

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ АВТОМОБІЛЬНО-ДОРОЖНІЙ
УНІВЕРСИТЕТ

Кафедра організації і безпеки дорожнього руху

Абрамова Людмила Сергіївна

Ширін Валерій Вікторович

Капінус Сергій Васильович

Птиця Геннадій Григорович

Конспект лекцій з навчальної дисципліни
«УПРАВЛІННЯ ДОРОЖНІМ РУХОМ»
для здобувачів освітнього ступеня
доктор філософії у галузі транспортних систем
спеціальності 275 «Транспортні технології (за видами)»

Рекомендовано рішенням кафедри
«Організації і безпеки ДР»
(протокол засідання кафедри
№ ____ від _____)

ЗМІСТ

Вступ

Роль та місце УДР для підвищення ефективності і безпеки дорожнього руху.

Принципові схеми управління дорожнім рухом.

Особливості дорожнього руху, як об'єкту управління.

Засоби оцінки завантаження та режимів руху на вулично-дорожній мережі.

Класифікація СУДР за методами управління.

Принципи координованого управління дорожнім рухом.

Підсистеми СУДР. Функції СУДР

Особливості структур СУДР.

Критерії ефективності управління дорожнім рухом.

Методи прогнозу у моделюванні транспортних потоків

Функції інтелектуальних систем управління.

Рівень прийняття рішень. Елементи підтримки прийняття рішень в інтелектуальних системах.

Упереджене управління дорожнім рухом.

ВСТУП

Навчальна дисципліна «Управління дорожнім рухом» відноситься до вибіркової згідно з ОНП підготовки доктора філософії «Транспортні системи» за спеціальністю 275 «Транспортні технології (за видами)».

Мета вивчення навчальної дисципліни полягає у підготовці майбутніх докторів філософії у галузі транспортних систем, оволодіння процесом формування керуючих впливів на дорожній рух сучасними засобами управління у складі систем управління.

Предметом вивчення дисципліни «Управління дорожнім рухом» є принципи управління дорожнім рухом та їх реалізація системою управління на вулично-дорожній мережі міста з метою підвищення ефективності дорожнього руху.

Згідно з метою, основне завдання дисципліни полягає у засвоєнні засад управління транспортних потоків та отриманні уявлення про закономірності формування та руху транспортних потоків.

В результаті вивчення курсу Аспірант володіє принципами побудови моделей транспортних потоків та їх застосування в управлінні дорожнім рухом; вміє оцінювати параметри транспортних потоків; має навички вибирати методи прогнозування стану і параметрів транспортних систем; володіє сучасними підходами та методами моделювання транспортних потоків; знає нормативно-правові засади відносин у сфері дорожнього руху та транспорту; здатен розробляти та використовувати нормативно-технічну документацію з організації та безпеки дорожнього руху на основі інноваційної діяльності; має здатність робити висновки щодо шляхів використання досліджень еволюції транспортних систем; вміє проводити моделювання зміни параметрів транспортного потоку у місті на основі знання теорії транспортних потоків; вміє застосовувати моделі транспортних потоків для підвищення ефективності управління дорожнього руху на вулично-дорожній мережі міста; здатен досліджувати дорожні та транспортні умови на ділянках вулично-дорожньої мережі з метою формування ефективних заходів планування та розвитку сталої мобільності населення; вміє визначати раціональну схему організації дорожнього руху.

Згідно ОНП підготовки доктора філософії «Транспортні

системи» вивчення дисципліни «Управління дорожнім рухом» забезпечує формування сукупності наступних програмних результатів навчання:

- знає державні стандарти України та нормативні документи СУДР;
- знає структуру СУДР та її підсистеми;
- знає особливості дорожнього руху, як об'єкту управління;
- знає методи управління дорожнім рухом.
- вмє досліджувати процес управління дорожнім рухом;
- здатен визначати показники ефективності управління дорожнім рухом;
- вмє формувати керуючі впливи системи на об'єкт управління;
- має уявлення про типові рішення управління дорожнім рухом на елементах вулично-дорожньої мережі.

Базовими джерелами для глибокого пророблення питань курсу є:

1. Абрамова Л.С., Птиця Г.Г. Глава 6. Концепция управления безопасностью дорожного движения // Перспективные тренды развития науки: техника и технологии. В 2 книгах. К 1.: монография / [авт.кол.: Львович И.Я., Некрасов В.А., Преображенский А.П. и др.]. – Одесса: КУПРИЕНКО СВ, 2016 – С. 169-190
2. Аудит безпеки дорожнього руху: підручник / Л.С. Абрамова, І.С. Наглюк, В.В. Ширін, С.В. Капінус, Г.Г. Птиця; під заг. ред. І.С. Наглюка. – Х.: ХНАДУ, 2016. – 260 с.
3. Абрамова Л.С. Довідковий словник термінів та визначень з організації та безпеки дорожнього руху: словник /Л.С. Абрамова, Г.Г. Птиця, В.В. Ширін. – Х.: ХНАДУ, 2017. – 234 с.
4. Л.С. Абрамова, Н.С. Чернобаев. Координированное управление дорожным движением на сети магистралей города. Монография. Харьков, издательство "Точка", 2012, 160 с.
5. Abramova L. Model experiment of dynamic control implementation at the transport network in Kharkiv, Ukraine // Theoretical and scientific foundations of engineering: collective monograph. International Science Group. – Boston : Primedia eLaunch, 2020. PP. 150-164. Available at : DOI : 10.46299/isg.2020.MONO.TECH.II URL: <http://isg-konf.com>

Роль та місце СУДР для підвищення ефективності і безпеки дорожнього руху.

На підставі різноманіття завдань, що вирішуються системами управління рухом АТЗ, відмінність існуючих методів, принципів і елементів управління представляється можливим використовувати принципи системного підходу, для визначення загальних закономірностей аналізу і проектування як усієї системи управління, так і окремих підсистем і блоків, що входять до її складу.

Наявність великої кількості функціональних зв'язків, вхідних, а часто і вихідних сигналів, існують певні труднощі при виборі оптимального варіанту системи при її проектуванні.

Питаннями побудови, розробки, оптимізації складних систем займається область техніки - системотехніка. Методи, які використовуються в системотехніці, дозволяють вибрати оптимальний варіант побудови системи, оцінити її якість. Основні принципи системного підходу можна сформулювати таким чином:

- кожна система, призначена для виконання певного завдання складається з ряду підсистем, кожна з яких виконує своє приватне завдання;

- сукупність підсистем є ієрархічною структурою, що складається з підсистем певного рангу, певним чином пов'язаних одна з одною;

- характеристики підсистем визначаються вимогами, що пред'являються до підсистем, що стоять на вищому рівні ієрархії.

Проектування підсистем проводиться в певній послідовності і зазвичай складається з наступних етапів:

- обґрунтовуються вимоги до параметрів системи, виходячи з вирішуваною цією системою (підсистемою) завдання і оцінки зовнішнього середовища;

- розробляються критерії ефективності системи (підсистеми), що відбивають її цільове призначення і залежні від основних параметрів;

- намічаються доцільні варіанти побудови системи (підсистеми) і на основі обчислення значень вибраного

критерію (критеріїв) для кожного варіанту вибирається найбільш ефективний;

- визначаються оптимальні значення параметрів системи, що забезпечують вищу ефективність із урахуванням обмежень, пов'язаних з особливостями функціонування;

- робиться вибір параметрів підсистеми нижчої міри ієрархії, що забезпечують задані вимоги до проектованої підсистеми.

Дуже важливим етапом проектування є вибір критеріїв ефективності систем, що дозволяють порівнювати різні варіанти, оцінювати доцільність їх розробки, впровадження. При цьому складна система розглядається як об'єкт, призначений для виконання певного класу завдань. Якщо чітко визначені завдання і цілі функціонування системи, то критерії ефективності дозволяють оцінити якість її роботи. Для цього в якості критеріїв обираються такі, які кількісно характеризують міру пристосованості системи до виконання поставлених завдань та досягнення мети.

У науці та техніці під системою розуміють сукупність взаємозв'язаних та взаємодіючих елементів, які забезпечують виконання заданих функцій. Головним призначенням систем управління дорожнім рухом (СУДР) є забезпечення підвищення пропускнуєї спроможності ВДМ та безпеки дорожнього руху. У автоматизованій системі припускається частка участі людини у процесі управління менш ніж на 30%, якщо управління реалізується без участі людини, це ознаки автоматичного управління, яке повинно забезпечити функціонування процесу, яким управляють, тобто дорожній рух. Якщо управління повинно забезпечити зміну параметру, яким управляють, за заданим законом, то це автоматичне регулювання. Таким чином, автоматичне регулювання можливо розглядати як тип управління. Регулювання дорожнього руху – це один із засобів управління дорожнього руху на окремій ділянці вулично-дорожньої мережі або за окремою кількістю параметрів. Наприклад: світлофорне регулювання на перехресті ВДМ, визначення права на проїзд або його заборона на ділянці ВДМ, регулювання у часі паркувального режиму на проїжджій частині ВДМ, тощо.

З курсу "Організація дорожнього руху" відомо, що на рівні служб дорожнього руху організація представляє комплекс

інженерних і організаційних заходів на існуючій вулично-дорожній мережі, що забезпечують безпеку і достатню швидкість транспортних і пішохідних потоків. В загальному випадку під управлінням розуміється дія на той або інший об'єкт з метою поліпшення його функціонування. Стосовно дорожнього руху в ролі об'єктів управління виступають транспортні і пішохідні потоки. Приватним видом управління рухом є регулювання (від латинського слова *regulare* - підпорядкувати певному порядку, правилу, упорядковувати), тобто підтримка параметрів руху в заданих межах.

З урахуванням того, що регулювання - це лише окремий випадок як управління, так і організації руху, а метою застосування технічних засобів є реалізація її схеми, в підручнику використовується термін технічні засоби організації руху або технічні засоби управління рухом. Це відповідає прийнятій нині термінології, зафіксованій в нормативних документах, і назві учебної дисципліни "Організація дорожнього руху".

Суть управління дорожнім рухом полягає в тому, щоб зобов'язати водіїв і пішоходів, забороняти або рекомендувати їм ті або інші дії в інтересах забезпечення швидкості і безпеки. Ефективне управління веде до підвищення пропускної спроможності вулично-дорожньої мережі, підвищення швидкості руху, зниження кількості ДТП, зменшення затримок транспортних засобів, зниження об'ємів викидів шкідливих речовин в довкілля.

Розрізняють локальне і системне управління. Локальне полягає у виробленні дій (у зоні одного перехрестя) на основі статистично оцінених мікро- або макрохарактеристик ТП. Цільова функція локального управління забезпечує отримання оцінки ефективності функціонування ТП на одному перехресті без урахування сусідніх.

Системне управління забезпечує оптимізацію функціонування ТП в зоні, що включає безліч перехресть і, як правило, робляться з урахуванням макрохарактеристик потоків. Причому зміна дій, що управляють, на одному перехресті неминуче викликає зміну характеристик ТП на сусідніх перехрестях.

Можливості, шляхи і засоби автоматизації управління ДР багато в чому залежать від того, в яких умовах і у яких режимах повинен здійснюватися дорожній рух. З точки зору умов руху, характерною особливістю дорожнього руху є багатofакторність

умов руху і їх значний вплив на управління і режими руху АТЗ. Стосовно АТЗ, умови руху можуть вплинути на вибір маршруту, напрямку і швидкості руху; форма, кількість і частота потрібних операцій управління; динамічні параметри АТЗ, безпека і техніко-економічні показники АТЗ; вибір схем і принципів автоматизації управління; тип і склад інформаційно-вимірювальних, перетворюючих і виконавчих пристроїв систем автоматики.

Взаємозв'язок дорожніх умов, режимів руху і управління АТЗ у поєднанні з різноманітністю, змінним характером і множинністю чинників, що входять в поняття "Умови руху", визначає підвищену складність процесу автоматизації управління дорожнім рухом.

В процесі руху на АТЗ впливають силові, кінематичні дії з боку проїжджої частини (дороги або узбіччя), повітряного потоку зі змінними кліматичними умовами (дощем, туманом, пилом, снігом), інерційних сил, а також з боку інших учасників руху, елементів облаштування доріг, узбіччя та наявності пішохідних тротуарів та їх параметрів.

Тобто сукупність зовнішніх чинників, що впливають на рух, також і умови руху АТЗ можна охарактеризувати параметрично - показниками зовнішнього середовища і його складових (дорожніх умов, дорожньої обстановки, погодно-кліматичних умов), або інтегрально-результуючими діями (чи реакціями) зовнішнього середовища на АТЗ при їх взаємодії в процесі руху.

Проте слід відмітити, що залежно від характеру вирішуваних задач управління, характеристика умов руху може відноситися до руху одного або групи транспортних засобів, до проміжку часу, до ділянки шляху, до маршруту руху або до усього часу руху АТЗ. При цьому якісні і кількісні характеристики умов руху можуть бути істотно різними.

Таким чином, умови руху – це реальна ситуація на дорозі, у якій транспортні засоби здійснюють рух у даний момент часу та на яку впливають дорожні умови, режим руху транспортного потоку та стан навколишнього середовища [1].

Стан навколишнього середовища – це сукупність метеорологічних умов у даний момент часу, яка характеризується факторами, за якими проводиться постійне спостереження. Це – опади, хуртовина, туман, ожеледь, вітер, температура та вологість повітря. Зміна цих факторів носить випадковий характер та пов'язана із природно-кліматичними умовами регіону та надає

невизначеність функціонуванню об'єкту управління – дорожньому руху.

Режим руху визначається швидкістю руху транспортного потоку, щільністю транспортного потоку, можливістю реалізації обгонів та інших маневрів на дорозі, тобто рівнем завантаження дороги рухом. Параметри режиму руху є найважливішою характеристикою функціонування системи управління дорожнім рухом та визначає його ефективність та якість.

Дорожні умови є складовою системою управління дорожнім рухом.

Дорожні умови – це сукупність геометричних параметрів та транспортно-експлуатаційних якостей дороги, які мають відношення до руху. Всю сукупність параметрів можливо розподілити на дві групи – постійні та змінні.

До постійних відносяться параметри та характеристики доріг, які не змінюються у часі протягом експлуатації, або змінюються дуже рідко (під час реконструкції або ремонту). До таких параметрів належать параметри поздовжнього профілю, радіуси кривих у плані, довжина прямих ділянок дороги тощо.

До змінних параметрів належать параметри та характеристики доріг, які змінюються протягом року під впливом сезонних коливань метеорологічних умов та якості утримання дороги. До них відносяться – стан покриття та узбіччя, наявність з'їздів та перетинів, видимість в плані, наявність технічних засобів регулювання.

До зовнішнього середовища в процесі управління дорожнім рухом можна віднести: дорожні умови, умови дорожніх обстановин і погодно-кліматичні умови.

Основними геометричними характеристиками дороги, є: подовжній і поперечний профіль дороги, частота поворотів і радіуси кривизни в плані, ширина трас, довжина їх прямих і криволінійних ділянок.

Умови дорожньої обстановки - це сукупність параметрів, що характеризують наявність і стан місцевих предметів, елементів облаштування доріг і інших учасників руху, здатних вплинути на управління і режими роботи АТЗ. Дорожня обстановка сприймається в зоні інформаційного поля АТЗ - простору, з якого обирається інформація, необхідна для управління рухом АТЗ.

Розміри інформаційного поля повинні забезпечувати безпеку руху при появі протяжної або безперервної перешкоди.

Погодно-кліматичні умови характеризують стани навколишнього середовища, що оточує АТЗ, її зміни, що пов'язані з природними явищами.

Навколишнє середовище грає помітну роль у формуванні динаміки, керованості і безпеки руху АТЗ. Температура, вологість і тиск повітря істотно впливають на роботу силової установки, ходової частини і елементів систем управління. Під дією метеорологічних чинників можуть змінитися умови інформаційного забезпечення руху, дорожні умови і дорожня обстановка. Опір повітря, особливо при швидкостях руху більше 30 км/год, складає помітну частину загального опору руху АТЗ.

Особливо значущими для дорожнього руху і роботи систем автоматичного управління можуть бути несприятливі погодні чинники: опади, сильний вітер, знижена температура повітря, зниження прозорості атмосфери, що впливає на видимість при русі.

Несприятливі погодно-кліматичні умови можна охарактеризувати метеорологічними показниками, їх дією на рух АТЗ, частотою прояву і зміни, тривалістю дії на АТЗ в даний момент або по відношенню до загального часу експлуатації АТЗ.

Опади, туман, рясне випаровування, запилування або задимлення повітря змінюють його прозорість. При використанні оптичних засобів спостереження це веде до скорочення інформаційного поля АТЗ, що знижує безпеку руху.

Зустрічний і бічний вітер створюють додаткове навантаження на АТЗ. Це підвищує витрату палива, знижує швидкість руху, а в деяких випадках - при раптовій зміні сили або напрямку вітрового навантаження може привести до аварії. Діючі СУДР повинні враховувати параметри зовнішнього середовища при формуванні керуючих параметрів.

Принципові схеми управління дорожнім рухом.

Управління дорожнім рухом в умовах граничного насичення доріг транспортними і пішохідними потоками вимагає досконалих методів управління рухом. Останнім часом все більшу актуальність набуває застосування автоматизованих систем управління дорожнім рухом (СУДР), складовою яких є технічні засоби, що реалізують певні технологічні алгоритми управління транспортними потоками. Загальну схему процесу управління наведено на рисунку 3.1.

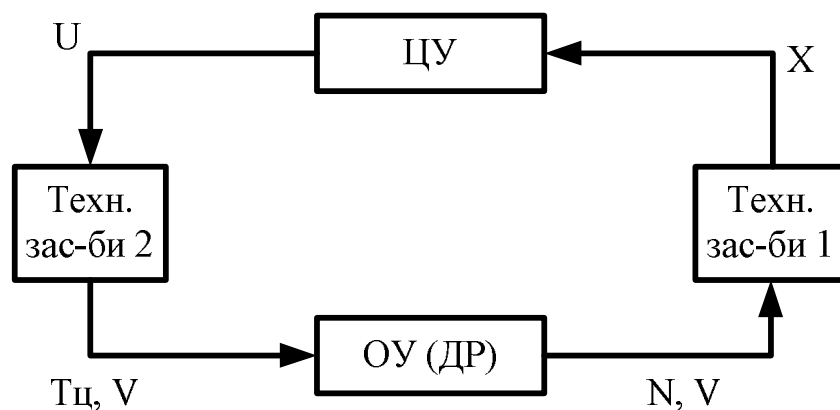


Рисунок 3.1 - Схема процесу управління дорожнім рухом

Процес управління дорожнім рухом складається із чотирьох головних етапів:

- отримання вхідної інформації щодо параметрів транспортного потоку та вулично-дорожньої мережі;
- аналіз отриманої інформації та розробка відповідних управляючих дій;
- реалізація розроблених дій;
- контроль за станом об'єкту управління (вихідними параметрами) для подальшого управління.

Відповідно до етапів управління, елементи схеми управління (рис. 3.1) виконують ту чи іншу задачу. Так, технічні засоби першої групи (ТЗ1), до яких належать пристрої, що поводять вимір основних параметрів транспортного потоку (інтенсивності (N), швидкості (V) та складу транспортного потоку (K_c)) та передачу їх

до центру управління системою (ЦУ). Цей головний елемент системи виконує задачі, що до розрахунку управляючих дій, а потім передає їх параметри на технічні засоби другої групи (ТЗ2) - світлофорні пристрої та знаки, що керуються. Об'єкт управління, яким є дорожній рух (ДР), отримує параметри управління за допомогою технічних засобів регулювання.

На підставі опису принципу управління дорожнім рухом, можливо сформулювати визначення управління дорожнього руху. Таким чином, управління ДР – це процес визначення управляючих дій для дорожнього руху з метою покращення параметрів його функціонування на підставі виміру та обробки первинних параметрів.

За принципом дії, автоматизовані системи управління розподіляються на замкнуті та розімкнуті системи. Якщо відсутні технічні засоби першої, або другої групи, то система має розімкнуту структуру.

Прикладом розімкнутих систем можуть бути автоматизовані системи програмного управління дорожнім рухом, а адаптовані системи управління мають ознаки замкнутих систем управління.

Рівень автоматизації можливо визначити не за якісними показниками, а за кількісними, як:

$$\eta = \frac{n}{N}; \text{ або } \eta = \frac{\sum_{i=1}^n \alpha_i n_i}{N}$$

де η - рівень автоматизації;

n – кількість автоматизованих операцій управління;

N – загальна кількість операцій управління;

α_i – частість i -ої операції управління.

За пристосуванням до умов руху транспортного потоку у випадку різнорідних дорожніх умов, існують два типи автоматизованих систем управління ДР – програмні та адаптивні. Програмні системи управління застосовують попередньо розроблені програми управління, незалежно від поточної зміни зовнішніх параметрів дорожнього руху. Адаптивні системи передбачають корекцію параметрів управління дорожнім рухом в залежності від зміни параметрів дорожнього руху у часі. Комбінованим варіантом програмних та адаптивних систем управління дорожнім рухом є мультипрограмні системи, які

змінюють програми управління в залежності від зміни параметрів дорожнього руху, або мети управління. Наведена класифікація є неповною та умовною.

Стосовно управління дорожнім рухом, основними характеристиками програмних систем є кількість програм, засіб їх введення у пристрої, що керують, тривалість роботи програми, визначення початку та кінця роботи програми управління та цільова спрямованість.

За цільовою спрямованістю програми дорожнього руху розділяють на часові програми визначення циклу світлофорного регулювання, та програми координації технічних засобів регулювання при організації управління на ВДМ. При відсутності статистичних даних щодо параметрів транспортних потоків, можливо застосовувати адаптивні системи управління дорожнім рухом із виміром параметрів об'єкту управління для визначення управляючих впливів.

Особливості дорожнього руху, як об'єкту управління.

Об'єктом управління в системі управління дорожнім рухом є транспортний потік, що складається з транспортних засобів (автомобілів, мотоциклів, автобусів тощо). Під час руху водії автомобілів мають вільну волю і реалізують при русі свої приватні цілі. Таким чином, дорожній рух є техносоціальною системою, що і визначає його специфіку як об'єкту управління. Тому навіть розглядаючи тільки технічні аспекти управління дорожнім рухом, ми повинні постійно мати на увазі, що цей об'єкт складний і має край неприємні, з точки зору управління, властивості.

Першою особливістю транспортних потоків є їх нестаціонарність, причому спостерігаються коливання їх характеристик принаймні в трьох циклах: добовому, тижневому і сезонному.

Другою особливістю є стохастичність транспортних потоків, параметри яких допускають визначати прогноз тільки з певною мірою вірогідності. Зупиняючись на цьому моменті детальніше, відмітимо, що транспортний потік в першому наближенні поводить як традиційний технічний об'єкт і описується параметрами, що і потік рідини або газу: швидкістю, щільністю, інтенсивністю і складом потоку, зв'язки між якими досить добре досліджені і описані як за допомогою диференціальних рівнянь, так і іншими методами. Транспортний потік рухається по транспортній мережі, що у свою чергу має певні параметри, що допускають більш менш строгий опис. Як правило, досить просто описується топологія транспортної мережі, довжини і пропускні здібності її ділянок, складніше - стан покриття, для оцінки якого не існує загальноприйнятої шкали і методики. Характеристики транспортної мережі теж є нестаціонарними. Стан покриття залежить від погодних умов, топологія мережі - від містобудівних заходів і просто від проведення дорожніх робіт. Природно, транспортна мережа впливає на характеристики транспортних потоків, вносячи додатковий елемент нестаціонарності. Крім того, на транспортні потоки можуть впливати різноманітні випадкові події: дорожньо-транспортні події, вихід пішоходів на проїжджу частину і так далі.

Третьою особливістю дорожнього руху як об'єкту управління є неповна керованість, суть якої полягає в тому, що навіть за

наявності у системи управління повної інформації про транспортні потоки і можливість доведення управляючих дій до кожного водія, ці дії у ряді випадків можуть носити тільки рекомендаційний характер. Ця особливість робить дуже проблемним досягнення глобального екстремуму будь-якого критерію управління.

Четвертою особливістю, що відноситься вже не лише до дорожнього руху але і до системи управління – це множинність критеріїв ефективності та якості управління. Дорожній рух в районі або місті, керований певним чином, має деякі характеристики, серед яких можуть бути названі: транспортна робота, часові затримки руху, швидкість сполучення, кількість дорожньо-транспортних подій, об'єм шкідливих викидів в атмосферу тощо. Більшість перерахованих характеристик взаємозв'язані, але вибір однієї з них або проведення їх ранжирування залежить від мети управління дорожнім рухом.

П'ятою особливістю дорожнього руху як об'єкту управління є складність і навіть неможливість виміру практично усіх характеристик ефективності управління. Так, оцінка величини транспортної роботи вимагає або наявності датчиків транспортних потоків на усіх напрямках їх руху, або використання даних аерофотозйомки, або проведення трудомісткого ручного обстеження. Ситуація ускладнюється відсутністю надійних і недорогих технічних засобів (датчиків), призначених для вимірювання даних параметрів транспортних потоків (детекторів транспорту).

Нарешті, необхідно відмітити принципову неможливість проведення масштабних натурних експериментів у сфері управління дорожнім рухом. Ця неможливість обумовлена, по-перше, необхідністю забезпечення безпеки руху, по-друге, матеріальними і трудовими витратами на проведення експерименту (зміна розмітки і дислокації дорожніх знаків) і, по-третє, тим, що серйозні зміни в комплексній схемі організації руху зачіпають інтереси великої кількості людей - учасників руху.

З останніх двох особливостей дорожнього руху як об'єкту управління витікає, зокрема, необхідність створення моделей дорожнього руху, що дозволяють прогнозувати наслідки змін параметрів, які впливають на характеристики транспортних потоків для оцінювання ефективності управління дорожнім рухом.

Засоби оцінки завантаження та режимів руху на вулично-дорожній мережі.

При вирішенні екологічних задач у транспортній системі за основне джерело забруднення навколишнього середовища приймаємо транспортний потік.

Звернення до транспортного потоку, як до самостійного об'єкту управління пояснюється рядом причин:

- насамперед це можливість на єдиній методологічній основі розглядати ефективність заходів по зниженню таких різних по фізичній суттєвості та характеру впливу на людину шкідливих екологічних факторів;
- на рівні транспортного потоку формуються різноманітні критерії ефективності. Всі існуючі на даний момент критерії оцінки ефективності функціонування схем ОДР можна класифікувати на групи: транспортно-експлуатаційні (оцінка можливості проїзду, оцінка стану покриття), техніко-економічні (затримка та витрати зв'язані з нею, число зупинок і т.д.), соціальні (критерії безпеки та надійності, комфортності та зручності руху) та екологічні критерії;
- дані про екологічні характеристики транспортного потоку є вихідними для використання містобудівних методів охорони навколишнього середовища;
- транспортний потік може розглядатися як самостійний об'єкт управління, його екологічна безпека представляється комплексом законодавчих, організаційних, технічних, економічних заходів, що забезпечують мінімальний сумарний вплив транспортних засобів на навколишнє середовище.

Підхід до визначення транспортного потоку, як джерела забруднення, заснований на тому, що його вплив на навколишнє середовище розглядається, як сумарний вплив окремих автомобілів.

Екологічна безпека окремого автомобіля визначається наступними факторами:

- конструкцією автомобіля;
- технічним станом;

- підготовкою водію;
- дорожніми умовами;
- станом потоку та режимом руху;
- схемою ОДР.

В наш час існує декілька напрямків по визначенню екологічних характеристик транспортного потоку.

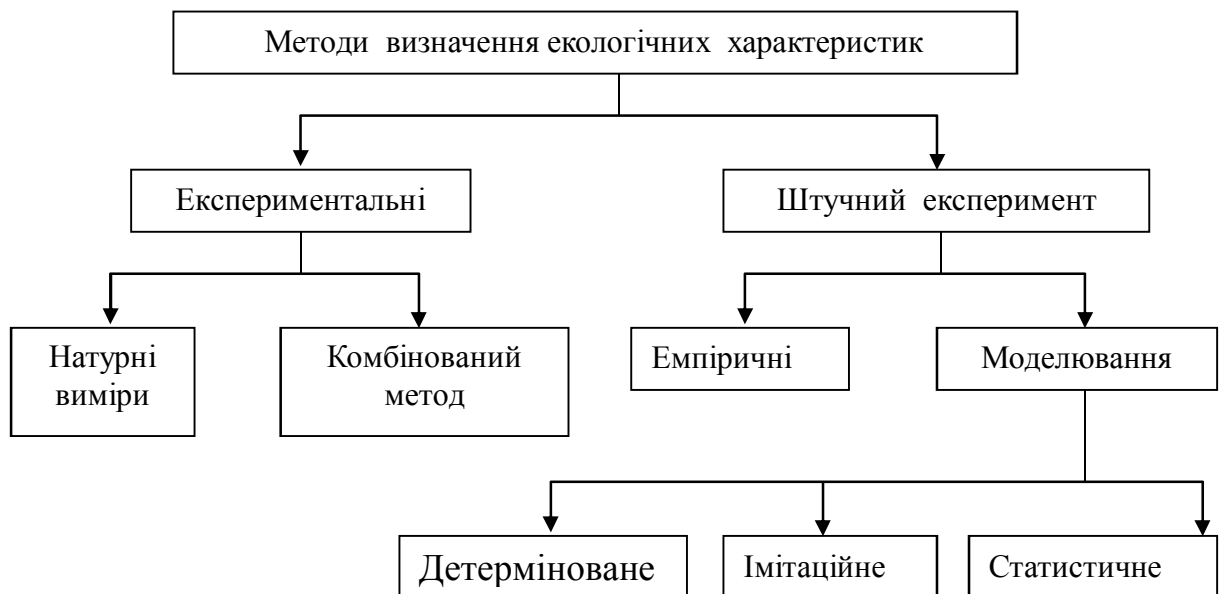


Рис.3. Класифікація методів визначення екологічних характеристик

Недоліки емпіричного методу:

- неможливість розповсюдження отримуваних експериментальних залежностей за ті рамки, що спостерігаються при експериментальних дослідженнях;
- відсутність стану транспортного потоку.

Значно більш потужним інструментом дослідження екологічної безпеки дорожнього руху є моделювання забруднення навколишнього середовища на основі теорії транспортних потоків.

Розглянувши транспортний потік як джерело забруднення навколишнього середовища можна зробити висновок, що при оцінці варіантів схем ОДР по міри забруднення навколишнього середовища основними критеріями є такі екологічні характеристики, як шкідливі викиди окису вуглецю (CO), вуглеводнів (C_nH_m), окисів азоту (NO_x) та транспортний шум. Вибір саме цих екологічних характеристик для розгляду зумовлений наступним:

- по впливу на навколишнє середовище та організм людини вони відносяться до найбільшого класу небезпеки;
- можливість їх зниження методами організації дорожнього руху.

Рух транспортного потоку по вулично-дорожній мережі становить достатньо складний процес, що визначається великою кількістю взаємозв'язаних факторів, що відносяться до різноманітних об'єктів, вплив яких необхідно дослідити. Сучасний автомобільний парк міста характеризується різноманітністю рухомого складу. В загальному потоці по ВДМ одночасно рухаються транспортні засоби, що відрізняються:

- конструкцією автомобіля;
- технічним станом;
- типом двигуну;
- споживанням палива.

На стан транспортного потоку впливають і такі фактори, як:

- психофізіологія водія;
- дорожні умови;
- погодні умови і т. д.

Виходячи з сказаного вище при розгляді питань, пов'язаних з режимами руху автомобілів у транспортному потоці, а отже і з екологічним станом ВДМ доцільне застосування системного підходу.

При русі автомобілів у містах відбуваються затримки їх біля перехресть. Внаслідок цього рух автомобіля стає імпульсним - рух з постійною швидкістю змінюється гальмуванням, зупинкою та наступним розгоном.

Високий рівень завантаження міських магістралей і часті зупинки призводять до того, що частка автомобілів, що рухаються зі швидкістю, що установилася, – менше 30%, а довжина ділянок розгону і сповільнення досягає 70-80%.

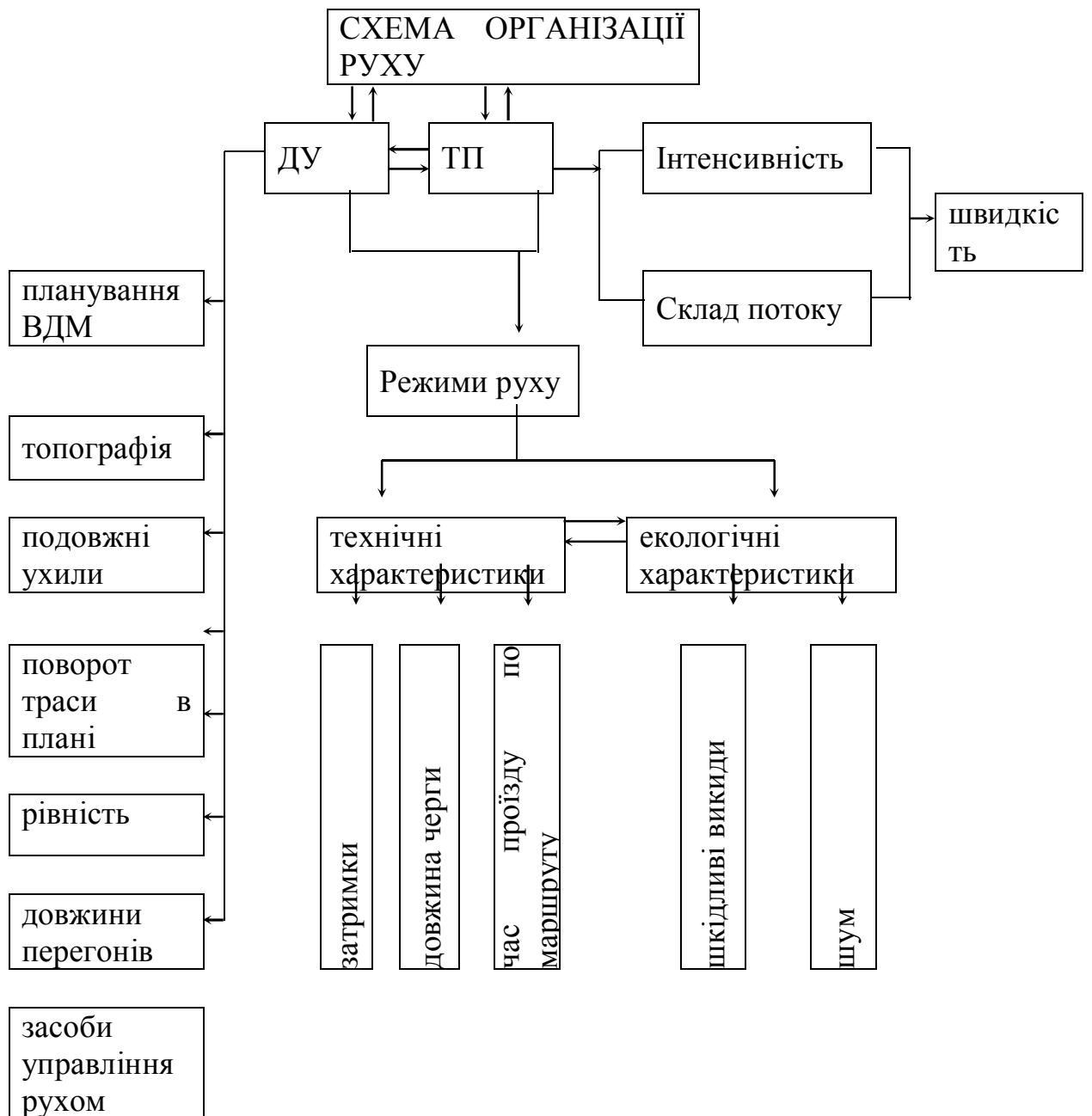


Рис.4. Структурна схема стану системи «ДУ – ТП» («Дорожні умови – транспортний потік»).

Розподіл часу руху автомобіля в транспортному потоці при існуючій ВДМ великих міст України наступний:

Холостий хід	15 - 43 %
Сповільнення	13 - 32 %
Прискорення	18 - 36 %
Рух, що установився	12 - 54 %

Співвідношення часу роботи автомобіля на різноманітних режимах в значній мірі залежить від планувальних характеристик

міста та транспортно- експлуатаційних параметрів її ВДМ, а також рівня організації дорожнього руху.

Важливим показником, що відображає фактичні умови руху транспортного потоку, є час проїзду автомобілями ділянки міської магістралі (швидкість сполучення). Враховуючи циклічний характер руху автомобілів у містах, середній час проїзду можна розглядати у вигляді суми складових, що становлять середній час роботи автомобіля у різних режимах:

розгін, гальмування, усталений рух, холостий хід .

Від співвідношення цих складових залежить багато показників екологічної безпеки автомобілів.

Розглянемо кожний з режимів.

РОЗГІН.

У процесі розгону автомобіля кількість відпрацьованих газів та споживання палива визначаються:

- режимом роботи двигуну;
- характером його зміни;
- токсичними та економічними характеристиками двигуну.

В даний час у транспортних розрахунках при визначенні характеристик розгону зазвичай розглядається рівноприскорений рух автомобіля з постійним прискоренням a , яке дорівнює:

для легкових автомобілів від 0,9 до 1,5 м/с²

для вантажних від 0,7 до 1,0 м/с²

Але значення прискорення при розгоні автомобіля не є постійним, а весь час знижується при збільшенні швидкості і переході на більш високу передачу.

Внаслідок аналізу характеристик розгону автомобілів отримана залежність прискорення - швидкість:

$$j_p = \frac{dv}{dt} = (a + bv)^{-1},$$

де j_p - прискорення автомобіля, м/с²;

v - швидкість автомобіля, м/с;

a, b - постійні, що мають розмірність

a - с²/м; b - с³/м².

Оскільки при $v=0$ відношення $dv/dt = a^{-1}$, то ця постійна має значення, зворотне максимальному прискоренню в момент початку розгону.

Враховуючи, що при $t=0, v=0$, можна записати час розгону автомобіля як функцію від швидкості v :

$$dt = \frac{dv}{(a + bv)^{-1}} = (a + bv)dv$$

$$t_p = \int_0^t t = \int_0^v (a + bv)dv$$

$$t_p = av + 0,5 \cdot bv^2$$

Шлях, який проходить транспортний засіб при розгоні (змінної швидкості) з моменту початку розгону до моменту досягнення швидкості v :

$$S_p = \int_{v_1}^{v_2} v dt \quad S_p = 0,5av^2 + 0,333bv^3$$

Внаслідок обробки експериментальних даних про характеристики руху автомобілів, що розганяються з першого місця в черзі, були одержані значення параметрів a і b :

Таблиця 7.

	a	b
Легкові автомобілі	0,5	0,072
Вантажні автомобілі та автобуси	0,76	0,2

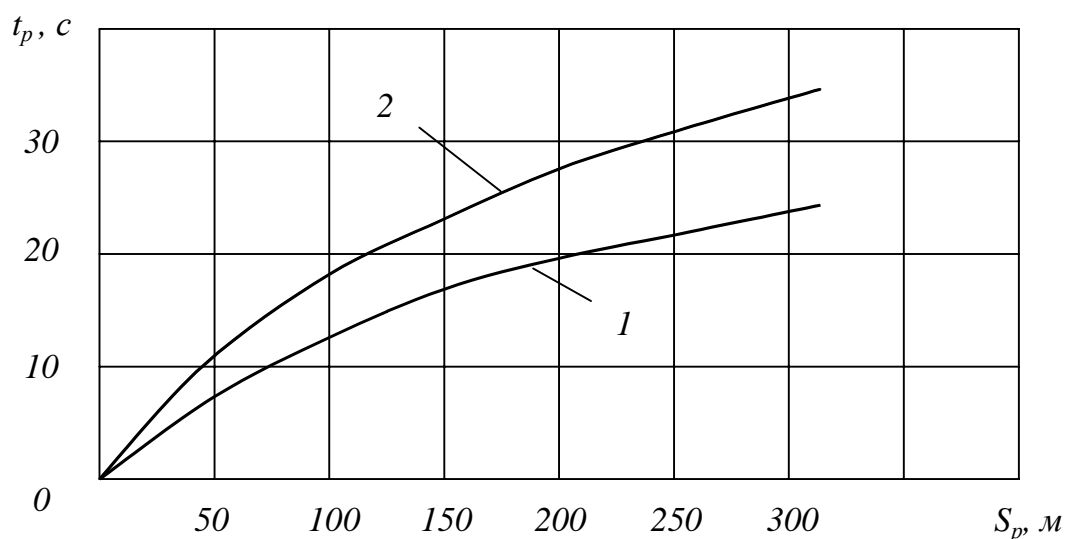
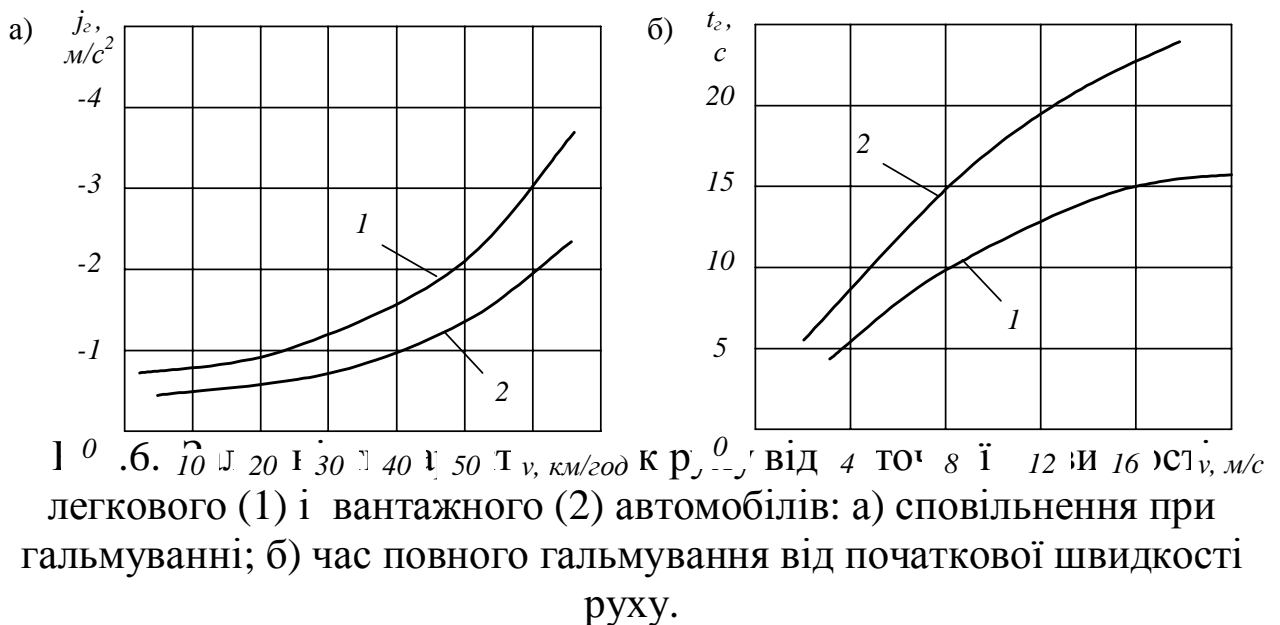


Рис.5 Час та шлях розгону автомобіля, що стоїть на першому місці у черзі: 1 - легкові автомобілі; 2 - вантажні автомобілі.

ГАЛЬМУВАННЯ.

В місті, при проїзді регульованого перехрестя характер і спосіб гальмування залежить від роботи світлофорної сигналізації (екстрене, сповільнення, вибіг чи гальмування накатом).

Обробка результатів спостережень за зміною сповільнення j_T залежно від поточної швидкості автомобіля показала, що для високих швидкостей руху характерне більше значення сповільнення при гальмуванні. Із зменшенням швидкості j_T знижується.



Кореляційне рівняння, що описує залежність, показано на рисунку б.

$$t_T = \rho \cdot (v)^{0,5},$$

де ρ - параметр, значення якого дорівнюють

легкові - 3,75

вантажні - 5,7

Шлях гальмування до повної зупинки в залежності від швидкості в момент початку гальмування:

$$S_T = 0.333 \cdot \rho (v)^{1.5}$$

Зважаючи на те, що найбільш "вузькими", а, отже, і найбільш екологічно несприятливими, ділянками ВДМ є

перехрестя, представляє інтерес дослідження поведінки транспортних потоків в даних зонах.

Для оцінки екологічної ситуації поблизу перехресть необхідно визначити число автомобілів, зупинених на перехресті при включенні забороняючого сигналу світлофора.

В практичних розрахунках при визначенні числа автомобілів, що затримуються біля ізольованого перехрестя зі світлофорним регулюванням, використовують відому в теорії транспортних потоків формулу

$$\delta_{0j} = \frac{1 - \lambda_j}{1 - y_j}$$

де δ_{0j} - частка автомобілів, що затримуються біля перехрестя;

λ_j - ефективна частка j -ї фази в циклі регулювання; y_j - фазовий коефіцієнт j -ї фази регулювання.

$$\text{Значення } \lambda_j = \frac{t_{\text{очн } j}}{T_{\text{ц}}}; \quad y_j = \frac{N_j}{M_{\text{н}j}}.$$

Потік насичення для однієї смуги руху визначається із значень середнього інтервалу часу між автомобілями $\Delta\bar{\tau}$, с/авт, при роз'їзді черги

$$M_{\text{н}j} = (\Delta\bar{\tau})^{-1}; \quad M_{\text{н}j} = \frac{3600}{\Delta\bar{\tau}} \text{ (для авт/год)}$$

Другою характеристикою роз'їзду черги є $\Delta\bar{\tau}_{\text{руш}}$ – середній інтервал запізнення або відтинок часу між моментами зрушення з місця попереднього та наступного автомобілів в черзі в процесі її ліквідації.

Для середніх умов руху на перехресті (хороший стан покриття, поздовжній ухил менше 1.5%):

$$\Delta\bar{\tau}_{\text{руш}} = 1,2 - 0,4\Delta_{\text{л}}; \quad \Delta\bar{\tau} = 3,45 - 1,15\Delta_{\text{л}},$$

де $\Delta_{\text{л}}$ - частка легкових автомобілів в потоці.

Час зупинки одного автомобіля в черзі складається з:

- часу на очікування дозволяючого сигналу світлофору;
- часу очікування розвантаження черги.

Групу зупинених біля перехрестя автомобілів можна умовно поділити на дві підгрупи:

- що зупиняються на забороняючий сигнал світлофору;
- що спиняються через наявність черги.

Середній час очікування дозволяючого сигналу світлофору одним автомобілем можна вважати рівним половині довжини забороняючого сигналу світлофора:

$$t_{\text{очік}} = t_{\text{черв}} / 2 \quad \text{або} \quad t_{\text{очік}} = 0,5 T_{\text{ц}} (1 - \lambda_j)$$

Даний вираз застосовується в розрахунках при визначенні середнього часу зупинки автомобіля в черзі.

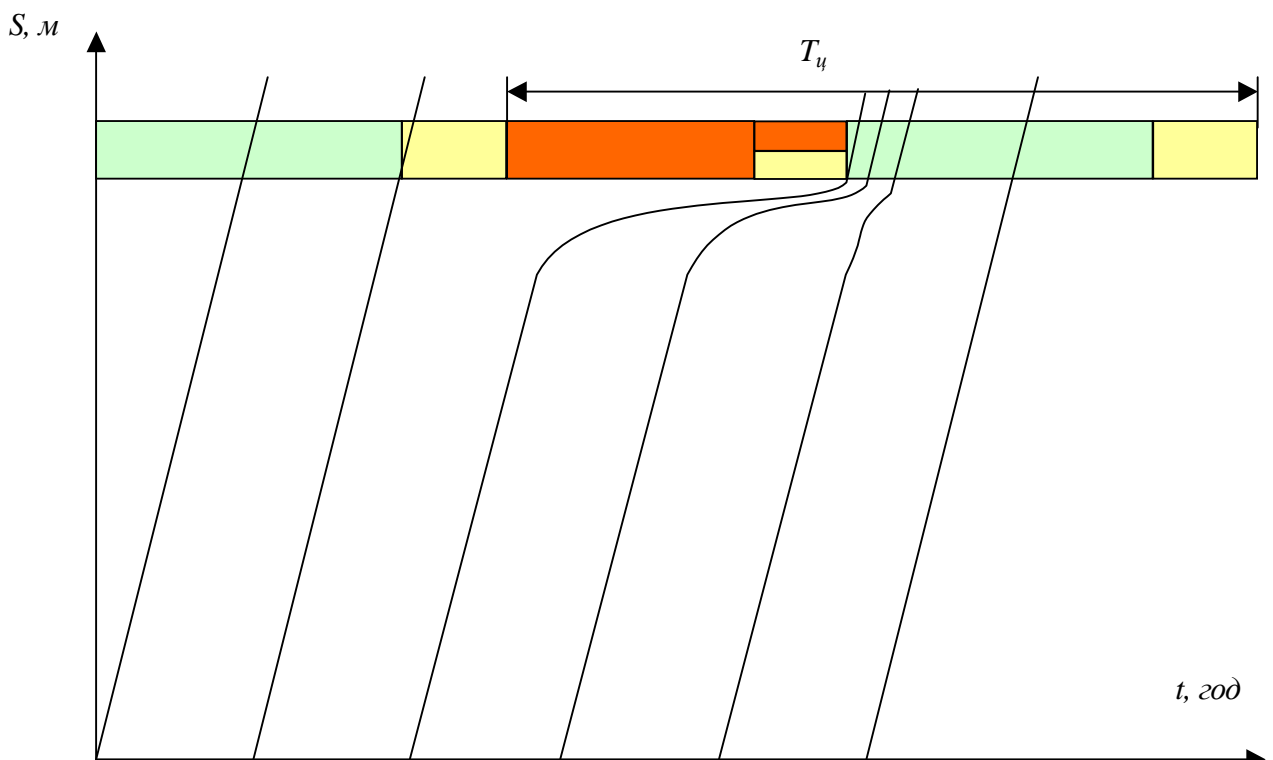


Рис.7. Схема проїзду транспортним потоком перехрестя з світлофорним регулюванням.

Помноживши цей вираз на частку зупинених автомобілів, отримаємо перше складове в формулі Вебстера, по якому визначається середня затримка автомобіля біля перехрестя.

Визначення довжини черги на перехресті виконується в залежності від складу транспортного потоку.

1. Однотипний потік.

Довжина черги l_q , лінії, що складається з числа n зупинених автомобілів певного типу, що вимірюється від стоп-лінії до задніх коліс останнього автомобіля, описується кореляційною залежністю:

$$l_q = A (n_0 - 1) + B,$$

де A , B - постійні параметри, значення яких для однорідної черги дорівнюють:

Таблиця 8.

Тип автомобілів в черзі	A	B
легкові	7.5	2.4
вантажні з причепами	11	3.6
автобуси	13.5	5

2. Змішаний потік.

Довжина черги змішаного складу:

$$l_q = (4 \Delta_{\text{л}} + 7.5 \Delta_{\text{в}} + 10\Delta_{\text{вг}}) n_0 + 3.5 (n_0 - 1),$$

де $\Delta_{\text{л}}$, $\Delta_{\text{в}}$, $\Delta_{\text{вг}}$ - відповідно частки легкових, вантажних і великогабаритних автомобілів в черзі.

Від швидкості руху, що установився, автомобіля, від числа його зупинок, затримок залежить така важлива характеристика (технічна характеристика схем ОДР), як час проїзду по ділянці магістралі.

При швидкості усталеного руху 25 - 60 км/год час проїзду ділянки магістралі з регульованим рухом описується залежностями:

$$t_{\text{прл}} = \delta_{0j} \cdot [(2,2 + 0,9 v_{\text{л}}) + 0,5 (1 - \lambda_j) T_{\text{ц}}] + L_{\text{п}}/v_{\text{л}} ;$$

$$t_{\text{прв}} = \delta_{0j} \cdot [2,2v + 0,5 (1 - \lambda_j) T_{\text{ц}}] + L_{\text{п}}/v_{\text{в}},$$

де $t_{\text{прл}}$, $t_{\text{прв}}$ - середній час проїзду ділянки легковим і вантажним автомобілем відповідно, с;

$v_{\text{л}}$, $v_{\text{в}}$ - середня швидкість усталеного руху на перегоні у вантажних та легкових автомобілів.

Однією із основних характеристик транспортного потоку є швидкість руху.

Швидкість руху суттєво впливає на ефективність використання автомобілів у містах, а також на ступінь негативного впливу автомобілів на навколишнє середовище. В зв'язку з цим прогнозування зміни швидкості руху є важливою умовою при розробці заходів з організації дорожнього руху.

Труднощі, пов'язані з проведенням натурних обстежень, а також неможливість експериментальної оцінки швидкостей руху на стадії проектування, викликають необхідність використання засобів математичного моделювання при вирішенні проблеми.

Внаслідок моделювання руху транспортного потоку одержані наступні залежності.

Залежність швидкості сполучення v_c від затримки перед перехрестям:

$$v_c = \frac{75 - 0,62t_{\Pi}}{L_{\Pi}^{0,47 - 0,0028t_{\Pi}}} \ln(L_{\Pi} + 1),$$

де t_{Π} - затримка перед перехрестям зі світлофорним регулюванням, с.

Середня швидкість транспортного потоку

$$v_{\Pi} = v_{вр} - \alpha K_{\alpha} N$$

де α , K_{α} - комплексні коефіцієнти, що враховують склад потоку і зміну дорожніх умов,

$v_{вр}$ - середня швидкість вільного руху автомобілів на перегоні:

$$v_{вр} = \theta \cdot v_0$$

де θ - комплексний коефіцієнт, що враховує вплив ДУ і складу потоку; v_0 - середня швидкість вільного руху "швидких" автомобілів при однорідному потоці, на рівній ділянці вісьмисмугової магістралі безупинного руху ($v_0 = 70$ км/год)

Коефіцієнт θ

$$\theta = m_1 \cdot m_2 \cdot m_3 \cdot m_4 \cdot m_5$$

Коефіцієнт m_1 враховує вплив довжини перегону на швидкості вільного руху автомобілів:

$$m_1 = L_{\text{п}} / (0,057 - 0,943 \cdot L_{\text{п}}) \quad (\text{при } 150 \text{ м} \leq L_{\text{п}} \leq 1000 \text{ м})$$

Коефіцієнт m_2 враховує вплив числа смуг руху:

$$m_2 = 0,92 + 0,2 R,$$

де R - число смуг руху в одному напрямку.

Для $R = 2$ коефіцієнт m_2 залежить від ширини проїжджої частини в одному напрямі руху:

Таблиця 9.

Ширина проїжджої частини $B_{\text{пч}}$, м	7.5	7.0	6.5	6.0
Коефіцієнт m_2	0.96	0.94	0.9	0.85

Для $L_{\text{п}} > 1$ км і $R > 5$ значення коефіцієнтів m_1 і m_2 приймаються рівними 1.

Коефіцієнт m_3 враховує вплив складу транспортного потоку на швидкість вільного руху:

$$m_3 = 0,8 + 0,2 \Delta_{\text{л}}$$

Вплив поздовжнього ухилу на швидкість вільного руху враховується коефіцієнтом m_4 :

при русі на дільницях підйому:

$$m_4 = 1,08 - (0,08 - 0,05 \Delta_{\text{л}}) i$$

при русі на дільницях спуска:

$$m_4 = 1 + 0,01 i$$

де i - поздовжній ухил в %

для дільниць з ухилом $i < 2\%$ $m_4 = 1$.

Коефіцієнт m_5 враховує вплив рівності дорожнього покриття на швидкість вільного руху:

$$m_5 = 1 - 0,1 S$$

де S - бальна оцінка стану дорожнього покриття по рівності, яка визначається з наступної таблиці:

Таблиця 10.

Стан покриття	Рівність покриття		Відносна площа деформованих дільниць покриття, %	Оцінка стану дорожнього покриття, бали
	по показанням штовхоміра, см/км	по максим. просвітам під 3-м рейкою, мм		
Відмінне	До 50	До 2	-	0
Хороше	50 - 100	2 - 4	До 0.5	1
Задовільне	100 - 170	4 - 6	0.5 - 3	2
Незадовільне	170 - 270	6 - 8	3 - 7	3
Дуже погане	Понад 270	Понад 8	Понад 7	4

Зміна стану покриття на 1 бал приблизно відповідає зміні швидкості потоку на 10%.

При наявності на перегоні міської магістралі дорожніх знаків, що обмежують швидкості руху транспортних засобів, чи системи координованого регулювання дорожнім рухом значення швидкості вільного руху визначається за залежністю:

$$v_{вр}^* = \begin{cases} \theta v_0 & \text{при } v_{вр} \leq 1,05 v_{обм} \\ 1,05 v_{обм} & \text{при } v_{вр} > 1,05 v_{обм} \end{cases}$$

де - $v_{обм}$ гранична швидкість руху, обмежена дорожнім знаком, чи регламентована середня швидкість руху в режимі “зеленої хвилі”, км/год.

Середня швидкість руху легкових автомобілів ($v_{л}$) або вантажних автомобілів та автобусів ($v_{в}$), що рухаються спільно в потоці на міській магістралі:

$$v_{л} = [1 + 0,24 (1 - \Delta_{л})(1 - Z)] \cdot v_{п}$$

$$v_{в} = [1 - 0,24 \Delta_{л}(1 - Z)] \cdot v_{п}$$

де Z - коефіцієнт завантаження дороги рухом; $Z = N / (R N'_{max})$.

легкові $R = 0.94$

вантажні $R = 0.98$

N - інтенсивність руху транспортного потоку в одному напрямі, авт/год; N'_{\max} - максимальна інтенсивність руху на одній смузі, авт/год:

$$N'_{\max} = (1070 + 530 \Delta_{\text{л}}) \psi$$

де ψ - параметр, що враховує сумісний вплив довжини перегону і роботи світлофорної сигналізації:

$$\psi = \lambda_j + (1 - \lambda_j)L_{\text{п}} / 2$$

де λ_j - частка ефективної тривалості дозволяючого сигналу світлофора.

Класифікація СУДР за методами управління.

З урахуванням властивостей дорожньо-транспортної мережі та ієрархічного принципу обробки інформації, визначені декілька взаємопов'язаних рівнів управління (рис. 1.2):

- по окремому напрямку руху на елементі ВДМ міста;
- локальний - в межах окремого перехрестя ВДМ;
- магістральний - на сукупності перехресть ВДМ, об'єднаних міської магістраллю;
- районний чи загальноміський - управління рухом у межах окремого району міста або на ВДМ міста в цілому.

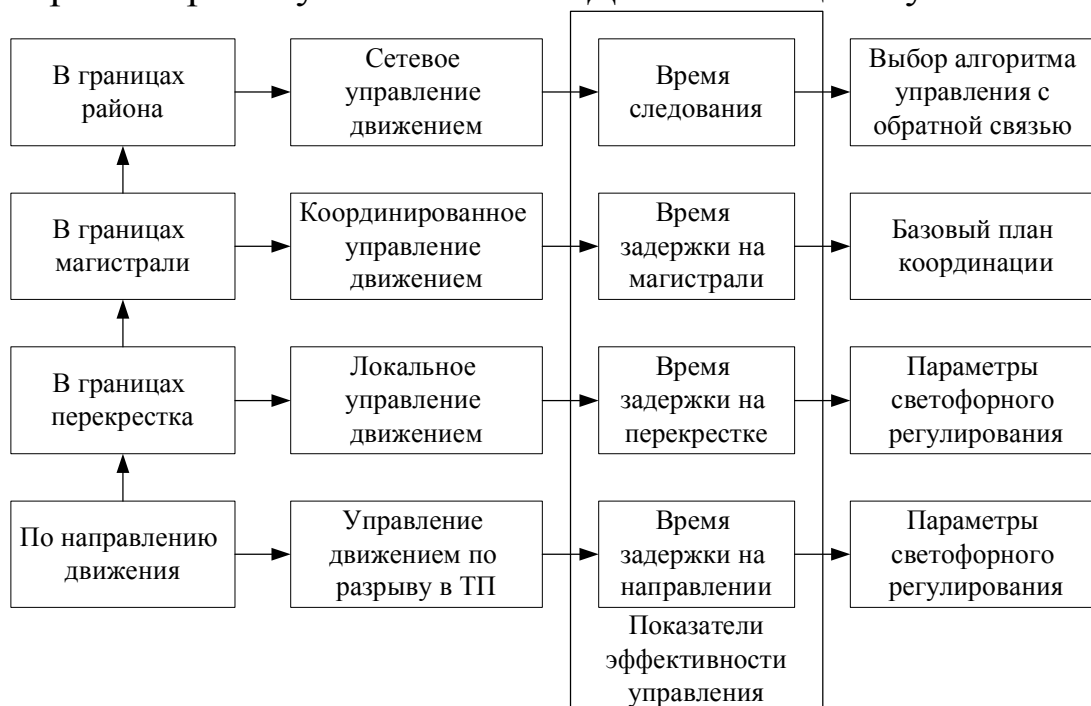


Рис. 1.2. Методи управління транспортними потоками на вулично-дорожній мережі міста

Управління дорожнім рухом по окремому напрямку маневру на елементі ВДМ міста застосовується для умовного пропуску автотранспортних засобів в загальному транспортному потоці.

Локальне управління передбачає мінімізацію показників ефективності транспорту на одному перехресті в рамках обмежень, що надходять з верхніх рівнів, тобто здійснюється корекція планів координації за місцевими умовами. До системних технологічних параметрів локального рівня відносяться тривалості циклів, кількість і черговість фаз режиму управління, параметри ТП для алгоритмів пошуку розривів у транспортному потоці.

На даному рівні можливе прийняття рішення по управлінню для кожного автомобіля, що підходить до перехрестя. Крім того, на

локальному рівні визначається затримка кожного автомобіля і загальна затримка на кожному напрямку руху.

Зупинка і затримка транспорту в зоні перехрестя утворюється в результаті асинхронності зеленого сигналу і підходу автомобілів до перехрестя.

Мінімізація затримок транспорту на рівні управління перехрестям може здійснюватися різними методами, в тому числі:

- використанням масивів сигнальних програм, обраних залежно від рівня інтенсивності руху на перехресті;
- пошуком розривів у транспортному потоці;
- управлінням за поточними значеннями параметрів транспортних потоків, у тому числі щільності руху, затримок на закритих напрямках.

На вибір методу мінімізації затримок транспорту в багатопроцесорних ієрархічних СУДР впливає наступне:

а) Згідно загальної концепції системного управління на локальному рівні здійснюється управління в рамках системних обмежень. Практично це зводиться до корекції планів координації за місцевими умовами в невеликому діапазоні часу (15-20% від загального часу управління).

б) Дослідження різних груп алгоритмів показали, що вони не суттєво відрізняються по ефективності управління. Тому визначальним при виборі алгоритму є його простота. З цієї точки зору найбільш прийнятними є методи управління за пошуком розриву у транспортному потоці.

У порівнянні зі звичайними формами реалізації, використання багатопроцесорних систем дозволяє застосовувати найбільш гнучку форму цього алгоритму [82]. Розрив у транспортному потоці визначається по кожному напрямку окремо. Вимкнення зеленого сигналу по напрямку відбувається при появі тимчасового розриву в потоці. Після закінчення часу проїзду автомобілями вимкненого напрямку, включають напрямки, що конфліктують з ним.

При розгляді методу визначення затримок на локальному рівні враховується, що в систему надходить інформація про час проїзду автомобілем перетину, яке контролюється детектором транспорту і часом перемикання світлофорних сигналів.

Магістральне управління включає в себе формування керуючих впливів для ділянки магістралі міста з декількох пов'язаних перехресть, що задовольняє умовам координації. Основною

ознакою магістрального управління дорожнім рухом служить стійка залежність затримки руху АТЗ на перехресті від часу перемикання світлофорних сигналів на сусідніх світлофорних об'єктах.

Районне управління передбачає організацію руху на сукупності вулиць міського призначення, де здійснюється управління транспортними потоками і які мають спільні перетини. Системними технологічними параметрами районного рівня є резервні плани координації, розподіл перехресть по районах єдиного координованого управління, плани управління при заторах, список можливих режимів функціонування обладнання.

На рівень магістрального управління оброблена інформація надходить з нижнього (локального) рівня і включає величину затримок і число зупинок для кожного напрямку на сукупності перехресть. Обмеженням для управління служить базовий план координації, який розраховується заздалегідь і поступає з районного рівня. Базовий план координації розраховується заздалегідь при певній організації управління, на основі усереднених за певний інтервал часу параметрів руху.

Черговість фаз в керуючому впливі на локальному рівні визначається планом управління, що надходить з верхнього рівня. Застосування такої процедури передбачає змінну тривалість проміжних тактів і більш повне застосування перехрестя. Необхідною умовою виключення напрямку є закінчення мінімального часу зеленого сигналу.

Визначення планів координації проводиться методами координованого управління, однак методи мають ряд особливостей, а саме:

- розрахунок параметрів світлофорного регулювання в режимі координованого управління шляхом розподілу надлишкового часу циклу пропорційно фазовим коефіцієнтам;
- визначення керуючих параметрів на підставі графіка координації, отриманого графоаналітичним методом;
- оптимізація керуючих параметрів виробляється за непрямим критерієм - часом затримки транспортного потоку на магістралі;
- перевірка ефективності управління на зональному рівні проводиться методом плаваючого автомобіля поза режимом реального часу.

При цьому існують чинники, які обумовлюють відхилення від оптимального управління на реальному об'єкті за умови, що базовий ПК розрахований як оптимальний, тобто забезпечує мінімізацію показників ефективності для усереднених параметрів руху:

- запізнювання за часом (вимір і усереднення параметрів виконується в інтервал, який передує введенню в дію розрахованого плану);
- відхилення реальних значень усереднених параметрів від тих, для яких розрахований базовий план координації (даний фактор має істотне значення для систем, у яких базовий план координації розраховується заздалегідь, на основі сезонних визначень параметрів транспортних потоків);
- випадкові коливання параметрів транспортних потоків в інтервалі усереднення.

При магістральному управлінні здійснюється корегування впливів в базовому ПК, що компенсує перераховані вище фактори в реальному масштабі часу. Попередній розрахунок базового ПК забезпечує знаходження області локального мінімуму показників ефективності, а магістральне управління ставить за мету пошук в даній області значень абсолютного мінімуму. Метод магістрального управління зазвичай реалізується на основі ітеративної процедури, яка передбачає оптимізацію з урахуванням реально визначених показників ефективності.

З відомих, найбільш повно розроблений для подібних процесів метод градієнтного управління. Перевагами якого є необов'язковість попереднього визначення характеру функції управління, відносна швидкість методу і простота обчислювальної процедури. Для випадку управління транспортними потоками в СУДР реалізована модифікація методу, що забезпечує здобуття якщо і не оптимального, але принаймні кращого рішення.

Районне управління передбачає єдине координоване управління на кількох сусідніх магістралях. Однак, для даного рівня об'єднання магістралей в район може бути непостійним, оскільки умови координації між магістралями можуть порушуватися протягом доби в залежності від параметрів руху. У процесі районного управління для кожної магістралі вибирається або формується оптимальний базовий план, відповідний тимчасового інтервалу T_y , на якому можна вважати характеристики транспортних потоків

стаціонарними. Потім приймається рішення про введення в дію або цього плану, або що сполучається з чинним на сусідній магістралі, для більш важких транспортних умов. Алгоритм вибору базового плану координації для магістралі включається за умови, що спостерігається постійне зростання транспортних затримок, незважаючи на функціонування алгоритму градієнтного управління. Стійке зростання транспортних затримок означає, що діючий цикл перемикання світлофорної сигналізації, вже не відповідає реально сформованим умовам руху, в першу чергу інтенсивності руху. У цьому випадку здійснюється оцінка періоду усереднення, визначаються усереднені значення інтенсивності та швидкості руху автомобілів за даний період і вибирається або формується базовий ПК, відповідний даним параметрам.

Існуючі методи управління дорожнім рухом засновані на описі транспортних потоків у вигляді мікро- та макромоделей. При цьому мікромоделі описують транспортний потік як сукупність окремих автотransпортних засобів (АТЗ) із застосуванням методів теорії імовірності. У макромоделі застосовують середні значення параметрів транспортного потоку: швидкість, щільність і інтенсивність.

Відома загальна класифікація основних методів управління транспортними потоками за територіальною ознакою, за часом дії і за типом управління (рис. 1.3) :

- локальне управління перехрестям на ВДМ;
- зональне управління дорожнім рухом на ВДМ району міста;
- системне управління дорожнім рухом на ВДМ міста.

Методи управління транспортними потоками на локальному рівні широко відомі і можуть бути класифіковані по гнучкості, тривалості циклу і фаз світлофорного регулювання:

- регулювання за попередньо встановленими жорсткими параметрами управління;
- регулювання за вибором програм управління в залежності від поточної транспортної ситуації на перехресті;
- гнучке регулювання.

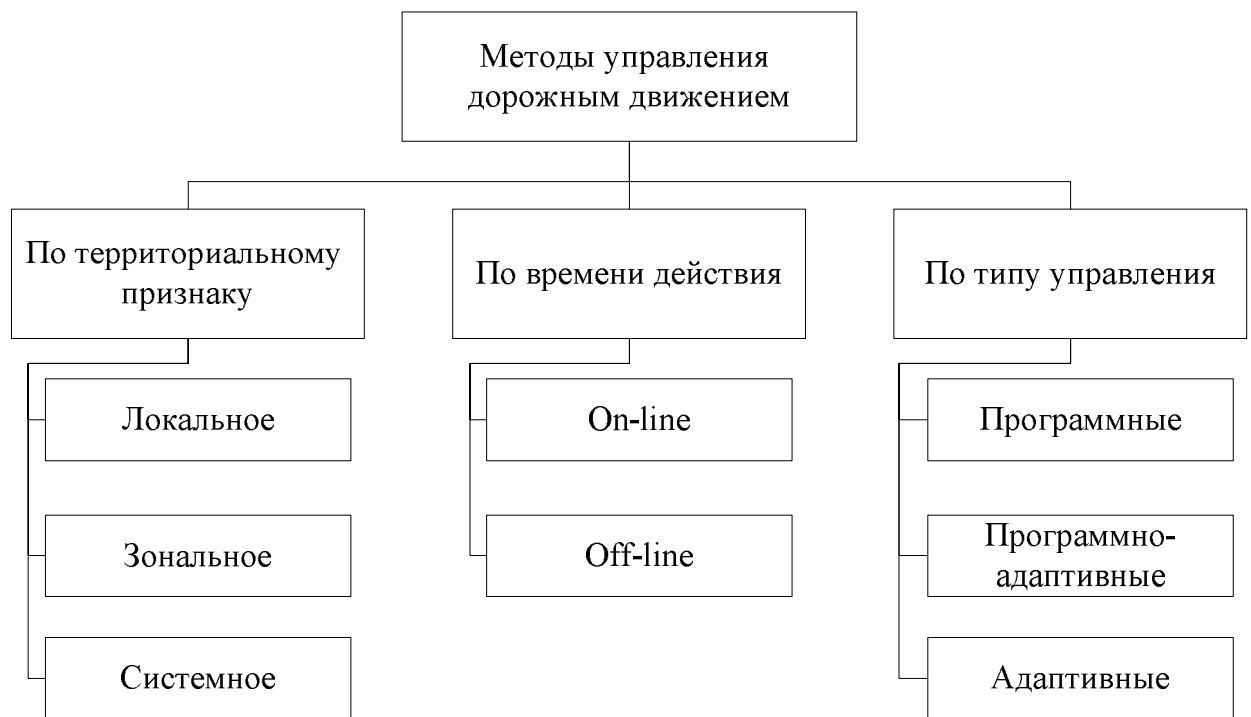


Рис. 1.3. Загальна класифікація методів управління дорожнім рухом

При локальному регулюванні керуючі параметри циклу світлофорного регулювання визначаються заздалегідь, виходячи із середніх значень параметрів транспортного потоку, схеми організації дорожнього руху та топологічних параметрів перехрестя. Даний тип регулювання широко й ефективно застосовується при стаціонарних транспортних потоках і ненасиченому русі. Керуючий вплив можна представити у вигляді:

$$\bar{U} = f(\bar{N}(t), \bar{s}, Z(t)) \quad (1.1)$$

де \bar{U} - вектор керуючих впливів;

$\bar{N}(t)$ - вектор усереднених значень інтенсивності транспортного потоку в момент часу;

\bar{s} - вектор параметрів топології перехрестя;

$Z(t)$ - параметри схеми організації дорожнього руху;

t - час введення керуючих параметрів.

Регулювання з вибором програм управління передбачає визначення набору параметрів світлофорного регулювання, які застосовуються в системі управління на підставі аналізу стану транспортного потоку на підходах до перехрестя на другорядних напрямках. Сигнал світлофора, що дозволяє рух, для головної дороги діє постійно до надходження інформації про прибуття на підході другорядного напрямку перехрестя автотранспортних

засобів. Якщо другорядний напрямок завантажується до закінчення виділеного основного такту для головної дороги - рух по головній дорозі продовжується. Керуючий вплив можна описати таким чином

$$\bar{U} = f(\bar{N}, \bar{S}, Z, \xi) \quad (1.2)$$

де \bar{U} - вектор керуючих впливів;

\bar{N} - вектор усереднених значень інтенсивності транспортного потоку;

\bar{S} - вектор параметрів топології перехрестя;

Z - параметри схеми організації дорожнього руху;

ξ - сигнал про прибуття автотранспортного засобу у другорядному напрямку.

Гнучке регулювання здійснюється в режимі реального часу шляхом безперервної зміни параметрів світлофорного регулювання з урахуванням параметрів транспортного потоку, часу очікування і інтервалів прибуття АТЗ на підходах до перехрестя. Вихідні параметри визначаються за допомогою детекторів транспорту і передаються в центр управління дорожнім рухом, де проводиться розрахунок керуючих параметрів світлофорного регулювання для поточної дорожньої ситуації. Вектор керуючих впливів в загальному вигляді може бути визначений:

$$\bar{U} = f(\bar{N}(t), \bar{S}, Z, \omega(t)) \quad (1.3)$$

де \bar{U} - вектор керуючих впливів;

$\bar{N}(t)$ - вектор поточних значень інтенсивності транспортного потоку в момент часу;

\bar{S} - вектор параметрів топології перехрестя;

Z - параметри схеми організації дорожнього руху;

$\omega(t)$ - поточні параметри транспортного потоку і дорожньої ситуації на підходах до перехрестя.

При зональному управлінні найбільш поширеними є алгоритми, засновані на застосуванні заздалегідь розрахованих базових програм координації (бібліотеки базових програм). Зміна програм дозволяє з деякою затримкою реалізувати режим управління у відповідності до реальних умов руху. Перехід з однієї програми на іншу проводиться поступово шляхом скорочення або подовження окремих фаз у встановлених межах. Кількість програм може становити від одного до декількох десятків.

Вибір програми, який найповніше відповідає виникаючим умовами руху, в загальному вигляді можна представити

$$N = f(t\{\bar{X}_T\}), \quad (1.4)$$

де N - номер програми;

t - час доби;

$\{\bar{X}_T\}$ - вектор, що характеризує об'єкт управління.

$$\{\bar{X}_T\} = \{\bar{l}, \bar{v}, \bar{q}\}, \quad (1.5)$$

де \bar{l} - вектор інтенсивності руху транспорту в транспортній мережі;

\bar{v} - вектор швидкості;

\bar{q} - вектор, що характеризує довжину черг.

Системне управління забезпечує оптимізацію функціонування ТП в зоні, що включає безліч перехресть ВДМ і, як правило, базується на методах з урахуванням макрохарактеристик потоків. Причому зміна управляючих дій на одному перехресті, неминуче викликає зміну характеристик ТП на сусідніх елементах ВДМ.

Особливістю мережевих СУДР є їх використання для визначення параметрів регулювання на декількох перехрестях, зазвичай пов'язаних в єдину мережу, що характеризується значною інтенсивністю руху транспортних засобів між сусідніми перехрестями і невеликими (до 600..700 м) відстанями між ними. Як правило, на мережевому рівні визначаються цикли регулювання для групи перехресть і тимчасові зрушення для окремих світлофорних об'єктів. Для визначення цих параметрів окрім даних, необхідних для локального управління, використовується інформація про топологію мережі, взаємозв'язках транспортних потоків на сусідніх перехрестях по напрямках проїзду через перехрестя, а також часу проїзду між сусідніми перегонами мережі. Мережеве жорстке управління світлофорною сигналізацією забезпечує координацію роботи світлофорних об'єктів в межах деякого району. Усі перехрестя району, на яких відбувається перерозподіл транспортних потоків, мають бути обладнані світлофорною сигналізацією, що працює з однаковим циклом регулювання. Відомим методом розрахунку жорстких мережевих планів координації є алгоритм TRAffic Network Study Tool (TRANSYT), розроблений Transport Research Laboratory (TRL) на початку 1970-х рр. який удосконалюється по теперішній час. В якості критерію оптимальності плану координації використовується зважена сума затримок транспортних засобів і числа зупинених автомобілів на усіх стоп-лініях перехресть мережі. Метод дозволяє враховувати в цільовій функції і інші критерії: витрата палива,

затримки пасажирського транспорту, об'єм емісії газів, що відпрацювали, і т. п.

Мережеві адаптивні методи управління світлофорним регулюванням дозволяють забезпечити його найбільшу ефективність, особливо в умовах високої інтенсивності руху, коли випадкова зміна інтенсивності може привести до лавиноподібного зростання черги і блокування цілих ділянок дорожньої мережі. Причиною сплеску інтенсивності руху і зростання рівня завантаження ділянки дорожньої мережі можуть бути як випадкова зміна параметрів транспортних потоків, так і ДТП, блокування смуги руху несправним автомобілем тощо. Найбільш широко застосованим алгоритмом мережевого адаптивного управління є SCOOT, розроблений TRL спільно з фірмами Plessey (нині права перейшли до Siemens AG) і Peek Traffic. Алгоритм SCOOT використовується більш ніж в 200 містах, наприклад, в Лондоні зона управління SCOOT охоплює приблизно 2 000 регульованих перехресть.

За своїм змістом задачі адаптивного управління відповідають задачам синтезу та реалізації часткових програм руху на локальній ділянці вулично-дорожньої мережі та зводяться до пошуку таких рішень, які є раціональними та оптимальними за будь-яким критерієм у конкретних умовах руху. Тому у відповідних методах особливу увагу приділяють визначенню параметрів руху та умов руху.

Формалізувати задачу адаптивного управління можливо як інтерактивний пошук функції управління $U(t)$ при $t > t_0$, яка задовольняє вимогам:

$$x_i(t) = F[x(t); U(t), \xi] + \pi(t)$$

$$U(t) \in Q_u; x(t) \in Q_x; t \in \{t_0; t\};$$

де x_i - деяка точка простору стану $\{x_0 \dots x_r\}$;

$x(t)$ - стан керованого об'єкту;

ξ - вектор параметрів керованого об'єкту;

$\pi(t)$ - вектор зовнішнього впливу;

Q_u, Q_x, Q_π - області існування змінних параметрів;

$U(t)$ - параметри керуючих впливів на об'єкт.

Принципово, методи адаптивного управління відрізняються від програмних методів додатковими операціями виміру параметрів

руху транспортного потоку (швидкість, інтенсивність) та дорожніх умов, які необхідні в процесі управління.

Суть адаптивних методів полягає в оперативному розрахунку або корекції параметрів управління (у реальному масштабі часу) відповідно до результатів виміру і аналізу характеристик ТП. У існуючій практиці передбачається окреме і спільне застосування програмних і адаптивних (програмно-адаптивних) методів управління.

Локальні адаптивні алгоритми управління дозволяють управляти окремим світлофорним об'єктом залежно від реальної ситуації. Для цього можуть використовуватися наступні методи:

1) метод пошуку розриву у транспортному потоці, який припускає контроль присутності транспортних засобів в перерізах, віддалених від стоп-ліній на відстані 30-50 м;

При цьому тривалість основного такту лежить в межах:

$$t_{\zeta\min} < t_{0i} < t_{\zeta\max} \quad (3.15)$$

де $t_{\zeta\min}$, $t_{\zeta\max}$ - відповідно мінімальний і максимальний час горіння зеленого сигналу.

Аналогічно можна записати вимоги для тривалості циклу регулювання :

$$T_{\dot{o}\min} < T_{\dot{o}} < T_{\dot{o}\max} \quad (3.16)$$

де $T_{\dot{o}\min}$, $T_{\dot{o}\max}$ - відповідно мінімальна і максимальна тривалість циклу регулювання.

Існують складніші модифікації алгоритму пошуку розривів в транспортному потоці. Ускладнення відноситься до введення ряду функціональних залежностей типу :

$$T_{\dot{o}\min} = f(n_k) \quad (3.17)$$

$$T_{\dot{o}\max} = f(n_i) \quad (3.18)$$

$$\Delta t_{\hat{a}\hat{e}} = f(v_i) \quad (3.19)$$

$$\Delta t_{\hat{a}\hat{e}} = f(n_i) \quad (3.20)$$

де n_k - значення довжини черги на напрямі, на якому включається зелений сигнал у момент виключення червоного сигналу;

n_i - значення довжини черги в конфліктуючому напрямі;

$\Delta t_{\text{âê}}$ - екіпажний інтервал;

v_3 - швидкість руху автомобілів в дозволеному напрямі;

3 - номер відповідного напрямку руху.

2) метод роз'їзду черги вимагає визначення довжин черг на напрямках проїзду через перехрестя. Визначення довжини черги може здійснюватися як безпосередньо, так і розрахунковим методом, шляхом порівняння числа транспортних засобів, що пройшли через два контрольовані перерізи - у стоп-лінії і на деякій відстані від неї;

3) метод розрахункового визначення тривалості циклу і фаз регулювання заснований на використанні в реальному часі даних інтенсивності транспортних потоків і інтенсивності розвантаження черг на напрямках проїзду через перехрестя. Розрахунок може виконуватися 1 раз в цикл з використанням узгоджених даних, накопичених за декілька циклів, передуючих розрахунку, або 1 раз в декілька циклів. Частота перерахунку, як показує світовий досвід, не повинна перевищувати 15 хвилин;

4) метод вирівнювання ступеню насичення фаз регулювання, що припускає зміну їх тривалості усередині заданої величини циклу, при якій значення коефіцієнту насичення усіх фаз регулювання стають приблизно однаковими.

При цьому ступінь насичення фази регулювання в теорії транспортних потоків визначається наступним чином:

$$x_i = \frac{N_i T_{\text{ö}}}{M_i g_i} \quad (3.21)$$

де N_i - інтенсивність руху в дозволеному напрямі цієї фази;

3 - номер фази;

M_3 - величина потоку насичення в цій фазі;

g_3 - ефективна тривалість фази, тобто частина фази, впродовж якої відбувається перетин стоп-лінії.

5) метод прогнозу прибуття АТЗ припускає наявність інформації щодо моментів перетину транспортними засобами перерізів, розташованих на значному (200..300 м) видаленні від стоп-ліній

перехрестя. Ця інформація дозволяє прогнозувати моменти прибуття транспортних засобів до стоп-ліній.

Діючі в СУДР алгоритми управління, як правило, використовують комбінацію перерахованих методів. Прикладом такого алгоритму може бути алгоритм MOVA, розроблений в TRL і поєднуючий два останні методи.

Окрім адаптивного управління світлофорним регулюванням на перехресті, можливе застосування режимів багатопрограмного управління, при якому перемикання програм здійснюється відповідно до часу доби і дня тижня. Такий варіант стратегії управління близький до оптимального, якщо характеристики транспортних потоків досить стійкі, а рівень завантаження перехрестя не перевищує 70%. Світовий досвід показує, що для ефективного управління необхідно використовувати набір не менше чим з 5-7 програм, наприклад:

- програма для ранку буденного дня;
- програма для денного періоду буденного дня;
- програма для вечора з понеділка по четвер;
- програма для вечора п'ятниці;
- програма для вечора неділі;
- програма для періоду низької інтенсивності транспортних потоків (нічний);
- програма для помірної інтенсивності (вихідного дня).

Можливо також використання різних програм для літнього і зимового періодів року і спеціальних програм, розрахованих з урахуванням різних станів дорожнього покриття (сухе, мокре, ожеледь і так далі), а також програм жовтого миготіння.

Локальні адаптивні алгоритми управління дозволяють управляти окремим світлофорним об'єктом залежно від реальної ситуації. Для цього можуть використовуватися наступні методи:

- метод пошуку розриву у ТП на підходах до перехрестя, який припускає контроль присутності транспортних засобів в перерізах, віддалених від стоп-ліній на відстані 30..50 м;
- метод роз'їзду черги, що вимагає визначення довжин черг на напрямках проїзду через перехрестя. Визначення довжини черги може здійснюватися як безпосередньо, так і розрахунковим методом, шляхом порівняння числа

- транспортних засобів, що пройшли через два контрольовані перерізи, - у стоп-ліній і на деякій відстані від неї;
- метод розрахункового визначення тривалості циклу і фаз - заснований на використанні в реальному часі даних про інтенсивність транспортних потоків і інтенсивності розвантаження черг на напрямках проїзду через перехрестя. Розрахунок може виконуватися 1 раз в цикл з використанням узгоджених даних, накопичених за декілька циклів, передуючих розрахунку, або 1 раз в декілька циклів. Частота перерахунку, як показує світовий досвід, не повинна перевищувати 15 хвилин;
 - метод прогнозу прибуття - припускає наявність інформації про моменти перетину транспортними засобами перерізів, розташованих на значному (200..300 м) видаленні від стоп-ліній перехрестя. Ця інформація дозволяє прогнозувати моменти прибуття транспортних засобів до стоп-ліній. Реалізація цих методів можлива тільки при наявності детекторів транспорту.

Методи управління дорожнім рухом (ДР) в режимі реального часу (on-line).

З точки зору системного підходу, усі методи управління дорожнім рухом можна розділити на методи, діючі в реальному часі (on-line), і поза ним (off-line методи).

Системи управління у реальному часі функціонують за схемою «запит» - «відповідь», тобто на запит об'єкту управління. центр управління негайно формує відповідь у вигляді управляючої дії. Тому особливе значення має тривалість проміжку часу між «запитом» та «відповіддю», який наближається до 0.

До першої групи відноситься безумовно старий метод управління - світлофорне регулювання на перехресті, а так само вже досить численні алгоритми автоматизованого управління, засновані на отриманні інформації від датчиків транспортних потоків. Серед автоматизованих on-line методів слід назвати в першу чергу ті, які пов'язані з оперативною зміною параметрів світлофорного регулювання, : різні варіанти місцевого гнучкого регулювання (МГР) і пропуску фаз, а також метод мережевого управління SCOOT. Ці методи широко застосовуються у діючих за кордоном

системах автоматизованого управління дорожнім рухом (СУДР). У вітчизняних системах нині можлива реалізація обмеженого набору алгоритмів МГР. До іншої групи on-line методів слід віднести алгоритми, не пов'язані зі світлофорним регулюванням: використання керованих знаків і табло (в основному при виникненні заторів) і організація реверсивних смуг руху. Такі методи реалізовані в окремих зарубіжних системах.

Методи управління ДР поза режимом реального часу (off-line).

У групі off-line алгоритмів автоматизація може застосовуватися на етапі збору інформації про транспортні потоки, етапі ухвалення рішення (при розрахунку параметрів, що управляють, і виборі періоду їх дії) і на етапі доведення управляючих параметрів до технічних засобів регулювання. Сучасні зарубіжні СУДР, що реалізують управління поза реальним часом, припускають автоматизацію усіх трьох етапів. Виняток становить автоматизація ухвалення рішень при примусовому розподілі транспортних потоків. У вітчизняних СУДР автоматизація збору інформації теоретично можлива, але практично не використовується, зважаючи на малу кількість датчиків і їх низької надійності, багато в чому обумовленої неякісним дорожнім покриттям і примітивною технологією їх установки. Автоматизовані методи розрахунку управляючих параметрів використовуються дуже обмежено зважаючи на ряд об'єктивних і суб'єктивних причин, на яких ми зупинимося нижче. Автоматизоване доведення ряду управляючих параметрів до засобів регулювання у вітчизняних СУДР реалізоване.

Групу алгоритмів, діючих поза реальним часом, у свою чергу представляється можливим розділити на методи, що дозволяють змінювати управляючі параметри в добовому або календарному циклі регулювання на підставі прогнозу динаміки транспортних потоків і методи, що забезпечують одноразове завдання таких параметрів на тривалий період часу. До першої групи відносяться усі алгоритми світлофорного регулювання, що працюють в режимі календарної автоматики. Вони застосовуються абсолютно в усіх зарубіжних СУДР і в більшості вітчизняних (для обмеженого набору параметрів, що управляють). З певною натяжкою до цієї ж групи відноситься і вивішування табличок типу "По вихідних днях

проїзд вантажному транспорту по набережній заборонений". До другої групи відносяться практично усі методи примусового розподілу транспортних потоків, що реалізуються за допомогою дорожніх знаків (некерованих) і дорожньої розмітки: заборона руху вантажного транспорту, односторонній рух, заборона руху по окремих напрямках на перехрестях, виділення смуг для окремих напрямів руху і так далі. Таким чином, до цієї групи відноситься практично усі заходи організації дорожнього руху. Сюди ж слід віднести і світлофорну сигналізацію з незмінними в добовому циклі параметрами регулювання.

Принципи координованого управління дорожнім рухом.

Метою координованого управління дорожнім рухом є забезпечення руху транспортного потоку на вулично-дорожній мережі міста з мінімальною кількістю зупинок, це досягається шляхом визначення моментів включення основних тактів світлофору на суміжних перехрестях таким чином, щоб уникнути зупинки АТЗ у зоні дії світлофору (на перехресті).

Принципи координації руху транспортних потоків на магістралях міста:

1. хвильові процеси в транспортному потоці, викликані світлофорним регулюванням, мають визначені, параметри - щільність, швидкість, інтервали;
2. явище стійкості транспортного потоку в умовах світлофорного регулювання, дозволяє об'єднати світлофорні об'єкти, розташовані на невеликій відстані (150-600 м), у систему координованого керування;
3. оптимальний режим руху транспорту досягається в тому випадку, коли автомобілі рухаються від одного світлофора до іншого, групами до початку появи зеленого сигналу. У цьому випадку збільшується пропускна здатність перехрестя, тому що коефіцієнт корисної дії зеленого сигналу більше, тому що час, необхідний на прискорення потоку транспорту (так називаний загублений час), що складає в середньому 2,5-4 с, не витрачається.

Для організації координованого управління необхідне виконання наступних умов:

- наявність не менш двох смуг руху в кожному напрямку на магістралі;
- однаковий цикл регулювання на всіх перехрестях, що входять у систему координації;
- відстань між сусідніми перехрестями не повинна перевищувати 1000 м.

Перша умова пов'язана з необхідністю організації руху транспортних засобів з розрахунковою швидкістю і своєчасним прибуттям до чергового перехрестя. Їх затримка на перегоні приведе до порушення процесу координованого керування, тому

що збільшення часу руху на перегонах сприяє прибуттю автомобіля до перехрестя із запізненням (у період дії сигналу, що забороняє рух). При вузькій проїзній частині імовірність затримки підвищується, тому що об'їзд усіляких перешкод на дорозі збільшує час проїзду.

Однаковий цикл на всіх перехрестях забезпечує необхідну періодичність зміни сигналів, збереження розрахункового зрушення включення фаз, що дозволяють рух уздовж маршруту координації.

Обмеження, що накладається на довжину перегону, пов'язано з процесом групоутворення в транспортному потоці. Група автомобілів утворюється при роз'їзді черги, що зібралася в чеканні дозволяючого сигналу світлофора. На початку перегону, безпосередньо за перехрестям, інтенсивність такої групи близька до потоку насичення. У процесі подальшого руху групи АТЗ починається її розпад через різні швидкості транспортних засобів.

По численним даним спостережень встановлено, що група цілком розпадається при довжині перегону більш 1000 м. Прибуття автомобіля до перехрестя буде носити випадковий характер, взаємозв'язок ТП потоку із сусіднім перехрестям переривається. Природно, що на динаміку цього процесу, крім складу потоку та індивідуальних якостей водіїв АТЗ, впливає число смуг руху в даному напрямку руху, інтенсивність руху, наявність на перегонах зупинних пунктів і суспільного транспорту, пунктів тяжіння пішоходів.

Магистральные улицы городского значения – это улицы, которые служат основными путями, как для транзитного движения, так и для обеспечения непосредственной связи между основными пунктами отправления и назначения – центральным деловым районом, главными районами занятости, центрами распределения и отправки товаров и селитебными районами города. Совокупность магистральных улиц города, имеющих точки пересечения можно определить как сеть магистралей города, места пересечения магистралей – как узловые перекрестки.

На магистралях города, с целью повышения безопасности движения и увеличения пропускной способности улично-дорожной сети, целесообразно производить координацию работы светофорных устройств. Под координацией понимается

согласованная работа светофорных объектов на магистрали города с целью организации безостановочного проезда транспортных средств через смежные перекрестки улично-дорожной сети города. Прогрессивный метод координации светофорных циклов состоит в том, что при любых условиях планировочных структур (различные расстояния между перекрестками), состава и размеров потоков транспорта обеспечивается безостановочное движение. Сложность метода состоит в том, что при проектировании прогрессивной системы учитываются следующие факторы: расстояние между перекрестками; скорости движения между перекрестками; время прибытия транспорта к перекресткам, обусловленное различными расстояниями и скоростями движения в противоположных направлениях; интенсивности потоков транспорта, пересекающих основную магистраль на перекрестках и другие.

Для организации координированного управления необходимо выполнение следующих условий:

- а) наличие не менее двух полос для движения в каждом направлении;
- б) одинаковый цикл регулирования на всех перекрестках, входящих в систему координации;
- в) расстояние между соседними перекрестками не должно превышать 800 метров.

Первое условие связано с необходимостью безопасного движения транспортных средств с расчетной скоростью и своевременного их прибытия к очередному перекрестку. Их задержка в пути приведет к нарушению процесса координированного управления, увеличение времени движения на перегонах способствует прибытию автомобиля к перекрестку с опозданием (в период действия запрещающего сигнала). При узкой проезжей части вероятность задержки в пути повышается, так как затруднен объезд возможных препятствий на дороге (остановившиеся у тротуара автомобили, остановочные пункты общественного транспорта и так далее).

Одинаковый цикл регулирования светофора на всех перекрестках обеспечивает необходимую периодичность смены сигналов, сохранение расчетного сдвига включения фаз, разрешающих движение вдоль маршрута координации. Ограничение, накладываемое на длину перегона, связано с процессом группообразования в транспортном потоке. Группа автомобилей образуется при разъезде очереди, скопившейся в ожидании

разрешающего сигнала светофора. В начале перегона непосредственно за перекрестком интенсивность такой группы близка к величине потока насыщения. В процессе дальнейшего движения группы начинается ее распад из-за различных возмущающих воздействий, таких как разброс скоростей транспортных средств, составляющих эту группу, маневрирование АТС, качество дорожного покрытия, метеорологические условия. Поэтому основной проблемой при осуществлении координации дорожного движения является формирование групп автотранспортных средств при движении их по магистрали города. Для выявления зависимости взаимодействия автотранспортных средств в группе автомобилей при движении на перегоне магистрали, проведены исследования процесса образования групп АТС в транспортном потоке. Одна из возможных схем процесса образования и рассредоточения групп автомобилей у перекрестка заключается в следующем. При зеленом сигнале на главном направлении образовавшаяся часть рассасывается с интенсивностью M_1 , равной величине потока насыщения. После разгрузки очереди в момент a_1 автомобили следуют через перекресток транзитом с интенсивностью $I_1'(t)$ до момента включения желтого сигнала g . После этого происходит аналогичный процесс с пересекающего направления, с характеристиками M_2 , $I_2'(t)$, a_2 доли поворотного потока (рис.3.1). Примем следующие обозначения и допущения.

Среднее время проезда $\bar{\tau}$ перегона длиной l и дисперсия δ не зависят от $I(t)$ – зависимости интенсивности от времени, а зависят лишь от суммарной интенсивности транспортного потока на перегоне. Случайное время τ движения по перегону распределено по нормальному закону:

$$f(\tau) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma}} \cdot e^{-\frac{(\tau-\bar{\tau})^2}{2\delta}} \quad (3.1)$$

В этом случае связь интенсивности на входе и на выходе перегона представляется в виде (3.2):

$$I_1(t) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma}} \cdot \int_{-\infty}^{\infty} I(t-\tau) \cdot e^{-\frac{(\tau-\bar{\tau})^2}{2\delta}} dt \quad (3.2)$$

Достоверность и статистическая надежность выражения (3.2) показаны в [50, 6].

Предполагаем, что время проезда перегона не превосходит длительности цикла. Поэтому будем рассматривать только ту часть потоков с обоих направлений, которые попадают на перегон за время цикла. При решении данной задачи влияние распадающейся группы второстепенного направления на распределение автомобилей по перегону и распределение времени прибытия к следующему перекрестку не рассматривается. Тогда выражение (3.2) будет иметь вид:

$$I_1(t) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma}} \cdot \int_0^t I'_1(t-\tau) \cdot e^{-\frac{(\tau-\bar{\tau})^2}{2\delta}} dt \quad (3.3)$$

$$I_2(t) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma}} \cdot \int_0^{t-G} I'_2(t-\tau) \cdot e^{-\frac{(\tau-\bar{\tau})^2}{2\delta}} dt \quad (3.4)$$

Представим $I'_1(t)$ и $I'_2(t)$ в виде ступенчатых функций:

$$I'_1(t) = \begin{cases} M_1, & 0 < t \leq a_1 \\ N_1, & a_1 < t \leq g \\ 0, & g < t \leq T \end{cases} \quad (3.5)$$

$$I'_2(t) = \begin{cases} M_2, & G < t \leq a_2 \\ N_2, & a_2 < t \leq T \\ 0, & t \leq G \end{cases} \quad (3.6)$$

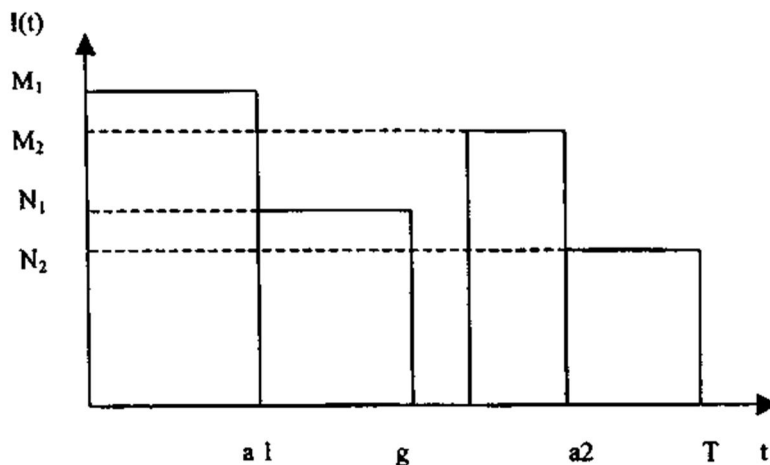


Рис. 3.1. Ступенчатые функции $I'_1(t)$ и $I'_2(t)$

Степень эффективности координации может определяться соотношением составляющих M и N в формулах (3.5) и (3.6).

Будем рассматривать изменение значений $I_1(t), I_2(t)$ на интервале $G \leq t \leq T$, так как в момент G начинается движение из

пересекающего направления и формируется суммарная интенсивность $I_1(t)+I_2(t)$.

Предположим, что располагающиеся группы не оказывают взаимного влияния друг на друга, т.е. процесс диффузии обеих групп автомобилей происходит как бы на параллельных полосах, что возможно исходя из определения магистрали. В этом случае суммарная интенсивность $I_1(t)+I_2(t)$ в любом сечении перегона будет характеризовать «взаимопроникновение» групп. С учетом (3.5) и (3.6) соотношения (3.3) и (3.4) примут следующий вид:

$$I_1(t) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma}} \left(\int_{t-a_1}^{t-G} M_1 e^{-\frac{(\tau-\bar{\tau})^2}{2\sigma}} dt + \int_{t-g}^{t-a_1} N_1 e^{-\frac{(\tau-\bar{\tau})^2}{2\sigma}} dt \right) \quad (3.7)$$

$$I_2(t) = \begin{cases} \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma}} \left(\int_{t-a_2}^{t-G} M_2 e^{-\frac{(\tau-\bar{\tau})^2}{2\sigma}} dt + \int_0^{t-a_2} N_2 e^{-\frac{(\tau-\bar{\tau})^2}{2\sigma}} dt \right), & G < t \leq a_2 \\ \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma}} \int_0^{t-G} M_2 e^{-\frac{(\tau-\bar{\tau})^2}{2\sigma}} dt, & a_2 < t \leq T. \end{cases} \quad (3.8)$$

Предположим, что по рассматриваемым подходам к перекрестку движение идеально скоординировано, т.е. к моменту включения зеленого сигнала на i -м направлении на вход перегона поступает компактная группа автомобилей с временной длиной $P_i(0)$ и интенсивностью N_i . Тогда соотношения (3.7) и (3.8) примут вид:

$$I_1(t) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma}} \int_{t-P_1(0)}^t N_1 e^{-\frac{(\tau-\bar{\tau})^2}{2\sigma}} dt, \quad G < t \leq P_2(0) \quad (3.9)$$

$$I_2(t) = \begin{cases} \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma}} \int_0^{t-G} N_2 e^{-\frac{(\tau-\bar{\tau})^2}{2\sigma}} dt, & G < t \leq P_2(0) \\ \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma}} \int_{t-P_2(0)}^{t-G} N_2 e^{-\frac{(\tau-\bar{\tau})^2}{2\sigma}} dt, & P_2(0) < t \leq T. \end{cases} \quad (3.10)$$

Следует заметить, что интервалы между группами в этом случае можно определить из соотношений:

$$\Delta t_{1,2} = G - P_1(0), \quad \Delta t_{2,1} = T - G - P_2(0),$$

где Δt_{ij} – временной интервал между группами с i -го j -го направлений.

При этом условии, при выполнении которого перекресток ведет себя как изолированный [6], имеет вид:

$$l \geq \max \left\{ 125 \cdot v \cdot \ln \frac{G}{P_1(0)}, 125 \cdot v \cdot \ln \frac{T-G}{P_2(0)} \right\} \quad (3.11)$$

где v – средняя скорость потока; T – период цикла; $P_i(0)$ – временная длина группы автомобилей при входе на i -м перегон; l – длина перегона.

Таким образом, показателем взаимодействия групп автомобилей прямого и поворотного потоков может являться суммарное значение (3.7) и (3.8) в один и тот же момент времени. Проведенные вычисления при различных комбинациях значений параметров условий движения на перегоне и параметров цикла светофорного регулирования по формуле (3.11), определены граничные значения длины перегона, на котором интервал времени между группами не превосходит среднего интервала между автомобилями в группе, т.е. поток становится стационарным при определенных параметрах перегона улично-дорожной сети. Расчетная длина перегона варьируется в интервале 170 – 1200 м.

Известны следующие методы координированного управления [94,95]: программные, адаптивные и программно-адаптивные. Программное управление основано на статистическом постоянстве (устойчивости) характеристик транспортных потоков и заключается в предварительном расчете плана координации по заранее определенным параметрам режимов движения [59].

Следует выделить отдельный класс методов управления – программно-адаптивные, как наиболее перспективные при решении задач повышения эффективности управления дорожным движением на магистралях города [73].

В зависимости от варьирования параметрами координации выделяют такие виды программно-адаптивного управления [96]:

- со сменой планов координации по времени суток, недели, сезона;
- со сменой планов координации по параметрам транспортных потоков;
- с общей коррекцией планов координации.

В первом случае, определение управляющих воздействий происходит при следующих допущениях в определенной последовательности.

На основании эпизодичных измерений параметров транспортных потоков – $F_3(N)$ в сравнении с контрольными значениями – $F_{кз}(N)$ (N

- интенсивность ТП) [97, 98]. При $F_{кз}(N) - F_3(N) \geq C$ проводим пересчет библиотеки планов координации $\{Y_i\}$. Величина C определяется экспертным путем. Запуск в действие плана Y_i происходит при совпадении реального времени t_p с контрольным t_k .

В случае программного управления со сменой планов координации по параметрам ТП, изменение планов координации происходит в результате анализа в управляющей подсистеме управления параметров транспортных потоков. Анализ параметров обычно осуществляется до их усреднения в течение заранее заданного периода времени T_y и получения оценки [99]:

$$N^j(T_y) = \frac{\sum_i^n N_i^j}{n} \quad (1.11)$$

где n – количество измерений в течение T_y ;

N_i^j – результат измерения интенсивности ТП в соответствующих пересечениях j УДС за период времени t_i .

$$\sum_i^n t_i \leq T_y \quad (1.12)$$

После получения оценки $\bar{N}(T_y)$ осуществляется подбор ближайшего многомерного контрольного вектора $\bar{N}_k(i)$, ($i=1...m$) из заранее заданного множества по минимуму вектора разницы $\bar{R}_{\min i}$.

$$\bar{N}(T_y) - \bar{N}_k(i) = \bar{R}_{\min i} \quad (1.13)$$

Для каждого контрольного вектора существует заранее рассчитанный план координации. При принятии решения о введении плана координации вместо действующего необходимо учитывать наличие переходного интервала T_{nep} , в течение которого эффект от координированного управления резко снижается и практически стает равным нулю. Поэтому решение о смене плана координации Y_l на план Y_k следует принимать при условии:

$$F_3(Y_k)T_y < F_3(Y_l)(T_y - T_{nep}) \quad (1.14)$$

где $F_3(Y_k)$ - эффективность управления за единицу времени при действующем плане и соответствующей разнице;

$F_3(Y_l)$ - эффективность нового плана.

Практические измерения, проведенные на действующих системах, показывают, что длительность $T_{пер}$ составляет два, три цикла управления. Оценки $F_3(Y_k)$ и $F_3(Y_l)$ в конкретное время могут быть получены предыдущими натурными измерениями либо моделированием. Длительность T_y может быть выбрана по критерию минимальной ошибки усреднения измеряемых параметров.

В случае программного управления с общей коррекцией планов координации, алгоритм дополняется процедурой общей коррекцией плана координации. Исходными предпосылками применения общей коррекции плана координации служат два основных допущения.

Первое сводится к аппроксимации зависимости скорости движения транспортных потоков от их интенсивности линейной функцией:

$$v_{mn} = v_{свл} - K_1 J \quad (1.15)$$

где $v_{свл}$ - усредненное значение нормы вектора скорости свободного движения автомобилей при условии их независимого движения;

K_1 - коэффициент пропорциональности и приведения размерности;

J - норма вектора интенсивности движения.

Данное предположение заключается в том, что интенсивность движения и оптимальный цикл управления также связаны линейной зависимостью [97]:

$$T_{ц\ opt} = K_2 J' \quad (1.16)$$

где K_2 - коэффициент линейного уравнения;

J' - норма вектора интенсивности движения, по которой принимается решение о выборе и оптимизации цикла координированного управления.

С учетом принятых допущений в процедуре общей коррекции выполняются следующие операции:

а) вычисляется разница между вектором результата измерения параметров транспортных потоков и контрольным вектором, по введенному в действие плану коррекции:

$$\vec{R}_i = N(T_y) - N_k(i) \quad (1.17)$$

б) определяется коэффициент коррекции плана координации как функции от \vec{R}_i :

$$K_{кор} = F(\vec{R}_i, \chi) \quad (1.18)$$

где χ - коэффициент пересчета;

в) все параметры плана коррекции увеличиваются соответственно полученному коэффициенту, в том числе длительность цикла светофорной сигнализации, а также временные сдвиги между включением фаз регулирования, т.е.

$$Y_{i\text{кор}} = Y_i K_{\text{кор}} \quad (1.19)$$

Однако, такой подход не всегда бывает целесообразным, так как при этом увеличивается временная задержка АТС на магистрали.

Общим признаком программных методов управления является задержка в управляющей подсистеме на интервал усреднения параметров транспортных потоков (T_y). Данная задержка обуславливает несоответствие плана координации реальной транспортной ситуации по причине не стационарности транспортных потоков

$$Y_i = f(N(t - T_y)). \quad (1.20)$$

Устранить этот недостаток возможно через компенсацию задержки, которая будет реализована путем применения процедуры расчета параметров управления в режиме реального времени по текущим параметрам транспортного потока.

В программных и в программно-адаптивных методиках, основной информацией, определяющей изменение планов координации, является изменение интенсивности ТП и скорости АТС. Процесс оптимизации находится вне процесса координированного управления ТП и снижает эффективность управления дорожным движением.

В работах [64, 65, 69, 99, 100] предлагается повышение эффективности координации движения на магистрали на основании математической модели движения ТП в виде потока несжимаемой жидкости. При таких условиях, оптимальными управляющими параметрами авторы определяют набор сдвигов фаз светофорного регулирования, который обеспечивает максимизацию ширины ленты времени безостановочного движения по магистрали.

Существенный недостаток данного подхода заключается в игнорировании свойств ТП, связанных со случайным распределением скоростей движения в потоке, вероятностным характером создания очередей перед перекрестками, отсутствием измерений основного параметра ТП – интенсивности движения и недостаточной ширины ленты времени для проезда ТП через

отдельные перекрестки на магистрали. Данный метод может быть использован при малой интенсивности ТП.

Комбинированный метод координации движения ТП на магистралях города [101-105] позволяет повысить эффективность управления движением на магистрали путем снижения задержки АТС и заключается в определении сдвига фаз сигналов светофоров, которые функционируют по жесткому циклу и минимизируют общую задержку транспортных потоков по магистрали. Этот метод базируется на следующих допущениях:

- текущее изменение интенсивности ТП на магистрали не учитывается при определении длительности фаз и циклов светофорного регулирования;
- светофоры работают с одинаковой либо кратной принятой длительности цикла;
- ТП выезжает на перегон во время зеленого сигнала светофора, движется и покидает его также на зеленый сигнал.

Этот метод может быть применен при минимизации задержек движения АТС по магистрали, но существенное допущение о свойствах ТП на оживленных перекрестках магистрали заключается в том, что ТП представляет собой непрерывный поток с неизменной во времени интенсивностью, и это существенно снижает ценность метода.

Метод оптимизации параметров управления светофорной сигнализацией «Сигоп» разработан, испытан и усовершенствован в Англии и США [106, 107]. При известной геометрии улично-дорожной сети и характеристиках движения транспорта, в течении представляющего интерес времени, функцией «Сигопа» является определение оптимальных длительности цикла, распределения фаз и их сдвига. Может быть задано до 10 циклов разной продолжительности, для которых рассчитывается распределение времени цикла.

Серьезным недостатком этого метода является то, что специалисты, использующие «Сигоп», могут разработать существенно различные программы координации (это связано с наличием субъективных исходных данных), но при этом отсутствуют гарантии достижения глобального оптимум по показателю качества управления. Кроме того, процесс моделирования управляющих параметров «Сигоп», является упрощенным и в значительной степени детерминированным.

Аналогичный метод «Сигрид», является упрощенной версией «Сигопа» [107]. Оба метода реализуют поиск оптимума целевой функции

$$Y = \sum_{i=1}^n N_i I F_i (D_i - A_i)^2 \quad (1.21)$$

где n - общее число звеньев в сети;

N_i - интенсивность движения в i -ом звене;

$I F_i$ - фактор, учитывающий важность звена i ;

D_i - желаемый сдвиг цикла для звена i ;

A_i - расчетное значение сдвига для звена i .

Значение D_i и фактор $I F_i$ являются исходными данными для процедуры и должны быть известны заранее для каждого звена.

Наиболее точный метод расчета параметров координированного управления дорожным движением – «Транзит», разработан и усовершенствован в Англии [106]. «Транзит» обеспечивает нахождение оптимальных управляющих параметров жесткого координированного регулирования, минимизирующих задержку потоков, проходящих через транспортную сеть. В модели учтены воздействия управляемых и неуправляемых перекрестков и перегонов. Параметрами оптимизации являются сдвиги фаз цикла светофорного регулирования. Исследуемая транспортная сеть может содержать до 150 перекрестков.

В методе «Транзит» приняты следующие допущения:

- все основные перекрестки в сети управляются светофорами;
- все перекрестки в сети работают с одинаковым циклом или с циклом, равным половине величины основного;
- интенсивность на каждом участке сети является постоянной, заранее известной величиной.

Критерий эффективности M имеет вид [106]

$$M = \sum_{i=1}^N (Q_i + K \cdot C_i) \quad (1.22)$$

где Q_i - средняя задержка на i -м перегоне;

C_i - среднее число остановок на i -м перегоне;

K - весовой коэффициент;

N - число перегонов в сети.

Метод «Транзит» – наиболее эффективен в сравнении с описанными выше методиками, что связано с применением корректной математической модели преобразования транспортного

потока на всей протяженности перегона, и в этом его основное достоинство. К числу недостатков следует отнести отсутствие тренда характеристик транспортного потока от времени, а также процедуру оптимизации, которая так же, как и в «Сигопе», не гарантирует достижения глобального минимума.

Рассмотренные выше методы определения параметров координации нашли наиболее широкое применение на практике. В ряде работ [108- 125], предлагаются аналогичные методы определения параметров координированного управления.

Известны работы, направленные на повышение эффективности координации движения ТП, основанные на прогрессивных системах координированного управления [126, 127]. В основе данного подхода лежит объектно-ориентированный принцип описания физических объектов различной природы и взаимодействий между ними. Задача управления потоком формулируется следующим образом: необходимо организовать движение транспортного потока N на улично-дорожной сети S таким образом, чтобы выполнялись условия:

- максимальная безопасность движения;
- максимальная пропускная способность перекрестков.

При этом функция управления определяется соотношением

$$F : (N_i, S_i, U) \rightarrow (N_j, S_{i+1}), \quad (1.23)$$

имея поток N_i на участке S_i и воздействуя на него управлением U , образуется другой поток N_j на следующем участке S_{i+1} . Таким образом, повышение эффективности координированного управления ТП достигается за счет поиска оптимального значения сдвига фаз светофорного регулирования, путем минимизации суммарной задержки при движении АТС для двух соседних перекрестков магистрали. Аналогичные расчеты ведутся для каждого перегона магистрали. Показателем эффективности служит коэффициент безостановочного проезда [125]

$$K = \frac{(N - Z)}{N}, \quad (1.24)$$

где N - интенсивность движения через перекресток в данном направлении, авт./ч;

Z - число остановившихся транспортных средств на этом перекрестке в этом же направлении, авт./ч.

Координированное управление принимается как эффективное, если значение коэффициента безостановочного проезда превышает 0.8.

Для анализа достоверности полученной модели «Зеленой волны» применяется графоаналитический метод расчета.

Данный подход обеспечивает определение оптимальных управляющих параметров жесткого координированного управления, которые минимизируют задержку ТП на магистрали. В качестве параметра оптимизации в этих методах, выступает сдвиг фаз светофорного регулирования. Проверка адекватности управляющих параметров и эффективности управления проводится экспериментальным путем с помощью построения графика координации, что ограничивает возможности применения данного алгоритма в составе автоматизированных систем управления дорожным движением.

В отдельных работах [128, 129] представлено более детальную формализацию задачи оптимизации координированного управления через управляющие параметры светофорной сигнализации.

Повышение эффективности координированного управления проводится на основании решения задачи минимизации задержек АТС на магистрали города, при этом целевая функция имеет следующий вид [129]:

$$F(\bar{t}_0^i) = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m \left(\frac{1}{2\pi} \cos \frac{2\pi\varphi^i}{\sum_{k=1}^m t_{0k}^i + \sum_{k=1}^m \frac{V_a^k}{(7.2 \cdot a_T)} + \frac{3.6 \cdot (l_i^k + l_a^k)}{V_a^k}} + \frac{1}{2} \left(1 - \frac{t_{0j}^i}{\sum_{k=1}^m t_{0k}^i + \sum_{k=1}^m \frac{V_a^k}{(7.2 \cdot a_T)} + \frac{3.6 \cdot (l_i^k + l_a^k)}{V_a^k}} \right) \right) \rightarrow \min_{\bar{t}_0^i \in \Omega} \quad (1.25)$$

где $i = \overline{1..n}$ – количество перекрестков в исследуемой модели;

m – количество фаз регулирования перекрестка;

\bar{t}_0^i – время основного такта светофорного регулирования на определенном перекрестке;

φ^i – сдвиг фаз регулирования перекрестков;

T_{II} – время горения промежуточных тактов светофора.

Система ограничений, определяющая область допустимых решений Ω имеет следующий вид:

$$\Omega: t_0^{i+} \leq t_{0j}^i \leq t_0^{i++} \quad (1.26)$$

Целевая функция данной задачи оптимизации зависит от параметров светофорного регулирования и геометрии перекрестков магистрали. Граничные условия параметров оптимизации выбираются в соответствии с реальными расчетными данными по каждому перекрестку. Нижней границей в оптимизационной задаче принимаются значения параметров светофорного регулирования, которые получены в процессе расчета программы координации движения транспортных средств на магистрали - t_0^{i+} . Верхняя граница определяется по ограничениям, которые накладываются на параметры светофорного регулирования - t_0^{i++} , а именно: $T_{ц} \leq 120$.

В результате проведенного анализа, можно отметить, что рассмотренные методы позволяют повысить эффективность координированного управления движением ТП на магистралях города, в первую очередь это связано с учетом особенностей поведения ТП в разных условиях движения на магистрали. Рассмотрение методов управления дорожным движением на магистрали показало, что только в самых «грубых» алгоритмах формализованы эффективные методы определения параметров координации, которые обеспечивают оптимальное качество управления по заданному критерию в статическом режиме.

Найбільше поширення одержав графоаналітичний метод розрахунку параметрів координації.

Сутність методу полягає в побудові графіка за осями відстань-час, що виконують у системі прямокутних координат на міліметровому папері. У масштабі по горизонтальній осі відкладають значення часу в секундах, по вертикальній осі - значення відстані в метрах (рис. 3.8).

Вихідними даними для розрахунку є виконаний у масштабі план магістралі з позначенням відстаней між перехрестями; картограми інтенсивності руху транспортних засобів і пішоходів на кожному перехресті в характерні часи доби; схема існуючої організації руху, на якій показані світлофори, дорожні знаки і розмітка, організація руху на перехрестях; дані про розрахункові швидкості руху для магістралі в цілому чи для окремих ділянок.

На основі вихідних даних для розглянутого періоду доби розраховують режими регулювання для усіх світлофорних об'єктів як для ізольованих перехресть.

Графік координації будують у наступному порядку. Ліворуч від вертикальної осі графіка шлях - час з дотриманням його вертикального масштабу наносять спрямлений схематичний план магістралі з указівкою відстані між перехрестями і режимів регулювання на них, що відповідають розрахунковому циклу. Вправо через границі перехресть проводять лінії, рівнобіжні горизонтальній осі. На горизонтальній осі, що відповідає ключовому перехрестю (із максимальним циклом світлофорного регулювання), наносять праворуч з дотриманням горизонтального масштабу, повторювану послідовність сигналів цикла регулювання. Від початку зелених сигналів проводять напрямки стрічки часу, яка розраховується залежністю $t_{л}=(0,3\div 0,4)T_{цк}$. Тангенс кута нахилу стрічки часу відповідає розрахунковій швидкості:

$$\operatorname{tg}\alpha = \frac{V_a \cdot M_{\bar{a}}}{3,6 \cdot \dot{I}_a}, \quad (3.28)$$

де V_a - розрахункова швидкість руху АТЗ, км/год;

M_{Γ} - горизонтальний масштаб (число секунд у 1 см);

M_B - вертикальний масштаб (число метрів у 1 см).

Показник $t_{л}$ - ширина стрічки часу має фізичний зміст, як час, який гарантується для беззупинного руху ТП. Стрічка часу для зустрічного напрямку береться тієї ж ширини, але має зворотний нахил, розрахований за формулою (3.28), відповідно розрахунковій швидкості цього напрямку (V_a).

Незважаючи на простоту цього методу, він пов'язаний із значною трудоємністю розрахунково-графічних операцій і тому може бути ефективним тільки при порівняльно невеликій кількості світлофорних об'єктів. Крім того, основою графоаналітичного методу є максимізація ширини стрічки часу, при цьому ігнорується розкид швидкостей у транспортному потоці, не оптимізується процес управління по важливому критерію ефективності - транспортна затримка.

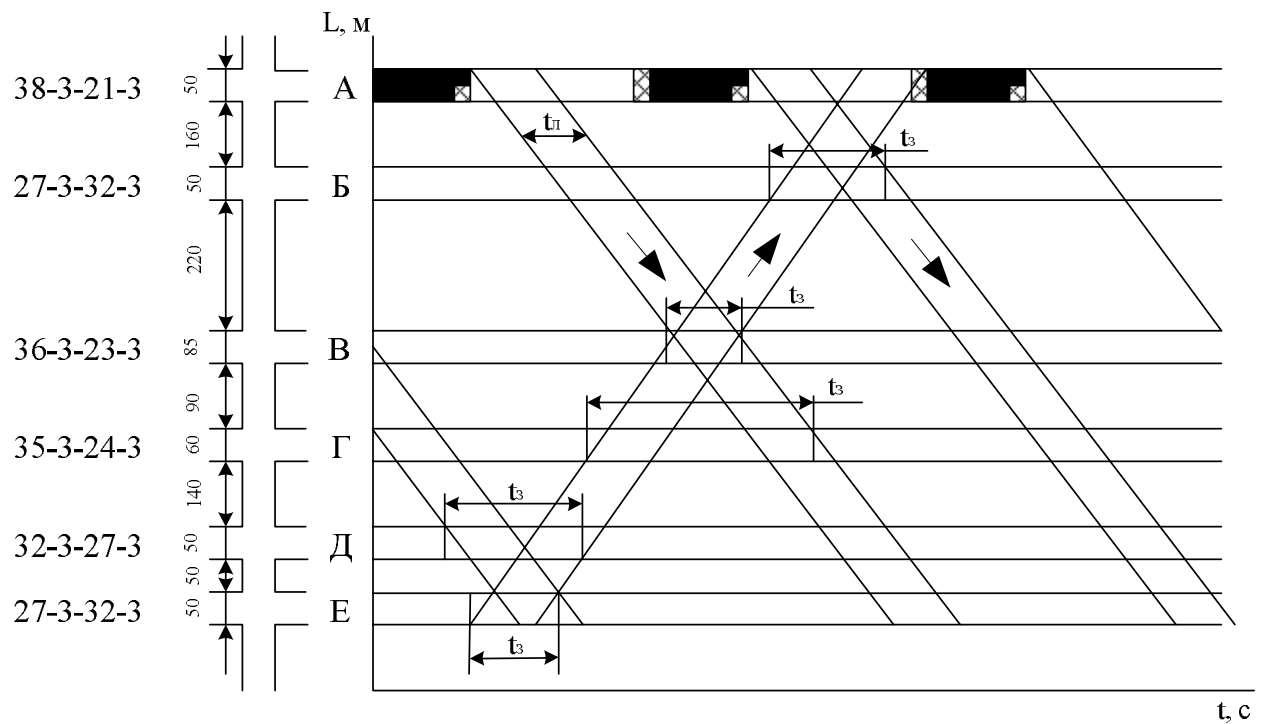


Рисунок 3.9 – Приклад графіку координації на магістралі

При координованому управлінні основними технічними засобами є:

- знак початку і закінчення ділянки координації.
- керовані дорожні знаки.
- дорожні знаки з рекомендованою швидкістю руху, також встановлюються на початку і закінченні ділянки координації.
- світлофорні об'єкти, без яких введення координованого управління було б неможливим.

Підсистеми СУДР. Функції СУДР.

Функції СУДР обирають залежно від об'єкту та мети управління і підрозділяють на управляючі, інформаційні і допоміжні.

Залежно від рівня складності СУДР управляючими функціями можуть бути:

- автоматичне локальне управління рухом транспортних засобів на окремих перехрестях (в'їздах);

- автоматичне координоване управління рухом транспортних засобів на групі перехресть;

- координоване управління рухом транспортних засобів на дорожній мережі міста, автомагістралі (чи на їх ділянках) з автоматичним розрахунком (вибором) програм координації (сукупності дій, що управляють);

- встановлення допустимих або рекомендованих швидкостей;

- перерозподіл транспортних потоків на дорожній мережі;

- автоматичний пошук і прогнозування місць заторів на ділянках дорожньої мережі і автомагістралі з вибором відповідних дій, що управляють;

- забезпечення пільгового проїзду транспортних засобів через перехрестя або автомагістралі;

- оперативне диспетчерське управління рухом транспортних засобів на окремих перехрестях (в'їздах) або групі перехресть.

До інформаційних функцій відносяться:

- формування сигналів і індикація даних про характеристики транспортних потоків (для автомагістралі додатково про метеорологічні умови і стан дорожнього покриття);

- накопичення, аналіз і виведення статистичних даних про параметри об'єкту управління, а також про режими функціонування СУДР в цілому і окремих технічних засобів і про їх несправності;

- забезпечення можливості візуального спостереження за рухом транспортних засобів на ділянках дорожньої мережі і автомагістралях за допомогою телевізійної апаратури (при необхідності);

- формування сигналів про порушення правил дорожнього руху (при необхідності);

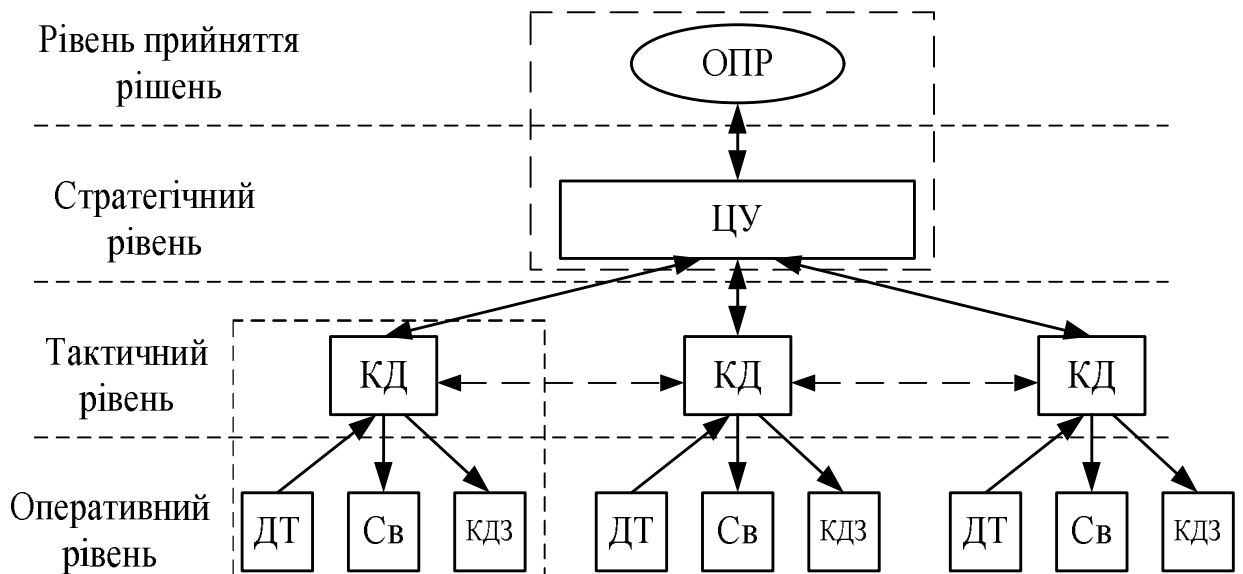
- забезпечення аварійно-викличного зв'язку уздовж автомагістралей;

- забезпечення можливості оперативного зв'язку оператора системи з дорожньо-патрульною службою, службами швидкої медичної і технічної допомоги, дорожньо-експлуатаційними службами;

- реєстрація зміни режимів роботи СУДР, реєстрація і аналіз спрацьовувань пристроїв блокувань і захисту.

До допоміжних функцій СУДР відноситься автоматизація процесів підготовки початкових даних, кодування, аналізу тощо.

Загальна структура СУДР із позначеними рівнями управління наведено на рис. 3.3.



Умовні позначення: ЦУ - центр управління; КД - контролер дорожній; ДТ - детектор транспорту; Св - світлофор; КДЗ - керований дорожній знак.

Рисунок 3.3- Рівні управління в системах управління

Найважливішим принципом організації сучасних СУДР є наявність в них декількох рівнів управління, що знаходяться в ієрархічному співвідношенні між собою. Можливо виділити такі рівні управління: стратегічний, тактичний і оперативний та рівень прийняття рішень.

Ефективність дорожнього руху визначається ефективністю керуючих впливів, які визначаються на різних рівнях управління. За призначенням усі керуючі впливи можливо розподілити на стратегічні, тактичні та оперативні.

На стратегічному рівні вирішуються найбільш важливі принципові завдання системного управління, до яких відносяться, :

- розбиття мережі на окремі райони для призначення в межах кожного з них загальної програми, що координує роботу світлофорної сигналізації перехресть в цьому районі;
- контроль і безпосереднє управління перехрестями на межах виділених районів з метою забезпечення міжрайонної координації засобів дорожньої сигналізації;
- контроль виникнення предзаторових і заторових ситуацій в мережі і перерозподіл транспортних потоків з метою попередження і ліквідації заторів;
- введення різних схем організації руху в мережі за допомогою багатопозиційних дорожніх знаків, а також управління реверсивними смугами руху;
- прогноз зміни параметрів інтенсивності ТП у часі та просторі;
- організація каналізованого руху по ВДМ.

Оскільки формування керуючих впливів на стратегічному рівні вимагає визначення основних тенденцій зміни параметрів транспортних потоків, а реалізація цих дій пов'язана з внесенням значних обурень в процес дорожнього руху, то цей рівень управління є найбільш інерційним і його часовий крок складає десятки хвилин.

На тактичному рівні управління формування керуючих впливів здійснюється у рамках обмежень, обумовлених рішеннями, прийнятими на стратегічному рівні. Суть тактичних завдань зводиться до коригувань, що вносяться в стратегічні програми, з урахуванням місцевих особливостей руху в межах групи перехресть, об'єднаних до однієї магістралі або одному районі вулично-дорожньої мережі.

До таких завдань можуть відноситися зміни зрушення фаз на перехрестях магістралі при збереженні тривалості світлофорного циклу, заданого програмою мережевої координації, управління станом багатопозиційних дорожніх знаків, дія яких локалізується в межах цієї магістралі.

Тактичний рівень управління має меншу інертність. Часовий крок видачі дій, що управляють, можливо порівняти з величиною світлофорного циклу і складає хвилини.

На оперативному рівні управління дорожнім рухом здійснюється в межах кожного конкретного перехрестя мережі. Цей

вид управління реалізується у рамках програм, що задаються на тактичному рівні, і має своїм завданням максимально пристосувати режим роботи засобів світлофорної сигналізації перехрестя до фактичних умов руху.

На стратегічному рівні вирішуються найбільш важливі принципові завдання системного управління, до яких відносяться:

- розподілення мережі на окремі райони для призначення в межах кожного з них загальної програми управління, що координує роботу світлофорної сигналізації перехрестя в цьому районі;

- контроль і безпосереднє управління перехрестями на межах виділених районів з метою забезпечення міжрайонної координації засобів дорожньої сигналізації;

- контроль виникнення предзаторових і заторових ситуацій в мережі і перерозподіл транспортних потоків з метою попередження і ліквідації заторів;

- введення схем організації руху в мережі за допомогою багатопозиційних дорожніх знаків, а також управління реверсивними смугами руху;

- здійснення загального контролю за організацією дорожнього руху в місті;

- рішення завдань експертизи дислокації технічних засобів організації дорожнього руху.

На тактичному рівні управління здійснюється у рамках обмежень, обумовлених рішеннями, прийнятими на стратегічному рівні. Суть тактичних завдань зводиться до коригувань, які вносяться в стратегічні програми, з урахуванням місцевих особливостей руху в межах групи перехрестя, об'єднаних до однієї магістралі або одному районі дорожньо-уличної мережі.

- обробка оперативних даних про стан вулично-дорожньої мережі;

- збір інформації про параметри транспортних потоків;

- розрахунок параметрів локального управління рухом транспортних засобів на вулично-дорожній мережі;

- розрахунок параметрів координованого управління на магістралях вулично-дорожньої мережі;

- контроль працездатності технічних засобів регулювання.

На оперативному рівні управління здійснюється в межах кожного окремого елемента мережі. Цей вид управління реалізується у межах програм, що формуються та розраховуються

на стратегічному і тактичному рівнях, та має своїм завданням максимально пристосувати режими роботи засобів дорожньої сигналізації перехрестя до фактичних умов руху, а також забезпечити оптимальний швидкісний режим руху.

Управління здійснюється засобом знаходження оптимального розподілу тривалості фаз з урахуванням забезпечення вимог координації, пропуском ненавантаженої світлофорної фази при багатофазному регулюванні, реалізацією фази пішоходів.

Оперативний рівень є найбільш дієвим за своєю швидкістю і має обмежений термін формування управляючих дій. До функцій оперативного рівня управління належать наступні:

- управління світлофорною сигналізацією;
- інформування учасників дорожнього руху про діючу схему організації дорожнього руху;
- організація пішохідного руху;
- моніторинг транспортних потоків;
- вимір параметрів ТП первинними пристроями.

Оперативний рівень є найбільш оперативним по своїй швидкодії і має секундний крок формування управляючих дій.

Оперативний рівень вирішує наступні завдання:

- виявлення місць скоєння ДТП, заторів;
- управління світлофорною сигналізацією та керованими знаками;
- вимір параметрів транспортного потоку;
- забезпечення режимів руху транспортних засобів;
- забезпечення проїзду транспортних засобів спеціального призначення;
- регулювання дорожнього руху у місцях проведення ремонтних робіт.

Згідно класифікації СУДР, кожен діючий СУДР можна віднести до одного з п'яти поколінь :

Покоління 1. Розрахунок параметрів управління, і введення їх в СУДР виконуються вручну ("Старт"(Москва), "Город-М"(Алма-Ата, Новосибірськ, Томськ, Ташкент)).

Покоління 2. Розрахунок керуючих параметрів автоматизований, введення їх в СУДР виконуються вручну ("Старт-1"(Москва), АСКУ "Магістраль"(Баку), "Город-М1"(Омськ,

Мінськ, Кишинів, Рига, Ярославль), "Сигнал", "Смарагд", TRANSYT (Великобританія)).

Покоління 3. Розрахунок керуючих параметрів і введення їх в СУДР автоматизовані. Управління за прогнозом динаміки транспортних потоків (TRANSYT (Великобританія), система Peek Traffic з підсистемою AUT (Великобританія), СУДР Siemens (Санкт-Петербург)).

Покоління 4. Управління в реальному часі.

А також можна виділити і п'яте покоління.

Покоління 5. Інтелектуальні системи управління (FRED (Голландія), TRYS (Німеччина), проект демонстрації транспортного коридору Санта-Моніки (США)).

До складу СУДР входять такі підсистеми (рис 3.2):

ТЗ – технічне забезпечення;

МЗ – математичне забезпечення;

ПЗ – програмне забезпечення;

ІЗ – інформаційне забезпечення;

ОЗ – організаційне забезпечення.

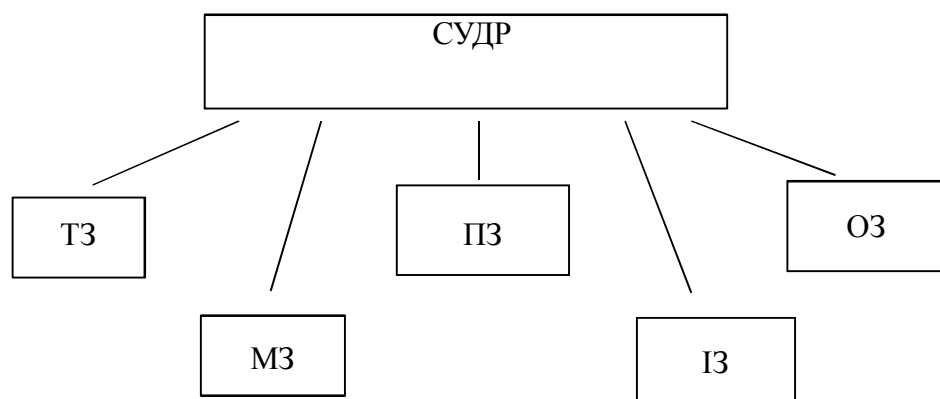


Рисунок 3.2 - Структура СУДР

До складу технічної підсистеми СУДР залежно від складності об'єкту управління повинні входити:

- обчислювальний комплекс (ОК) з устаткуванням для резервування;

- технічні засоби пункту управління (ПУ) або диспетчерського устаткування;
- периферійні технічні засоби;
- апаратура сполучення з периферійними технічними засобами;
- прилади і пристрої, необхідні для наладки і перевірки працездатності устаткування системи.

Комплекс технічних засобів за своїм складом повинен забезпечувати реалізацію усіх функцій СУДР, які сприяють досягненню мети її проектування.

Програмне забезпечення призначено для обробки інформації та базується на сукупності пакетів прикладних програм і програмних модулів. Програмне забезпечення СУДР має бути достатнім для виконання алгоритмів управління, що реалізуються із застосуванням засобів обчислювальної техніки, а також мати засоби обробки даних, що дозволяють своєчасно виконувати функції в регламентованих режимах функціонування СУДР.

Програмне забезпечення (ПЗ) комп'ютерів Центру управління повинно задовольняти наступні вимоги:

- ПЗ є модульним і розподіленим по робочих станціях локальної мережі;
- модулі ПЗ - це програми з конкретним набором системних функцій, з індивідуальним інтерфейсом оператора;
- модулі ПЗ - це програми з можливістю взаємодії між собою як в межах одного комп'ютера, так і на різних робочих станціях локальної мережі;
- модулі ПЗ допускають роботу копій (клонів) на різних комп'ютерах в мережі.

Програмне забезпечення АСУ повинне мати наступні властивості:

- функціональну достатність (повнота);
- надійність;
- адаптованість;
- модифікованість;
- модульність побудови і зручність експлуатації.

Математична підсистема представляє комплекс математичних моделей та алгоритмів управління дорожнім рухом.

Призначення інформаційного забезпечення (ІЗ) – це реалізація інформаційних потреб складових системи управління. Головною функцією ІЗ є проектування інформаційного фонду, який

забезпечує формування, підтримку та організацію доступу до даних системи. Таким чином, ІЗ – це сукупність інформаційного фонду та засобів його функціонування. До інформаційного фонду належать: вхідні данні, що до об'єкту управління, нормативно-довідкові документи, до яких належать державні стандарти, регламентуючі документи, типові проектні рішення, бази даних, банки даних та системи управління базами даних, які визначають метод доступу до баз даних.

Інформаційне забезпечення АСУ має бути достатнім для виконання функцій СУДР.

Для кодування в АСУ вихідної інформації, використовуваної на вищестоячому рівні, мають бути застосовані класифікатори вищестоячих систем управління, окрім спеціально обумовлених випадків.

В АСУ для зв'язку між пристроями комплексу технічних засобів мають бути застосовані наступні типи інформаційного зв'язку:

- вхідні і вихідні сигнали;
- електричні - струму і напруги;
- гідравлічні;
- пневматичні;
- набори символів алфавітно-цифрові;
- коди 8-бітові.

Інформаційне забезпечення АСУ має бути сумісне з програмним забезпеченням систем, що взаємодіють з нею, за змістом, за системами кодування, методами адресації, форматами даних і формам надання інформації, яку отримує та формує АСУ.

Форми документів, що створюються АСУ, повинні відповідати вимогам стандартів або нормативно-технічних документів відомства замовника АСУ.

Форми документів і відеокадрів, що вводяться, виводяться або коригуються через термінали АСУ, мають бути узгоджені з відповідними технічними характеристиками терміналів.

Сукупність інформаційних масивів АСУ має бути організована у вигляді баз даних на машинних носіях або знаходиться у пам'яті центру управління.

Форма представлення вихідної інформації АСУ має бути узгоджена із замовником (користувачем) системи.

У АСУ мають бути передбачені необхідні заходи по контролю і оновленню даних в інформаційних масивах АСУ, відновленню

масивів даних після відмови яких-небудь технічних засобів АСУ, а також контролю ідентичності однойменної інформації в базах даних. Усе інформаційне забезпечення повинне відповідати державним стандартам.

Організаційне забезпечення АСУ має бути достатнім для ефективного виконання персоналом АСУ покладених на нього обов'язків при здійсненні автоматизованих і пов'язаних з ними неавтоматизованих функцій системи.

Організаційна структура АСУ повинна дозволяти виконувати функції АСУ з урахуванням їх розподілу по рівнях управління.

Інструкції організаційного забезпечення АСУ повинні визначати дії технічних засобів та персоналу АСУ, необхідні для виконання кожної автоматизованої функції, в усіх режимах функціонування АСУ, з урахуванням заданих вимог по безпомилковості і швидкодії реалізації функціональних обов'язків, а також містити конкретні вказівки щодо дій у разі виникнення аварійних ситуацій, або порушення нормальних умов функціонування АСУ.

По кожній функції управління організаційна підсистема містить вказівки щодо дій персоналу при відмовах технічних засобів АСУ.

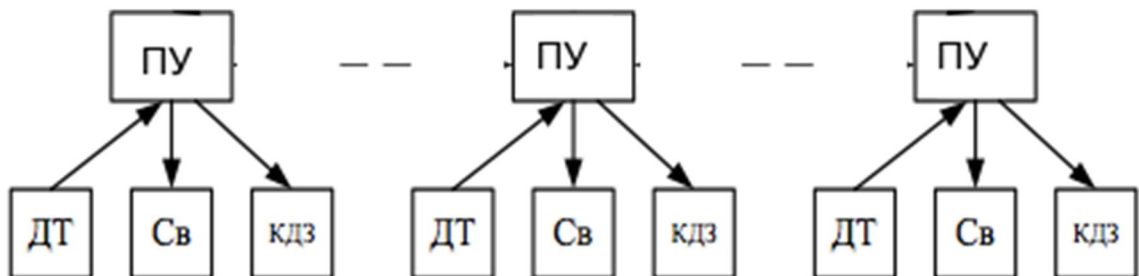
Особливості структур СУДР.

Структура системи наведена на рис. 3.2 із загальними характеристиками:

- СУДР є мережевим програмно-апаратним комплексом;
- СУДР технічно складається з периферійних пристроїв (дорожні контролери, інформаційні табло, детектори транспорту і так далі) і центру управління (локальна обчислювальна мережа з виділеними серверами і робочими станціями);
- усі периферійні пристрої фізично об'єднані за допомогою послідовної за кільцюваної підсистеми зв'язку.

Загалом, автоматизовані системи управління дорожнім рухом за своєю структурою розподіляються в залежності від призначення, складу та розташування елементів для реалізації функцій управління.

У децентралізованих системах управління світлофорними пристроями або керованими дорожніми знаками виконується за допомогою незалежних один від одного пунктів управління за даними детекторів транспорту (рис. 3.7). Прикладом децентралізованої системи є управління світлофорними пристроями, коли пункт управління отримує інформацію, що до інтенсивності дорожнього руху від детекторів транспорту, розраховує цикл світлофорного регулювання та передає управляючі дії на світлофор, тобто реалізується локальне управління перехрестям вулично-дорожньої мережі.



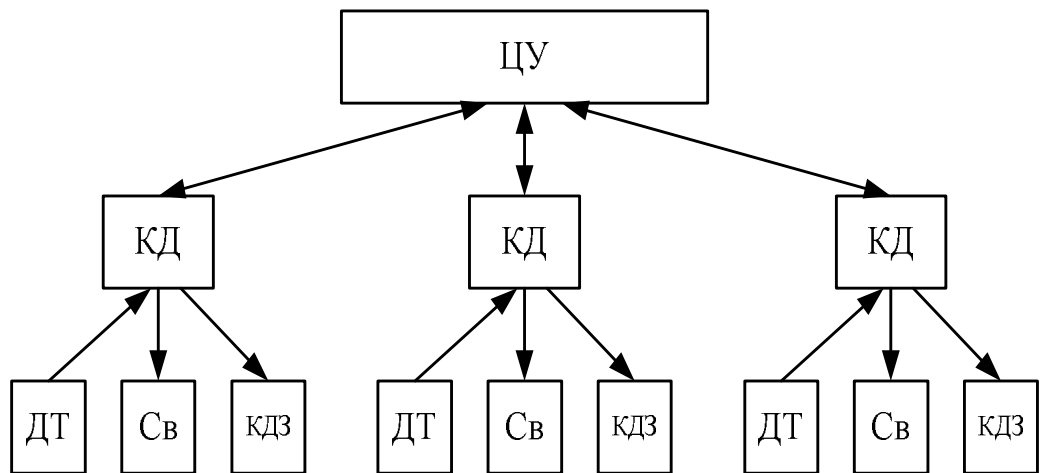
Умовні позначення: ПУ - пункт управління; ДТ - детектор транспорту; Св - світлофор; КДЗ - керований дорожній знак.

Рисунок 3.7 – Децентралізована структура СУДР

Аналіз структури автоматизованих систем управління полягає у порівнянні їх функцій та загальних характеристик.

Децентралізовані СУДР характеризується тим, у них відсутня необхідність створення пункту, що управляє. Вони виконуються в двох модифікаціях. По одній із них, синхронізацію роботи контроллерів задає один з контролерів, що є головним. Цей контроллер, так званий "координатор", пов'язаний лінією зв'язку з кожним з інших контролерів, причому ця лінія може бути або однією для усіх і до неї підключаються паралельно інші контроллери, або до кожного контроллера прокладена своя лінія зв'язку.

Централізовані СУДР характеризуються наявністю центру управління, пов'язаного з контроллерами лініями зв'язку. Як правило, централізовані СУДР мають можливість здійснювати багатопрограмне управління (рис 3.5).



Умовні позначення: ЦУ - центр управління; КД - контроллер дорожній; ДТ - детектор транспорту; Св - світлофор; КДЗ - керований дорожній знак.

Рисунок 3.5 - Централізована структура СУДР

У централізованих системах центр управління отримує інформацію від дорожніх вимірювальних пристроїв (детекторів

транспорту), які розташовані у зоні дії СУДР та обробляють її. Визначені управляючі дії передаються на світлофорні пристрої та керовані дорожні знаки, при цьому необхідна обробка великого об'єму даних, що потребує застосування великих обчислювальних потужностей виконується у центрі управління. Подібні системи застосовують при управлінні дорожнім рухом на магістралях міст, або на вулично-дорожній мережі невеликих міст.

Найважливішими перевагами системи з централізованою структурою можна рахувати наступні:

1. Високі мобілізаційні здібності.
2. Відносно малий час реакції на дії (внутрішні або зовнішні).
3. У централізованій системі досить просто реалізувати процеси інформаційної взаємодії (координації дій нижчого рівня)
4. У централізованій системі створюється принципова можливість глобальної оптимізації управління системою в цілому.

Відносні недоліки централізованих структур:

1. В цілому недостатньо високі адаптаційні здібності (негнучкість) системи.
2. Відносно низька надійність системи.
3. Сильна залежність поведінки усієї системи від характеристик центру.

Якщо центр приймає рішення, обов'язкові для усіх підсистем, поводження системи залежить від алгоритмів управління центральної ланки або від методу управління, що реалізовується центральним органом.

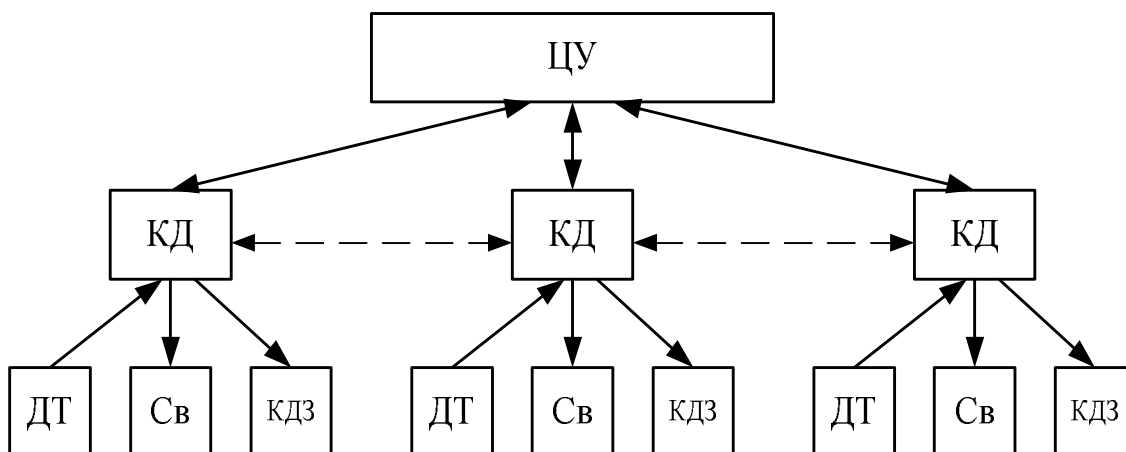
Функції центру управління:

- моніторинг елементів мережі з метою підтримки її цілісності;
- можливість налаштування мережі;
- централізоване адаптивне управління світлофорними об'єктами;
- централізоване управління інформаційними табло, дорожніми знаками та світлофорними пристроями;
- накопичення і обробка даних за допомогою системи управління базами даних (СУБД);
- візуалізація даних;
- ведення бази даних.

Устаткування центру складається із комунікаційного серверу і серверу баз даних, автоматизованих робочих місць (АРМ)

операторів, АРМ інженера-технолога, мультіекранами системи відеоспостереження та мнемосхеми – карту обслуговуваного району вулично-дорожньої мережі (ВДМ) із позначеними світлофорними пристроями. В той же час, в мінімальному варіанті система може бути розгорнута на базі однієї ЕОМ.

При ієрархічній структурі (рис. 3.6) управління окремими світлофорами, дорожніми показниками, АТЗ, розташованими в районі дії АСУД, здійснюється за допомогою декількох КД, що знаходяться на нижньому рівні ієрархії. Кожен КД забезпечує управління рухом в певному локальному мікрорайоні. Координація роботи декількох локальних систем виконується централізовано на більш високому рівні ієрархії. У таких систем існує зв'язок між КД, що дозволяє підвищити надійність функціонування СУДР та дає можливість розподілити функції управління у системі по рівням.



Умовні позначення: ЦУ - центр управління; КД - контроллер дорожній; ДТ - детектор транспорту; Св - світлофор; КДЗ - керований дорожній знак.

Рисунок 3.6 – Ієрархічна структура СУДР

Така структура є більш ефективна та працездатна.

Децентралізована структура є іншою структурою в порівнянні з централізованою. Її переваги в порівнянні з останньою:

1. Високі адаптаційні здібності (структурна гнучкість).

У децентралізованій системі немає яскраво вираженої "найважливішої" ланки і головних зв'язків.

2. Відносно висока надійність функціонування.

Якщо в мережі немає головної підсистеми, то і неполадки в яких-небудь підсистемах не можуть привести до розпаду системи.

Недоліки децентралізованої системи : низькі мобілізаційні здібності та складність управління на межах районів управління.

При ієрархічній структурі управління окремими світлофорами, дорожніми показниками, АТЗ, розташованими в районі дії АСУД, здійснюється за допомогою декількох ПУ, що знаходяться на нижньому рівні ієрархії. Кожен ПУ забезпечує управління рухом в певному локальному мікрорайоні. Координація роботи декількох локальних систем робиться у централізованій структурі на більш високому рівні ієрархії.

Централізовані СУДР характеризуються наявністю центру управління, пов'язаного з контроллерами вертикальними лініями зв'язку. Як правило, централізовані СУДР мають можливість здійснювати багатoprogramне мережне управління.

Найважливішими перевагами системи з централізованою структурою можна рахувати наступні:

1. Високі мобілізаційні здібності.

2. Відносно малий час реакції на дії об'єкту управління (внутрішні або зовнішні).

3. У централізованій системі досить просто реалізувати процеси інформаційної взаємодії (координації дій нижчого рівня)

4. У централізованій системі створюється принципова можливість глобальної оптимізації управління системою в цілому.

Відносні недоліки централізованих структур :

1. В цілому недостатньо високі адаптаційні здібності (негнучкість) системи.

2. Відносно низька надійність системи.

3. Сильна залежність поведінки усієї системи від поведінкових характеристик центру.

Критерії ефективності управління дорожнім рухом.

У процесі функціонування система досягає певного результату - ефекту. Під ефективністю системи розуміється ступінь фактичного досягнення передбачуваного результату, тобто ступінь відповідності дійсного результату тому, який повинен мати місце при всій повноті виконання системою своїх функцій і при ідеалізації процесів, що відбуваються в системі. Ефективність системи залежить від того, наскільки ефективні її підсистеми і, навпаки.

Підвищення ефективності управління дорожнім рухом можливо реалізувати шляхом забезпечення рівномірного режиму руху автотранспортних засобів на мережі магістралей міста, який досягається за рахунок координації режиму роботи технічних засобів регулювання дорожнього руху з урахуванням параметрів транспортного потоку і елементів вулично-дорожньої мережі міста.

Параметри управління на мережі магістралей міста можна умовно розділити на три групи: параметри вулично-дорожньої мережі, параметри транспортного потоку і керуючі параметри моделі.

Параметри, що характеризують елементи вулично-дорожньої мережі, змінюють досить рідко, тому приймаємо їх як постійні. Точність значень параметрів ВДМ визначається виключно інструментальною та суб'єктивною похибкою вимірювання. Припускаємо, що істотного впливу на ефективність управління дорожнім рухом, точність визначення параметрів вулично-дорожньої мережі не робить.

Визначення поточних параметрів транспортного потоку, є складним і трудомістким завданням. Однак при розрахунку керуючих параметрів дорожнього руху більшість дослідників застосовують усереднені значення параметрів транспортного потоку за певний інтервал часу. На підставі проведеного аналізу припускаємо, що дані про інтенсивності та швидкості транспортного потоку, отримані відомими методами натурних спостережень, також володіють інструментальною та суб'єктивною похибками. У рідкісних випадках можливий прояв методичної похибки. Застосування сучасних методів і способів вимірювання параметрів транспортного потоку, заснованих на

відеоспостереженні та розпізнаванні образів, допоможе підвищити точність визначення керуючих параметрів дорожнього руху, проте істотного впливу на точність методу їх визначення не зроблять, тому що вихідні дані про значеннях параметрів транспортного потоку, отримані в on-line режимі, вимагають узагальнення до середнього динних значень. Розрахунок керуючих параметрів проводиться на підставі узагальнених даних про параметри транспортного потоку.

До параметрів ефективності організації дорожнього руху відносять наступні групи параметрів:

а) Параметри ефективності управління:

- Середня швидкість;
- Витрата палива.

б) Екологічні параметри управління:

- Витрата палива;
- Обсяг викиду шкідливих речовин в атмосферу.

в) Параметри надійності управління:

- Максимальна швидкість;
- Параметр нерівномірності руху - це середньоквадратичне відхилення поздовжнього прискорення від середнього значення.

Щоб застосувати перераховані параметри ефективності управління для оцінки розробленої методики управління необхідно:

- Виміряти вибрані параметри;
- Визначити їх нормативні значення;
- Зіставити результати вимірювань з нормативом і оцінити запропонований режим управління.

Нормативні значення параметрів визначаються як схемами організації дорожнього руху, так і обраною моделлю управління. Так рекомендована швидкість руху є розрахунковою величиною, а максимальна - визначається правилами дорожнього руху.

Оцінку ефективності методу управління на мережі магістралей міста за параметром витрати палива провести складно, так як значення даного параметра в чому залежить від особливостей поведінки кожного з водіїв та складу транспортного потоку.

Методи магістрального управління на ВДМ засновані на рівності швидкостей на сусідніх перегонах ВДМ, тому параметром для оцінки ефективності можливо застосовувати шум прискорення, який в теорії транспортного потоку прийнятий, як показник якості руху, що характеризує рівномірність руху. По дорозі з малою

інтенсивністю руху водій їде рівномірно, з обраною швидкістю. При збільшенні інтенсивності транспортного потоку до рівня, коли обмежується бажана швидкість руху, водій змушений змінювати режим руху, перебудовуючись в інший ряд з уповільненням або прискоренням, що призводить до суттєвого відхилення поточної швидкості від рівномірної. Шумом прискорення є середнє квадратичне відхилення прискорення і його можна розглядати як показник нерівномірності руху при відхиленні автомобіля від рівномірного режиму руху.

Відомі дослідження залежності якості управління водія автомобілем від параметра шуму прискорення. При збільшенні шуму прискорення ефективність управління знижується. На рисунку 4.1 наведено графік залежності граничних значень шуму прискорення від максимальної швидкості, для визначення областей надійного, ненадійного і небезпечного керування легковим автомобілем.

Згідно енергетичного підходу, коефіцієнт корисної дії для транспортного потоку визначається як відношення кінетичної енергії до загальної енергії ТП (4.1) і найбільша його величина характеризує мінімум ентропії ТП, а значить, і гранично допустимий рівень техногенної небезпеки ТП. Поняття техногенної небезпеки ТП на ВДМ міст включає в себе головні аспекти небезпеки: дорожню аварійність і рівень забруднення атмосферного повітря - в їх нерозривному взаємозв'язку. З іншого боку, досліджуване відношення являє собою нормовану величину кінетичної енергії ТП.

$$КПД = \frac{W_k}{W_{общ}}, \quad (4.1)$$

де W_k - кінетична енергія транспортного потоку;

$W_{общ}$ - Загальна енергія транспортного потоку.

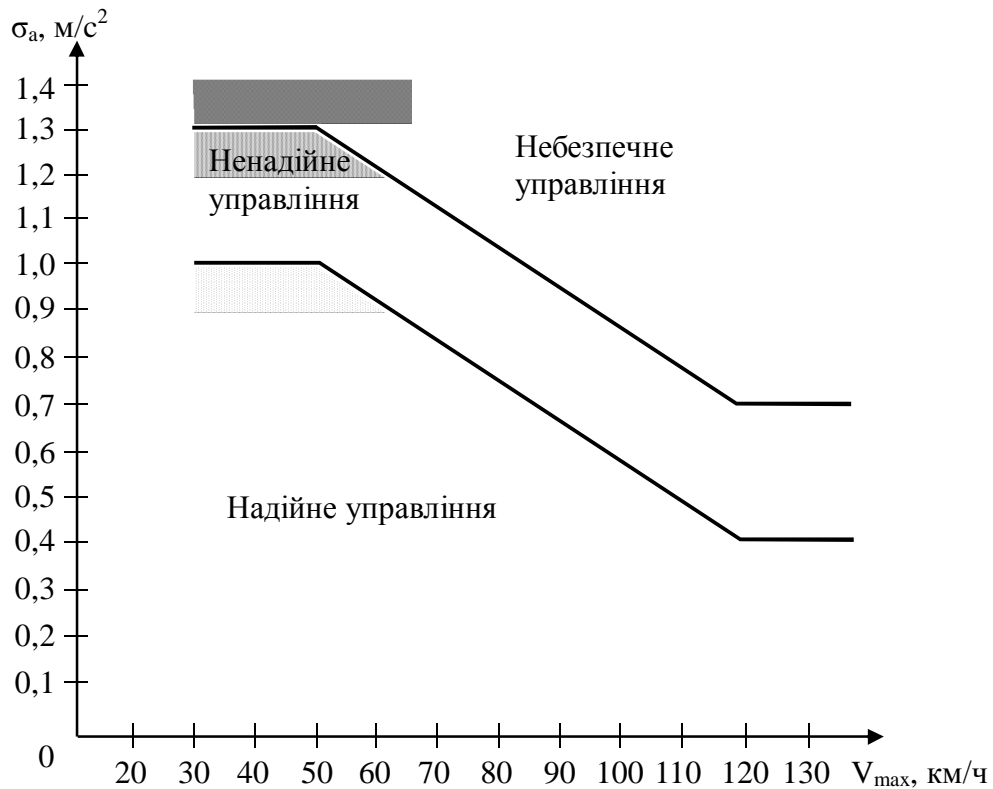


Рис. 4.1. Залежність граничних значень шуму прискорення, що відповідають різним рівням керування легковим автомобілем від максимальної швидкості

Оскільки кінетична енергія ТП є енергією руху, то її зменшення обумовлюється зменшенням кількості руху в ТП, тобто його впорядкованості. Збільшення ентропії ТП проявляється через ускладнення їзових циклів окремих автотранспортних засобів в порівнянні з їзовими циклами, спостережуваними при максимальній кінетичній енергії ТП. Множення інтенсивності та щільності ТП є характеристикою поточного рівня його ентропії. Оскільки в це множення входять як просторова (щільність), так і часова (інтенсивність) характеристики, даний параметр можна назвати «просторово-часовою ємністю ТП».

Отже, для підвищення ефективності функціонування транспортної системи необхідно збільшити повну енергію руху ТП, домагаючись одночасно зниження шуму прискорення

Енергетичними критеріями оцінки ефективності дорожнього руху приймаємо шум прискорення і градієнт швидкості. Ці критерії оцінюють основні параметри дорожнього руху - рівномірність режиму руху і часові затримки руху. Співвідношення, що визначають енергетичні критерії мають такий вигляд:

шум прискорення

$$\sigma_a = \left(\frac{1}{T} \int_0^T (a_i - \bar{a})^2 dt \right)^{\frac{1}{2}}, \quad (4.2)$$

градієнт швидкості

$$G_v = \frac{\sigma_a}{v_c}, \quad (4.3)$$

де a_i - поточне значення прискорення транспортного потоку на досліджуваній ділянці дороги, м/с²,

T - час руху, з,

dt - проміжок часу між двома вимірами, з,

v_c - середня швидкість руху на ділянці дороги, м / с.

При оцінці умов руху по параметру шум прискорення керуємося наступними значеннями:

$\sigma_a < 0,25 \text{ м/с}^2$ - сприятливі умови руху;

$0,25 < \sigma_a < 0,45 \text{ м/с}^2$ - задовільні умови руху;

$\sigma_a > 0,45 \text{ м/с}^2$ - складні умови.

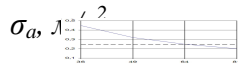
Шум прискорення об'єктивно характеризує ступінь нерівномірності руху. Із збільшенням часу проїзду ділянки дороги при однакових коливаннях швидкості відбувається зменшення шуму прискорення пропорційно кореню квадратному від часу проїзду ділянки дороги (4.2), що наочно демонструє рисунок 4.2. Дані отримані при проїзді однієї ділянки дороги зі зміною часу простою на перехресті від 1 до 45 с. При затримці на перехресті більше 25 с з шум прискорення стає менше, ніж при невинному рівномірному русі, хоча фактично така величина затримки свідчить про недостатній рівень організації дорожнього руху.

З огляду на розглянуті обмеження, шум прискорення переважно застосовувати для оцінки умов руху на магістралях невинного руху. При цьому для оцінки умов руху на вулично-дорожній мережі міста доцільно застосовувати градієнт швидкості. Цей критерій так само, як і шум прискорення, реагує на коливання швидкості, проте його значення в більшій мірі враховують часові затримки при русі. Диференціацію ступеня складності умов руху по величині градієнта швидкості рекомендується проводити, орієнтуючись на наступні значення:

$G_v < 0,05 c^{-1}$ - сприятливі умови руху;

$0,05 < G_v < 0,1 c^{-1}$ - задовільні умови;

$G_v > 0,1 c^{-1}$ - складні умови руху.



T, c

Рис. 4.2. Зміна шуму прискорення при збільшенні часу проїзду ділянки дороги за рахунок простою на перехресті

Проведені експериментальні дослідження дорожньо-транспортної ситуації на магістралях міста Полтави показують, що зміна градієнта швидкості на 60% обумовлене нерівномірністю руху і на 40% - затримками при русі. Цей критерій є більш універсальним і може використовуватися для оцінки ефективності організації дорожнього руху на регульованому вулично-дорожньої мережі міста. Отримані залежності між градієнтом швидкості і параметрами дорожнього руху приведені на рисунках 4.3 і 4.4.

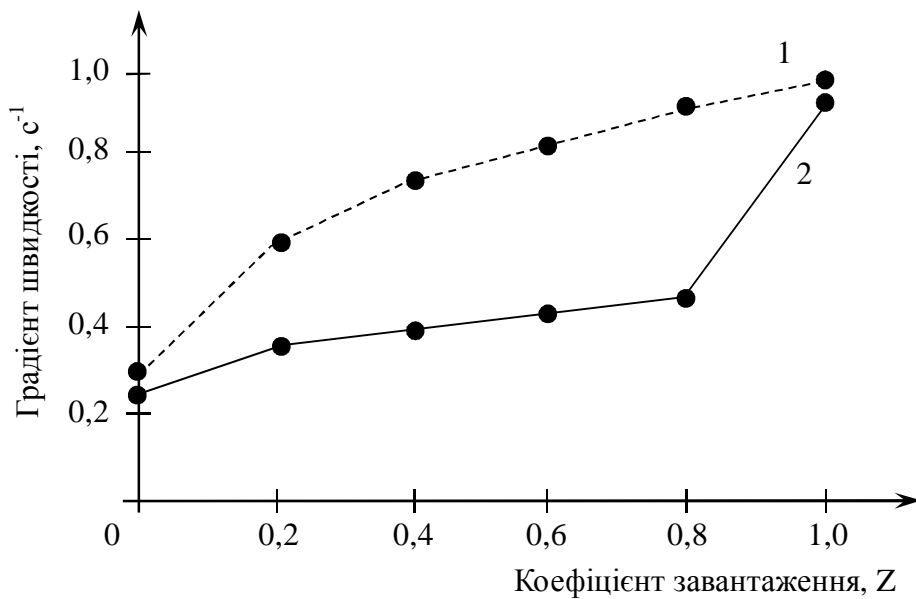


Рис. 4.3. Залежність градієнта швидкості від рівня завантаження при локальному управлінні (1) і координованому регулюванні (2)

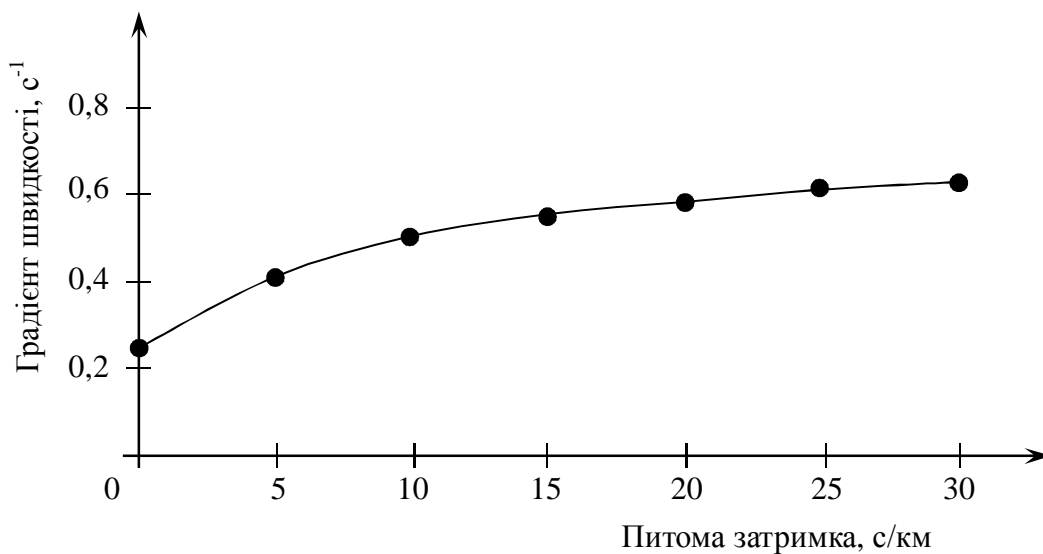


Рис. 4.4. Залежність градієнта швидкості від питомої затримки транспортного потоку

Таким чином, при виборі параметра оцінки ефективності методів координованого управління на мережі магістралей міста визначений показник - шум прискорення, є одним з найбільш точних параметрів, що характеризують якість управління на магістралях міста при введенні координованого управління.

Соціальний аспект проблеми безпеки дорожнього руху полягає насамперед у тому, щоб обмежити кількість ДТП, які наносять непоправну втрату суспільству.

Запропоновані заходи, щодо організації дорожнього руху певною мірою передбачають зниження аварійності. Зниження кількості ДТП в результаті організації дорожнього руху за допомогою технічних засобів регулювання визначається через коефіцієнти зниження ДТП.

Для розрахунку середньої вірогідності зниження кількості ДТП в рік після реалізації комплексу заходів по підвищенню безпеки дорожнього руху рекомендується використовувати наступну формулу:

$$P_M = \frac{\sum_{m=1}^M \left(\frac{1}{1-P_m} - 1 \right)}{1 + \sum_{m=1}^M \left(\frac{1}{1-P_m} - 1 \right)} \quad (3.4)$$

де P_M – середня вірогідність зниження числа ДТП в році після реалізації комплексу заходів по підвищенню безпеки дорожнього руху;

M - число заходів по підвищенню безпеки руху.

$$N_{\text{ДТП после}} = N_{\text{ДТП до}} - (N_{\text{ДТП до}} \cdot P_M), \quad (3.5)$$

де $N_{\text{ДТП до}}$ – кількість ДТП до введення пропонованих заходів;

$N_{\text{ДТП после}}$ – кількість ДТП після введення пропонованих заходів.

Також не менш значним соціальним критерієм ефективності управління є мінімізація транспортних затримок. Розрахуємо затримки на ізольованому перехресті, а потім на перехрестях після введення координованого управління.

Середню затримку одного автомобіля на перехресті до введення координованого управління визначають по формулі

$$t_{\text{зам}} = 0,9 \cdot \frac{M_i \cdot (T_u - t_3)^2}{2 \cdot T_u \cdot (M_i - N_i)}, \quad (3.6)$$

де t_3 - час горіння зеленого сигналу світлофора, с;

M_i - потік насичення в даному напрямку, од/год;

N_i - приведена інтенсивність руху в i -му напрямку, од/год.

Середня затримка $\bar{t}_{зам}$ визначається як середньозважена затримка автомобілів, які рухаються в конфлікуючих напрямках,

$$\bar{t}_{зам} = \frac{\sum_{i=1}^m t_{зami} N_i}{\sum_{i=1}^m N_i}, \quad (3.7)$$

де $t_{зami}$ - середня затримка в даній фазі в даному напрямку, с;

N_i - число автомобілів, які пройшли перехрестя в «час пік» в одній фазі в одному напрямку, од/год;

m - число фаз регулювання.

Втрати часу за рік на ізольованому регульованому перехресті визначаються за формулою

$$T_{pn} = \frac{365 \cdot N \cdot \bar{t}_{зам}}{3600 \cdot k_n}, \quad (3.8)$$

де k_n - коефіцієнт нерівномірності руху ($k_n = 0,1$).

Річні витрати часу на перегоні магістралі, наступним за перехрестям визначаються за формулою

$$T_n = \frac{365 \cdot N_{2л} \cdot l_n}{k_n \cdot V_a}, \quad (3.9)$$

де l_n - довжина перегону, км;

V_a - швидкість транспортних засобів на перегоні магістралі;

Сумарні витрати часу за рік на перехресті та перегоні наступним за перехрестям складають

$$T = T_{pn} + T_n, \quad (3.10)$$

де T_{pn} - витрати часу за рік на перехресті при ізольованому управлінні, авт-год;

T_n - витрати часу за рік на перегоні при ізольованому управлінні, авт-год.

При введенні координованого регулювання рухом середня затримка на перехресті в напрямку координації визначається за формулою

$$\bar{t}_{pk} = \left[\frac{1}{2\pi} \cdot \cos\left(\frac{2\pi \cdot t_{cдв}}{T_u}\right) + \frac{1}{2} \cdot (1 - \lambda) \right] \cdot T_u, \quad (3.11)$$

де $t_{cдв}$ - зрушення фаз регулювання на даному перегоні, с;

λ - відношення тривалості зеленого сигналу в даній фазі до тривалості циклу;

T_u - тривалість циклу регулювання, с.

Сумарні затримки за рік на окремому перехресті в напрямку координації руху визначаються за формулою

$$T_{pk} = \frac{365}{3600} \cdot \frac{N^{KV} \cdot t_o}{k_n}, \quad (3.12)$$

де N^{KV} - інтенсивність руху в напрямку координації, авт/год.

Методи прогнозу у моделюванні транспортних потоків

Розділ 3.3; 4.5 Монографії Абрамова Л.С., Чернобаев Н.С. Координированное управление дорожным движением на сети магистралей города (російською мовою). Харків. С. 160.

Зміна інтенсивності і складу руху викликає зміни величин основних характеристик руху потоку автомобілів: швидкості, інтервалів і щільності. Кількісна оцінка змін цих характеристик має велике значення при вивченні режиму руху потоку автомобілів і пропускної здатності доріг.

1. Швидкості руху.

Основною характеристикою руху потоку автомобілів є його швидкість. Інтенсивність і склад руху значно впливають на величину і характер змін швидкості руху. Проведені спостереження показують, що швидкість має криволінійну залежність від інтенсивності (рис.6.1). Характерно, що кривизна цієї залежності зменшується при русі більш однорідних по складу потоків автомобілів. Перший перелом залежності спостерігається при інтенсивності руху, при якій починають появлятися групи і «пачки» автомобілів. Групу утворюють автомобілі, котрі мають однакові динамічні можливості. Водії цих автомобілів не поспішають здійснити обгін. «Пачку» утворюють автомобілі, котрі змушені рухатись за автомобілем, що повільно рухається. Водії цих автомобілів намагаються здійснити обгін. Другий перелом – при інтенсивності, при котрій зникають обгони і рух приймає характер колонного.

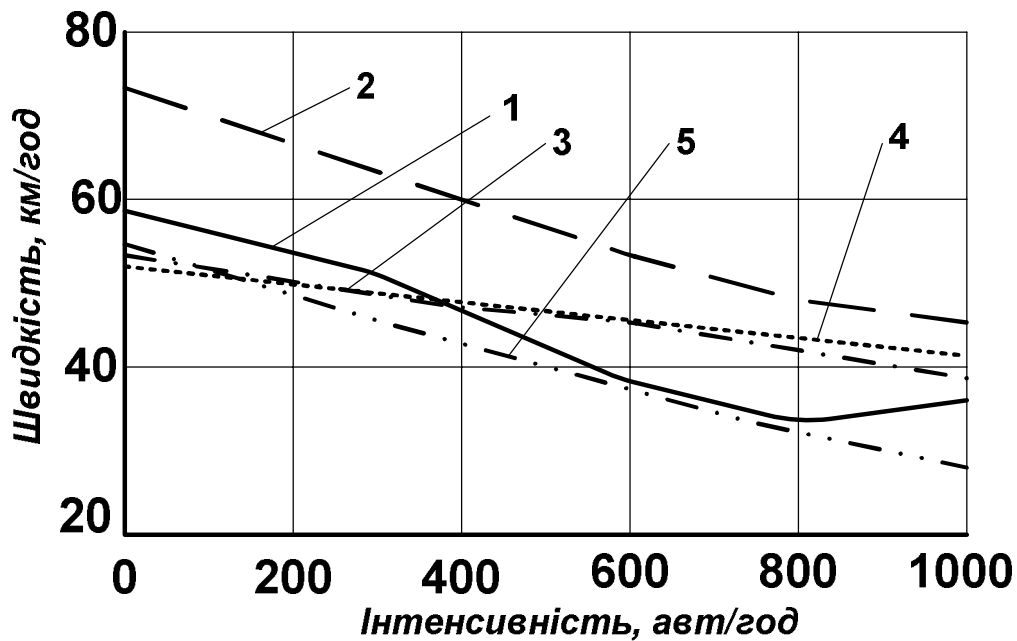


Рис.6.1. Залежність швидкості руху від інтенсивності:

1 - для всього потоку (за даними авторів); 2 - для легкових автомобілів (за даними авторів); 3 - для вантажних автомобілів (за даними авторів); 4 - для всього потоку (за даними канд.тех. наук М.Ф.Хорошилова); 5 - для всього потоку (за даними канд. тех. наук Л.А.Кероглу)

Відомі роботи вітчизняних і зарубіжних дослідників відмічали прямолінійну залежність «швидкість - інтенсивність» без рекомендації можливого діапазону стійкого існування такої залежності (див.рис.6.1). Зміна складу руху викликає не лише зміну кривизни, але й загальний нахил кривої до осі «інтенсивність» (див.рис.6.1).

Форма кривої розподілу значень швидкості істотно залежить від інтенсивності і складу руху: при високій інтенсивності – близька до нормальної кривої розподілу, при низькій – до полімодальної кривої розподілу.

$$P = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \left[\frac{p_1}{\sigma_1} e^{-\frac{(v-v_1)^2}{2\sigma_1^2}} + \frac{p_2}{\sigma_2} e^{-\frac{(v-v_2)^2}{2\sigma_2^2}} + \frac{p_3}{\sigma_3} e^{-\frac{(v-v_3)^2}{2\sigma_3^2}} \right] \quad (6.1)$$

Де p_1, p_2, p_3 – фактичні частоти появи значень швидкостей в кожній групі автомобілів (вантажних автомобілів великої і середньої вантажопідйомності і легкових автомобілів);

$\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$ - середньоквадратичні відхилення значень швидкостей вантажних автомобілів великої і середньої вантажопідйомності і легкових автомобілів, км/год;

v_1, v_2, v_3 - середня швидкість руху кожної групи автомобілів, км/год;

v_i - швидкість i -го автомобіля, км/год.

На основі аналізу теоретичних і фактичних кривих розподілу встановлено, що полімодальні криві розподілу достатньо добре описуються функцією розподілу сумішей (рівняння 6.1 і рис.6.2).

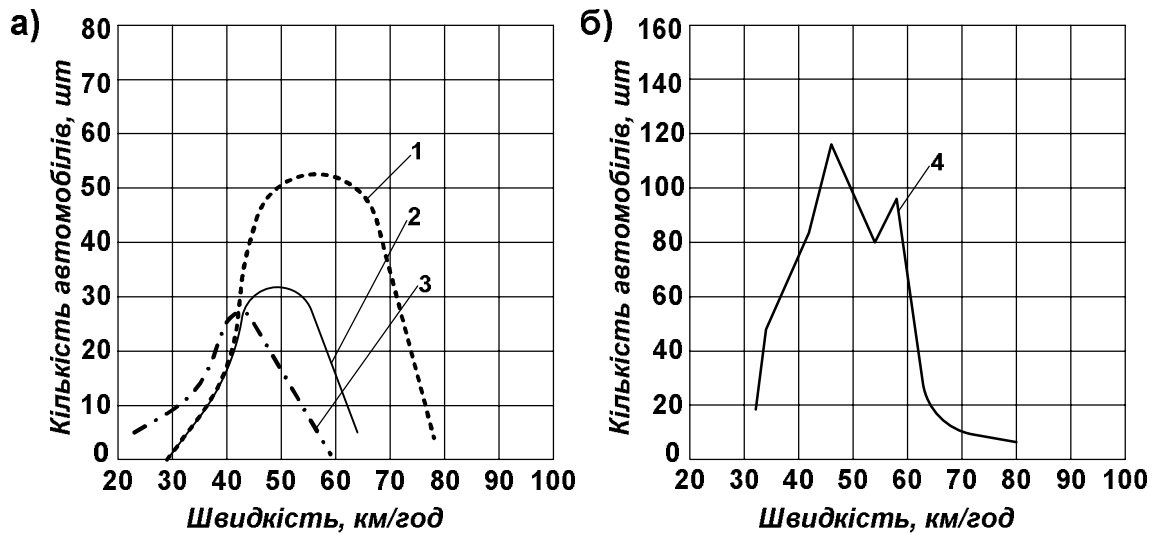


Рис.6.2. Сумарні криві розподілу значень швидкостей при інтенсивності руху 200 авт/год:

а - криві розподілу швидкостей окремих груп автомобілів;

б - усереднення сумарного фактичного розподілу;

1 - розподіл швидкостей легкових автомобілів; 2 - розподіл швидкостей вантажних автомобілів середньої вантажопідйомності; 3 - розподіл швидкостей вантажних автомобілів великої вантажопідйомності; 4 - фактичний сумарний розподіл;

2. Інтервали між автомобілями, що рухаються один за одним.

Встановлення закономірностей змін інтервалів між автомобілями дуже важливе для вирішення цілого ряду практичних задач: визначення пропускної здатності перетинів в одному і різних рівнях; визначення пропускної здатності зон переплетення транспортних потоків; проектування автомобільних стоянок; оцінки втрат часу автомобілями на окремих ділянках доріг; проектування пішохідних переходів; розрахунок циклів і тривалості сигналів світлофорів.

Інтервали між автомобілями можуть вимірюватися або в метрах (відстань між автомобілями), або в секундах (інтервал часу). В даному розділі описуються результати вимірювань інтервалів часу на двохсмугових дорогах.

На горизонтальних ділянках доріг основний вплив на розподіл інтервалів здійснюють інтенсивність і склад руху. Збільшення інтенсивності руху викликає різке збільшення кількості інтервалів

тривалістю менше 4,0 с (рис.6.3).

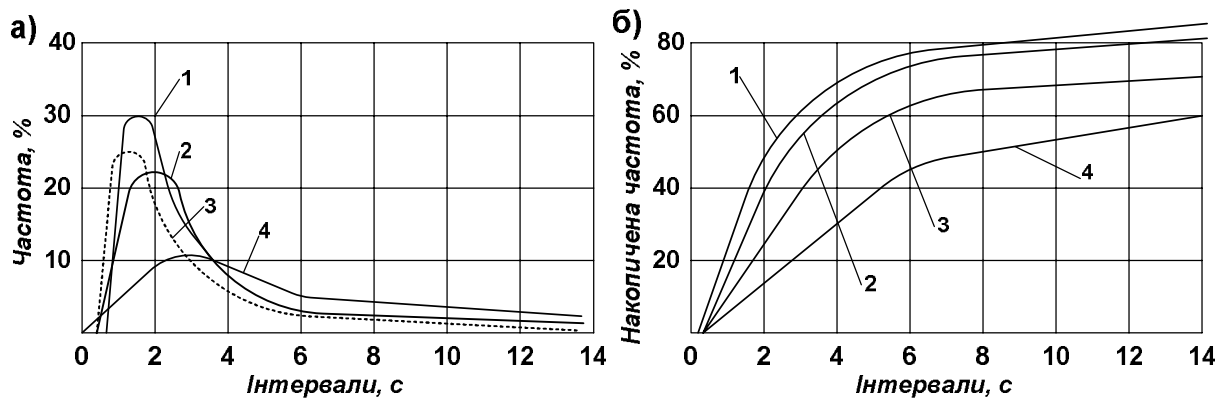


Рис.6.3. Фактичний розподіл значень часових інтервалів при різних інтенсивностях руху:
а - криві розподілу; б - кумулятивні криві;
1 - N=700 авт/год; 2 - N=407 авт/год; 3 - N=260 авт/год; 4 - N=140 авт/год

Показником можливості виконання обгонів при даному стані потоку є кількість інтервалів більше 7 с. Зі зміною інтенсивності від N=140 авт/год до N=700 авт/год їх кількість зменшується в 2 рази.

З розгляду кумулятивних кривих бачимо, що із зростанням інтенсивності руху їх кривизна збільшується. Це свідчить про появу більшої кількості автомобілів, що рухаються в групах.

Для в'яснення впливу складу руху на розподіл інтервалів було проведено порівняння частот появи різних по величині інтервалів при наявності в потоці 20 і 80% легкових автомобілів (рис.6.4). Як видно з рис.6.4, найбільше відхилення спостерігається в області інтервалів менше 3,0 с. Збільшення кількості легкових автомобілів в потоці призводить до зменшення інтервалів тривалістю менше 4 с.

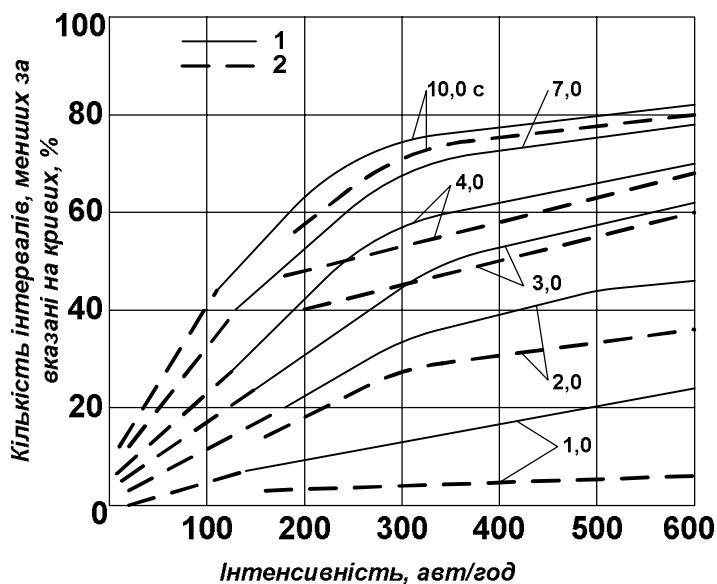


Рис.6.4. Розподіл інтервалів часу при різному складі транспортного потоку:
1 - 20% легкових автомобілів; 2 - 80% легкових автомобілів

3. Максимальні інтервали між автомобілями.

Велике практичне значення для оцінки пропускнуої здатності дороги і її елементів має визначення мінімального інтервалу часу, з яким автомобілі рухаються один за одним, і вплив швидкості на його величину.

Спостереження, проведені з допомогою кінозйомки, дали змогу встановити залежність різних швидкостей автомобілів, що рухаються один за одним, від величини часового інтервалу. Ця залежність має криволінійний характер (рис.6.5,а). При дуже низьких значеннях інтервалів різноманіття швидкостей дещо збільшується. Це пояснюється тим, що інтервали менше 1,0 с виникають, коли автомобілі виїжджають на обгін. Тому водії можуть дотримуватися інтервалів близько 0,5 с. Тривалість існування таких інтервалів близька до нуля. В цьому випадку при гальмуванні переднього автомобіля водій заднього автомобіля може завжди виїхати на смугу зустрічного руху і уникнути зіткнення. Заштрихована область на рис.6.5,а відповідає значенням інтервалів, при яких автомобілі рухаються зі зміщенням до осі проїжджої частини.

Аналіз кривих розподілу величин мінімальних інтервалів часу між автомобілями різних типів показав наступні значення, які зустрічаються найбільш часто (модальні значення):

Між легковими автомобілями _____ 1,6 с
Між вантажними автомобілями _____

малої вантажопідйомності _____ 2,4 с
 середньої вантажопідйомності _____ 3,2 с
 великої вантажопідйомності _____ 4,1 с

За величиною цих інтервалів була встановлена кількість легкових автомобілів, еквівалентна вантажним автомобілям на горизонтальній ділянці двохсмугової дороги при швидкостях 40-55 км/год: одному вантажному автомобілю малої вантажопідйомності еквівалентно 1,5 легкових; одному вантажному автомобілю середньої вантажопідйомності – 2,0 легкових; одному вантажному автомобілю великої вантажопідйомності – 2,6 легкових.

При розрахунку пропускної здатності за методом приведеної інтенсивності ці дані можуть бути використані для приведення змішаного транспортного потоку до однорядного потоку, що складається з легкових автомобілів.

На *рис.6.5,б* подана залежність середнього інтервалу часу від швидкості руху переднього автомобіля (задній автомобіль рухався без зміщення до осі проїжджої частини). Як видно з графіка, найменша середня величина інтервалу склала близько 1,5 с при швидкості 30 км/год.

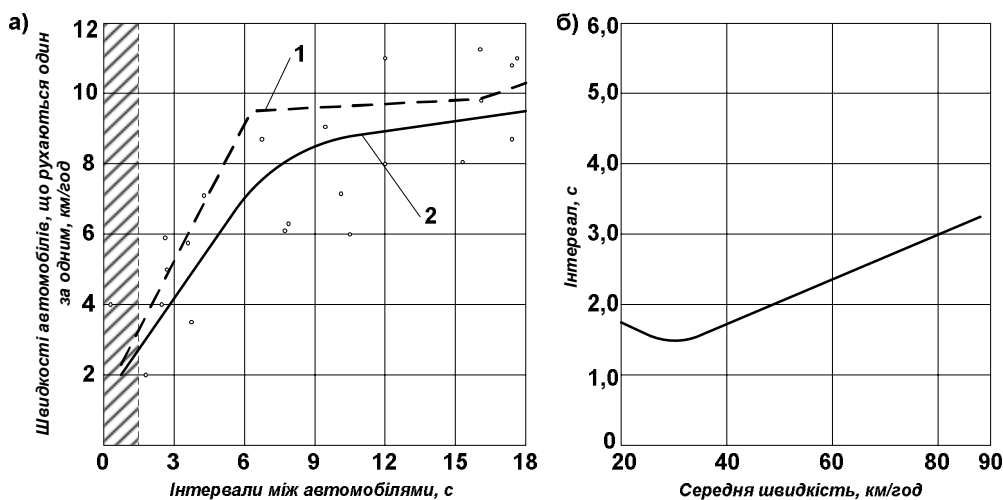


Рис.6.5. Залежність інтервалів часу між автомобілями від швидкості руху:
 а - залежність різних швидкостей між автомобілями, що рухаються один за одним, від інтервалів;
 б - залежність інтервалів від середньої швидкості руху переднього і заднього автомобілів;
 1 - за даними США, 2 - за даними авторів

4. Режими руху окремих груп автомобілів в потоці.

Аналіз розподілу інтервалів при різних інтенсивностях, а також мінімальні інтервали між автомобілями вказують на існування трьох груп автомобілів в транспортному потоці:

- автомобілі, що рухаються вільно і не впливають один на одного при інтервалах більше 8 секунд;

- частково зв'язані автомобілі, що рухаються з інтервалами 1,5 – 8,0 секунд; розподіл інтервалів такий, що водії окремих автомобілів мають можливість маневрувати всередині потоку.
- зв'язана частина потоку; в цьому випадку протягом всього часу спостерігаються малі інтервали.

На основі аналізу руху перерахованих вище груп автомобілів побудовано номограму (рис.6.6), яка характеризує якісний стан потоку автомобілів при різних інтенсивностях.

Автомобілями, що вільно рухаються, вважалися такі, інтервал між якими становив більше 10 с. При цих інтервалах різниця швидкостей між автомобілями невелика (див. рис. 6.5,а). Кількість автомобілів, що виїжджають на обгін, приймали за результатами натурних обстежень за кількістю обгонів при різних інтенсивностях, проведених канд. тех. наук Л.А.Кероглу.

Як видно із номограми, кількість автомобілів, що рухаються вільно, різко знижується із збільшенням інтенсивності руху.

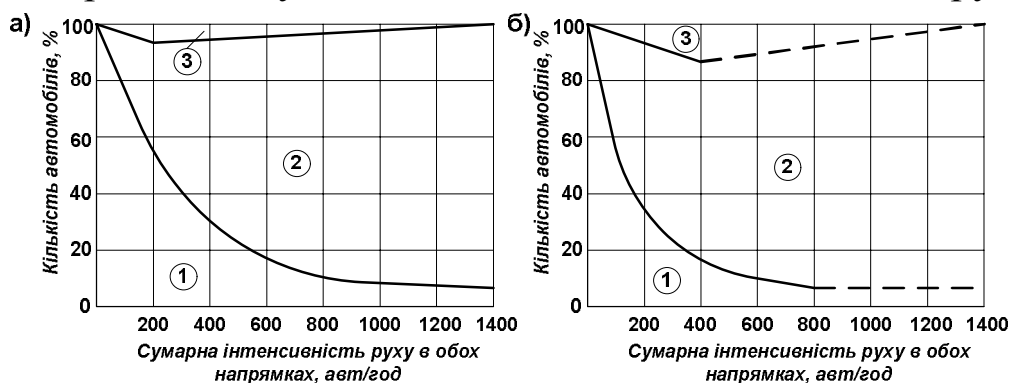


Рис.6.6. Номограми, які характеризують стан потоку автомобілів:
 а - для потоку автомобілів, що складається з 80% легкових автомобілів і 10% вантажних;
 б - для потоку, що складається з 20% легкових автомобілів і 70% вантажних;
 1 - автомобілі, що рухаються вільно; 2 - частково зв'язані автомобілі; 3 - зв'язані автомобілі

Для зв'язаної частини потоку характерне бажання водіїв автомобілів, які мають переваги в швидкості, здійснити обгін.

Із збільшенням кількості вантажних автомобілів зростає кількість автомобілів, що виїжджають на обгін. Так, при інтенсивності 400 авт/год в обох напрямках і 10% вантажних автомобілів на обгін виїжджають біля 2% автомобілів, при 70% вантажних автомобілів виїжджає біля 12%, тобто в 6 раз більше. Можливість здійснення обгону залежить від стану зустрічного потоку і кількості автомобілів в групі. Для здійснення обгону приймаються не всі інтервали. Як показують спостереження, інтервали більше 20 секунд не викликають ускладнення обгонів. При інтервалах 10 – 20 с відчувається помітне ускладнення обгонів. При інтервалах 7 – 10 с їх виконання в ряді випадків стає

проблемним. Для оцінки ступеня ускладнення обгонів при різних станах потоку автомобілів пропонується використовувати такий показник, як час, витрачений водієм на оцінку ситуації перед обгоном. Спостереження, проведені канд. техн. наук Ю.М.Ситниковим, показали, що цей час збільшується з ускладненням ситуації на дорозі і, таким чином, являється об'єктивним показником ступеня її складності. Нижче подані значення коефіцієнтів K , які характеризують степінь ускладнення обгонів:

Тривалість інтервалів в потоці, що використовуються для здійснення обгонів, с	більше20	10-20	7-10
Значення K	1,0	1,65	2,4

Функції інтелектуальних систем управління.

Дербунович Л.В., Абрамова Л.С. Иерархические структуры систем управления дорожным движением // Вісник Національного технічного університету «ХПІ»: Зб. наук. пр. Тематичний випуск: Автоматика та приладобудування. – Харків: НТУ «ХПІ», 2008.- С. 40-48

Інтелектуальні системи управління (СУ) є перспективним напрямком наукових досліджень. Теорію цих систем відображено у працях провідних вчених, вона стосується складних технічних і людино-технічних (ергатичних) СУ, що функціонують в ускладнених умовах. Під ускладненими умовами розуміється велика розмірність об'єкту управління, його нестационарність, розподільність параметрів, відсутність контролю зовнішніх впливів, мінливість цілей. Наведені умови у певній мірі відповідають ознакам функціонування дорожнього руху як об'єкту управління. Інтелектуальні СУ – це інформаційно-обчислювальна система з інтелектуальною підтримкою при рішенні завдань без участі оператора у процесі управління та відноситься до систем, заснованих на знаннях (knowledge-based system)

Інтелектуальна транспортна система - прийнята назва автоматичного комплексу апаратно-програмних засобів, що здійснюють:

- збір інформації про поточний стан транспортної мережі;
- обробку отриманої інформації з метою ухвалення рішень по управлінню рухом транспорту;
- передачу управляючих повідомлень користувачам транспортної мережі.

Основними цілями функціонування інтелектуальної транспортної системи (ІТС) є:

- забезпечення комфорту учасникам дорожнього руху (зменшення кількості і тяжкості дорожньо-транспортних подій, забезпечення оптимальних умов руху на транспортних магістралях і т. д.);
- зниження матеріальних і фінансових витрат при русі в транспортній мережі;

- інформаційне забезпечення учасників дорожнього руху про поточну транспортну ситуацію в дорожній мережі.

ІТС має ієрархічну структуру, в якій можна виділити три основні рівні:

- оперативний, усередині якого знаходяться апаратно-програмні засоби, що здійснюють безпосередній інформаційний вплив на об'єкти дорожнього руху;

- тактичний, на якому приймаються рішення по управлінню дорожнім рухом в зональній вулично-дорожній мережі і інформаційний обмін з корпоративними користувачами послуг ІТС;

- стратегічний, що приймає рішення щодо вибору типу управління дорожнім рухом в регіоні дії ІТС і об'єму регламентуючої інформації, що видається користувачам послуг ІТС.

Використання сучасних досягнень інформаційних технологій і засобів зв'язку - телематики - в управлінні транспортними системами дозволяє кардинально підвищити ефективність і якість їх роботи. Тому транспортні системи з використанням автоматизованих систем управління, побудованих на основі телематики, отримали у всьому світі назву - інтелектуальні транспортні системи (ІТС). Відмітна ознака ІТС - автоматичне (чи з мінімальною участю оператора) формування управляючих дій в режимі реального часу на об'єкти управління. Для цього в системі повинен функціонувати зворотний зв'язок, що забезпечує автоматичну передачу оперативних даних функціонування об'єктів ІТС в блок управління системи.

Рівень прийняття рішень. Елементи підтримки прийняття рішень в інтелектуальних системах.

Абрамова Л.С. , Капинус С.В. Анализ методов теории принятия решений с позиции управления дорожным движением. // Вестник ХНАДУ. – Харків, ХНАДУ. – 2009. – Вып. 47. – С. 90-92.

Особливе місце у теорії прийняття рішень займає теорія корисності, яка може бути реалізована п'ятьма етапами, а саме:

Етап 1. Попередній аналіз. На цьому етапі формулюється проблема, і визначаються можливі варіанти дій, які можна зробити в процесі її рішення.

Етап 2. Структурний аналіз. Цей етап передбачає структурування проблеми на якісному рівні, на якому ОУР намічає основні кроки процесу ухвалення рішень і намагається упорядкувати їх у вигляді деякої послідовності. Для цієї мети будується дерево рішень (рис.2).

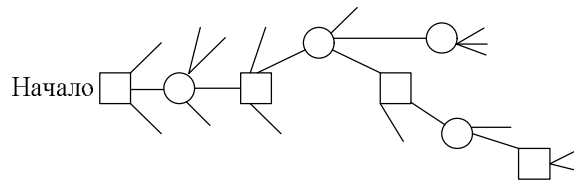


Рисунок 2 - Фрагмент дерева рішень

Дерево рішень має два типи вершин: вершини-рішення (позначені квадратами) і вершини-випадки (позначені кружечками). У вершинах-рішеннях вибір повністю залежить від ОУР, у вершинах-випадках ОУР не повністю контролює вибір, оскільки випадкові події можна передбачати лише з деякою вірогідністю.

Етап 3. Аналіз невизначеності. На цьому етапі ОУР встановлює значення вірогідності для тих гілок на дереві рішень, які починаються у вершинах-випадках.

Етап 4. Аналіз корисності. На даному етапі слід отримати кількісні оцінки корисності наслідків (результатів), пов'язаних з реалізацією того або іншого шляху на дереві рішень.

Етап 5. Процедури оптимізації. Оптимальна стратегія дій (альтернатива, шлях на дереві рішень) може бути знайдена за допомогою обчислень, а саме: максимізації очікуваної корисності на всьому просторі можливих результатів. Одна з умов постановки завдання оптимізації - наявність адекватної математичної моделі, яка пов'язує параметри оптимізації (в даному випадку це альтернативні варіанти дій) із змінними, що входять в цільову функцію (функція корисності).

Один з етапів - це структурний аналіз. Цей етап передбачає структурування проблеми на якісному рівні, на якому об'єкт приймаючий рішення (ОПР) намічає основні кроки процесу прийняття рішень і намагається упорядкувати їх у вигляді деякої послідовності. Для цієї мети будується дерево рішень.

Критерій прийняття рішень - це функція, що виражає переваги особи, що ухвалює рішення (ОУР), і що визначає правило, по якому вибирається прийнятний або оптимальний варіант рішення.

Ці критерії можна використовувати по черзі, причому після обчислення їх значень серед декількох варіантів доводиться довільним чином виділяти деяке остаточне рішення. Що дозволяє, по-перше, краще проникнути у всі внутрішні зв'язки проблеми ухвалення рішень і, по-друге, ослабити вплив суб'єктивного чинника.

Класичні критерії прийняття рішень:

1. Мінімаксий критерій (ММ) використовує оціночу функцію Z_{MM} , що відповідає позицію крайньої обережності.

$$Z_{MM} = \max_i e_{ir} \text{ і } e_{ir} = \min_j e_{ij} \quad (1)$$

де Z_{MM} — оціночна функція ММ-критерію.

Оскільки в області технічних завдань побудова безлічі Е варіантів вже само по собі вимагає вельми значних зусиль, причому іноді виникає необхідність в їх розгляді з різних точок зору, воно повинне нагадувати про те, що сукупність варіантів необхідно досліджувати можливо повнішим чином, щоб була забезпечена оптимальність вибраного варіанту.

Правило вибору рішення відповідно до цього критерію можна інтерпретувати таким чином:

Матриця рішень доповнюється ще одним стовпцем з найменших результатів e_{ir} кожного рядка. Вибрати належить ті варіанти E_{io} , в рядках яких стоять найбільші значення e_{ir} цього стовпця.

Вибрані таким чином варіанти повністю виключають ризик. Це означає, що ухвалюючий рішення не може зіткнутися з гіршим результатом, ніж той, на який він орієнтується. Які б умови F_j не зустрілися, відповідний результат не може опинитися нижче Z_{mm} . Ця властивість примушує вважати мінімаксий критерій одним з фундаментальних. Тому в технічних завданнях він застосовується найчастіше, як свідомо, так і не усвідомлено. Проте положення про відсутність ризику коштує різних втрат.

2. Критерій Севіджа.

За допомогою позначення

$$a_{ij} = \max e_{ij} - e_{ij} - \text{це} \qquad e_{ir} = \max a_{ij} = \max(\max e_{ij} - e_{ij})$$

формується оціночна функція

$$Z_s = \min e_{ir} = \min [\max (\max e_{ij} - e_{ij})] \qquad (2)$$

Відповідне правило вибору тепер інтерпретується так:

Кожен елемент матриці рішень віднімається з найбільшого результату відповідного стовпця. Ці різниці утворюють матрицю залишків. Ця матриця поповнюється стовпцем найбільших різниць e_{ir} . Вибираються ті вирішення E_{io} , в рядках яких стоїть найменше значення для цього стовпця і будується безліч оптимальних варіантів рішення

$$E_o = \{E_{io} | E_{io} \in E \wedge e_{io} = \min e_{ir}\} \qquad (3)$$

Для розуміння цього критерію визначувану співвідношенням величину $a_{ij} = \max e_{ij} - e_{ij}$ можна трактувати як максимальний додатковий виграш, який досягається, якщо в стані F_j замість варіанту E_i вибрати інший, оптимальний для цього зовнішнього стану варіант. Ми можемо, проте, інтерпретувати a_{ij} і як втрати (штрафи), що виникають в стані F_j при заміні оптимального для нього варіанту на варіант E_i . Тоді визначувану співвідношенням величина e_{ir} представляє собою - при інтерпретації a_{ij} в якості втрат

- максимальні можливі (по всіх зовнішніх станах F_j , $j=1 \dots, n$) втрати у разі вибору варіанту E_i . Ці максимально можливі втрати мінімізуються за рахунок вибору відповідного варіанту E_i .

Відповідне S-критерію правило вибору тепер інтерпретується так: кожен елемент матриці рішень $\|e_{ij}\|$ віднімається з найбільшого результату $\max e_{ij}$ відповідного стовпця.

Різниця a_{ij} утворюють матрицю залишків $\|a_{ij}\|$. Ця матриця поповнюється стовпцем найбільших різниць e_{ir} . Вибираються ті варіанти E_{i_0} , в рядках яких стоїть найменше для цього стовпця значення.

По виразу оцінюється значення результатів тих станів, які, унаслідок вибору відповідного розподілу вірогідності, роблять однаковий вплив на рішення, з погляду результатів матриці $\|e_{ij}\|$. S-критерій пов'язаний з ризиком, проте, з позицій матриці $\|a_{ij}\|$ він від ризику вільний.

3. Критерій Байеса-Лапласа.

Цей критерій враховує кожне з можливих наслідків. Нехай q_j – вірогідність появи зовнішнього стану F_j , тоді для цього критерію оцінна функція запишеться так:

$$Z_{BL} = \max e_{ir}, \quad e_{ir} = \sum e_{ij} q_j \quad (4)$$

Тоді правило вибору буде записано так:

Матриця рішень доповнюється ще одним стовпцем, що містить математичне очікування значень кожному з рядків. Вибираються ті варіанти E_{i_0} , в рядках яких стоїть найбільше значення e_{ir} цього стовпця.

4. Розширений мінімаксний критерій.

В ньому використовуються прості поняття теорії вірогідності, а також, у відомому сенсі, теорії ігор. У технічних застосуваннях цей критерій до теперішнього часу застосовується мало.

Основним тут є припущення про те, що кожному з n можливих зовнішніх станів F_j приписана вірогідність його появи : $0 < q < 1$.

Тоді розширений ММ-критерій формулюється таким чином:

$$E(p_0) = \left\{ E(p_0) \left| E(p_0) \in \bar{E} \wedge e(p_0, q_0) = \max_p \min_q \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n e_{ij} p_i q_j \right. \right\} \quad (5)$$

де p - ймовірносний вектор для E_i , а q - ймовірносний вектор для F_j .

Таким чином, розширений ММ-критерій задається метою знайти найбільш вигідне розподілення E_i ймовірності на безлічі варіантів, коли в ситуації, що багато разів відтворюється, нічого не відомо про ймовірність станів F_j . Тому передбачається, що F_j розподілені найменш вигідним чином.

5. Критерій добутку.

Із самого початку цей критерій орієнтований на величини виграшів, тобто на позитивні значення величини e

Визначимо оціночну функцію:

$$Z_p = \max_i e_{ir} \quad (6)$$

Правило вибору в цьому випадку формулюється так:

Матриця рішень доповнюється новим стовпцем, що містить добутки всіх результатів кожного рядка. Вибираються ті варіанти E_{i_0} , в рядках яких знаходяться найбільші значення цього стовпця.

Застосування цього критерію обумовлене наступними обставинами:

Ймовірність появи станів F_j невідома; з появою кожного із станів F_j окремо необхідно враховувати; критерій застосовний при малому числі реалізацій рішення; деякий ризик допускається.

Як вже згадувалося, цей критерій пристосований в першу чергу для випадків, коли всі e_{ij} позитивні. Якщо вказана умова порушується, а цей критерій доводиться застосовувати і в цьому випадку, то слід виконати деяке зрушення $e_{ij} + a$ з деякою константою $a > |\min e_{ij}|$. Зрозуміло, результат застосування критерію істотно залежить від цього значення a . На практиці у якості значення a охоче використовують величину $|\min e_{ij}| + 1$. Якщо ж ніяка константа не може бути визнана такою, що має сенс, то до таких проблем цей критерій не застосовний.

Вибір оптимального рішення згідно критерію добутків виявляється значно менш песимістичним ніж, наприклад, вибір відповідно до мінімаксного критерію. В результаті застосування критерію добутків відбувається деяке вирівнювання між великими і малими значеннями e_{ij} , і, встановлюючи оптимальний варіант рішення за допомогою цього критерію, ми можемо при фіксованих станах F_j отримати велику вигоду, ніж при використанні

мінімаксного критерію, але при цьому повинна враховуватися можливість появи і гірших результатів. Слід зазначити, що при використанні цього критерію ні число реалізацій, ні інформація про розподіл ймовірності не беруться до уваги.

6. Критерій Гермейера.

Відправляючись від підходу Гермейера до відшукування ефективних і придатних до компромісу рішень в області поліоптимізації – тобто всіх рішень, які не вважаються свідомо гіршими, ніж інші, - можна припустити ще один критерій, що володіє в деякому відношенні певною еластичністю. Він із самого початку орієнтований на величини втрат, тобто на негативні значення e_{ij} .

Як оціночна функція виступає

$$Z_G = \max e_{ij} \quad (7)$$

Оскільки переважно мають справу з цінами і витратами, умова $e_{ij} < 0$ зазвичай виконується. У разі ж, коли серед величин e_{ij} зустрічаються і позитивні значення, можна перейти до чітко негативних значень за допомогою перетворення e_{ij} - а при відповідним чином підбраному $a > 0$.

Правило вибору згідно критерію Гермейера формулюється таким чином:

Матриця рішень доповнюється ще одним стовпцем, що містить в кожному рядку найменший твір наявного в ній результату на вірогідність відповідного стану F_j . Вибираються ті вирішення E_{i_0} , в рядках яких знаходиться найбільше значення e_{ir} цього стовпця.

7. Критерій Гурвиця.

Прагнучи зайняти найбільш урівноважену позицію, Гурвіц запропонував критерій, оціночна функція якого знаходиться десь між точками зору граничного оптимізму і крайнього песимізму:

$$Z_{HW} = \max e_{ir} \quad (8)$$

Правило вибору згідно HW-критерію формулюється так:

Матриця рішень доповнюється стовпцем, що містить середні зважені найбільшого і найменшого результатів для кожного рядка. Обираються ті варіанти E_{i_0} , в рядках яких стоять найбільші

елементи e_{ij} цього стовпця. У технічних застосуваннях правильно вибрати множник буває так само важко, як правильно вибрати критерій. Навряд чи можливо знайти кількісну характеристику для тих доль оптимізму і песимізму, які присутні при ухваленні рішення. Тому найчастіше ваговий множник $c=0,5$ без заперечень приймається як деяка «середня» точка зору. При обґрунтуванні вибору застосовують зворотний порядок дій. Для рішення, що приглянулося, обчислюється ваговий множник c , і він інтерпретується як показник співвідношення оптимізму і песимізму. Таким чином, позиція виходячи з яких ухвалюються рішення, можна розсортувати, принаймні, заднім числом.

Цей критерій пред'являє до ситуації, в якій ухвалюється рішення, наступні вимоги:

Про вірогідність появи стану F_j нічого не відомо; з появою стану F_j необхідно рахуватись; реалізується лише мала кількість рішень; допускається деякий ризик.

8. Складений критерій Байеса-Лапласа мінімаксний.

Прагнення отримати критерії, які б краще пристосовувалися до наявної ситуації, ніж усі до цих пір розглянуті, привело до побудови так званих складених критеріїв.

Початковим для побудованого був ВЛ-критерій унаслідок того, що розподіл $q=(q_1 \dots, q_n)$ встановлюється емпірично і тому відомо неточно, відбувається, з одного боку, ослаблення критерію, а з іншою, навпаки, за допомогою заданих меж для ризику і за допомогою ММ-критерію забезпечується відповідна свобода дій. Точні формулювання полягають в наступному.

Зафіксуємо опорне значення, що перш за все задається ММ-критерієм:

$$Z_{MM} = \max_i \min_j e_{ij} = e_{i_0 j_0} \quad (9)$$

де i_0 і j_0 – оптимізуючі індекси для даних варіантів рішень і, відповідно, станів.

За допомогою деякого заданого або вибраного рівня допустимого ризику $E_{доп} > 0$ визначимо деяку безліч згоди, що є підмножиною безлічі індексів $\{1 \dots \dots, m\}$:

$$I_1 := \left\{ i \mid i \in \{1, \dots, m\} \wedge e_{i_0 j_0} - \min_j e_{ij} < \varepsilon_{\hat{A} \hat{I}} \right\} \quad (10)$$

Величина $E_i := e_{i0j_0} - \min_j e_{ij}$ для всіх $i \in I_1$ характеризує найбільші можливі втрати порівняно із значенням e_{i0j_0} , що задається ММ-критерієм. З іншого боку, в результаті такого зниження відкриваються і можливості для збільшення виграшу в порівнянні з тим, який забезпечується ММ-критерієм. Тому ми розглядаємо також (знову-таки як підмножина множини $\{1, \dots, m\}$) деяку виграшну множину

$$I_2 := \left\{ i \mid i \in \{1, \dots, m\} \wedge \max_i e_{ij} - \max_j e_{ij} \geq e_{i0j_0} - \min_i e_{ij} = \varepsilon_i \right\} \quad (11)$$

Тоді в множину - перетин $I_1 I_2$ ми зберемо тільки такі варіанти рішень, для яких, з одного боку, в певних станах можуть мати місце втрати в порівнянні із станом, ММ-критерієм, що задається, але в інших станах є щонайменше такий же приріст виграшу. Тепер оптимальними в сенсі ВЛ (ММ) - критерію будуть рішення

$$E_0 := \left\{ E_{i_0} \mid E_{i_0} \in E \wedge e_{i_0} = \max_{i \in I_1 \cap I_2} \sum_{j=1}^n e_{ij} q_j \right\} \quad (12)$$

Правило вибору для цього критерію формулюється таким чином.

Матриця рішень $\|e_{ij}\|$ доповнюється ще трьома стовпцями. У першому з них записуються математичні очікування кожному з рядків, у другому - різниця між опорним значенням $e_{i0j_0} = Z_{\text{ММ}}$ і найменшим значенням $\min_j (e_{ij})$ відповідного рядка. У третьому стовпці поміщаються різниці між найбільшим значенням $\max_j e_{ij}$ кожного рядка і найбільшим значенням $\max e_{i0j}$ того рядка, в якому знаходиться значення e_{i0j_0} . Вибираються ті варіанти E_{i_0} рядка яких (при дотриманні співвідношень, що приводяться нижче, між елементами другого і третього стовпців) дають найбільше математичне очікування. А саме, відповідне значення $e_{i0j_0} - \min_j e_{ij}$ з другого стовпця повинно бути менше або рівно деякому заздалегідь заданому рівню ризику $\varepsilon_{\text{доп}}$. Значення ж з третього стовпця повинне бути більше значення з другого стовпця.

Застосування цього критерію обумовлене наступними ознаками ситуації, в якій ухвалюється рішення:

- ймовірність появи станів F_j невідома, проте є деяка апріорна інформація на користь якого-небудь певного розподілу;
- необхідно зважати на появи різних станів як окремо, так і в комплексі;
- допускається обмежений ризик;
ухвалене рішення реалізується один раз або багато разів.

Упереджене управління дорожнім рухом

Зміна параметрів ОУ передбачає наявність прогнозування цієї зміни, тому управління за прогнозом параметрів об'єкту управління належить до упередженого управління – одного з різновидів типів управління ДР. До переваг упередженого управління (УУ) складними системами належать наступні особливості. УУ формує ефективний інтелектуальний комплекс технічних та програмних заходів; УУ є формою управління, що застосовує інтелектуальні інформаційні технології. Основою УУ є розроблена методика управління, яка застосовує сучасні методи прогнозування, моделювання поведінки динамічних систем, процесів оптимізації їх параметрів та заходів прийняття рішень. До вимог реалізації УУ належить проведення аналізу тенденцій до зміни поведінки ОУ.

Можливо стверджувати, що УУ – це комплекс людино-машинної системи та заходів підтримки ефективної інтелектуальної прогностичної діяльності центру управління системою (рис. 3.6).

У випадках, коли змінюється вплив зовнішніх збурень, УУ призводить до самоадаптації ОУ за допомогою замкнутого контуру зворотного зв'язку на рівні адаптивного управління.

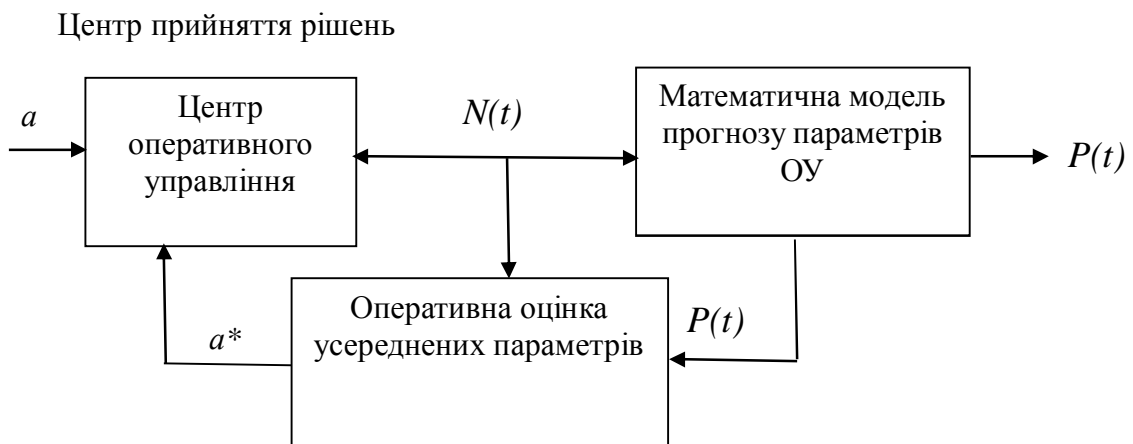


Рисунок 3.6 – Структура контуру УУ дорожнім рухом

Центр інформаційного управління системи містить уставки, що до нормативних значень параметрів ОУ (a), які система повинна утримувати для забезпечення ефективності управління та поточні значення параметрів ОУ ($N(t)$), які складають основу математичної моделі прогнозу визначення пропускної спроможності ($P(t)$) для оперативної оцінки порівняння поточних значень та отриманих за прогнозом – a^* . При цьому значення ($P(t)$) має ознаки усереднених

параметрів, на які впливає методична помилка, що виникає за неточністю моделі прогнозу та змінюється в залежності від горизонту прогнозу.

Для вирішення проблеми розробки основ УУ для системи управління дорожнім рухом у містах необхідна наявність наступних елементів:

- структурної моделі вулично-дорожньої мережі (ВДМ) міста у вигляді орієнтовного графа, вершинами якого є перехрестя, а ребрами - міські магістралі;
- схеми орієнтовного руху транспортних потоків по ВДМ міста із визначенням проблемних ділянок руху;
- переліку міст утворення перешкод руху транспорту, як регулярних, так і не регулярних;
- визначені та сформовані алгоритми управління;
- існуючі обмеження на параметри руху (швидкість, інтенсивність, склад транспортного потоку) та напрями руху по ВДМ;
- розроблений критерій ефективності дорожнього руху та функціонування транспортної мережі.

У процесі розробки необхідних елементів було визначено особливості упередженого управління:

- алгоритм управління дорожнім рухом повинно бути засновано на швидких комп'ютерних моделях, які можливо реалізувати у режимі реального часу;
- моделі дорожнього руху для кожного рівня управління повинні з достатньою точністю мати його опис та можливість відокремлювати специфічні ситуації, що виникають у часі та просторі;
- мати єдиний критерій якості функціонування всієї системи управління із урахуванням критеріїв ефективності кожного рівня.

Упереджене управління має переваги над неупередженим управлінням, які містяться у наступному:

- вихідні параметри дорожнього руху мають фіксовані значення, що збігається із твердженням що до нормативних параметрів функціонування ділянок ВДМ міста. Тому можливо отримати інформацію не тільки що до кінцевих значень параметрів, а й дослідити процес досягнення саме цих значень.
- у процесі управління можливо досягти компромісу між реальною керуючою дією та майбутніми діями.

У деяких випадках оптимальний керуючий вплив на дорожній рух при локальному або зональному керуванні може зменшити ефективність під час управління, але дозволить досягти більшого ефекту у майбутньому для усієї транспортної системи у цілому.

Процес упередження управління складається з наступних етапів:

Перший етап формується на визначенні майбутніх параметрів транспортного потоку та визначені горизонту прогнозу, в залежності від типу задач управління у системі. Прогноз базується на поточних параметрах ТП ($x(k)$) із урахуванням обурюючі впливів ($d(k)$) відомих та невідомих (не очікуваних). Так, зміна ширини проїжджої частини та наявність світлофорного регулювання – очікуване збурення, а виникнення дорожньо-транспортної пригоди (ДТП) є неочікуваним. Необхідно урахувати наявність керуючих впливів на ТП ($u(k)$).

Література

1. Кременец Ю.А., Печерский М.П., Афанасьев М.Б. Технические средства организации дорожного движения. Учебник для вузов. – М: ИКЦ «Академкнига», 2005. – 279с.
2. Бабков В. Ф. Дорожные условия и безопасность движения: Учебник для вузов.— М.: Транспорт, 1993.—271 с.
3. Я. В. Хомяк. Организация дорожного движения: Учебник для вузов/— К.: Вища шк. Головное изд-во, 1986.— 271 с.
4. Клинковштейн Г. И., Афанасьев М. Б. Организация дорожного движения: Учеб. для вузов.— 5-е изд., перераб. и доп. – М: Транспорт, 2001 – 247 с.
5. Пугачев И. Н. Организация и безопасность движения: Учеб. пособие /И. Н. Пугачёв. – Хабаровск: Изд-во Хабар. гос. техн. ун-та, 2004. –232 с.
6. Лобанов Е.М. Транспортная планировка городов: Учебник для студентов вузов.- М.: Транспорт, 1990.-240с.
7. ДСТУ 4092-2002. Національний стандарт України. "Світлофори дорожні. Загальні технічні вимоги, правила застосовування та вимоги безпеки".
8. ДСТУ 4100-2002. Національний стандарт України. Знаки дорожні. Загальні технічні умови. Правила застосовування.
9. ДСТУ 4159-2003. Національний стандарт України. Безпека дорожнього руху. Організація дорожнього руху. Умовні позначення на схемах і планах.
10. ДСТУ 3587-97. Національний стандарт України. Безпека дорожнього руху. Автомобільні дороги, вулиці та залізничні переїзди. Вимоги до експлуатаційного стану
11. ДСТУ 2587-94. Національний стандарт України. Розмітка дорожня Технічні вимоги. Методи контролю. Правила застосовування.
12. ГОСТ 24.501 - 82 «Автоматизированные системы управления дорожным движением. Общие требования»
13. Аудит безпеки дорожнього руху: підручник / Л.С. Абрамова, І.С. Наглюк, В.В. Ширін, С.В. Капінус, Г.Г. Птиця; під заг. ред. І.С. Наглюка. – Х.: ХНАДУ, 2016. – 260 с.
14. Абрамова Л.С. Довідковий словник термінів та визначень з організації та безпеки дорожнього руху: словник /Л.С. Абрамова, Г.Г. Птиця, В.В. Ширін. – Х.: ХНАДУ, 2017. – 234 с.

15. Иносе Х., Хамада Т. Управление дорожным движением/ под редакцией М.А. Блинкина: пер. англ. – М.: Транспорт, 1983 – 248 с.
16. Кременец Ю.А. Технические средства организации дорожного движения / Ю.А. Кременец, М.П. Печерский, М.Б. Афанасьев. – М.: Академкнига, 2005. – 279с.
17. Абрамова Л.С. Автоматизовані системи управління дорожнім рухом [текст] / Л.С. Абрамова, О.О. Бакуліч: Навчальний посібник. – Харків: ХНАДУ, 2013. - 193 с.
18. Л.С. Абрамова, Н.С. Чернобаев. Координированное управление дорожным движением на сети магистралей города. Монография. Харьков, издательство "Точка", 2012, 160 с.
19. Abramova L. Model experiment of dynamic control implementation at the transport network in Kharkiv, Ukraine // Theoretical and scientific foundations of engineering: collective monograph. International Science Group. – Boston : Primedia eLaunch, 2020. PP. 150-164. Available at : DOI : 10.46299/isg.2020.MONO.TECH.II URL: <http://isg-konf.com>
20. Элвик Р. Справочник по безопасности дорожного движения / Элвик Р. и др. / Пер. с норв. Под редакцией проф. Сильянова В.В. – М.: МАДИ(ГТУ), 2001 – 754 с.
21. Абрамова Л.С., Птиця Г.Г. Глава 6. Концепция управления безопасностью дорожного движения // Перспективные тренды развития науки: техника и технологии. В 2 книгах. К 1.: монография. – Одесса: КУПРИЕНКО СВ, 2016 – С. 169-190.