності транспортних потоків й обмежені можливості модернізації та розвитку дорожньої мережі зумовлюють необхідність переходу від зосереджених до розподілених транспортних потоків на території міста.

Для нашої системи, використовуючи попередньо змодельовані Петрі об'єкти, необхідно виконати послідовні кроки у напрямку наступного моделювання, симуляції та створення робочої системи розподілу руху транспорту, а також засобів інформування до яких відносяться інтернет-сайти для планування транспортних шляхів, та пересувань громадян. Також важливим моментом є сервіси інформаційної підтримки водіїв під час руху до місця прямування. Все це являється підсистеми інтелектуальних транспортних систем (ІТС).

На сьогоднішній день, Україна не має достатньої кількості досвіду, та ресурсів для стрімкого розвитку у питаннях створення ІТС - ця сфера відносно нова, своїх фахівців практично немає, впровадження поодинокі, та й ті можна вважати сміливими експериментами за державний рахунок, а не чимось, що має практичну користь. Навіть сам термін «ІТС» поки що означає незрозуміло що. Офіційного трактування не існує, не дивлячись на те, що в області ІТС вже є перший стандарт ДСТУ ISO 14813-1 «Рекомендована модель архітектури для сектора ІТС». Стандарт є, а визначення ІТС в ньому немає.

Для розуміння структури системи необхідно чітко окреслити її спрямування в ІТС - це інтелектуальна система, яка використовує інноваційні розробки в моделюванні транспортних систем і регулювання транспортних потоків, що надає кінцевим споживачам більшу інформативність і безпеку, а також якісно підвищує рівень взаємодії учасників руху в порівнянні зі звичайними транспортними системами.

Інтелектуальні транспортні системи є місцем зіткнення автотранспортної індустрії та індустрії інформаційних технологій і базуються на таких основних ключах:

- моделюванні транспортних систем;
- регулювання транспортних потоків;
- інформативність і безпеку;
- якісно новий рівень інформаційної взаємодії учасників дорожнього руху.

Будь-яка автоматизована система управління, до якої в повній мірі відноситься ІТС, робить одну просту річ: вона збирає інформацію про об'єкт управління, аналізує її та надає на цей об'єкт пряме або непряме керуючий вплив.

Об'єктом управління для ІТС є транспортні потоки. Джерелом інформації про об'єкт управління є датчики і детектори на дорозі, суміжні інформаційні системи і введення даних оператором.

А ось для аналізу інформації про об'єкт управління необхідно закласти в систему певне уявлення про цей об'єкт, яке і називається моделлю. Детальність і точність моделі визначається виключно завданнями, що стоять перед ІТС.

Транспортні моделі діляться на математичні та імітаційні. Перші оперують відомими законами руху транспорту, представленими у вигляді формул, систем рівнянь і т.п. Другі імітують рух окремих транспортних засобів, поведінка водіїв, роботу світлофорів і т.п. На практиці ж буде застосовано суміш математичних і імітаційних моделей.

Дана система транспортного моделювання на макро-рівні (країна, місто, мікрорайон) оперуватиме демографічними даними (рисунок 3.7), поняттями «граф доріг», «зона тяжіння», «транспортний попит і пропозиція». У них закладені дані про відсоток використання автомобілів населенням, про пропускну здатність вулиць, про кількість пакувальних місць у торгових центрів. Макро-модель використовує в основному математичні методи моделювання та намагається відповісти на питання: «а навіщо і куди всі їдуть?», «А чи вистачить

пропускної спроможності вулиць, щоб всіх обслужити?», «А що буде, якщо цю вулицю перекрити?» і т.п.

Таким чином, метою системи для пошуку оптимального шляху розподілу транспортних потоків міського транспорту є аналіз поточного стану на шляху спрямування та розподілу навантаження на конкретні шляхи прямування.

Для симуляції і формування різноманітних транспортних потоків на макро-рівні використано програмний пакет PTV Visum.

В даному середовищі ми штучно генеруємо карту певної місцевості з її авто шляхами, які піддаємо тестуванню різною завантаженістю потоків.

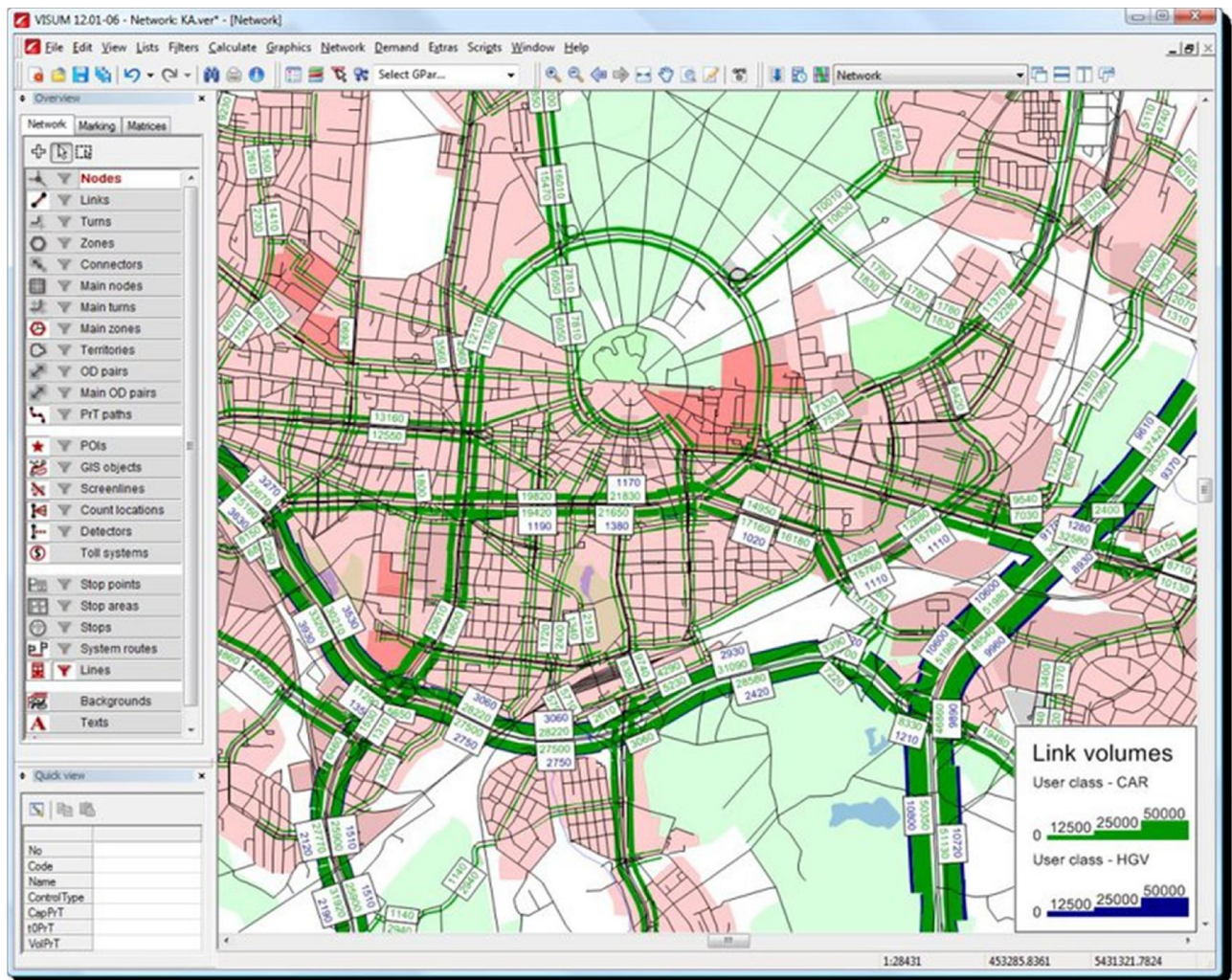


Рисунок 3.7 – Моделювання макро-моделі міста в PTV Visum. Розподіл потоків за спрямуванням.

У випадку мікро-моделей, оперуємо конкретними об'єктами - регульоване перехрестя, транспортна розв'язка, мережа вулиць, автомобіль. При цьому мікро-модель «знає» про кількість смуг руху, про наявність підйомів / спусків, про характеристики двигунів автомобілів (як швидко вони можуть рушити), про правила руху і зупинки.

Щоб мікро-модель запрацювала на повну потужність, їй на вхід необхідно подати інформацію з макро-моделі: кількість і склад транспортних засобів в певні моменти часу (скільки легкових і скільки вантажних машин, скільки автобусів, трамваїв і т.п.), особливості поведінки водіїв (чи часто перебудовуються, як часто виконують вказівки знаків і табло, чи дотримуються правила паркування). Якщо дані макро-рівня вірні, мікро-рівень дозволяє з високою точністю імітувати реальний транспортний потік.

Саме на мікро – моделях буде зосереджена наша система. Конкретніше, на пошуку оптимального рішення для перерозподілу міського транспорту в найбільш проблемних точках (рисунок 3.8).

Для симуляції таких точок, їх дослідження та пошуку шляхів виходу з них – використано програмне середовище для мікро-моделювання Aimsun.

Основним призначенням даного програмного забезпечення є проведення експериментів з транспортними моделями. Aimsun надає можливість перевірити, як ті чи інші зміни в організації руху позначатимуться на трафіку.

Таким чином можливо налаштувати світлофори, прийняти рішення про розширення вулиці, про заборону чи дозвіл поворотів, про організацію одностороннього руху. Модель допоможе розробити тимчасові плани організації руху на період проведення великих заходів - змагань, вуличних парадів і т.п. На рівні міста транспортна моделювання дозволить прийняти рішення про наслідки для транспортної обстановки будівництва чергового торгового центру або нового мікрорайону. Іншими словами, симуляція транспортної моделі - незамінний засіб по врегулюванню руху транспорту міста без тяжких наслідків.

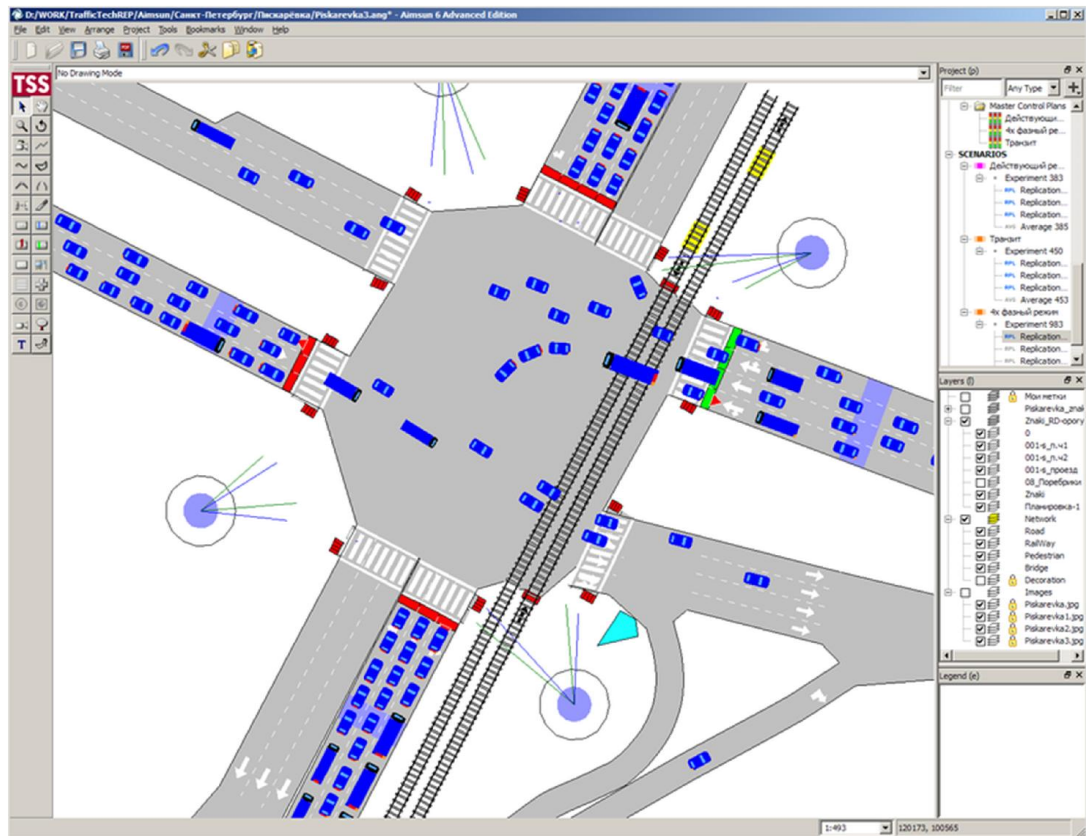


Рисунок 3.8 – Моделювання транспортної розв’язки міста в середовищі Aimsun. Перерозподіл навантаження.

Чим точніше модель, тим більше різноманітної інформації вона зберігає. Підтримувати модель в актуальному стані означає відображати в ній всі зміни в реальному часі - перекриття руху, ремонти доріг, поява нових доріг, світлофорів, смуг руху, житлових районів, шкіл, офісів і торгових площ. Підтримка моделі в актуальному стані - це трудомісткий і відповідальний процес, який вимагає організацію внутрішніх процесів та стабільності інформаційних каналів (рисунок 3.9).

Цілком ймовірно, що більшість проблем вдасться вирішити грамотним використанням наявних технічних засобів організації руху. Але коли наявних технічних засобів недостатньо, постає питання про використання ІТС, а саме таких макро і мікро моделей.

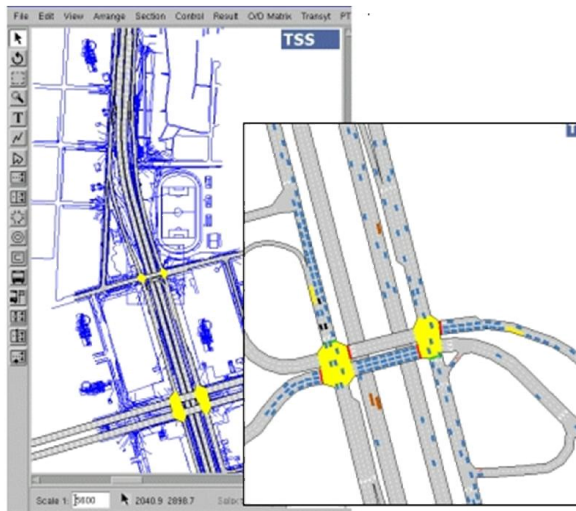


Рисунок 3.9 - Розподіл транспортних потоків за шляхом спрямування.
Знаходження конфліктних точок.

Одним із головних питань регулювання моделей транспорту як в макро так і мікро моделях в умовах міста є мережеве координоване управління світлофорами (так звані «розумні світлофори») і розміщення цифрових інформаційних табло на розвилках (рисунок 3.10).

Об'єднання світлофорів в мережу саме по собі очевидно і корисно, враховуючи дешевизну електроніки. При наявності системи вуличного відеоспостереження це дозволяє регулювати світлофори в ручному режимі.

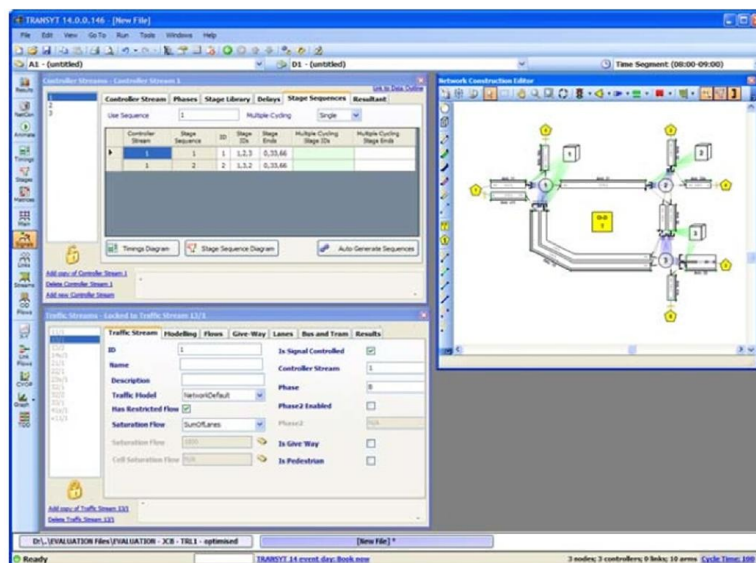


Рисунок 3.10 - Моделювання роботи системи світлофорного регулювання транспорту. Тестування контрольних точок.

Такі світлофори стають ефективними у разі якщо перехрестя оснащене системою детекторів транспорту, а в центрі контролю працює спеціальний алгоритм. Необхідність в «розумному» світлофорі, а також налаштування алгоритму управління в нашій системі визначається за допомогою транспортної моделі яка є змодельованою в середовищі, або існує в реальному часі і спеціального «світлофорного» модуля, що дозволяє розрахувати початкові параметри циклу регулювання і визначити межі автоматичного управління.

3.2 Технічне забезпечення системи контролю

Після комп'ютерного тестування і моделювання руху та розподілу транспортних засобів для нашої системи, необхідно визначитися з технічним забезпеченням для такої системи.

Для реалізації і побудови даної системи, що буде функціонувати в режимі реального часу, необхідні технічні засоби для відслідковування транспортних засобів, таких як GPS навігатори, системи зовнішнього відеоспостереження та системи для контролю руху транспорту в режимі “онлайн”.

Для початку визначимося з GPS-навігатором для об'єкту що є учасником дорожнього руху.

Є дві основні групи, що поділяються за функціоналом GPS трекерів.

Спираючись на проектування і експлуатацію нашої майбутньої систем, розділимо функціонал обладнання на дві умовні групи: стандартна, професійна.

Стандартні вимоги при виборі GPS трекерів

- похибка геолокації становить не більше 5 м;
- зовнішня (невбудованої) GPS антена;
- час холодного старту трекера становить не більше 50 секунд;
- передача інформації по каналу GPRS відбувається в реальному часі;

- наявність універсальних входів для підключення підключених датчиків (дискретних, аналогових, імпульсних або цифрових);
- частота передачі інформації під час руху - не рідше 15 сек, на стоянці - не рідше 15 хвилин;
- реакція на події: швидкість, паливо, азимут з точністю не менше 20 градусів);
- наявність внутрішньої пам'яті (для запису даних при відсутності мережі);
- наявність датчика температури, вимірювання напруги бортової мережі;
- можливість віддаленої конфігурації і перепрошивки;
- вбудований захист автомобільного акумулятора від розряду.

Відповідність всім вищевказаним параметрам є фундаментально важливою і їх недотримання говорить про використання застарілих технологій, або про «урізано» версію.

Вибір GPS трекерів професійного класу

- Окремо позиціонуємо GPS-трекери професійного класу. Їх переваги відносно стандартних GPS-трекерів наступні:
- розширений діапазон живлення;
- захист від стрибків напруги (мінімум подвійний запас міцності);
- ідентифікація факту відключення живлення;
- можливість самодіагностики коректності роботи GPS-приймача;
- наявність цифрових інтерфейсів RS-485 або RS-232;
- віддалена внутрішня діагностика;
- передача параметрів якості сигналу (прийом GPS, GSM);
- автономне живлення датчиків рівня палива (далі - ДК) або інших датчиків;
- гальванічна розв'язка силовий і сигнальної лінії при роботі з ДУ;
- «Розумні» алгоритми читання палива і передачі даних;
- можливість передачі даних по радіоканалу;
- можливість підключення до CAN-шині (не тільки FMS).

В нашому випадку при виборі GPS трекера будемо вважати головним не вартість, а функціонал який нам необхідний для оптимальної роботи.

Переконавшись в тому, що доступний функціонал обраного GPS трекера влаштовує програмне забезпеченням яким ми користуємося при модуляції розподілу транспорту, можна розміщувати його на об'єкті, що є учасником дорожнього руху.

Таким чином було вибрано GPS трекер M70 (рисунок 3.11), який дозволяє конструктивно наростити функціонал системи без заміни базового блоку.

Таблиця 3.1 – технічні характеристики GPS-трекеру M70

Модем:	Значення
Тип	QuectelM95
Кількість діапазонів	4
Частота діапазонів	GSM-850/GSM-900/DSC-1800/PCS-1900
GPS приймач:	
Тип	uBlox NEO-8N
Кількість діапазонів	5
Підтримка системи позиціонування	GPS L1, GLONASS L1, GALILEO E1 B/C, SBAS, QZSS L1
Кількість каналів стеження	99
Чутливість	-162дБ (відслідковування) 182дБ (с підсилювачем)
Час “Холодного старту”	29 сек
Час старту при включенні AGPS	5 сек
Час “Гарячого старту”	1 сек
Точність визначення координат	4.0 м (2.5м ідеал. умови)
Мікропроцесор:	STM32L ARM Cortex M3

У порівнянні зі іншими M70 має велику перевагу - тепер можна буде отримувати дані з координатами в будь-який час, коли це необхідно користувачу.

В режимі "Сон" час автономної роботи збільшено до 3-років, а якщо скомандувати маячку відправляти повідомлення раз в тиждень, то заряду вистачить на 8 років. У режимі "Очікування", коли трекер буде завжди на зв'язку працювати можна буде протягом 20 днів - у разі чого можна буде завжди змінити режим і налаштування потреби системи.



Рисунок 3.11 – GPS – трекер M70

Щоб налаштування трекеру потрібно його активувати. Для цього потрібно натиснути кнопку і покласти його GPS антеною вгору.

Зареєструвати номер телефону в якості номера телефону власника. Щоб це зробити, потрібно після того, як світлодіод зробить два короткі зелені спалахи, зателефонувати з мобільного телефону на номер, вказаний на картці в коробці;

Дочекайтеся відповідних SMS повідомлень з підтвердженням реєстрації телефонного номера власника;

Поставити GPS Маркер на об'єкт спостереження, направивши GPS / ГЛОНАСС антену вгору.

3.3 Програмно-апаратне забезпечення системи контролю

При виконанні наших основних вимог щодо забезпечення системи як вхідними даними моделювання (додаток В) так і технічною базою для встановлення на реальні об'єкти, можна приступити до програмної реалізації системи перерозподілу потоків міського транспорту в критичних точках.

Виходячи з базового алгоритму, центрального вузла об'єкту Петрі мережі, будемо алгоритм залежності ключових точок що проходить транспортний засіб під час критичної ситуації на дорозі (рисунок 3.12).

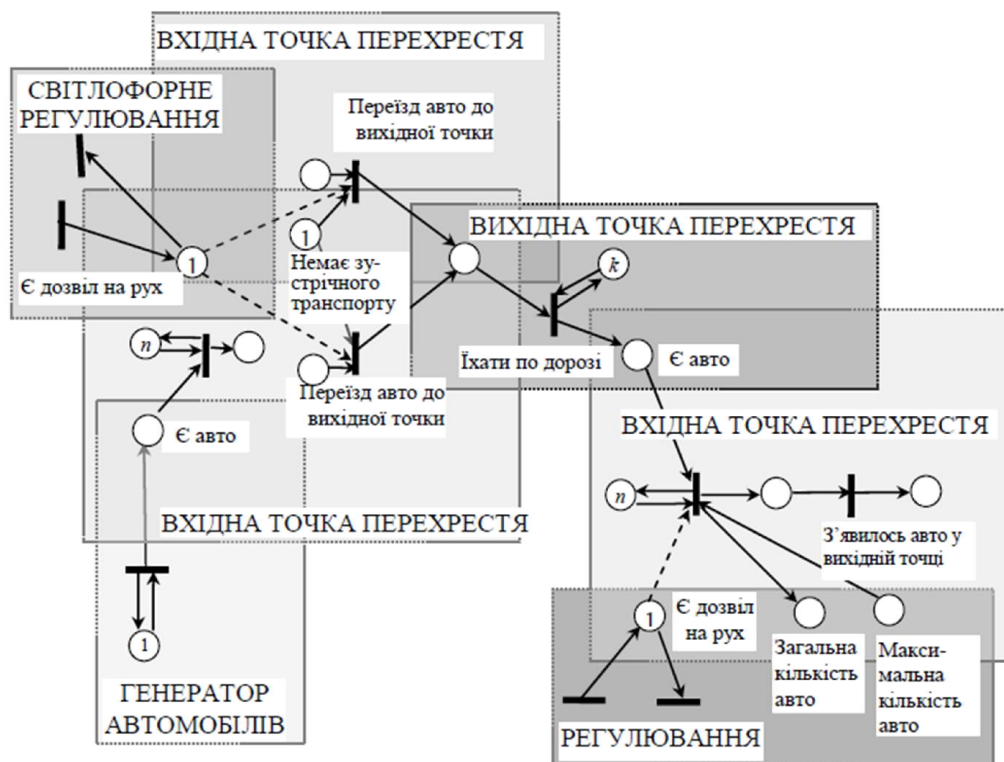


Рисунок 3.12 – Зв'язки між Петрі-об'єктами Вхідна точка перехрестя, Вихідна точка перехрестя, Світлофорне регулювання, Регулювання, Генератор автомобілів

Подальшим завданням є реалізація усіх складових алгоритму в режимі моделювання транспортних потоків, що були наведені вище, та їх подальше “зіткнення” в критичних точках.

Таким чином, ми починаємо модулювати декілька транспортних потоків включаючи необхідні для нас вузли на шляху прямування, враховуючи залежність у русі різних транспортних засобів (додаток Г.1).

Далі наведено послідовні дії для накладання декількох транспортних потоків та створення критичних точок, знаходження яких є завданням системи.

Перед початком відслідковування шляху пересування транспортних засобів, необхідно обрати ту техніку яка нас цікавить в даний момент і яка знаходиться в робочому режимі (рисунок 3.13).

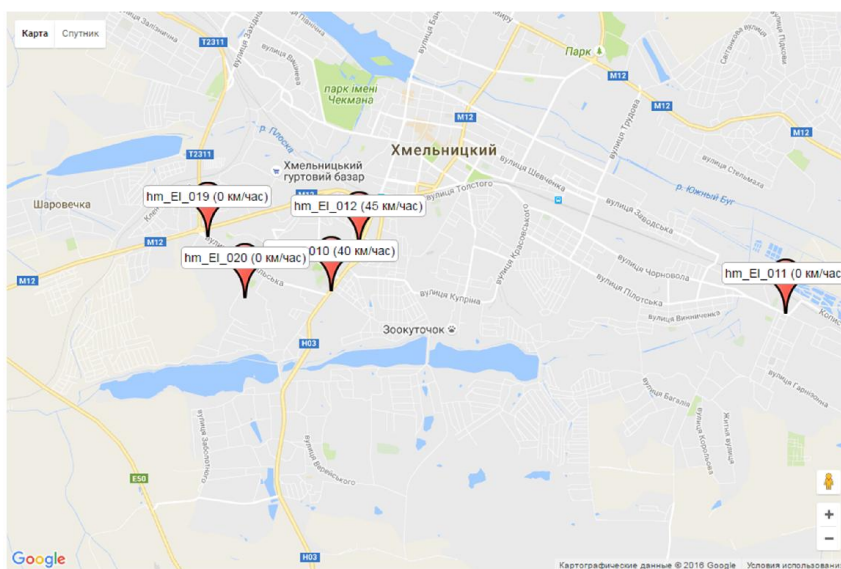


Рисунок 3.13 – Вибір необхідних транспортних засобів.

Після цього, обираємо необхідний для користувача транспортний засіб та починаємо відслідковувати його шлях прямування. Це дає нам інформацію про усі контрольні точки під часу руху транспортного засобу, такі як зупинка, виїзд на перехрестя, висадка пасажирів і т.д (рисунок 3.14).

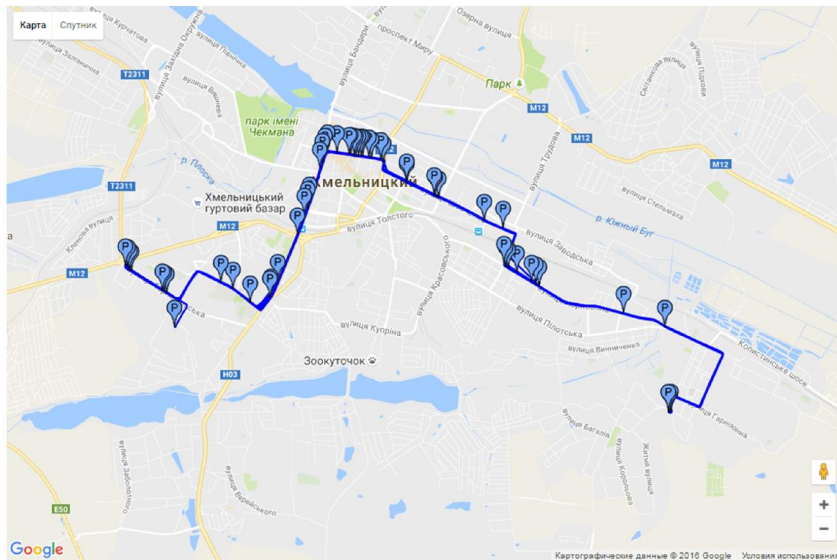


Рисунок 3.14 – Відслідковування пересування першого об’єкту

Далі обирається наступний об’єкт який має точки пересічення з попереднім, які в свою чергу можуть викликати критичну подію у місцях зустрічі (рисунок 3.15).

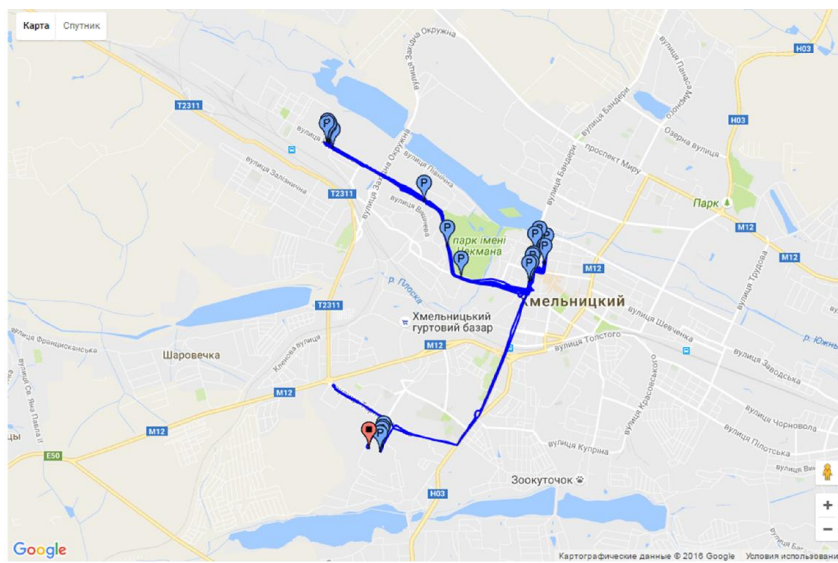


Рисунок 3.15 – Відслідковування пересування наступного об’єкту

Після отримання декількох таких треків маршрутів транспортних засобів ми можемо накласти їх зображення між собою та отримати критичні точки їх пересічень (рисунок 3.16).

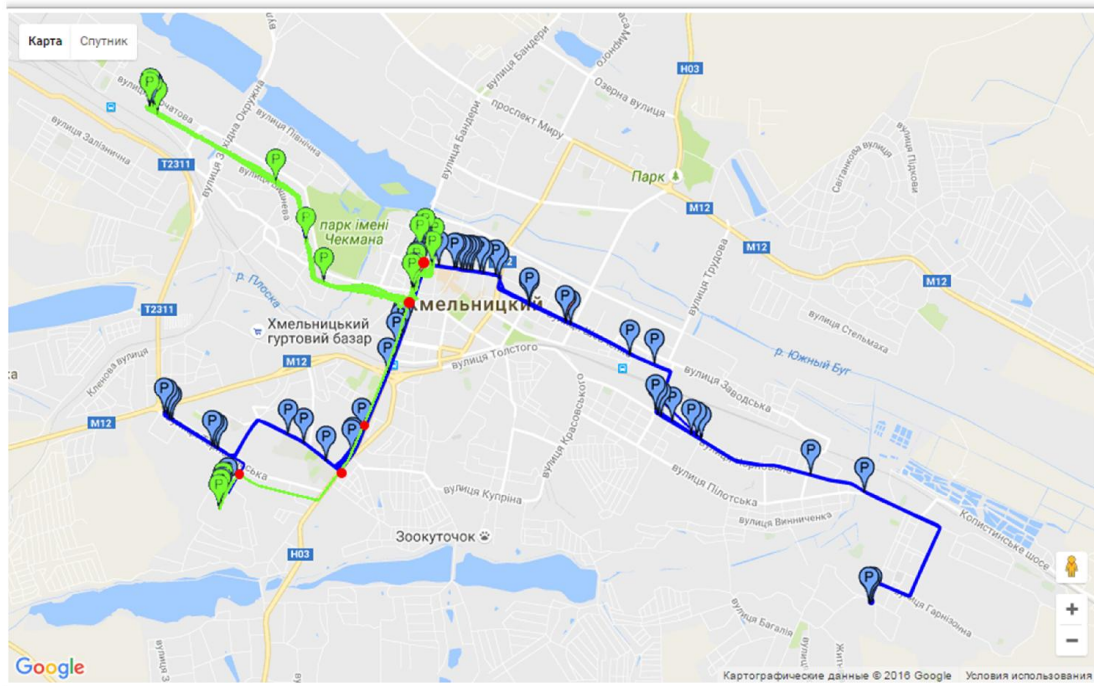


Рисунок 3.16 – Критичні точки пересічення треків

Ці критичні точки являють собою місця у яких транспортні засоби змушені були затриматися на час більший, ніж звичайна зупинка на перехресті або світлофорі або, що важливо для нас, у результаті з пересіченням з іншими транспортними засобами які прямують іншим потоком. Тепер отримавши дані про критичні точки між використаними транспортними потоками, ми маємо можливість зрозуміти виникнення основних проблем утворення заторів або утруднених роз'їздів які пов'язані з не своєчасним розподілом транспорту шляхом регулювання руху.

ВИСНОВКИ

Результатом виконання даного дипломного проекту є розроблена модель для відслідковування критичних точок які утворюються при пересіканні декількох транспортних потоків в одному місці. Головним завдання моделі є надання інформації для пришвидшення усунення критичних точок що з'явилися у транспортному потоці.

Для отримання робочої моделі і наступного її впровадження в роботу системи контролю руху міського транспорту, було досліджено і виконано наступне:

1. Розглянуто і досліджено основні рівні утворення та розподілу транспортних потоків. Для опрацювання було обрано типові не великомасштабні транспортні потоки, як перспективні в можливості дослідження та врегулювання. На основі таких потоків розроблено необхідні для нашої моделі вузли об'єктів мереж Петрі, за якими складалися подальші моделі та можливість появи критичних точок у них.

2. Освоєно роботу з створенням різноманітних типів транспортних потоків, та їх конфігурації. Набуто навички керування, та обслуговування потенційних транспортних систем. Досліджено основні принципи регулювання транспортних потоків. Під час виконання проекту було досліджено основні принципи роботи систем моделювання транспортних потоків, їх відмінності і переваги. Також було детально досліджено макро та мікро рівні розповсюдження потоків.

3. Для роботи моделлю було використано програмні продукти PTV Visum та Aimsun. На основі цих продуктів було досліджено принципи роботи транспортних моделей та проблематика їх розподілу. Це дало можливість порівняти роботу різних транспортних потоків, а також знайти основний напрямок для подолання подій що виникають у місцях утворення критичних точок у місцях пересікань транспортних потоків. Дослідивши принципи утворення критичних точок, послідовність їх утворення, систематику та

наслідки, ми отримаємо дані для пошуку шляхів вирішення проблем пересікань транспортних потоків.

Сутність таких даних полягає в знаходженні можливості підвищення швидкості усунення таких критичних точок, а в подальшому їх цілковите усунення шляхом перерозподілу транспортних потоків. При обробці таких даних з'являється можливість знаходження шляхів для подолання проблем перенавантажених транспортних потоків у великих містах, та можливості усунення недоліків при необхідності термінового перерозподілу транспортних потоків в екстрених ситуаціях.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Методичні рекомендації до виконання дипломної роботи з освітньо-кваліфікаційного рівня “Магістр”. Спеціальність „Комп’ютерні системи та мережі” / О.М. Березький, Л.О. Дубчак / Під ред. О.М. Березького – Тернопіль: ТНЕУ, 2015.– 47 с.
2. Рекомендації НМК МОНУ з „Комп’ютерної інженерії” щодо тематики, змісту і оформлення кваліфікаційних робіт випускників ВНЗ України (прийняті 16 травня 2006 року на виїзному засіданні НМК в Таврійському державному університеті ім.. В.І.Вернадського, м. Сімферополь) / Укл. проф. Мельник А.О., проф. Скатков О.В., проф. Тарасенко В.П.
3. Бюлетень ВАК України. – 2007. - №6.
4. Методичні вказівки до виконання магістерської кваліфікаційної роботи для студентів спеціальностей 8.091501 „Комп’ютерні системи та мережі” / Я.С.Парамуд, В.Ф. Ємець – Львів: Вид-во НУ „Львівська політехніка”, 2003. – 28 с.
5. Магістерська атестаційна робота. Положення і методичні вказівки для магістрів інституту телекомунікаційних та комп’ютерних систем / В.М. Локазюк, В.Т. Кондратов, І.В. Троцишин. – Хмельницький: ХНУ, 2004. – 28 с.
6. Методичні рекомендації до виконання дипломної роботи з освітньо-кваліфікаційного рівня „Магістр”. Спеціальність 8.091501 – комп’ютерні системи та мережі / О.М. Березький, І.А. Білоусов, Н.М. Васильків, І.В. Васильцов / Під ред. І.А. Білоусова – Тернопіль: ТАНГ, 2002. – С. 12
7. Зубко Р.А. Моделювання контролю руху міського транспорту на основі мереж Петрі / Зубко Р.А., Борейко О.Ю. // Сучасні комп’ютерні технології: Матеріали всеукраїнської школи-семінару. – Тернопіль: Видавництво ТНЕУ, 2016- С. 11-13

8. Бузовський Е. А. Високоєфективне використання транспорту/ Е. А. Бузовський. Київ: Наук. Думка, 1989. – 122с.
9. Гончаров С. Транспортний комплекс України /С. Гончаров //Фондовий ринок. – 2011.- №20. – С.122-126
- 10.Діак І. Наш транзитний пасажир: Газопроводи України // Україна молода. – 2001. – 19 квітня – С. 16-18
- 11.Дикаль В., Креймер В. Эффективность транспортных систем // Бизнес – Информ. – 1998. - №12. – С. 9-11
- 12.Єдін О., Цветов Ю. Транспортна політика в Україні / О. Єдін, Ю. Цветов // Економіка України. – 2010. - №1. – С. 22-31
- 13.Позднякова Л. Проблеми стабілізації транспортної системи України / Л. Позднякова // Бізнес-інформ. – 2010. - №13 – 14.
- 14.Шаблій О.І. Соціальна та економічна географія світу і України/ О.І. Шаблій. Київ, 1998. – 368с.
- 15.Хахлюк А. “Україна – транзитна держава”/ А. Хахлюк // Економіка України. – 2004. - № 1.
- 16.Алаєв Є.Б. Соціально-економічна географія: Термінологічний словник / Э.Б. Алаев. – Москва: Думка. 2009. – 678с.
- 17.Гілецький Й.Р. Географія: довідник / Й.Р. Гілецький, Р.Р. Сливка, М.М. Богович. – Харків: Видавництво Ранок, 2009. – 480 с.
- 18.Інформаційний портал «Міський транспорт» [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://gorodtransport.ru/klassifikaciya-vidov-gorodskogo-transporta/>.
- 19.Йонкис А. Применение логистики в сфере оптимизации потоков городского транспорта / А. Йонкис // Праці Одеського політехнічного університету. – 2011. – N 1. –С. 295-300.
- 20.Казанский Н.Н. Экономическая география транспорта: Учебник для вузов / Н.Н. Казанский, В.С. Варламов, В.Г. Галабурда и др.— М.: Транспорт, 1991. – 280 с.

21. Канторович Л.В. Транспорт в системе народного хозяйства (планово-экономические проблемы) / Л.В. Канторович, Н.В. Паесон. – Москва: Наука, 1980. – 111 с.
22. Лігум Ю.С. Економічна модель якості обслуговування пасажирів на маршрутах міської пасажирської транспортної системи / Ю.С. Лігум, Є.Г. Логачов // Науковий економічний журнал: актуальні проблеми економіки. – 2004. – №1. – С. 124-139.
23. Офіційний сайт присвячений міському пасажирському транспорту в Україні та світі. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: http://urbantransport.kiev.ua/ua_276.html.
24. Правдин Н.В. Взаимодействие различных видов транспорта / Н.В. Правдин, В.Я. Негрей. Москва: Транспорт, 1989. – 208 с.
25. Приймук О.Р. Міська пасажирська транспортна система мегаполісу / О.Р. Приймук // Збірник наукових праць ДЕТУТ. Серія «Економіка і управління». – 2009. – Вип. 14. – С. 21-31. 11.
26. Є.П. Качана Розміщення продуктивних сил України/ Качан Є.П. Київ: Вища школа, 1999. – 375 с.
27. Казанский Н.Н. Економічна географія транспорту: Посіб. для екон. спец. трансп. вузів / Н.Н. Казанский, В.Р. Галабурда, В.С. Варламов, др. – Москва: Транспорт, 1991. – 278 с.
28. Транспортное планирование: создание транспортных моделей городов: монография / Якимов М.Р. Москва: Логос, 2013. – 188 с.2.
29. Якимов М. Р. Математическое моделирование распределения транспортного спроса в транспортной системе города. / М.Р. Якимов Київ: Транспорт, 2010. – №10. С. 7–13.3.
30. Якимов М.Р. Общий алгоритм работы четырёхшаговой транспортной модели. / М.Р. Якимов Вестник Иркутского государственного технического университета. – 2011. – № 1 (48). С. 132–138.

31. Гасников А.В. Введение в математическое моделирование транспортных потоков: Учебное пособие / А.В. Гасников. Москва: МЦНМО, 2012. – 230с.
32. Введение в математическое моделирование транспортных потоков. [Электронный ресурс] / Швецов В.Л., Калинина В.В., Беттгер К., Прохоров А. В // Бібл. Трансп. – 2006 – С.41-45. - Режим доступа: <http://old.ptv-vision.ru/assets/Uploads/data/thesisBDD.pdf>
33. Questionnaire population [Электронный ресурс] / D. Ortuzar, G. Willumsen. Modelling// Transport, 3rd Edition, London (England). 2006. - Режим доступа: <http://goo.gl/forms/Baz91ZIU2K>.
34. Шишков Ю. В. Мирохозяйственный механізм: движение к глобалистике / Ю.В. Шишков. Москва: Экономистъ, 2003. – 35 с.
35. Могилевкин И. М. Транспорт. Мировая экономика. Глобальные тенденции за 100 лет / И.М. Могилевкин. Москва: Экономистъ, 2003. - 332 с.
36. Комаров М. П. Инфраструктура регионов мира./ М.П. Комаров. - СПб, 2010. – 97 с.
37. Хахлюк А.М. Інфраструктурні галузі у світовому господарстві // А.М. Хахлюк, А.С. Філіпенка. Київ: Либідь, 2001. – С.275-276.
38. Ломакин В.К. Мировая экономика./ В.К. Ломакин. Москва: ЮНИТИ, 2011. – 96 с.
39. Новицький В.Є. Міжнародна економічна діяльність України./ В.Є. Новицький. Підручник. Київ: КНЕУ, 2003. – 304 с.
40. Буров Є. Комп'ютерні мережі / Є. Буров. Львів: БаК, 1999. – 468 с.
41. Олифер В.Г. Компьютерные сети. Принципы, технологии, протоколы / В. Г. Олифер, Н.А. Олифер. СПб: Питер, 2001. - 672 с.
42. Шатт.С. Мир компьютерных сетей./ С. Шатт. Київ: ВНУ, 1996. –446 с.
43. Швиденко М.З. Сучасні комп'ютерні технології/ М.З. Швиденко, Львів: ННЦ “Інститут аграрної економіки”, 2007. – 705 с.

44. Швиденко М.З., Матус Ю.В. Комп'ютерні мережні технології. / М.З. Швиденко, Ю.В. Матус Навч.-метод. посібник. – Київ: ТОВ “Авета”, 2008. – 211 с.
45. Швиденко М.З., Матус Ю.В. Технології комп'ютерних мереж. / М.З. Швиденко, Ю.В. Матус Навч.-метод. посібник. Київ: Видавництво ООО “Береста”, 2007. – 343 с.
46. Бірюков М.Л., Стеклов В.К., Костік Б.Я. Транспортні мережі телекомунікацій: Системи мультимплексування: Підручник для студентів вищ. техн. закладів; За ред. В.К. Стеклова. – К.: Техніка, 2005. – 312 с.
47. Буров Є.В.. Комп'ютерні мережі. / 2-е вид., оновл. і доп. – Львів –Бак, 2003. - 11 с.
48. Теоретичні основи завадостійкого кодування. Частина1: Підручник/ П.Ф.Олексенко, В.В.Коваль, Г.М.Розорінов, Г.О.Сукач.- К.: Наукова думка. - 2010. - 192 с.
49. Глинский Я.М., Ряжська В.А.. Інтернет. Сервіси. HTML і web-дизайн./ Навчальний посіб. – Львів – Деол, 2002. – 48.с
50. Цифрова обробка аудіо- та відеоінформації у мультимедійних системах: Навчальний посібник/ О.В. Дробик, В.В. Кідалов, В.В. Коваль, Б.Я. Костік, В.С. Лазебний, Г.М. Розорінов, Г.О. Сукач. – К.: Наукова думка, 2011. – 190 с.
- 51.Теоретичні основи завадостійкого кодування. Частина 2: Підручник/ П.Ф.Олексенко, В.В.Коваль, Г.М.Розорінов, Г.О.Сукач.- К.: Наукова думка. - 2011. - 284 с.
- 52.Кролл Э. Все об Internet/ Э. Кролл. Київ.: ВНУ, 1995. – 119 с.
53. Андерсон К., Минаси М. Локальные сети./ К. Андерсон, М. Минаси Київ: ВІК, 1999. – 87 с.
54. Гистер П. Навигатор Internet./ П. Гистер. Москва.: Джон Уайли енд Санз, 1994. – 131 .с
55. Кент П. Internet : следующий шаг./ П. Кент. Москва.: Компьютер, 1996. – 91 с.

56. Кульгин М. Технологии корпоративных сетей./ М. Кульгин. СПб.: Питер, 1999. – 341 с.
57. Мару М. Компьютерные сети./ М. Мару. Москва.: Microsoft Press, 1996. – 34 с.
58. Zalcman A. Teach Yourself Networking VISUALLY/ A. Zalcman Published by IDG Book Worldwide, Inc. London (England) – 2003. – P. 75-88
59. Stefi. A Internet Information Server/ A. Stefi. Microsoft Press Москва: Русская редакция, - 1996. – 113 с.
60. Куїн Л., Рассел Р. Fast Ethernet./ Л. Куїн, Р. Рассел. Київ, 1998. – 54 с.