

Міністерство освіти і науки України

ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ АВТОМОБІЛЬНО-
ДОРОЖНІЙ УНІВЕРСИТЕТ

Л.С. Абрамова, О.О. Бакуліч

АВТОМАТИЗОВАНІ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ
ДОРОЖНІМ РУХОМ

Навчальний посібник

Харків
ХНАДУ
2013

УДК 656.11
ББК 39.808
А16

Рецензенти:

Д.В. Ломотько, д.т.н., професор, проректор по науковій роботі Української державної академії залізничного транспорту;
І.К. Шаша, д.т.н., професор, професор кафедри №6 експлуатації і ремонту автомобілей і бойових машин Академії внутрішній військ МВС України;
В.А. Войтов, д.т.н., професор, проректор з наукової роботи Харківського національного технічного університету сільського господарства ім. Петра Василенка.

А16 Абрамова Л.С. Автоматизовані системи управління дорожнім рухом [текст] / Л.С. Абрамова, О.О. Бакуліч: Навчальний посібник. – Харків: ХНАДУ, 2013. - 193 с.

ISBN

У виданні наведено загальні теоретичні і практичні положення проектування систем управління дорожнім рухом у містах. Визначено функції систем управління дорожнім рухом у цілому та склад математичної, технічної, організаційної та інформаційної підсистем.

Розглянуті питання оцінки управління дорожнім рухом за технічними, соціальними та екологічними критеріями ефективності.

Рекомендовано для студентів вищих та середніх навчальних закладів що навчаються з галузі знань 0701 «Транспорт і транспортна інфраструктура».

Іл. , табл. , бібліогр. найм.

ISBN

УДК 656.11
ББК 39.808

© Абрамова Л.С.,
Бакуліч О.О., 2013
© Харківський національний
автомобільно-дорожній
університет, 2013

ВСТУП

В Україні у дійсний час проводяться та плануються заходи щодо реконструкції існуючих та будівництва нових шляхів на вулично-дорожній мережі міст. Ефективність будь-якого містобудівного заходу залежить від обґрунтованості та глибини проробки відповідних рішень, які пов'язані із функціонуванням транспортної системи міста.

Головні фактори при плануванні нових та розробки існуючих планувальних схем вулично-дорожньої мережі міста, пов'язані з управлінням дорожнім рухом. Існуючий стан управління дорожнім рухом у великих містах України не відповідає сучасним вимогам до отримання перевізниками оптимальних показників в логістичних процесах перевезень як вантажів так і пасажирів, до захисту населення від забруднення навколишнього середовища шкідливими викидами вихлопних газів, від шуму та вібрації, при забезпеченні необхідного рівня безпеки дорожнього руху. Така комплексна проблема може бути вирішена шляхом удосконалення усіх елементів комплексу «водій – автомобіль – дорога – середовище». Найбільш перспективним шляхом вирішення цієї проблеми є впровадження систем управління дорожнім рухом на вулично-дорожній мережі міст та на шляхах країни, які вирішують наступні задачі: збір та аналіз інформації про стан основних складових дорожнього руху, а саме – транспортного потоку та вулично-дорожньої мережі; визначення параметрів їх взаємного зв'язку у реальних кліматичних умовах; вибір оптимальних параметрів руху транспортних засобів; забезпечення контролю за виконанням управляючих дій учасниками дорожнього руху.

Управління та регулювання дорожнього руху здійснюється за допомогою технічних пристроїв на підставі методів управління, які входять до складу автоматизованих систем управління та дозволяють оперативно реагувати на зміни параметрів дорожнього руху шляхом вибору оптимальної управляючої дії. Загалом, функціонування автоматизованих систем управління дорожнім рухом впливає на підвищення ефективності дорожнього руху за різними показниками ефективності.

РОЗДІЛ 1. ОСОБЛИВОСТІ УПРАВЛІННЯ ДОРОЖНІМ РУХОМ

1.1 Призначення систем управління та основи проектування

Забезпечення безпеки дорожнього руху – це комплексна проблема, для вирішення якої необхідно застосовувати системний підхід. Цей підхід заснований на впровадженні у практику сучасних методів управління дорожнім рухом та його безпекою, розробці ефективного застосування нормативних, інформаційних, технічних та експертних технологій. Головне значення має створення ефективної політики країни, яка сприяє втіленню усіх новітніх розробок вітчизняних та закордонних фахівців у галузі дорожнього руху. Система забезпечення безпеки дорожнього руху являє собою складну сукупність функціональних елементів дорожньо-транспортного комплексу, до складу якого належать суб'єкти транспортної, дорожньої, медичної діяльності та органів спеціальних підрозділів міністерства внутрішніх справ. Елементами дорожнього руху є учасники дорожнього руху, транспортні засоби, дороги із інженерно-технічним обладнанням та технічні засоби регулювання дорожнього руху. Вирішення проблем, пов'язаних із безпекою дорожнього руху залежить від якості функціонування її елементів на всіх етапах розробки (при проектуванні) та експлуатації, а також від методів управління, які засновуються на результатах наукових досліджень у даній галузі.

Згідно загальної теорії систем, функціонування системи є процес досягнення мети при наявності ресурсів, визначені організаційної структури елементів та умови зовнішнього середовища.

У процесі функціонування система досягає певного результату – ефекту. Під ефективністю системи розуміють ступінь фактичного досягнення результату, тобто ступінь відповідності дійсного результату тому, який повинен бути у разі виконання системою заданих функцій. Ефективність системи залежить від того, наскільки ефективно функціонують її підсистеми, та навпаки.

Загальні принципи організації діяльності системи для досягнення мети повинні відповідати управляємим процесам у системі.

Мета та функції системи управління визначаються нормативними документами та показниками ефективності.

Ступінь досягнення мети можливо оцінити як відношення запланованого значення показника ефективності до його значення у період, що досліджується:

$$W = \frac{y_{\text{норм}}}{y_{\text{д}}} \quad (1.1)$$

де $y_{\text{норм}}$ - нормативне значення показника ефективності;

$y_{\text{д}}$ - дійсне значення показника ефективності.

На підставі існуючого різноманіття завдань, що вирішуються системами управління рухом автотранспортних засобів (АТЗ), відмінності існуючих методів, принципів і елементів управління, можливо використовувати принципи системного підходу для визначення загальних закономірностей руху та аналізу параметрів для проектування як усієї системи управління, так і окремих підсистем і блоків, що входять до її складу.

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

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

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

- сукупність підсистем є ієрархічною структурою, де підсистеми визначеного рангу, певним чином пов'язані одна з одною;

- характеристики окремих підсистем визначаються вимогами, які формують підсистеми вищого рівня ієрархії.

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

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

- розробка критеріїв ефективності системи (підсистеми), що відбивають її цільове призначення і залежності основних параметрів;

- вибір доцільних варіантів системи (підсистеми) на основі обчислення значень обраного критерію (критеріїв) (для кожного варіанту вибирається найбільш ефективний критерій);

- визначення оптимальних значень параметрів системи, що забезпечують вищу ефективність із урахуванням обмежень, пов'язаних з особливостями функціонування об'єкту управління;

- вибір параметрів підсистеми нижчого рівня ієрархії, які забезпечують задані вимоги до проектованої підсистеми.

Дуже важливим етапом проектування є вибір критеріїв ефективності систем, що дозволяють порівнювати різні варіанти, оцінювати доцільність їх розробки до впровадження. При цьому складна система розглядається як технічний 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.

1.2. Взаємодія автомобілізації з природою і суспільством

В нинішній час екологія - це особливий загальнонауковий підхід до вивчення різноманітних об'єктів, природи і суспільства, мета якого полягає у вияві та вивченні зв'язків між об'єктами, що досліджуються, і навколишнім середовищем. Екологічний підхід є правомірним не тільки в біології, але і в інших науках, таких як автомобілебудування, містобудівництво, організація автомобільних

перевезень, організація дорожнього руху. Особливо гостро проблема охорони навколишнього середовища постає у містах.

Узагальнену модель міста з розглядом факторів, що впливають на екологічний клімат міста розглянуто на рис. 1.1.

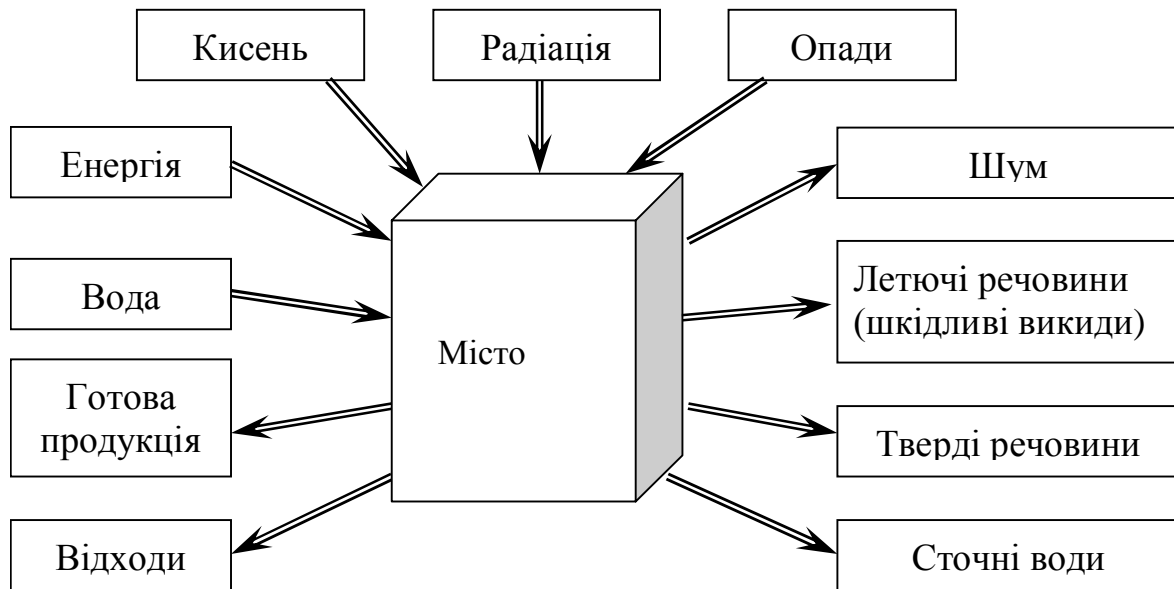


Рис. 1.1. Узагальнена модель міста

Існуючі джерела викидів токсичних речовин класифікуються на природні (внаслідок космічних та геологічних процесів) та антропогенні (пов'язані з діяльністю людини). Останні в свою чергу можна поділити на:

1. Автомобільний транспорт
2. Промисловість і енергетичні підприємства
3. Опалювальні та інші системи

Про масштаби та ступені забруднення навколишнього середовища на земній кулі свідчать такі цифри: в нинішній час по дорогам світу рухається біля 300 млн. автомобілів, що споживають 3.5 млрд.кг палива на кожні 100 кілометрів пробігу. В двигуні для згорання 1 кг палива на протязі години витрачається приблизно 200л кисню, тобто в середньому приблизно в 2,5 рази більше, ніж те, що на протязі доби вдихає людина.

В Україні автомобільний транспорт відноситься до числа джерел несприятливого впливу на навколишнє середовище. На його частку в окремих містах країни приходиться 60-80% загального викиду забруднюючих речовин в атмосферу.

Механізм впливу автомобільного транспорту на навколишнє середовище має ряд специфічних особливостей у порівнянні з іншими джерелами забруднення.

- масовість та постійно зростаючі темпи процесу автомобілізації;
- широкий спектр негативних явищ, що супроводжують процес автомобілізації;
- низькі питомі показники екологічної безпеки транспортних засобів на одиницю виконаної транспортної роботи ;
- складність значного поліпшення показників екологічної безпеки в найближчій перспективі;
- концентрація великої кількості транспортних засобів на невеликій території та їх масове проникання в зони житлової забудови;
- хронічне відставання темпів розвитку дорожньої мережі від темпів автомобілізації;
- практично незмінна технологія транспортного процесу.

Це призводить до наступних тенденцій у розвитку автомобільно-дорожнього транспорту:

- парк індивідуальних автомобілів постійно зростає, проте частина парку автомобілів старіє і експлуатується у незадовільному стані;
- рівень автомобілізації в основному підвищується у країнах Східної Європи та Японії;
- кількість подорожей на індивідуальному транспорті буде збільшуватися;
- зростає частка вантажного транспорту в автомобільному парку.

Багатогранність автомобілізації, як складної соціально - технікоекономічної системи обумовлює багатосторонність її зв'язків з навколишнім середовищем . Підхід сучасної науки до загальних проблем відносин людини та природи дозволив класифікувати ці зв'язки на три основних напрямки (рис. 1.2):

- споживання ресурсів,
- забруднення навколишнього середовища;
- негативні соціальні наслідки.

Розглянемо більш докладно надану класифікацію.

Щодо енергетичного забруднення, сучасні транспортні засоби є потужним споживачем енергії (нафта та нафтопродукти).

Про розміри матеріального споживання ресурсів говорять такі цифри: на виробництво автомобілів потрібно приблизно 20% сталі, 7% міді, 13% нікелю, 35% цинку, 50% свинцю і натурального каучуку.

На 1 км автомобільних доріг, що будуються, в залежності від категорії потрібно відводити від 2 - 7 га території.

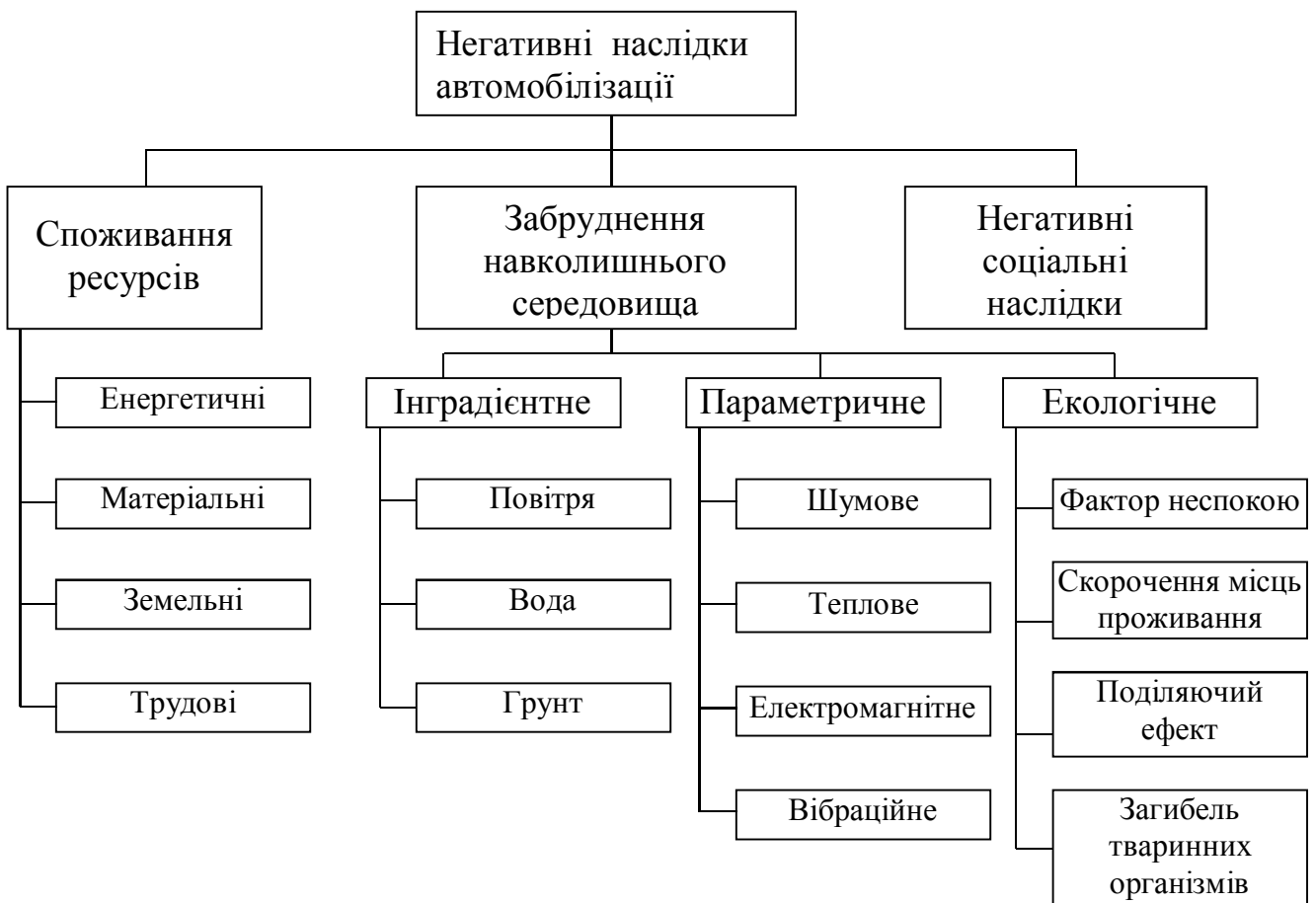


Рис. 1.2. Класифікація негативних наслідків автомобілізації

Вплив автомобільного транспорту на навколишнє середовище супроводжується не тільки споживанням природних ресурсів, але й забрудненням навколишнього середовища. Виникнення завад в

екологічних системах може бути пов'язане з внесенням різноманітних відходів (інградієнтне), непродуктивними втратами енергії (параметричне), неповоротними змінами природних екологічних систем (екологічне).

Об'єктом інградієнтного забруднення є атмосфера, гідросфера та літосфера. Людина розірвала кругообіг в природі і створила штучні лінійні ланцюги подій. Наприклад: нафту видобувають із надр землі, переробляють у паливо, що спалюють у циліндрах двигуна. При цьому утворюються відходи (відпрацьовані гази) і т.д.

Також існує і соціальна сторона питання. Глибоке проникання автомобіля до всіх сфер людської діяльності несе з собою не тільки позитивні зміни. Зворотною стороною є зниження рухової активності з одночасним зростанням нервової напруги, що приводить до виникнення серцево-судинних та нервових захворювань. Однією із найсерйозніших соціально-економічних проблем автомобілізації є безпека руху. У ДТП в світі щороку гинуть коло 250 тис. чоловік, приблизно 10 млн. чоловік отримують різноманітні травми.

Збитки, що наносяться суспільству внаслідок втрат національного доходу та витрат на лікування, знищення та пошкодження вантажів, транспортних засобів та дорожніх споруд, визначається сумами, що значно перевищують витрати на заходи по безпеці руху.

1.3. Загальне визначення елементів управління і регулювання дорожнього руху

У науці та техніці під системою розуміють сукупність взаємопов'язаних та взаємодіючих елементів, які забезпечують виконання заданих функцій. Головним призначенням автоматизованих систем управління дорожнім рухом (АСУДР) є забезпечення підвищення пропускної спроможності вулично-дорожньої мережі (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 дорожнім рухом. 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.

Об'єкти, у яких протікає управляємий процес, є об'єкти управління. Стан об'єкта управління можливо описати однією або декількома фізичними величинами, які називаються керованими, або регульованими змінними. На об'єкт управління діють два типи впливів: керуючі – $u(t)$ та випадкові – $z(t)$. Зміна регульованої (або керованої) величини $y(t)$ є результат дій керуючих або випадкових впливів (рис. 1.3).

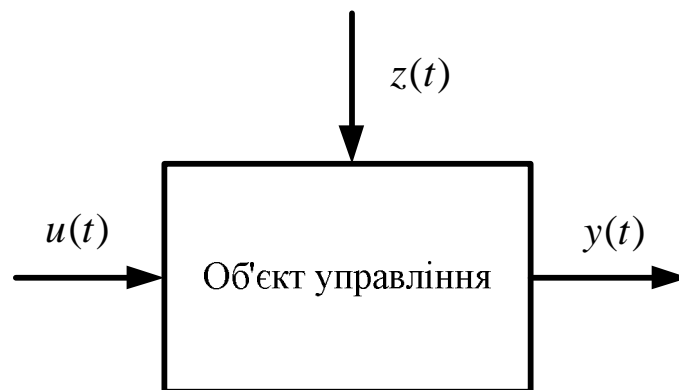


Рис. 1.3. Схема об'єкту управління

Випадковим впливом є такий вплив, який порушує функціональний зв'язок між регульованою або керованою змінною та керуючим впливом. Якщо вплив характеризує дію зовнішнього середовища на об'єкт, то він має назву зовнішнього. Якщо випадковий вплив виникає всередині об'єкту, як наслідок порушень у функціонуванні об'єкту, то такі впливи мають назву внутрішніх.

Впливи, які діють на об'єкт управління з метою зміни величини $y(t)$ згідно закону управління, або для компенсації випадкових впливів є керуючими.

Загальна мета автоматизованого (або автоматичного) управління будь-яким об'єктом полягає у підтримуванні функціонального зв'язку між параметрами, які визначають стан об'єкту при його взаємодії із зовнішнім середовищем.

Математичний опис цієї функціональної залежності можливо назвати алгоритмом управління.

Відомо, що на рівні служб дорожнього руху, організація дорожнього руху являє комплекс адміністративних, 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 спосіб як управління, так і організації руху, а метою застосування технічних засобів регулювання є інформування учасників дорожнього руху, щодо схеми організації дорожнього руху, в підручнику використовується термін технічні засоби організації руху або технічні засоби управління рухом. Це відповідає прийнятій нині термінології, зафіксованій в нормативних документах.

Результат управління дорожнім рухом полягає в тому, щоб зобов'язати водіїв і пішоходів виконувати управляючі дії системи з метою забезпечення зручності і безпеки пересування. Ефективне управління призведе до підвищення пропускної спроможності ВДМ, підвищення швидкості сполучення, зниження кількості ДТП, зменшення затримок транспортних засобів, зниження об'ємів викидів шкідливих речовин в довкілля.

Відомо декілька типів автоматизації, які можуть бути застосовані до технічних систем:

- часткова автоматизація управління, коли проектується управління процесом, у якому обслуговуючий персонал входить до складу процесу управління, але спрямовує свої дії тільки на елемент управління, який в свою чергу через виконавчі пристрої впливає на об'єкт управління (рис. 1.4а);
- повна автоматизація контролю, яка реалізується системою автоматичного контролю, що вирішує задачу збору інформації щодо стану об'єкту управління (рис. 1.4б);
- повна автоматизація управління, яка об'єднує застосування інформації щодо задач управління та інформації щодо стану об'єкту (рис. 1.4в). В даному випадку управління реалізовано без участі оператора, тобто автоматично.

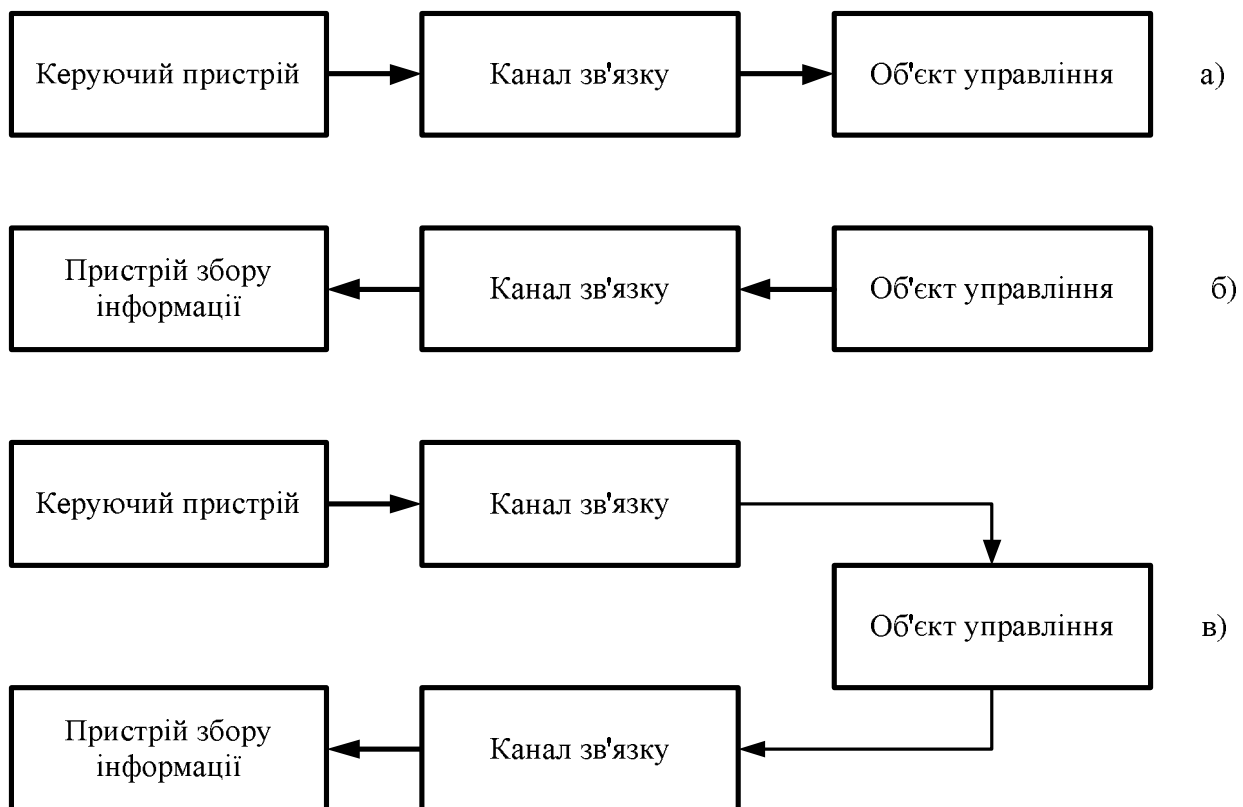


Рис. 1.4. Функціональні схеми управління

Розрізняють локальне і системне управління. Локальне полягає у формуванні дій (у зоні одного елемента ВДМ) на основі статистично оцінених мікро- або макрохарактеристик транспортних потоків (ТП). Цільова функція локального управління забезпечує отримання оцінки ефективності функціонування ТП на окремому

елементі вулично-дорожньої мережі (ВДМ) без урахування сусідніх.

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

1.4. Умови руху транспорту на вулично-дорожній мережі

Можливості, шляхи і засоби автоматизації управління дорожнім рухом (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 багатфакторність умов руху і їх значний вплив на управління і режими руху АТЗ. Стосовно АТЗ, умови руху можуть вплинути на вибір маршруту, напряму і швидкості руху; форму, кількість і частоту потрібних операцій управління; динамічні параметри АТЗ, безпеку 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, характеристики умов руху можливо віднести до руху одного АТЗ або до 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 параметри реальної ситуації 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.

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, складом 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 повздовжнього 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 обставин 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 дорожніх обставин - це сукупність параметрів, що характеризують наявність і стан предметів розташованих вздовж дороги на узбіччі, елементів облаштування доріг і наявність інших учасників руху, здатних вплинути на управління і режими роботи АТЗ. Дорожні обставини сприймаються в зоні інформаційного поля АТЗ - простору, з якого обирається інформація, необхідна для управління рухом АТЗ. Розміри інформаційного поля повинні забезпечувати безпеку руху при появі тимчасової або безперервної перешкоди.

Погодно-кліматичні умови характеризують стан навколишнього середовища, що оточує АТЗ, його 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 вагомими 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, запилювання 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 ДТП. Діючі АСУДР повинні враховувати параметри зовнішнього середовища при формуванні керуючих параметрів.

1.5. Опис процесу управління дорожнім рухом

Управління дорожнім рухом в умовах зниження пропускної спроможності ВДМ вимагає досконалих методів управління рухом. Останнім часом все більшу актуальність набуває застосування АСУДР, складовою яких є технічні засоби, що реалізують певні технологічні алгоритми управління транспортними потоками. Загальну схему процесу управління наведено на рисунку 1.5.

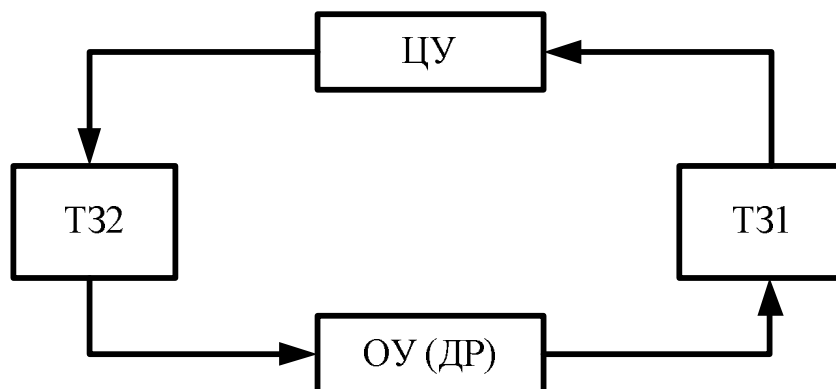


Рис. 1.5. Схема процесу управління дорожнім рухом: ТЗ1 - технічні засоби першої групи до яких належать пристрої, що проводять вимір основних параметрів транспортного потоку; ТЗ2 - технічні засоби другої групи - світлофорні пристрої та знаки, що керуються; ЦУ - центр управління системою; ОУ (ДР) - об'єкт управління, яким є дорожній рух.

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. 1.5.) виконують ту чи іншу задачу. Так, технічні засоби першої групи (ТЗ1), до яких належать пристрої, що проводять вимір основних параметрів транспортного потоку (інтенсивності (N), швидкості (V) та склад 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 ОУ (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 дорожнього руху.

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. У розімкнутих системах не враховується зміна інформації щодо параметрів об'єкта управління, а у замкнених системах процес формування управляючої дії засновується на вимірі параметрів об'єкта управління. Передача параметрів об'єкта управління в керуючий пристрій для їх обробки, має назву зворотного зв'язку. Перевагою замкнутих систем щодо розімкнутих є те, що процес управління дорожнім рухом залежить від стану

транспортного потоку та його параметрів. Ці обставини значно підвищують ефективність та якість управління дорожнім рухом.

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

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

$$\eta = \frac{n}{N}; \text{ або } \eta = \frac{\sum_{i=1}^n \alpha_i n_i}{N} \quad (1.2)$$

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 управління дорожнім рухом 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.

1.6. Особливості 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 вільний вибір 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 специфічні, з точки зору управління, властивості.

Першою особливістю транспортного потоку є його нестационарність, причому спостерігаються коливання його характеристик, принаймні, в трьох циклах: добовому, тижневому і сезонному.

Другою особливістю є стохастичність транспортного потоку, параметри якого допускають визначення прогнозу тільки з певною мірою вірогідності. Зупиняючись на цьому моменті детальніше, відмітимо, що транспортний потік на підставі теорії подібності описується параметрами, що і потік рідини або газу: швидкістю, щільністю, а також 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, яка у свою чергу має певні параметри, що допускають більш-менш суворий опис. Як правило, топологія транспортної мережі описується довжиною і пропускною спроможністю її ділянок, складніше отримати опис стану покриття, який залежить від зовнішнього середовища. Тому характеристики транспортної мережі теж є нестационарними. Стан покриття залежить від погодних умов, топологія мережі – від містобудівних заходів і, навіть, від проведення дорожніх робіт. Природно, що

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 тощо.

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 – є безліч критеріїв ефективності та якості управління. Дорожній рух в районі транспортної мережі або місті, керований певним чином, має деякі критерії, 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 критеріїв взаємозв'язані, але вибір одного 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 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.

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

1.7. Транспортний потік – джерело впливу на навколишнє середовище

У системах управління транспортний потік розглядається, як самостійний об'єкт управління і при вирішенні екологічних задач у транспортній системі.

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. 1.6).



Рис. 1.6. Класифікація методів визначення екологічних характеристик

Недоліки емпіричного методу:

- неможливість розповсюдження отримуваних експериментальних залежностей за ті рамки, що спостерігаються при експериментальних дослідженнях;
- відсутність оцінки 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 мірі 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.

1.8. Аналіз режимів руху автомобілів у транспортному потоці

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 (рис. 1.7).

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%.

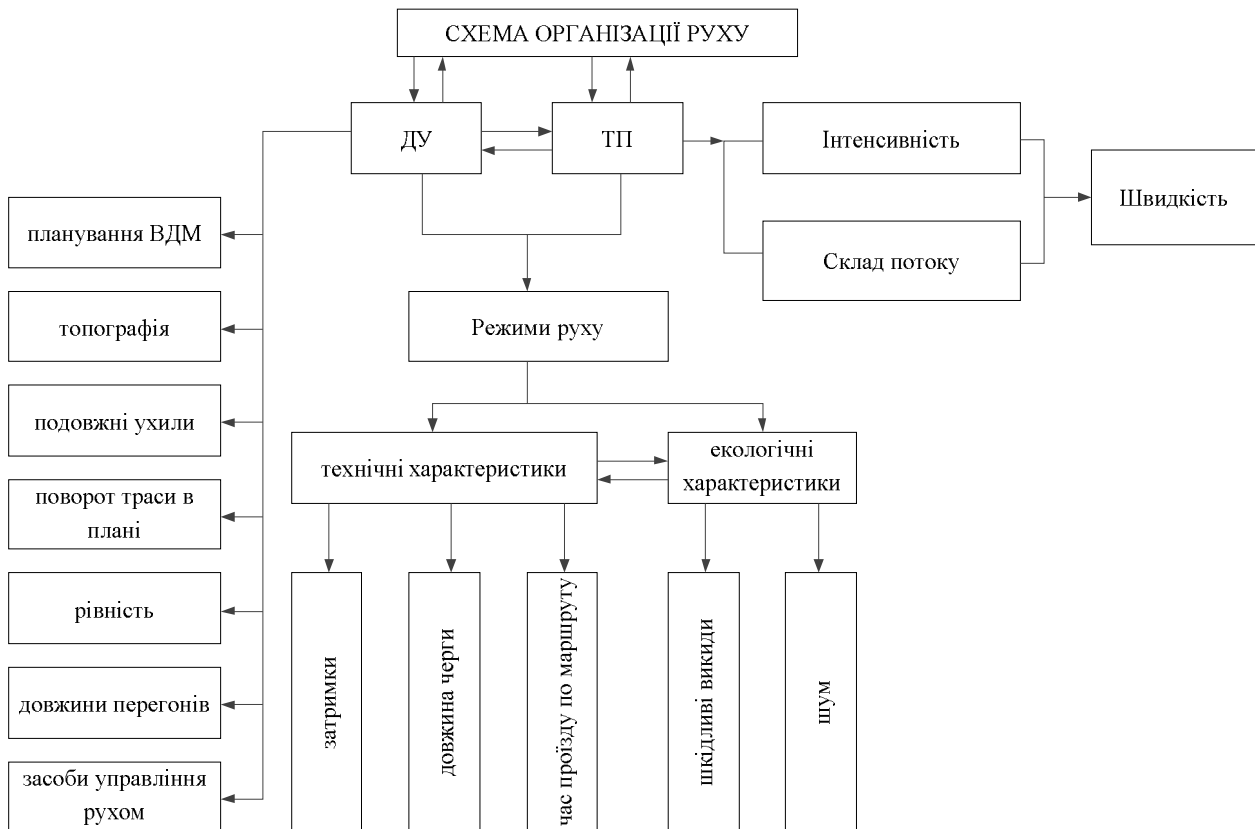


Рис. 1.7. Структурна схема стану системи «ДУ – ТП» («Дорожні умови – транспортний потік»).

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 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:

1) розгін.

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

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

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:

$$j_p = \frac{dv}{dt} = (a + b \cdot v)^{-1}, \quad (1.3)$$

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 $\frac{dv}{dt} = a^{-1}$, 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 :

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

$$t_p = \int_0^t t = \int_0^v (a + bv)dv \quad . \quad (1.4)$$

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

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

$$S_p = \int_{v_1}^{v_2} v dt, \quad S_p = 0,5av^2 + 0,333bv^3. \quad (1.5)$$

Внаслідок обробки експериментальних даних про характеристики руху автомобілів, що розганяються з першого місця в черзі, були одержані значення параметрів a і b , котрі наведено у таблиці 1.1.

Таблиця 1.1

Значення параметрів a, b

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

Отримані залежності зміни часу розгону від його шляху розгону, які наведено на рисунку 1.8.

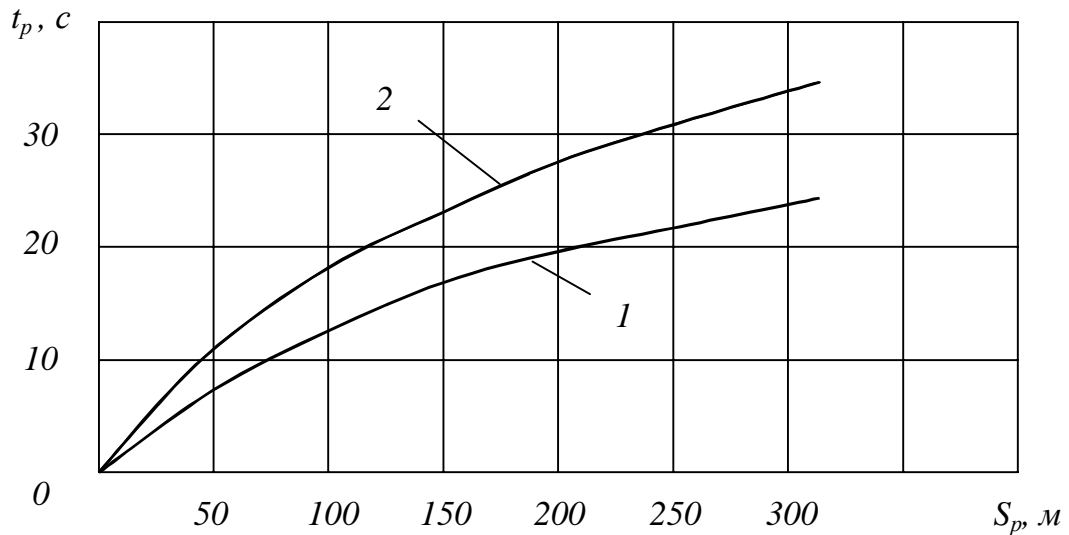


Рис. 1.8. Зміна часу та шляху розгону автомобіля, що стоїть на першому місці у черзі: 1 - легкові автомобілі; 2 - вантажні автомобілі.

2) гальмування.

В місті, при проїзді регульованого перехрестя характер і спосіб гальмування залежить від роботи світлофорної сигналізації (екстремне, 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 (рис. 1.9).

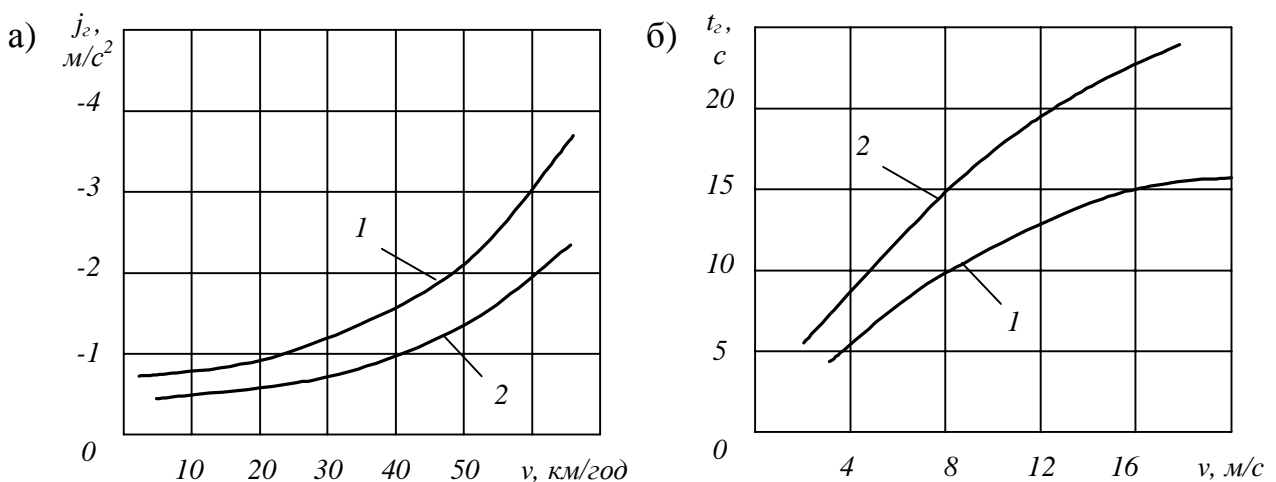


Рис. 1.9. Залежність характеристик руху від поточної швидкості легкового (1) і вантажного (2) автомобілів: а) сповільнення при гальмуванні; б) час повного гальмування від початкової швидкості руху.

Кореляційне рівняння, що описує залежність, показано на рисунку 1.9.

$$t_T = \rho \cdot (v)^{0,5}, \quad (1.6)$$

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:

$$S_T = 0,333 \cdot \rho \cdot (v)^{1,5}. \quad (1.7)$$

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 (рис. 1.10).

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

$$\delta_{0j} = \frac{1 - \lambda_j}{1 - y_j}, \quad (1.8)$$

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.

Значення

$$\lambda_j = \frac{t_{осн j}}{T_{ц}}; \quad (1.9)$$

$$y_j = \frac{N_j}{M_{нj}}. \quad (1.10)$$

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

$$M_{nj} = (\Delta \bar{\tau})^{-1}; \quad (1.11)$$

$$M_{nj} = \frac{3600}{\Delta \bar{\tau}} \text{ (для авт/год)} \quad (1.12)$$

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%):

$$\Delta \bar{\tau}_{\text{руш}} = 1,2 - 0,4\Delta_{\text{л}}; \quad (1.13)$$

$$\Delta \bar{\tau} = 3,45 - 1,15\Delta_{\text{л}}, \quad (1.14)$$

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:

$$t_{\text{очік}} = t_{\text{черв}} / 2 \quad \text{або} \quad t_{\text{очік}} = 0,5 T_{\text{ц}} (1 - \lambda_j). \quad (1.15)$$

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

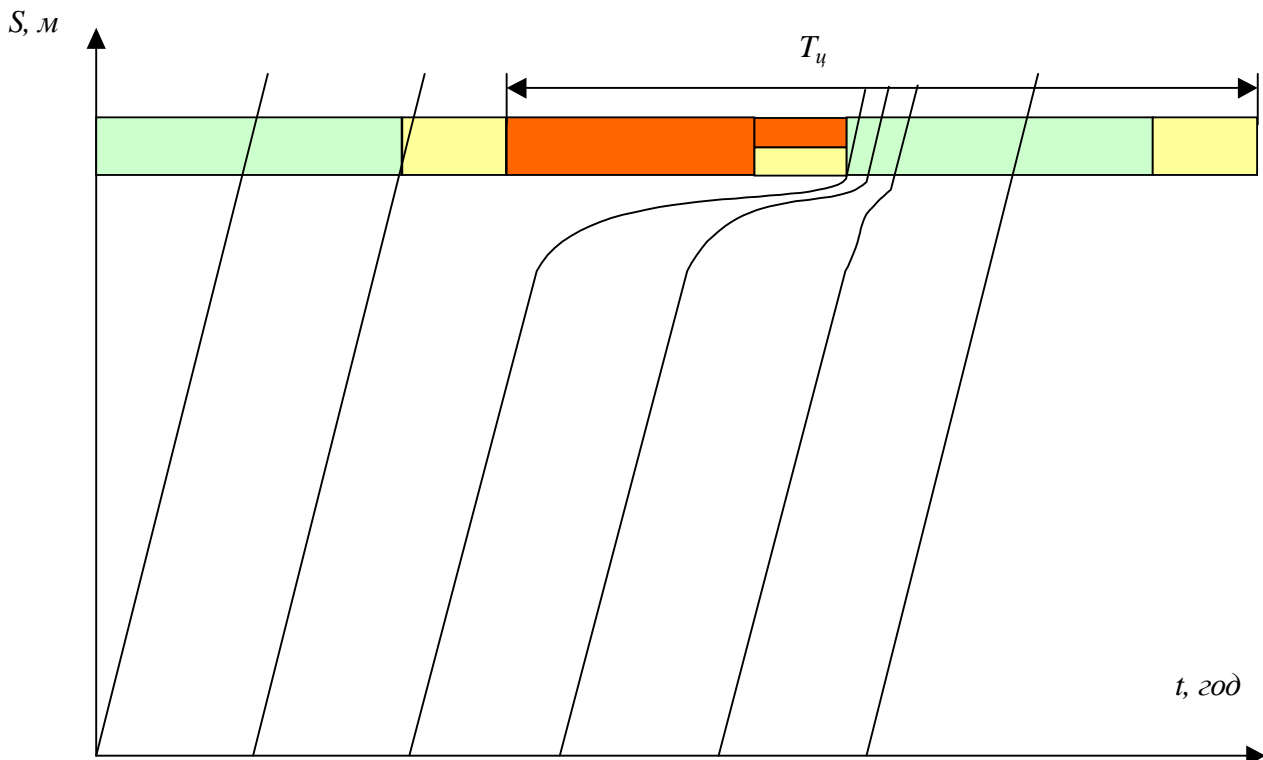


Рис.1.10. Схема проїзду транспортним потоком перехрестя з світлофорним регулюванням.

Помноживши вираз 1.15 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 $l_{ч}$, лінії, що складається з числа n_0 зупинених автомобілів певного типу, що вимірюється від стоп-лінії до задніх коліс останнього автомобіля, описується кореляційною залежністю:

$$l_{ч} = A (n_0 - 1) + B, \quad (1.16)$$

де A , B - постійні параметри, значення яких для однорідної черги наведено у таблиці 1.2.

Значення параметрів А, В

Тип автомобілів в черзі	А	В
легкові	7.5	2.4
вантажні з причепами	11	3.6
автобуси	13.5	5

2. Змішаний потік.

Довжина черги потоку змішаного складу:

$$l_{\text{ч}} = (4 \Delta_{\text{л}} + 7.5 \Delta_{\text{в}} + 10\Delta_{\text{вг}}) n_0 + 3.5 (n_0 - 1), \quad (1.17)$$

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

Від усталеної швидкості руху автомобіля, від числа його зупинок та 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:

$$t_{\text{прл}} = \delta_{0j} \cdot [(2,2 + 0,9 v_{\text{л}}) + 0,5 (1 - \lambda_j) T_{\text{ц}}] + L_{\text{п}}/v_{\text{л}}; \quad (1.18)$$

$$t_{\text{прв}} = \delta_{0j} \cdot [2,2v + 0,5 (1 - \lambda_j) T_{\text{ц}}] + L_{\text{п}}/v_{\text{в}}, \quad (1.19)$$

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.

1.9. Моделювання швидкості руху транспортного потоку

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 алгоритмів управління дорожнім рухом.

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 часу затримки перед перехрестям:

$$v_c = \frac{75 - 0,62t_n}{L_n^{0,47 - 0,0028t_n}} \ln(L_n + 1), \quad (1.20)$$

де t_n - час затримки перед перехрестям зі світлофорним регулюванням, с.

Середня швидкість транспортного потоку визначається як:

$$v_{\Pi} = v_{\text{вр}} - \alpha K_{\alpha} N, \quad (1.21)$$

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

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

$$v_{\text{вр}} = \theta \cdot v_0, \quad (1.22)$$

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 можливо визначити за залежністю:

$$\theta = m_1 \cdot m_2 \cdot m_3 \cdot m_4 \cdot m_5 \quad (1.23)$$

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

$$m_1 = L_{\Pi} / (0,057 - 0,943 \cdot L_{\Pi}) \quad (\text{при } 150 \text{ м} \leq L_{\Pi} \leq 1000 \text{ м}). \quad (1.24)$$

Коефіцієнт m_2 враховує вплив числа смуг руху:

$$m_2 = 0,92 + 0,2 R, \quad (1.25)$$

де R - число смуг руху в одному напрямку.

Для $R=2$ коефіцієнт m_2 залежить від ширини проїжджої частини в одному напрямі руху, значення якого наведено у таблиці 1.3.

Таблиця 1.3

Значення коефіцієнта m_2

Ширина проїжджої частини $B_{пч}$, м	7,5	7,0	6,5	6,0
Коефіцієнт m_2	0,96	0,94	0,9	0,85

Для $L_{п} > 1$ 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:

$$m_3 = 0,8 + 0,2 \Delta_{л}. \quad (1.26)$$

Вплив поздовжнього ухилу на швидкість вільного руху враховується коефіцієнтом m_4 , який визначається:

- при русі на ділянках підйому:

$$m_4 = 1,08 - (0,08 - 0,05 \Delta_{л}) i. \quad (1.27)$$

- при русі на ділянках спуска:

$$m_4 = 1 + 0,01i, \quad (1.28)$$

де i - поздовжній ухил в %.

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

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

$$m_5 = 1 - 0,1 S, \quad (1.29)$$

де S - бальна оцінка стану дорожнього покриття по рівності, яка визначається з таблиці 1.4.

Ранжування оцінок стану дорожнього покриття

Стан покриття	Рівність покриття		Відносна площа деформованих діляниць 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:

$$v_{вр}^* = \begin{cases} \theta v_0 & \text{при } v_{вр} \leq 1,05v_{обм} \\ 1,05v_{обм} & \text{при } v_{вр} > 1,05v_{обм} \end{cases}, \quad (1.30)$$

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 визначається залежністю:

$$v_{л} = [1 + 0,24 (1 - \Delta_{л})(1 - Z)] \cdot v_{п} \quad (1.31)$$

$$v_{в} = [1 - 0,24 \Delta_{л} (1 - Z)] \cdot v_{п} \quad (1.32)$$

де Z - коефіцієнт завантаження дороги рухом, що визначається за залежністю:

$$Z = \frac{N}{R \cdot N'_{\max}} \quad (1.33)$$

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:

$$N'_{\max} = (1070 + 530 \Delta_{\pi}) \psi, \quad (1.34)$$

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

$$\psi = \lambda_j + (1 - \lambda_j)L_{\pi} / 2, \quad (1.35)$$

де λ_j - частка ефективної тривалості дозволяючого сигналу світлофора.

1.10. Функції АСУДР

При проектуванні АСУДР визначають функції АСУДР залежно від об'єкту та мети управління, які підрозділяються на управляючі, інформаційні і допоміжні.

Залежно від рівня складності АСУДР, до управляючих функцій можливо віднести:

- автоматичне локальне управління рухом транспортних засобів на окремих перехрестях (або 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 (або 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 (чи 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 формування статистичних даних про параметри об'єкту управління, а також про режими функціонування АСУДР 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 АСУДР, реєстрація і аналіз спрацьовувань пристроїв блокувань і захисту.

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

Загальну структуру АСУДР із позначеними рівнями управління наведено на рис. 1.11. Структура відображає процес виконання функцій при їх розподіленні по відповідним рівням управління.

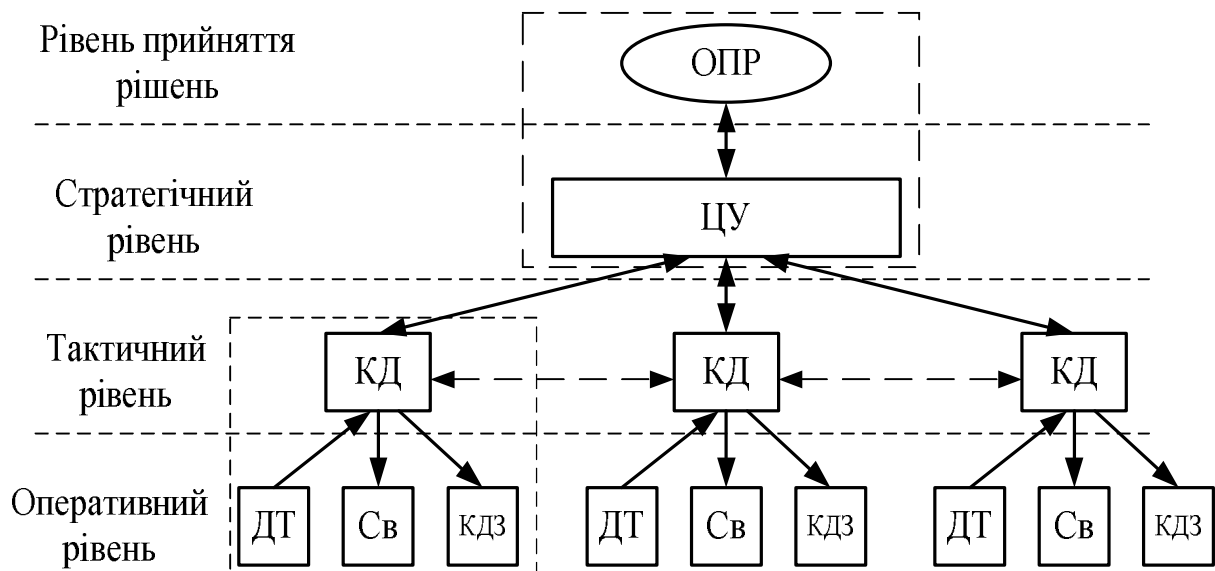


Рис. 1.11. Рівні управління в системах управління. Умовні позначення: ОПР – особа, що приймає рішення; ЦУ - центр управління; КД - контроллер дорожній; ДТ - детектор транспорту; Св - світлофор; КДЗ - керований дорожній знак.

Найважливішим принципом організації сучасних АСУДР 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 процесу дорожнього руху залежить від оптимальності керуючих впливів, які визначаються на різних рівнях управління. За призначенням усі керуючі впливи можливо розподілити на стратегічні, тактичні та оперативні.

На стратегічному рівні виконуються найбільш важливі принципові функції 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 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.
- здійснення загального контролю за організацією дорожнього руху в місті;
- рішення завдань експертизи дислокації технічних засобів організації дорожнього руху.

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 формування управління 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 управління відносяться:

- 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;
- 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..

Тактичний рівень управління має меншу інертність. Часовий крок формування управляючих дій, можливо порівняти з величиною світлофорного циклу та він складає хвилини.

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.

При цьому, управління ТП здійснюється засобом знаходження оптимального розподілу тривалості фаз з урахуванням забезпечення вимог координації, пропуском ненавантаженої світлофорної фази при багатофазному регулюванні, реалізацією фази пішохідного руху.

Оперативний рівень є найбільш дієвим за своєю швидкодією 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.

Згідно функціям АСУДР та функціям управління, кожен діючу АСУДР можна віднести до одного з п'яти поколінь, які відомі у науці та практиці:

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

Покоління 2. Розрахунок керуючих параметрів автоматизований, але введення їх в АСУДР 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 АСУДР автоматизовані. Управління здійснюється на підставі

прогнозу динаміки транспортних потоків (TRANSYT (Великобританія), система Peek Traffic з підсистемою AUT (Великобританія), АСУДР Siemens (Санкт-Петербург)).

Покоління 4. Управління в реальному часі, тобто формування та передача управляючих дій здійснюється у режимі реального часу.

Останнім часом почали функціонувати нові системи управління дорожнім рухом, які функціонують із застосуванням теорії штучного інтелекту.

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

1.11. Склад автоматизованої системи управління дорожнім рухом

У ході проектування систем управління формують її підсистеми згідно із теорією систем управління. До складу АСУДР входять такі підсистеми (рис 1.12.):

- ТЗ – підсистема технічного забезпечення;
- МЗ – підсистема математичного забезпечення;
- ПЗ – підсистема програмного забезпечення;
- ІЗ – підсистема інформаційного забезпечення;
- ОЗ – підсистема організаційного забезпечення.

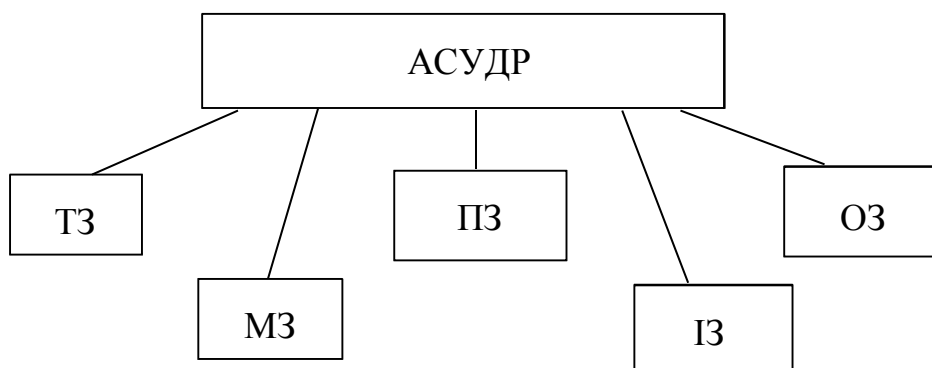


Рис. 1.12. Структура АСУДР

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

- обчислювальний комплекс (ОК) з устаткуванням для резервування та забезпечення надійності функціонування;
- технічні засоби пункту управління (ПУ) або диспетчерського устаткування;
- периферійні технічні засоби;
- апаратура сполучення з периферійними технічними засобами;
- прилади і пристрої, які необхідні для наладки і перевірки працездатності устаткування системи.

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

Програмне забезпечення призначено для обробки інформації та базується на сукупності пакетів прикладних програм, програмних модулів та операційної системи. Програмне забезпечення АСУДР 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 АСУДР.

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 автоматизованих систем управління (АСУ) повинне мати наступні властивості:

- функціональну достатність (повнота);
- надійність;
- адаптованість;

- модифікованість;
- модульність побудови і зручність експлуатації.

Математична підсистема – це 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 АСУДР.

Для кодування в АСУ вихідної інформації, використовуваної на вищестоячому рівні, мають бути застосовані класифікатори вищестоящих елементів 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;
- набори символів алфавітно-цифрові;
- коди мікропроцесорних пристроїв.

Інформаційне забезпечення АСУ має бути сумісним з програмним забезпеченням систем за змістом, за системами кодування, методами адресації, форматами даних і формами 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 зовнішніх носіях або знаходитись у пам'яті центру управління.

Форма надання 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 виконання функцій АСУ з урахуванням їх розподілу по рівнях управління.

Інструкції організаційного забезпечення АСУ повинні визначати дії технічних засобів та персоналу АСУ, які необхідні для виконання кожної автоматизованої функції, в усіх режимах функціонування АСУ та 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.

Також, згідно функцій управління організаційна підсистема повинна містити вказівки щодо дій персоналу при відмовах технічних засобів АСУ.

1.12. Структура АСУДР. Типи структури.

До загальних характеристик систем управління можливо віднести наступне:

- АСУДР є мережевим програмно-апаратним комплексом;

- АСУДР технічно складається з периферійних пристроїв (дорожні контролери, інформаційні табло, детектори транспорту тощо) 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. Відома децентралізована, централізована та ієрархічна структура АСУДР.

У децентралізованих системах, управління можливо реалізувати за допомогою незалежних один від одного пунктів управління за даними детекторів транспорту (рис. 1.13). 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. До складу пункту управління обов'язково входить дорожній контролер, як пристрій місцевого управління.

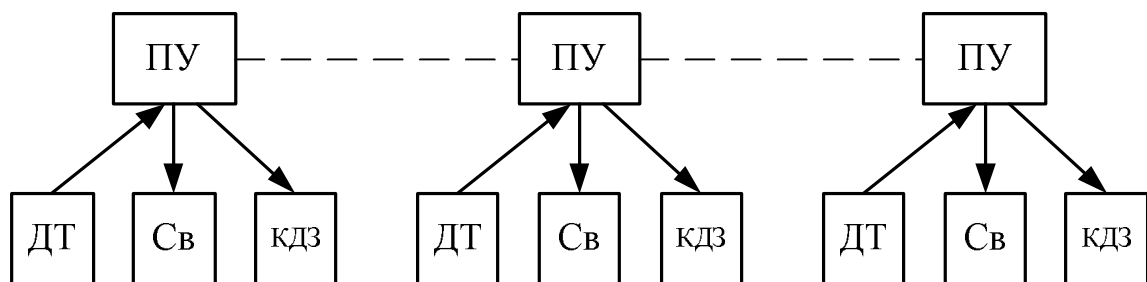


Рис. 1.13. Децентралізована структура АСУДР. Умовні позначення: ПУ - пункт управління; ДТ - детектор транспорту; Св - світлофор; КДЗ - керований дорожній знак.

Аналіз структури автоматизованих систем управління полягає у порівнянні їх функцій, що вони реалізують та загальних характеристик.

Децентралізовані АСУДР характеризуються тим, що у них відсутня необхідність створення єдиного пункту управління. Управління здійснюється кожним світлофором, керованими знаками незалежно один від одного на підставі інформації від детекторів транспорту. Складність функціонування такої системи полягає у розподіленні ділянок ВДМ як за територією, так і за управлінням.

Децентралізовану структуру АСУДР можливо застосувати при управлінні дорожнім рухом у малих містах, де транспортна мережа недостатньо розвинута. У якості району або зони управління може бути або окрема магістраль, або сукупність перехресть на вулично-дорожній мережі міста. Також за допомогою децентралізованої системи управління можливо реалізувати управління керованими дорожніми знаками у зоні дії системи.

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

Централізовані АСУДР характеризуються наявністю центру управління, пов'язаного з контролерами лініями зв'язку. Як правило, централізовані АСУДР мають можливість здійснювати багатопрограмне управління (рис 1.14) на окремих ділянках ВДМ.

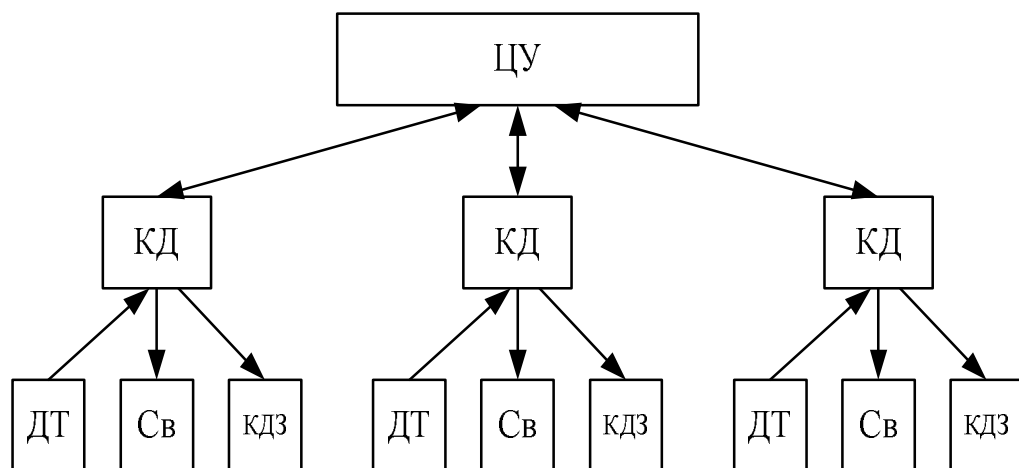


Рис. 1.14. Централізована структура АСУДР. Умовні позначення: ЦУ - центр управління; КД - контролер дорожній; ДТ - детектор транспорту; Св - світлофор; КДЗ - керований дорожній знак.

У централізованих системах центр управління отримує інформацію від дорожніх контролерів, які розташовані у зоні дії

АСУДР 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 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 можливо визначити наступне:

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

До недоліків централізованих структур можливо віднести:

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, поведження 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 та керованими дорожними знаками;
- накопичення і обробка даних за допомогою системи управління базами даних (СУБД);
- візуалізація даних;

- формування бази даних параметрів транспортних потоків.

Устаткування центру складається із комунікаційного серверу і серверу баз даних, автоматизованих робочих місць (АРМ) операторів, АРМ інженера-технолога, мультиекранами системи відеоспостереження та мнемосхеми, яка являє собою карту району ВДМ, що обслуговується, із позначеними світлофорними пристроями. В той же час, в мінімальному варіанті система може бути розгорнута на базі однієї ЕОМ.

При ієрархічній структурі (рис. 1.15.) управління окремими світлофорами, дорожніми показчиками, АТЗ, розташованими в районі дії АСУДР, 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 АСУДР та дає можливість розподілити функції управління у системі по рівням.

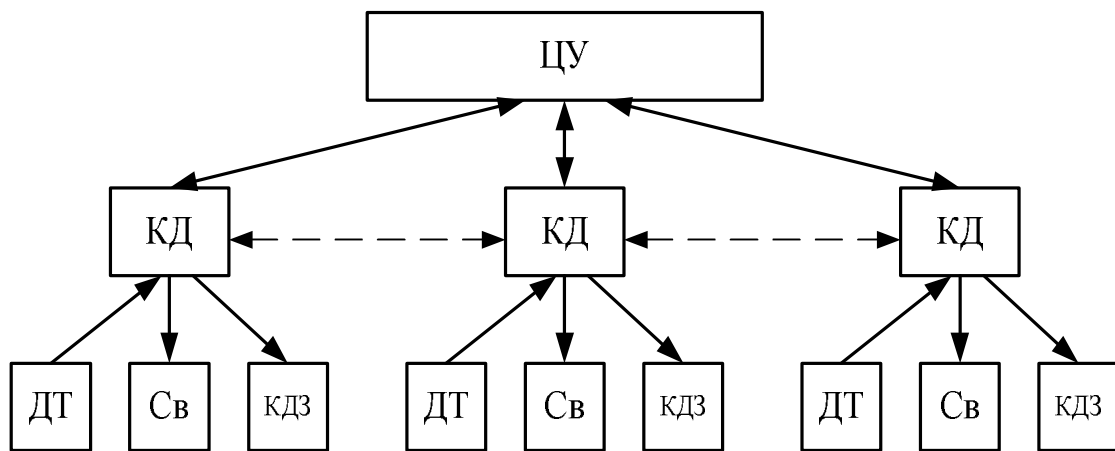


Рис. 1.15 – Ієрархічна структура АСУДР. Умовні позначення: ЦУ - центр управління; КД - контроллер дорожній; ДТ - детектор транспорту; Св - світлофор; КДЗ - керований дорожній знак.

Ієрархічна система найбільш ефективна при організації управління дорожнім рухом у великих містах та при реалізації складних алгоритмів управління дорожнім рухом. Така система має у складі центру управління групу фахівців, які приймають рішення

щодо вибору методу управління дорожнім рухом у зоні дії управління, тобто система управління реалізує функцію прийняття рішень при управлінні. Така структура є більш ефективна та працездатна, ніж попередні.

Ієрархічна структура є іншою структурою в порівнянні з централізованою. Її переваги, в порівнянні з останньою, у наступному:

1. Високі адаптаційні здібності (структурна гнучкість).

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

2. Відносно висока надійність функціонування.

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

Запитання для самоконтролю до розділу 1.

1. З яких етапів складається процес проектування складних систем?

2. Розкрийте поняття управління дорожнім рухом.

3. Розкрийте поняття регулювання дорожнього руху.

4. В чому сутність управління дорожнім рухом?

5. Перелічіть типи автоматизації, які можуть бути застосовані до технічних систем.

6. Функції локального управління.

7. Функції системного управління.

8. У чому полягають негативні наслідки автомобілізації?

9. Розкрийте поняття «умови дорожньої обстановки».

10. З яких головних етапів складається процес управління дорожнім рухом?

11. На які основні типи за принципом дії розділяють автоматизовані системи управління дорожнім рухом?

12. В чому полягає особливість об'єкту управління в АСУДР, з точки зору управління?

13. В чому полягає неповна керованість дорожнього руху, як об'єкту управління?

14. Стратегічний рівень управління дорожнім рухом та його основні функції.

15. Тактичний рівень управління дорожнім рухом та його основні функції.
16. Оперативний рівень управління дорожнім рухом та його основні функції.
17. Як визначити екологічний стан ВДМ?
18. Назвіть основні складові процесу руху, що визначають режими роботи автомобіля.
19. Які параметри визначають оцінку екологічної ситуації поблизу перехресть ВДМ?
20. Перелічіть управляючі функції АСУДР.
21. Перелічіть інформаційні функції АСУДР.
22. Які підсистеми входять до складу АСУДР? Надайте їх характеристики.
23. Які існують типи структур АСУДР?
24. Визначте основні відмінності децентралізованої, централізованої та ієрархічної структур АСУДР.
25. Перелічте функції центру управління АСУДР.

РОЗДІЛ 2. МАТЕМАТИЧНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ СИСТЕМ УПРАВЛІННЯ ДОРОЖНІМ РУХОМ

Управління дорожнім рухом забезпечує взаємодію транспортних потоків у просторі руху, межі якого визначені за типом та методами управління.

2.1. Аналіз методів управління дорожнім рухом

З урахуванням властивостей дорожньо-транспортної мережі та ієрархічного принципу обробки інформації у системах управління, відомі типи управління (рис. 2.1.):

- по окремому напрямку руху на елементах 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. 2.1. Методи управління транспортними потоками на вулично-дорожній мережі міста

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

При локальному управлінні можливе прийняття рішення по управлінню для групи транспортних засобів, що підходять до перехрестя. Крім того, на локальному рівні визначається затримка кожного автомобіля і загальна затримка на кожному напрямку руху.

Локальне управління передбачає мінімізацію показників ефективності руху транспорту на одному перехресті в рамках обмежень, що надходять з верхніх рівнів системи управління. До системних технологічних параметрів локального рівня відносяться такі параметри: тривалості циклів, кількість і черговість фаз режиму управління, параметри ТП для алгоритмів пошуку розривів у транспортному потоці.

Черговість фаз світлофорного регулювання на локальному рівні визначається планом управління, що надходить з верхнього рівня. Застосування такої процедури передбачає змінну тривалість основних тактів і більш повне навантаження перехрестя. Необхідною умовою виключення зеленого сигналу на напрямку є закінчення максимальної його тривалості, яка визначається при розробці.

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.

На вибір методу мінімізації затримок транспорту в багатопроекторних ієрархічних АСУДР впливає наступне:

а) згідно загальної концепції системного управління на локальному рівні здійснюється управління в рамках системних обмежень. Практично, це зводиться до корекції планів управління за місцевими умовами в невеликому діапазоні часу.

б) дослідження різних типів алгоритмів стверджують, що вони не суттєво відрізняються за ефективністю управління. Тому визначальним при виборі алгоритму є його реалізація. З цієї точки

зору найбільш прийнятними є методи управління за пошуком розриву у транспортному потоці.

У порівнянні зі звичайними формами реалізації локального управління, використання багатопроекторних систем дозволяє застосовувати найбільш гнучку форму цього алгоритму. 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 контрольованого напрямку, включають напрямки, що конфліктують з ним.

При розгляді методу визначення параметрів циклу і часу перемикання світлофорних сигналів на локальному рівні враховується, що в систему надходить інформація про час проїзду автомобілем перетину, на підході до якого розташовані детектори транспорту.

Магістральне управління засновується на формуванні керуючих впливів для ділянки магістралі міста з декількох пов'язаних перехресть, що задовольняє умовам координації. Основною ознакою магістрального управління дорожнім рухом є наявність беззупинного руху транспортного потоку на перехрестях магістралі.

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 план координації (ПК) розрахований як оптимальний

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 визначає 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 методів оптимізації, найбільш пристосований для подібних процесів – метод градієнтного управління. Перевагами якого є не обов'язковість попереднього визначення характеру функції управління, відносна швидкість методу і простота обчислювальної процедури. Для випадку управління транспортними потоками в АСУДР може бути реалізована модифікація методу, що забезпечує здобуття якщо і не оптимального, але принаймні кращого рішення.

Районне управління передбачає організацію руху на сукупності вулиць міського призначення, які мають спільні перетини. Системними технологічними параметрами районного рівня є резервні плани управління, 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 даного типу управління є базовий план координації, який розраховується заздалегідь і поступає з районного рівня, на підставі усереднених за певний інтервал часу параметрів руху.

Існує різновид районного управління, який передбачає координоване управління на кількох сусідніх магістралях. Однак, об'єднання магістралей в район, може бути нестійким, оскільки умови координації між магістралями можуть бути порушені протягом доби в залежності від зміни параметрів руху. У процесі районного управління для кожної магістралі обирається або формується оптимальний базовий план, відповідний тимчасовому інтервалу T_y , на якому можна вважати характеристики транспортних потоків стаціонарними. Потім приймається рішення про введення в дію або цього плану, або того, що є чинним на сусідній магістралі, де більш важкі транспортні умови. Алгоритм вибору базового плану координації для магістралі включається за умови, коли спостерігається постійне зростання транспортних затримок, незважаючи на функціонування алгоритму градієнтного управління. Сстійке зростання транспортних затримок означає, що діючий цикл перемикання світлофорної сигналізації, вже не відповідає реально сформованим умовам руху, та в першу чергу інтенсивності руху. У цьому випадку здійснюється оцінка періоду усереднення параметрів, знову визначаються усереднені значення інтенсивності та швидкості руху автомобілів за даний період і обирається або формується базовий ПК, відповідний даним параметрам.

Існуючі методи управління дорожнім рухом засновані на опису транспортних потоків у вигляді мікро- та макромоделей. При цьому мікромоделі описують транспортний потік як сукупність окремих автотransпортних засобів на підставі визначення динамічного габариту АТЗ. У макромоделі застосовують взаємодію середніх значень параметрів транспортного потоку: швидкості, щільності та інтенсивності.

Відома загальна класифікація основних методів управління транспортними потоками за територіальною ознакою, за часом дії і за типом управління (рис. 2.2) :

- 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;
- адаптивне регулювання.

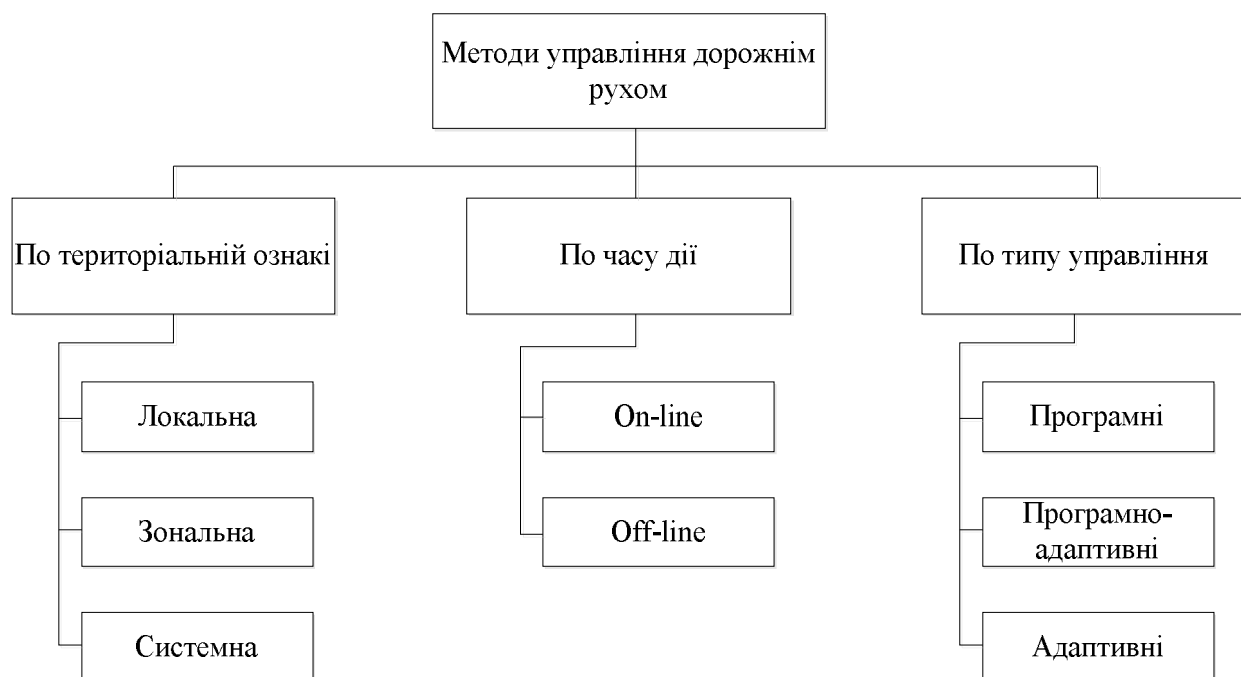


Рис. 2.2. Загальна класифікація методів управління дорожнім рухом

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 можливо навести у вигляді:

$$\bar{U} = f(\bar{N}(t), \bar{S}, Z(t)), \quad (2.1)$$

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 із другорядних напрямків. Сигнал світлофора, що дозволяє рух, для головної дороги діє постійно до надходження інформації про прибуття на підході з другорядного напрямку перехрестя автотранспортних засобів. Якщо другорядний напрямок завантажується до закінчення виділеного основного такту для головної дороги - рух по головній дорозі продовжується. Тоді керуючий вплив можна описати таким чином

$$\bar{U} = f(\bar{N}, \bar{S}, Z, \xi), \quad (2.2)$$

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.

Адаптивне 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:

$$\bar{U} = f(\bar{N}(t), \bar{S}, Z, \omega(t)), \quad (2.3)$$

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 однієї до декількох десятків.

Вибір програми, який найповніше відповідає виникаючим умовам руху, в загальному вигляді можна навести залежністю:

$$n = f(t, \{\bar{X}_T\}), \quad (2.4)$$

де n - номер програми;

t - час доби;

$\{\bar{X}_T\}$ - вектор параметрів об'єкту управління.

$$\{\bar{X}_T\} = \{\bar{N}, \bar{V}, \bar{Q}\}, \quad (2.5)$$

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

\bar{V} - вектор швидкості;

\bar{Q} - вектор параметра довжини черги.

Системне управління забезпечує оптимізацію функціонування ТП в мережі, до якої входить безліч перехресть ВДМ та базується на методах, які враховують макрохарактеристики потоків. Причому

зміна управляючих дій на одному перехресті, неминуче викликає зміну характеристик ТП на суміжних елементах ВДМ.

Особливістю сітьових АСУДР є їх призначення для визначення параметрів управління на декількох перехрестях, зазвичай пов'язаних в єдину мережу, що характеризується значною інтенсивністю руху транспортних засобів між перехрестями із невеликими (до 600..700 м) відстанями між ними. Для визначення параметрів системного управління, використовується інформація щодо топології мережі, взаємозв'язках транспортних потоків на суміжних перехрестях, а також часу проїзду між перегонами мережі.

Усі перехрестя району, на яких відбувається перерозподіл транспортних потоків, мають бути обладнані світлофорною сигналізацією, що працює з однаковим циклом регулювання. Відомим методом розрахунку жорстких сітьових 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 управління використовується зважена сума затримок транспортних засобів і кількість транспортних засобів, що зупинилися на усіх стоп-лініях перехресть мережі. Метод дозволяє враховувати в цільовій функції і інші критерії: витрати палива, затримки пасажирського транспорту, об'єм емісії газів, що відпрацювали.

Сітьові 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 зростання рівня завантаження ділянки дорожньої мережі можуть бути як випадкова зміна параметрів транспортних потоків, так і ДТП. Найбільш широко застосованим алгоритмом сітьового адаптивного управління є SCOOT, розроблений TRL спільно з фірмами Plessey (нині права перейшли до фірми Siemens AG) і Peek Traffic. Алгоритм SCOOT використовується більш ніж в 200 містах світу, наприклад, у Лондоні зона управління SCOOT охоплює приблизно 2 000 регульованих перехресть.

2.2. Адаптивні методи управління дорожнім рухом

До типу адаптивних методів можливо віднести відомі програмні та програмно-адаптивні методи управління.

За своїм змістом, задачі адаптивного управління відповідають задачам 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:

$$x_i(t) = F[x(t); U(t), \xi] + \pi(t); \quad (2.6)$$

$$U(t) \in Q_u; x(t) \in Q_x; t \in \{t_0; t\}, \quad (2.7)$$

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 параметрів 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 управління дорожнім рухом передбачається окреме і спільне застосування програмних і адаптивних (програмно-адаптивних) методів управління.

Локальні адаптивні алгоритми управління забезпечують управління окремим світлофорним об'єктом залежно від реальної ситуації. Для цього можуть бути застосовані наступні методи:

1) метод пошуку розриву у транспортному потоці, який припускає контроль присутності транспортних засобів в перерізах перегону на підході до перехрестя. Для цього детектори транспорту розташовують на відстані 30-50 м від стоп-лінії перехрестя.

При цьому тривалість основного такту t_{0i} знаходиться в межах:

$$t_{з\min} < t_{0i} < t_{з\max} \quad , \quad (2.8)$$

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

Аналогічно можливо записати вимоги для тривалості циклу світлофорного регулювання:

$$T_{\text{ц}\min} < T_{\text{ц}} < T_{\text{ц}\max} \quad , \quad (2.9)$$

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

Для визначення $T_{\text{ц}\min}$ та $T_{\text{ц}\max}$ необхідно ввести декілька функціональних залежностей типу:

$$T_{\text{ц}\min} = f(n_k) \quad (2.10)$$

$$T_{\text{ц}\max} = f(n_i) \quad (2.11)$$

$$\Delta t_{\text{ек}} = f(v_i) \quad (2.12)$$

$$\Delta t_{\text{ек}} = f(n_i) \quad (2.13)$$

де n_k - довжина черги на напрямку, на якому включається зелений сигнал у момент виключення червоного сигналу;

n_i - довжина черги в конфліктуючому напрямку;

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

v_i - швидкість руху автомобілів в дозволеному напрямі;

i - номер відповідного напрямку руху.

2) метод роз'їзду черги вимагає визначення довжини черги на напрямках проїзду через перехрестя. Визначення довжини черги

може здійснюватися як шляхом натурних спостережень, так і розрахунковим методом на підставі порівняння кількості транспортних засобів, що пройшли через два контрольовані перерізи перегону - у стоп-лінії і на деякій відстані від неї;

3) метод розрахункового визначення тривалості циклу і фаз регулювання, заснований на використанні виміру в реальному часі даних інтенсивності транспортних потоків і швидкості розвантаження черг на напрямках проїзду через перехрестя. Розрахунок може виконуватися 1 раз у 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 у інтервалі 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:

$$x_i = \frac{N_i T_{\varphi}}{M_i g_i} \quad (2.14)$$

де N_i - інтенсивність руху в дозволеному напрямі цієї фази;

i - номер фази;

M_i - величина потоку насичення в цій фазі;

g_i - ефективна тривалість фази, тобто частина фази, протягом якої відбувається перетин стоп-лінії.

5) метод прогнозу прибуття АТЗ до перехрестя, який припускає визначення моментів перетину транспортними засобами перерізів перегону, розташованих на значному (200..300 м) видаленні від стоп-ліній перехрестя. Ця інформація дозволяє прогнозувати моменти прибуття транспортних засобів до стоп-ліній.

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

2.3. Програмні методи управління дорожнім рухом

Окрім адаптивного управління світлофорним регулюванням на перехресті, можливе застосування системи багатопрограмного управління, у якій 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%. Практика застосування методу доводить, 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 тощо), а також програм жовтого миготіння.

2.3.1. Методи управління дорожнім рухом в режимі реального часу.

На підставі системного підходу до управління дорожнім рухом, усі методи управління дорожнім рухом можливо розподілити 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 мінімуму. Відомі жорсткі системи реального часу та м'які. Жорсткою системою

реального часу вважається така система управління, у якій запізнення управляючої дії призводить до «загибелі» об'єкта управління.

М'які системи управління реального часу припускають запізнення управляючої дії на об'єкт управління. При цьому важливе значення має попереднє визначення тривалості запізнення управляючої дії.

До цього типу методів відносяться алгоритми автоматизованого управління, засновані на отриманні інформації від датчиків транспортних потоків. Серед автоматизованих on-line методів слід назвати в першу чергу такі, які пов'язані з оперативною зміною параметрів світлофорного регулювання: різні варіанти місцевого гнучкого регулювання (МГР), а також метод сітьового управління SCOOT. Такі методи широко застосовуються у діючих за кордоном системах автоматизованого управління дорожнім рухом (АСУДР), а у вітчизняних системах можлива реалізація обмеженого набору алгоритмів МГР. До іншої групи on-line методів слід віднести алгоритми, не пов'язані зі світлофорним регулюванням, тобто: використання керованих знаків і табло, на яких відображаються управляючі дії на дорожній рух та організація реверсивних смуг руху. Такі методи реалізовані в окремих зарубіжних системах управління.

2.3.2. Методи управління ДР поза режимом реального часу.

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 АСУДР, що реалізують управління поза реальним часом, припускають автоматизацію усіх трьох етапів. Виняток становить автоматизація ухвалення рішень при примусовому розподілі транспортних потоків. У вітчизняних АСУДР 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 та 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. Автоматичне доведення ряду управляючих параметрів до засобів регулювання у вітчизняних АСУДР реалізоване за допомогою мікропроцесорних дорожніх контролерів.

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 АСУДР і в більшості вітчизняних (для обмеженого набору параметрів, що управляють). З певним наближенням до цієї ж групи можливо віднести розташування 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, тощо. 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.

2.4 Координоване управління дорожнім рухом

2.4.1. Типи систем координованого управління.

Магістральні вулиці міського значення - це вулиці, які служать основними шляхами, як для транзитного руху, так і для забезпечення безпосереднього зв'язку між основними пунктами відправлення та призначення: центральним діловим районом,

головними районами зайнятості, центрами розподілу і відправки товарів між селитебними районами міста. Сукупність магістральних вулиць міста, які мають точки перетину, можна визначити як мережу магістралей міста, а місця перетину магістралей - як вузлові перехрестя.

На магістралях міста, з метою підвищення безпеки руху та збільшення пропускної спроможності вулично-дорожньої мережі, доцільно проводити координацію роботи світлофорних пристроїв. Під координацією розуміється узгоджена робота світлофорних об'єктів на магістралі міста з метою організації без зупинного проїзду транспортних засобів через суміжні перехрестя вулично-дорожньої мережі міста.

Системи координованого управління розподіляються на синхронні, асинхронні та прогресивні системи управління дорожнім рухом. Синхронна система управління є нескладною та полягає у реалізації одночасного включення однакових фаз світлофорного регулювання однакової тривалості та асинхронна система із одночасним включенням протилежних фаз світлофорного регулювання із однаковою тривалістю на суміжних перехрестях магістралі (рис. 2.3).

Застосування синхронної системи координованого управління із одночасним включенням однакових фаз регулювання можливо при наявності наступних умов:

- якщо довжина перегонів між перехрестями магістралі однакова;
- якщо час проїзду від перехрестя до перехрестя із постійною швидкістю дорівнює циклу світлофорного регулювання, або величині кратній йому.

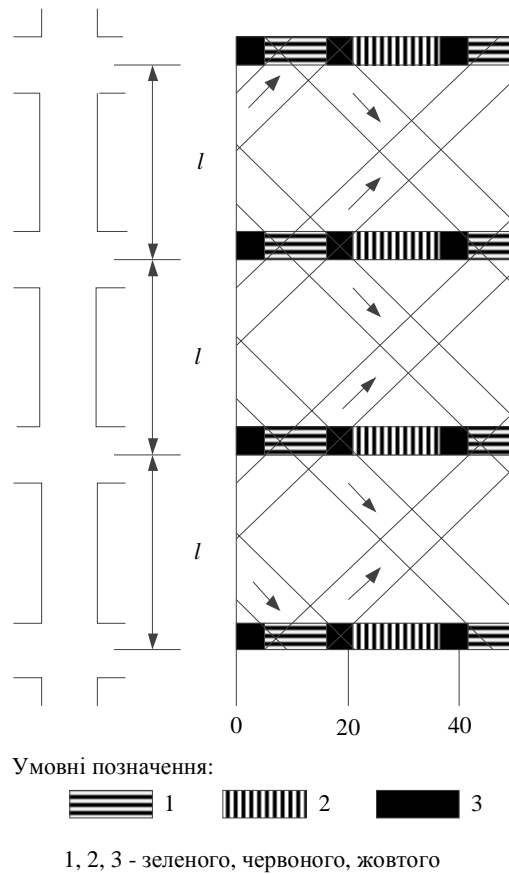


Рис. 2.3. Графік синхронної системи координованого управління із одночасним включенням однакових фаз регулювання.

Взаємозв'язок між тривалістю циклу світлофорного регулювання $T_{\text{ц}}$ (с), швидкістю руху V (м/с) та довжиною перегону l (м) у синхронній системі координованого управління можливо описати залежністю:

$$T_{\text{ц}} = \frac{l \cdot n}{V}, \quad (2.15)$$

де n - кількість кратності зміни дозволяючих фаз світлофорного регулювання.

Асинхронна система із одночасною подачею різнойменних фаз регулювання однакової тривалості (рис. 2.4.) застосовується у випадках, коли автотранспортний засіб при русі по перегону наближається до наступного перехрестя через час, який дорівнює $0,5 T_{\text{ц}}$ або $1,5; 2,5$ циклу регулювання.

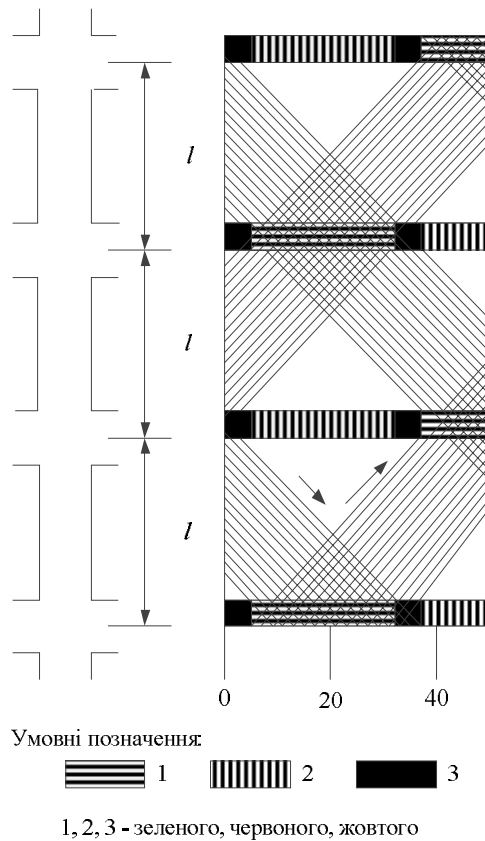


Рис. 2.4. Графік асинхронної системи координованого управління із одночасним включенням протилежних фаз регулювання.

Для функціонування такої системи тривалість циклу світлофорного регулювання визначається залежністю:

$$T_{\text{ц}} = \frac{l \cdot a}{V} , \quad (2.16)$$

де a - дорівнює 0,5; 1,5; 2,5...

Асинхронна система із одночасним включенням різнойменних фаз регулювання застосовується у містах, де існує прямокутна транспортна планувальна структура.

До недоліків синхронної та асинхронної систем координованого управління (КУ) можливо віднести той факт, що при однаковій тривалості дозволяючих проїзд фаз регулювання, пропускна спроможність перехрестя використовується неефективно. Усунути цей недолік можливо при застосуванні прогресивних систем КУ, які функціонують у випадках, коли перегони магістралі мають різну довжину та діють за принципом

«зеленої хвилі». Прогресивні системи підрозділяються на 2 типи: із постійними циклами світлофорного регулювання та змінними циклами. Обидва типи прогресивного КУ можуть функціонувати як багатoprogramні системи управління дорожнім рухом.

Прогресивний метод координації світлофорних циклів полягає в тому, що при будь-яких умовах планувальних структур (різні відстані між перехрестями), складу і розмірів потоків транспорту, забезпечується безперервний рух. Складність методу полягає в тому, що при проектуванні прогресивної системи управління враховуються такі чинники: відстань між перехрестями; швидкості руху між перехрестями; час прибуття транспорту до перехресть, обумовлене різними відстанями і швидкостями руху в протилежних напрямках; інтенсивності потоків транспорту, що перетинають основну магістраль на перехрестях.

Для виявлення залежності взаємодії автотранспортних засобів у групі автомобілів при русі на перегоні магістралі проведено дослідження процесу утворення груп АТЗ в транспортному потоці. Одна з можливих схем процесу утворення та роз'їзду груп автомобілів біля перехрестя полягає в наступному: при зеленому сигналі на головному напрямку частини утвореної групи роз'їжджається з інтенсивністю M_1 , яка дорівнює величині потоку насичення. Після розвантаження черги в момент a_1 , автомобілі проїжджають через перехрестя транзитом з інтенсивністю $I_1'(t)$ до моменту включення жовтого сигналу g . Після цього відбувається аналогічний процес у напрямку, що перетинає попередній напрямок, з характеристиками $M_2, I_2'(t), a_2$.

Для опису процесу формування груп транспортних засобів приймаємо наступні позначення й припущення.

Середній час проїзду перегону ($\bar{\tau}$) довжиною (l) не залежать від $I(t)$ - часової інтенсивності транспортного потоку, а залежать лише від сумарної інтенсивності транспортного потоку на перегоні. Випадковий час руху по перегону розподілено за нормальним законом:

$$f(\tau) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma}} \cdot e^{-\frac{(\tau-\bar{\tau})^2}{2\delta}}, \quad (2.17)$$

де σ - дисперсія розподілу.

Тоді за допомогою перетворень, інтенсивність транспортного потоку можливо записати залежністю:

$$I_1(t) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma}} \cdot \int_0^t I'_1(t-\tau) \cdot e^{-\frac{(\tau-\bar{\tau})^2}{2\delta}} dt. \quad (2.18)$$

Достовірність та статистичну надійність функції (2.18) доведено у дослідженнях.

Припускаємо, що час проїзду перегону не перевершує тривалості циклу. Тоді будемо розглядати тільки ту частину потоків з обох напрямків, які потрапляють на перегін за час циклу. При вирішенні даної задачі вплив групи другорядного напрямку на розподіл автомобілів по перегону і розподіл часу прибуття до наступного перехрестя не розглядається. Тоді вираз (2.18) буде мати вигляд:

$$I_2(t) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma}} \cdot \int_0^{t-G} I'_2(t-\tau) \cdot e^{-\frac{(\tau-\bar{\tau})^2}{2\delta}} dt. \quad (2.19)$$

Надамо опис $I'_1(t)$ и $I'_2(t)$ у вигляді ступінчастих функцій

$$I'_1(t) = \begin{cases} M_1, & 0 < t \leq a_1 \\ N_1, & a_1 < t \leq g \\ 0, & g < t \leq T \end{cases} ; \quad (2.20)$$

$$I'_2(t) = \begin{cases} M_2, & G < t \leq a_2 \\ N_2, & a_2 < t \leq T \\ 0, & t \leq G \end{cases} . \quad (2.21)$$

Графічне зображення функцій наведено на рисунку 2.5.

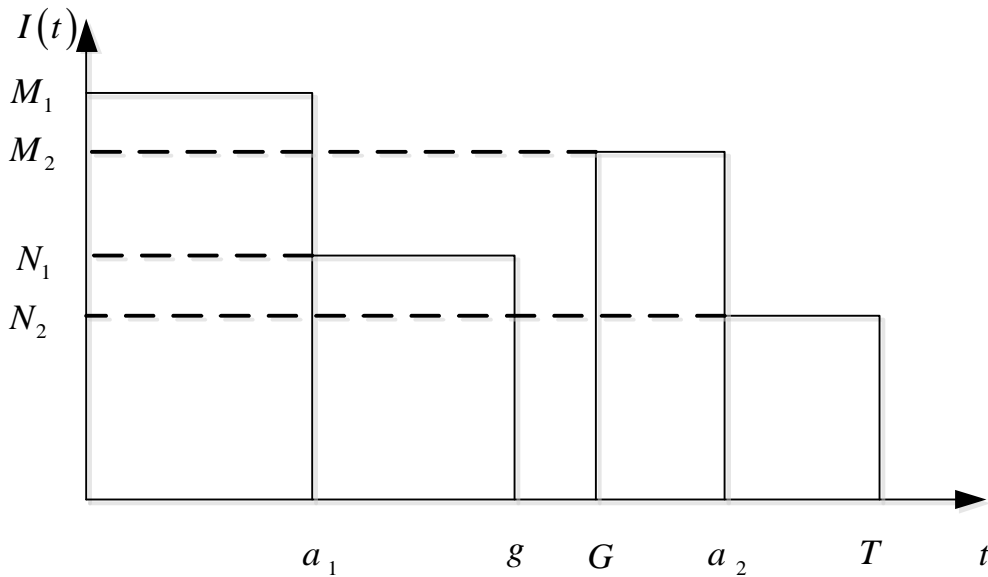


Рис. 2.5. Ступінчасті функції $I_1'(t)$ и $I_2'(t)$

Ступінь ефективності координації визначається співвідношенням складових M та N в залежностях (2.20) і (2.21).

Будемо розглядати зміну значень $I_1(t), I_2(t)$ на інтервалі $G \leq t \leq T$, тоді як в момент G починається рух з другорядного напрямку і формується сумарна інтенсивність $I_1(t) + I_2(t)$ транспортного потоку.

Припустимо, що розташовані групи на перегоні не мають взаємного впливу одна на одну, тобто процес дифузії обох груп автомобілів відбувається як би на паралельних смугах, що є можливим на підставі визначення магістралі. У цьому разі сумарна інтенсивність $I_1(t) + I_2(t)$ на будь-якому перетині перегону буде характеризувати об'єднання груп. Тоді, з урахуванням (2.20) та (2.21), співвідношення (2.18) і (2.19) мають наступний вигляд:

$$I_1(t) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma}} \left(\int_{t-a_1}^{t-G} M_1 e^{-\frac{(\tau-\bar{\tau})^2}{2\sigma}} dt + \int_{t-g}^{t-a_1} N_1 e^{-\frac{(\tau-\bar{\tau})^2}{2\sigma}} dt \right); \quad (2.22)$$

$$I_2(t) = \begin{cases} \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma}} \left(\int_{t-a_2}^{t-G} M_2 e^{-\frac{(\tau-\bar{\tau})^2}{2\sigma}} dt + \int_0^{t-a_2} N_2 e^{-\frac{(\tau-\bar{\tau})^2}{2\sigma}} dt \right), & G < t \leq a_2 \\ \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma}} \int_0^{t-G} M_2 e^{-\frac{(\tau-\bar{\tau})^2}{2\sigma}} dt, & a_2 < t \leq T. \end{cases} \quad (2.23)$$

Припустимо, що на розглянутих підходах до перехрестя рух ідеально скоординовано, тобто до моменту включення зеленого сигналу на i -му напрямку на вхід перегону надходить створена група автомобілів з тимчасовою довжиною $P_i(0)$ і інтенсивністю N_i . Тоді співвідношення (2.22) і (2.23) приймуть вигляд:

$$I_1(t) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma}} \int_{t-P_1(0)}^t N_1 e^{-\frac{(\tau-\bar{\tau})^2}{2\sigma}} dt, \quad G < t \leq P_2(0); \quad (2.24)$$

$$I_2(t) = \begin{cases} \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma}} \int_0^{t-G} N_2 e^{-\frac{(\tau-\bar{\tau})^2}{2\sigma}} dt, & G < t \leq P_2(0) \\ \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma}} \int_{t-P_2(0)}^{t-G} N_2 e^{-\frac{(\tau-\bar{\tau})^2}{2\sigma}} dt, & P_2(0) < t \leq T. \end{cases} \quad (2.25)$$

Слід зауважити, що інтервали між групами в цьому випадку можна визначити із співвідношень:

$$\Delta t_{i,j} = G - P_1(0), \quad \Delta t_{j,i} = T - G - P_2(0), \quad (2.26)$$

де Δt_{ij} - часовий інтервал між групами i -го та j -го напрямків.

При цьому умова, щодо довжини перегону, при виконанні якої перехрестя поводитья як ізольоване, має вигляд:

$$l \geq \max \left\{ 125 \cdot v \cdot \ln \frac{G}{P_1(0)}, 125 \cdot v \cdot \ln \frac{T-G}{P_2(0)} \right\}, \quad (2.27)$$

де v - середня швидкість потоку;

T - період циклу світлофорного регулювання;

l - довжина перегону.

Таким чином, показником взаємодії груп автомобілів прямого і зворотного потоків може бути сумарне значення інтенсивності ТП (2.22) і (2.23) в один і той же момент часу. Були проведені обчислення при різних комбінаціях значень параметрів умов руху на перегоні і параметрів циклу світлофорного регулювання за формулою (2.27), які дозволили визначити граничні значення довжини перегону, на якому інтервал часу між групами не перевищує середнього інтервалу між автомобілями в групі, тобто транспортний потік стає стаціонарним при певних параметрах перегону вулично-дорожньої мережі. Отримана розрахункова довжина перегону варіюється в інтервалі 170 - 1200 м.

Методи координованого управління можуть бути реалізовані як програмні, адаптивні та програмно-адаптивні. Програмне керування засноване на статистичній сталості (стійкості) характеристик транспортних потоків і полягає в попередньому розрахунку плану координації по заздалегідь визначеним параметрам режимів руху.

Програмно-адаптивний метод управління є найбільш перспективним при вирішенні завдань підвищення ефективності управління дорожнім рухом на магістралях міста. Розглянемо його докладніше.

В залежності від варіювання параметрами координації виділяють такі типи програмно-адаптивного управління:

- зі зміною планів координації за часом доби, тижня, сезону;
- зі зміною планів координації, які пов'язані із зміною параметрів транспортного потоку;
- із загальною корекцією планів координації.

У першому типі управління визначення керуючих параметрів відбувається при наступних припущеннях в певній послідовності.

На підставі епізодичних вимірювань параметрів транспортних потоків – $F_3(N)$ у порівнянні з контрольними значеннями – $F_{кз}(N)$ (N – інтенсивність ТП). При $F_{кз}(N) - F_3(N) \geq C$ проводимо перерахунок бібліотеки планів координації $\{Y_i\}$. Величина C визначається експертним шляхом. Запуск в дію плану Y_i відбувається при збігу реального часу t_p з контрольним t_k .

У разі програмного управління зі зміною планів координації за параметрами ТП, зміна планів координації відбувається в результаті аналізу в керуючій підсистемі управління параметрів транспортних потоків. Аналіз параметрів зазвичай здійснюється до їх усереднення протягом заздалегідь заданого періоду часу T_y і отримання оцінки:

$$N^j(T_y) = \frac{\sum_i^n N_i^j}{n}, \quad (2.28)$$

де n - кількість вимірювань протягом T_y ;

N_i^j - значення вимірюваної інтенсивності ТП у відповідних перетинах j ВДМ за період часу t_i .

При цьому:

$$\sum_i^n t_i \leq T_y \quad . \quad (2.29)$$

Після отримання оцінки $\bar{N}(T_y)$, здійснюється підбір найближчого багатомірного контрольного вектора $\bar{N}_k(i)$, ($i=1..m$) , із заздалегідь заданої множини значень інтенсивності по мінімуму вектора різниці ($\bar{R}_{\min i}$):

$$\bar{N}(T_y) - \bar{N}_k(i) = \bar{R}_{\min i} \quad . \quad (2.30)$$

Для кожного контрольного вектора існує заздалегідь розрахований план координації. При прийнятті рішення про введення нового плану координації замість чинного, необхідно враховувати наявність перехідного інтервалу T_{nep} , протягом якого, ефект від координованого управління різко знижується і практично стає рівним нулю. Тому, рішення про зміну плану координації Y_l на план Y_k , слід приймати за умови:

$$F_3(Y_k)T_y < F_3(Y_l)(T_y - T_{nep}), \quad (2.31)$$

де $F_3(Y_k)$ - ефективність управління за одиницю часу при діючому плані і відповідній різниці;

$F_3(Y_l)$ - ефективність нового плану.

Практичні вимірювання, проведені на діючих системах, показують, що тривалість $T_{пер}$ становить два або три циклу світлофорного управління. Оцінки $F_3(Y_k)$ та $F_3(Y_l)$ у фіксований час можуть бути отримані попередніми натурними вимірюваннями або моделюванням. Тривалість T_y може бути обрана за критерієм мінімальної помилки усереднення вимірюваних параметрів.

У випадку програмного управління із загальною корекцією планів координації, алгоритм доповнюється процедурою загальної корекцією плану координації. Вихідними передумовами застосування загальної корекції плану координації є два основні припущення.

Перше зводиться до апроксимації залежності швидкості руху транспортних потоків від їх інтенсивності лінійною функцією:

$$v_{mn} = v_{вил} - K_1 J, \quad (2.32)$$

де $v_{вил}$ - усереднене значення норми вектора швидкості вільного руху автомобілів за умови їх незалежного руху;

K_1 - коефіцієнт пропорційності та приведення розмірності;

J - норма вектора інтенсивності руху.

Друге припущення полягає в тому, що інтенсивність руху і оптимальний цикл управління також зв'язані лінійною залежністю

$$T_{opt} = K_2 J', \quad (2.33)$$

де K_2 - коефіцієнт лінійного рівняння;

J' - норма вектора інтенсивності руху, за якою приймається рішення щодо вибору і оптимізації циклу координованого управління.

З урахуванням прийнятих припущень у процесі загальної корекції виконуються наступні операції:

а) обчислюється різниця між вектором результату вимірювання параметрів транспортних потоків і контрольним вектором:

$$\vec{R}_i = N(T_y) - N_k(i); \quad (2.34)$$

б) визначається коефіцієнт корекції плану координації як функція від \vec{R}_i :

$$K_{кор} = F(\vec{R}_i, \chi), \quad (2.35)$$

де χ - коефіцієнт перерахунку;

в) всі параметри плану корекції програми управління збільшуються відповідно отриманому коефіцієнту, також і тривалість циклу світлофорної сигналізації та тимчасові зрушення фаз регулювання, тобто

$$Y_{i\text{ кор}} = Y_i K_{кор}. \quad (2.36)$$

Однак, такий підхід не завжди буває доцільним, тому що при цьому збільшується тимчасова затримка АТЗ на магістралі.

Загальною ознакою програмних методів управління є затримка у керуючій підсистемі на інтервал усереднення параметрів транспортних потоків (T_y). Дана затримка обумовлює невідповідність плану координації реальній транспортній ситуації через нестаціонарність транспортних потоків

$$Y_i = f(N(t - T_y)). \quad (2.37)$$

Усунути цей недолік можливо через компенсацію затримки, яка буде реалізована шляхом розрахунку параметрів управління в режимі реального часу за поточними параметрами транспортного потоку.

У програмних та у програмно-адаптивних методах, основною інформацією, яка є визначальною при зміні планів координації, є зміна інтенсивності ТП і швидкості АТЗ. Процес оптимізації

знаходиться поза процесом координованого управління ТП і знижує ефективність управління дорожнім рухом.

Відомо, що можливо підвищити ефективність координації руху на магістралі на підставі математичної моделі руху ТП у вигляді потоку рідини. За таких умов, оптимальними керуючими параметрами автори визначають набір зрушень фаз світлофорного регулювання, який забезпечує максимізацію ширини стрічки часу безупинного руху по магістралі.

Істотний недолік даного підходу полягає в ігноруванні властивостей ТП, пов'язаних з випадковим розподілом швидкостей руху в потоці, імовірнісним характером створення черг перед перехрестями, відсутністю вимірів інтенсивності руху та недостатньої ширини стрічки часу для проїзду ТП через окремі перехрестя на магістралі. Даний метод може бути використаний, якщо інтенсивність ТП на магістралі міста невелика.

Комбінований метод координації руху ТП на магістралях міста дозволяє підвищити ефективність управління рухом на магістралі шляхом зниження затримки АТЗ і полягає у визначенні зсуву фаз сигналів світлофорів, які функціонують за жорстким циклом і мінімізують загальну затримку транспортних потоків по магістралі. Цей метод базується на наступних припущеннях:

- поточна зміна інтенсивності ТП на магістралі не враховується при визначенні тривалості фаз і циклів світлофорного регулювання;
- світлофори працюють з однаковою або кратною розрахованій тривалості циклу;
- ТП виїжджає на перегін під час зеленого сигналу світлофора, рухається і залишає його також на зелений сигнал.

Цей метод може бути застосований при мінімізації затримок руху АТЗ по магістралі, але істотне припущення щодо властивостей ТП на перевантажених перехрестях магістралі полягає в тому, що ТП являє собою безперервний потік з незмінною в часі інтенсивністю, що суттєво знижує цінність методу.

Метод оптимізації параметрів управління світлофорною сигналізацією «Сігоп» був розроблений, випробуваний і вдосконалений в Англії і США. При відомій топології вулично-дорожньої мережі та характеристиках руху транспорту за

необхідний проміжок часу, основною функцією «Сігоп» є визначення оптимальної тривалості циклів, розподілу фаз і їх зсуву. Може бути задано до 10 циклів різної тривалості, для яких розраховується розподіл часу циклу.

Суттєвим недоліком цього методу є те, що можливо розробити різні програми координації (це пов'язано з наявністю суб'єктивних вихідних даних), але при цьому відсутня впевненість, що можливо досягти глобального оптимуму за показником якості управління. Крім того, процес моделювання керуючих параметрів у «Сігоп» є спрощеним і в значній мірі детермінованим.

Аналогічний метод управління дорожнім рухом «Сігрід» є спрощеною версією «Сігоп». Обидва методи реалізують пошук оптимуму цільової функції у вигляді:

$$Y = \sum_{i=1}^n N_i IF_i (D_i - A_i)^2, \quad (2.38)$$

де n - загальне число ланок в мережі;

N_i - інтенсивність руху для i - ї ланки;

IF_i - фактор, що враховує важливість i -ї ланки;

D_i - бажаний зсув циклу для i - ї ланки;

A_i - розрахункове значення зсуву для i - ї ланки.

Значення D_i і фактор IF_i є вихідними даними для процедури оптимізації і повинні бути відомі заздалегідь для кожного перегону магістралі.

Найбільш точний метод координованого управління дорожнім рухом - «Транзит», розроблений і вдосконалений в Англії. «Транзит» забезпечує визначення оптимальних параметрів управління жорсткого координованого регулювання, що мінімізують затримку транспортних потоків, що рухаються на транспортній мережі. Параметрами оптимізації є зрушення фаз циклу світлофорного регулювання. Досліджувана транспортна мережа може містити до 150 перехресть.

У методі «Транзит» необхідне виконання наступних вимог:

- усі перехрестя в мережі управляються світлофорами;

- на перехрестях мережі працюють світлофорні пристрої з однаковим циклом регулювання або з циклом, рівним половині тривалості основного циклу регулювання;
- інтенсивність на кожній ділянці мережі є постійною, заздалегідь відомою величиною.

Критерій ефективності M має вигляд

$$M = \sum_{i=1}^N (Q_i + K \cdot C_i) , \quad (2.39)$$

де Q_i - середня затримка на i -му перегоні;

C_i - середня кількість зупинок на i -му перегоні;

K - ваговий коефіцієнт;

N - число перегонів в мережі.

Метод «Транзит» - найбільш ефективний у порівнянні з описаними вище методиками, що пов'язано із застосуванням коректної математичної моделі перетворення транспортного потоку на всій протяжності перегону, і в цьому його основна перевага. До числа недоліків слід віднести відсутність прогнозного тренда характеристик транспортного потоку у часі, а також недосконалість процедури оптимізації, яка так само, як і в методі «Сігоп», не гарантує досягнення глобального мінімуму.

Розглянуті вище методи визначення параметрів координації знайшли найбільш широке застосування на практиці. У ряді робіт, пропонуються аналогічні методи визначення параметрів координованого управління.

Відомі дослідження, спрямовані на підвищення ефективності координації руху ТП, які засновані на прогресивних системах координованого управління. В основі даного підходу лежить об'єктно-орієнтований принцип опису фізичних об'єктів різної природи і взаємодії між ними. Завдання управління потоком формулюється наступним чином: необхідно організувати рух транспортного потоку N на вулично-дорожній мережі S таким чином, щоб виконувалися вимоги:

- досягти максимальної безпеки руху;
- досягти максимальної пропускної спроможності перехресть.

При цьому функція управління визначається співвідношенням

$$F : (N_i, S_i, U) \rightarrow (N_j, S_{i+1}), \quad (2.40)$$

Тобто, якщо на потік величиною N_i на ділянці S_i діє управління U , то утворюється інший потік N_j на наступній ділянці S_{i+1} . Таким чином, підвищення ефективності координованого управління ТП досягається за рахунок пошуку оптимального значення зсуву фаз світлофорного регулювання, шляхом мінімізації сумарної затримки при русі АТЗ для двох сусідніх перехресть магістралі. Аналогічні розрахунки ведуться для кожного перегону магістралі. При цьому показником ефективності є коефіцієнт беззупинного проїзду

$$K = \frac{(N - Z)}{N}, \quad (2.41)$$

де N - інтенсивність руху через перехрестя в даному напрямку, авт./год;

Z - кількість транспортних засобів, що зупинились на цьому перехресті в цьому ж напрямку, авт./год.

Координоване управління приймається як ефективне управління, якщо значення коефіцієнта беззупинного проїзду перевищує 0,8. Для аналізу достовірності отриманої моделі «Зеленої хвилі» застосовується графоаналітичний метод розрахунку.

Даний підхід забезпечує визначення оптимальних керуючих параметрів жорсткого координованого управління, які мінімізують затримку ТП на магістралі. У якості параметру оптимізації в цих методах, виступає зсув фаз світлофорного регулювання. Перевірка адекватності керуючих параметрів та ефективності управління проводиться експериментальним шляхом за допомогою побудови графіка координації, що обмежує можливості застосування даного алгоритму у складі автоматизованих систем управління дорожнім рухом.

У подальших дослідженнях підвищення ефективності координованого управління проводиться на підставі рішення задачі мінімізації затримок АТЗ на магістралі міста, при цьому цільова функція має наступний вигляд:

$$F(\bar{t}_0^i) = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m \left(\frac{1}{2\pi} \cos \frac{2\pi\phi^i}{\sum_{k=1}^m t_{0k}^i + \sum_{k=1}^m \frac{V_a^k}{(7.2 \cdot a_T)} + \frac{3.6 \cdot (l_i^k + l_a^k)}{V_a^k}} + \frac{1}{2} \left(1 - \frac{t_{0j}^i}{\sum_{k=1}^m t_{0k}^i + \sum_{k=1}^m \frac{V_a^k}{(7.2 \cdot a_T)} + \frac{3.6 \cdot (l_i^k + l_a^k)}{V_a^k}} \right) \right) \rightarrow \min_{\bar{t}_0^i \in \Omega} (2.42)$$

де $i = \overline{1..n}$ - кількість перехресть у досліджуваній моделі;

m - кількість фаз регулювання перехрестя;

\bar{t}_0^i - час основного такту світлофорного регулювання на певному перехресті;

ϕ^i - зрушення фаз регулювання перехресть;

$T_{II} = \sum_{k=1}^m \frac{V_a^k}{(7.2 \cdot a_T)} + \frac{3.6 \cdot (l_i^k + l_a^k)}{V_a^k}$ - час горіння проміжних тактів світлофора;

l_a^k - довжина транспортного засобу, що найбільш часто зустрічається у потоці, м;

l_i^k - відстань від стоп-лінії до самої дальньої конфліктної точки перетинання з транспортними засобами, що починають рух у наступній фазі, м;

V_a^k - середня швидкість руху транспортних засобів у зоні перехрестя, км/год;

a_T - середнє уповільнення транспортного засобу при вмиканні сигналу, що забороняє рух, м/с².

Система обмежень, визначальна область допустимих рішень Ω має наступний вигляд:

$$\Omega: t_0^{i+} \leq t_{0j}^i \leq t_0^{i++} . \quad (2.43)$$

Цільова функція даної задачі оптимізації залежить від параметрів світлофорного регулювання та геометрії перехресть магістралі. Граничні умови параметрів оптимізації вибираються у

відповідності з реальними розрахунковими даними на кожному перехресті. Нижньою межею в оптимізаційній задачі приймаються значення параметрів світлофорного регулювання, які отримані в процесі розрахунку програми координації руху транспортних засобів на магістралі - t_0^{i+} . Верхня межа визначається по обмеженням, які накладаються на параметри світлофорного регулювання - t_0^{i++} , а саме: $T_{\text{ц}} \leq 120$.

У результаті проведеного аналізу, можна відзначити, що розглянуті методи дозволяють підвищити ефективність координованого управління рухом ТП на магістралях міста, в першу чергу це пов'язано з урахуванням особливостей поведінки ТП в різних умовах руху на магістралі. Розгляд методів управління дорожнім рухом на магістралі дозволив виявити, що тільки у найбільш «грубих» алгоритмах, можливо формалізувати ефективні методи визначення параметрів координації, які забезпечують оптимальну якість управління за заданим критерієм в статичному режимі.

2.4.2. Магістральне управління дорожнім рухом «Зелена хвиля»

Метою координованого управління дорожнім рухом є забезпечення рівномірного 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).

Принципами координації руху транспортних потоків на магістралях міста є наступні теоретичні положення:

1. хвильові процеси в транспортному потоці, викликані світлофорним регулюванням, мають визначені, параметри - щільність, швидкість, інтервали між транспортними засобами при русі;

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 управління;

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 спроможність перехрестя, тому що коефіцієнт корисної дії зеленого сигналу стає більшим, за рахунок часу, який необхідний на прискорення потоку транспорту (загублений час), що триває в середньому 2,5-4 с, а не витрачається при проїзді перехрестя.

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 призведе до порушення процесу координованого управління, 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 перешкод на дорозі збільшує час проїзду.

Однаковий цикл на всіх перехрестях забезпечує необхідну періодичність зміни сигналів, збереження розрахункового зрушення включення фаз, що дозволяють рух маршрутом 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 режимі очікування 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 та особливості поведіння водіїв при русі у групі.

На підставі великої кількості 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 кількість смуг руху в даному напрямку руху, інтенсивність руху, наявність на перегонах зупинних пунктів громадського транспорту, наявності пунктів тяжіння біля магістралі та пішоходів.

2.4.3. Графоаналітичний метод визначення параметрів координованого управління дорожнім рухом

Для визначення параметрів координації 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 перегонів та перехресть в метрах (рис. 2.6).

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 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 (перехрестя із максимальним циклом світлофорного регулювання), наносять праворуч з дотриманням горизонтального масштабу послідовність сигналів циклу регулювання.

Визначення параметра «стрічки часу» необхідно для побудови графіку координації.

«Стрічка часу» - це період часу, протягом якого групі автотранспортних засобів забезпечується без зупинний проїзд із розрахунковою швидкістю на ділянці координації магістралі. Від тривалості «стрічки часу» залежить ефективність управління.

У разі синхронних систем КУ можливо стверджувати, що тривалість «стрічки часу» (t_n) дорівнює тривалості дозволяючої фази (t_3) за відношенням:

$$\frac{t_n}{t_3} = 1, \quad (2.44)$$

У разі прогресивних систем КУ маємо:

$$\frac{t_n}{t_3} < 1, \quad (2.45)$$

При побудові графіка координації необхідно прийняти до уваги, що відношення $\frac{t_n}{t_3}$ приблизно повинно дорівнювати 0,65.

Від початку зелених сигналів проводять напрямки стрічки часу, яка розраховується за залежністю $t_n = (0,3 \div 0,4) T_{\text{цк}}$. Тангенс кута нахилу стрічки часу відповідає розрахунковій швидкості:

$$\text{tg}\alpha = \frac{V_a \cdot M_r}{3,6 \cdot M_b}, \quad (2.46)$$

де V_a - розрахункова швидкість руху АТЗ, км/год;
 M_r - горизонтальний масштаб (число секунд у 1 см);
 M_b - вертикальний масштаб (число метрів у 1 см).

Показник $t_{\text{л}}$ - 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 (2.46), відповідно розрахунковій швидкості цього напрямку (V_a).

Важливим показником при побудові графіка координації є зсув фаз. Під зсувом фаз будемо розуміти інтервал часу між початками основного такту (зеленого) командного перехрестя та наступного. Очевидно, що величина зсуву фаз завжди менше або дорівнює циклу регулювання. Сукупність значень зрушення фаз, швидкості руху АТЗ та циклу регулювання для всіх перехресть, що входять в систему координованого регулювання, утворює програму або план координації. Завданням інженерного розрахунку є підготовка програм координації для заданих умов руху. Зрушення подачі зеленого сигналу на світлофорні пристрої перехресть відносно командного, має істотне значення для електричної частини проекту.

Незважаючи на простоту цього методу, він пов'язаний із значною трудомісткістю 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 розподіл швидкостей у транспортному потоці, не виконується оптимізація параметрів управління по важливому критерію ефективності - транспортна затримка.

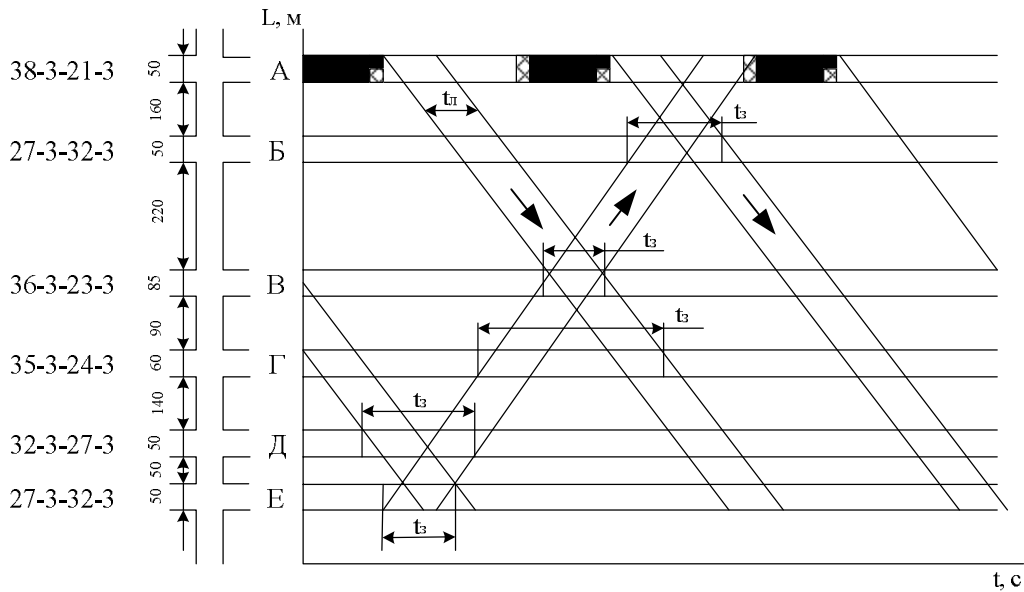


Рис. 2.6. Приклад графіку координації на магістралі

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.

2.5. Основи проектування інтелектуальних систем управління дорожнім рухом

Використання сучасних досягнень інформаційних технологій і засобів зв'язку, таких як телематика в управлінні транспортними системами, дозволяє суттєво підвищити ефективність і якість їх роботи. Тому транспортні системи з використанням автоматизованих систем управління дорожнім рухом, які побудовані на основі телематики, отримали у всьому світі назву – інтелектуальні транспортні системи (ІТС). Відмінна 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 зворотній зв'язок, що забезпечує автоматичну передачу оперативних даних, щодо параметрів функціонування об'єктів ІТС в блок управління системи.

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

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

Основними цілями функціонування інтелектуальної транспортної системи (ІТС) є:

- забезпечення комфорту учасникам дорожнього руху (зменшення кількості і тяжкості дорожньо-транспортних пригод, забезпечення оптимальних умов руху на транспортних магістралях тощо);
- 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 чотири основні рівні:

- оперативний, усередині якого знаходяться апаратно-програмні засоби, які 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 і об'єму регламентуючої інформації, що видається користувачам послуг ІТС;
- рівень прийняття рішень.

Метою сучасної теорії управління, особливо підрозділу стохастичного оптимального управління, є проектування систем, які максимізують цільову функцію у часі математичними методами – диференціальним та інтегральним численням, та за допомогою алгебри матриць. Штучний інтелект був розроблений як засіб запобігання обмеженням для математичного апарату теорії управління.

У сучасній науці визначений підхід, згідно якому інтелектуальність пов'язана з раціональною діяльністю. В ідеальному випадку інтелектуальний агент (початкова структура) визначає найкращу управляючу дію на об'єкт управління. Тому при плануванні інтелектуальних систем управління головною проблемою є проблема розробки агентів, які є інтелектуальними саме у цьому сенсі. Штучний інтелект – це один з напрямків комп'ютерних наук. Окрім того галузь, у якій виникають розробки щодо управління дорожнім рухом, функціонує у складному середовищі, що постійно змінюється.

У підході до створення теорії штучного інтелекту на підставі «законів мислення», для формування логічних висновків вагомою часткою є програми управління, які мають назву агентів (від латинського «agere» - діяти). Але комп'ютерні агенти мають атрибути відмінності від звичайних програм, а саме – здібність функціонувати при автономному управлінні, реагувати на середовище та адаптуватися до змін його параметрів.

Раціональним агентом є агент, який діє таким чином, щоб була можливість отримати найкращій результат при умові невизначеності.

За цими обставинами, підхід до дослідження штучного інтелекту як області проектування раціональних агентів, має наступні переваги:

- по перше, цей підхід є узагальнюючим в порівнянні з підходом, заснованим на застосуванні «законів мислення», оскільки коректний логічний висновок – це тільки один з декількох механізмів досягнення раціональності;

- по друге, він є найбільш перспективним для наукових розробок у порівнянні з підходами, які засновані на дослідженні людської поведінки, або мислення, тому що у нього чітко визначена раціональність.

При цьому треба враховувати, що у складному середовищі задача досягнення повної раціональності не має рішення. Тому у теорії штучного інтелекту існує поняття «обмеженої раціональності» - тобто організації програмних дій у ситуаціях, коли часу на виконання обчислень не вистачає, а саме це стосується управління дорожнім рухом у режимі реального часу.

Задачею штучного інтелекту є розробка агента, який може працювати у обчислювальному пристрої поряд з фізичними датчиками та виконавчими пристроями. У цілому ці компоненти мають назву архітектури, а структуру агента умовно можна визначити як: *агент = архітектура + програма*.

Загалом, архітектура забезпечує передачу у програму результатів вимірювання параметрів середовища датчиками, виконання програми та передачу виконавчим пристроям варіантів управляючих дій, сформованих у програмі. Саме це і є принцип управління.

2.5.1. Опис рефлексних агентів

Це простіший вид агента. Подібні агенти обирають дію на підставі поточних вимірів параметрів середовища, ігноруючи попередні виміри. На рис. 2.7 наведено структуру агента, де у схематичній формі доведено, яким чином правила «умова-дія» дозволяють агенту реалізувати зв'язок від сприйняття середовища до управління. Під «умовами» розуміємо середовище, у якому функціонує об'єкт управління, тобто дорожній рух, а дія – це сформована управляюча дія на об'єкт управління.

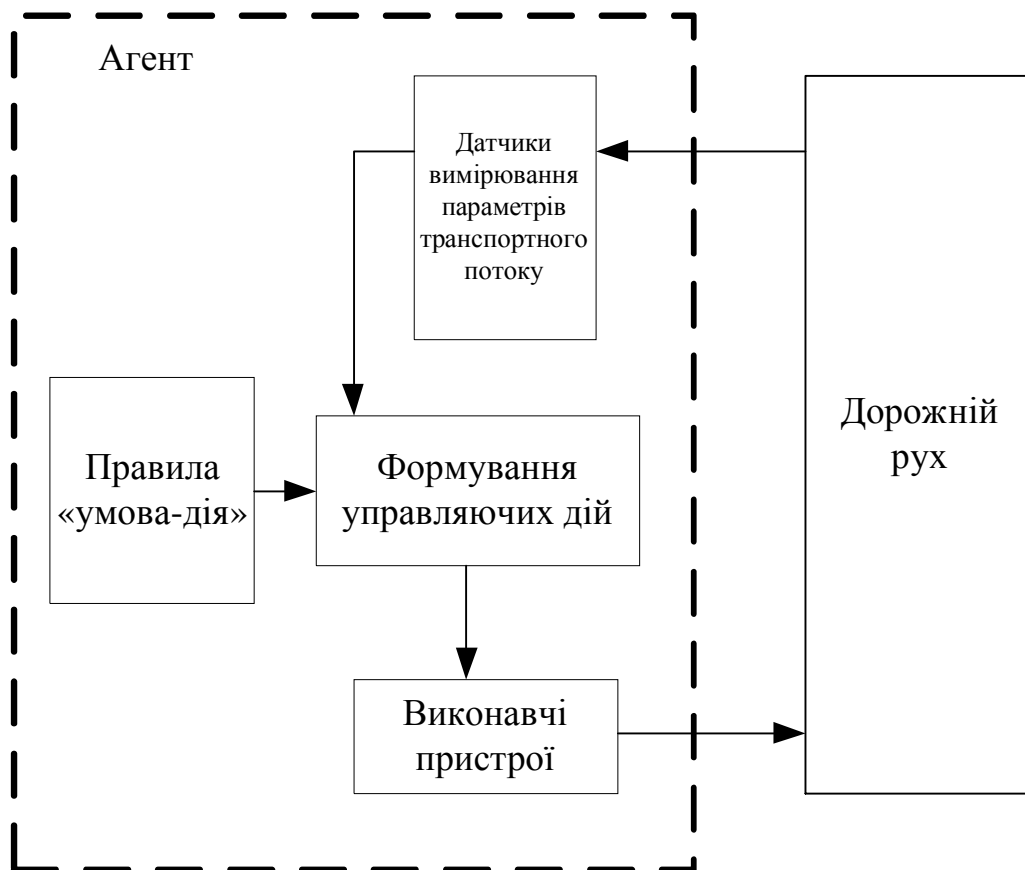


Рис. 2.7. Схема структури рефлексного агента

До датчиків агента при управлінні дорожнім рухом відносяться детектори транспорту, пристрої відеозйомки та пристрої теленагляду. До виконавчих пристроїв належать світлофорні пристрої та керовані дорожні знаки. Правила «умова-дія» формуються фахівцями в залежності від обраного методу управління дорожнім рухом та типу системи управління. Саме на підставі структури рефлексного агента можливо розробити адаптивну систему управління дорожнім рухом.

2.5.2. Опис рефлексного агента, заснованого на моделі

Це найбільш ефективний спосіб організації роботи системи в умовах часткового виміру параметрів навколишнього середовища та об'єкту управління. Для рефлексного агента це означає, що агент повинен підтримувати свій внутрішній стан, який залежить від статистичних даних, щодо параметрів виміру датчиків. Для управління дорожнім рухом, з огляду на не стаціонарність об'єкту

управління, таким параметром є інтенсивність транспортного потоку. Для забезпечення можливості оновлення внутрішньої інформації протягом часу, необхідні закодовані знання двох типів. По-перше, потрібна інформація як змінюється інтенсивність транспортних потоків, по-друге – інформація щодо зміни узагальнюючого параметру зовнішнього середовища (яким є вулично-дорожня мережа) – пропускної спроможності вулично-дорожньої мережі. Ці знання можуть бути реалізовані у логічних схемах, або у точних теоріях у вигляді моделі. Агент, у якому застосовується така модель, є агентом, заснованим на моделі (рис.2.8.). Програма такого агента відповідає за побудову опису нового стану середовища. Нова функція агента повинна урахувати, яким чином дії агента впливають на стан середовища.

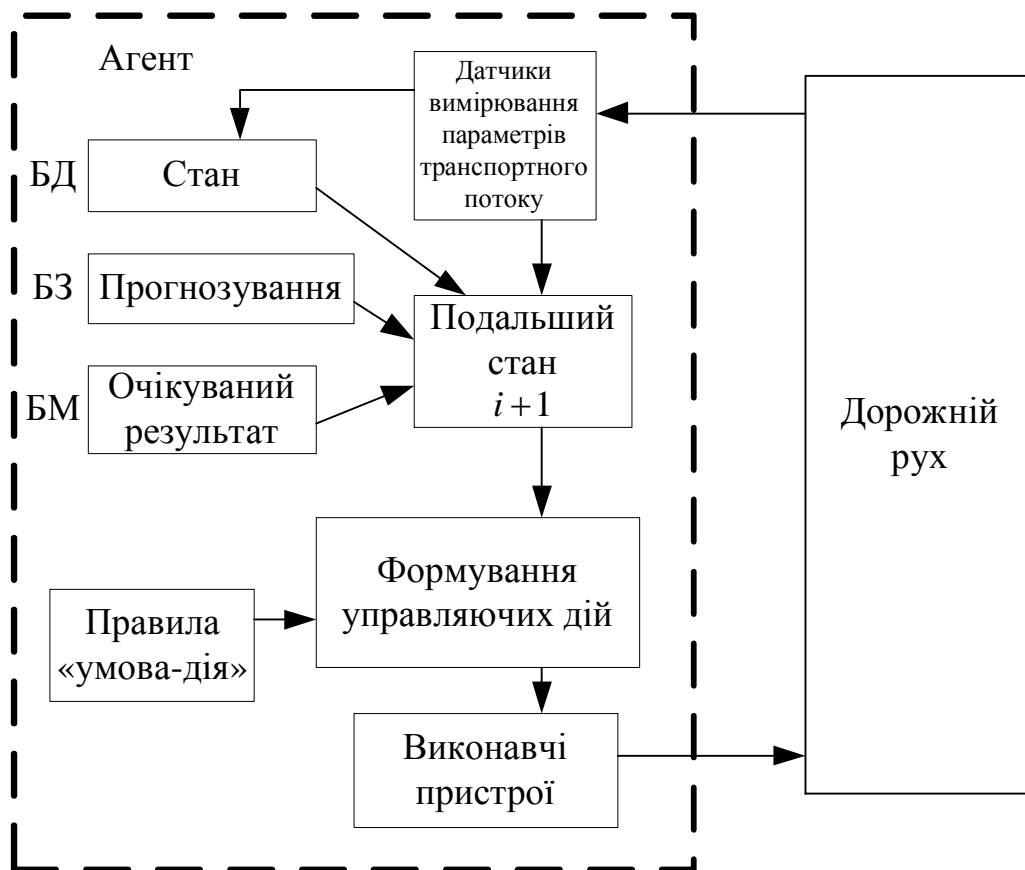


Рис. 2.8. Схема структури рефлексного агента, заснованого на моделі

За даною структурною схемою рефлексного агента можливо реалізувати програмно-адаптивні методи управління дорожнім

рухом, які працюють у реальному часі якщо контролер має таймер часу.

2.5.3. Опис агента, заснованого на досягненні мети

При проектуванні агентів інтелектуальних систем управління, виникає проблема щодо прийняття рішення. Для цього, агенту потрібен не тільки опис поточного стану об'єкту управління, а й інформація стосовно мети функціонування об'єкту. Програма агента може комбінувати цю інформацію із інформацією стосовно результатів управляючих дій, для вибору послідовності операцій, які призведуть до поставленої мети. Структура агента, який діє на підставі мети, наведено на рис. 2.9.

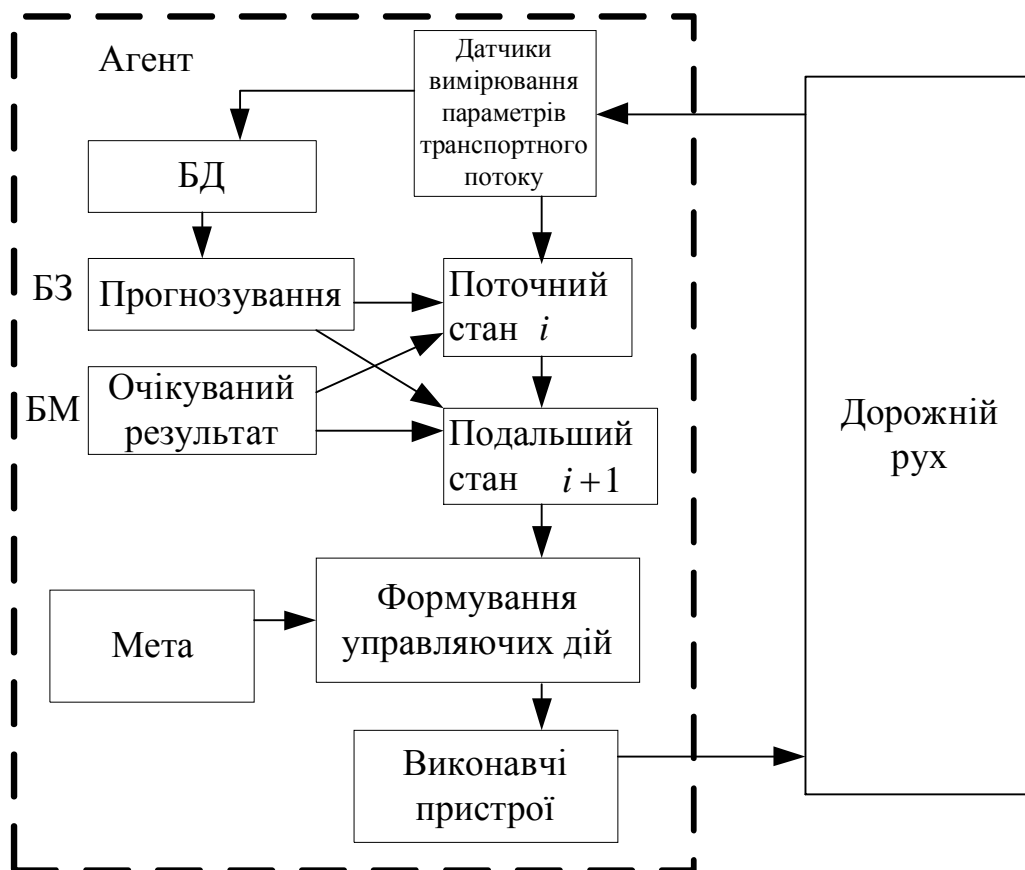


Рис. 2.9. Структурна схема агента, заснованого на досягненні мети

Іноді задача формування управляючих дій при наявності мети, вирішується за один цикл, а іноді процес рішення складається із послідовності обчислювальних операцій для досягнення мети. Тоді,

складовими штучного інтелекту для формування послідовності дій для досягнення мети є пошук та планування. Планування – це процес формування послідовності дій, які дозволяють досягти мети.

Якщо середовище, у якому діє об'єкт управління, можливо описати детермінованими, статистичними та дискретними методами, то таке середовище має ознаки застосування класичного планування. Некласичне планування призначено для часткових спостережень у середовищі, або при наявності стохастичних ознак у середовищі. Тоді структуру агентів необхідно змінювати. Успішне рішення задачі при проектуванні структури агента має процес декомпозиції задачі.

Запропонований опис агента, заснованого на досягненні мети, може бути застосований для проектування систем управління дорожнім рухом зональної або районної дії. Наприклад, магістральне управління дорожнім рухом у містах. При побудові структури агента можливо застосовувати звичайні назви елементів структури: опис стану середовища, параметри якого вимірюють датчики, формується у базі даних (БД), опис майбутнього стану середовища визначається моделями прогнозу і може бути визначений як база знань (БЗ); очікуваний результат у наступному кроці можливо отримати на підставі бази моделей (БМ) (визначення БД, БЗ, БМ відповідно на рис. 2.8 – 2.9). Наведена структура є досить гнучкою, оскільки знання, на яких засновані рішення, наведені явно та можуть бути модифіковані.

2.5.4. Структура агента, заснованого на корисності

В процесі управління дорожнім рухом досягнення однієї з мети його функціонування буває недостатньо. Багатокритеріальність об'єкту управління, а саме наявність зустрічних критеріїв оцінки його ефективності, передбачає декілька варіантів послідовності етапів, які можуть привести до формування управляючих дій. Для порівняння стану дорожнього руху після дії управління можливо користуватись категоріями «задовільно» чи «незадовільно». Тому запропонована функція корисності, яка позначає відповідну ступінь задовільності результату управління. Загальна специфікація функції корисності забезпечує можливість приймати раціональні рішення,

коли цього не забезпечують процеси досягнення мети. По-перше, якщо маємо конфліктні цілі, то може бути досягнути деякі із них (наприклад, або швидкість руху транспортних засобів, або безпека дорожнього руху), то функція корисності дозволяє визначити компромісне рішення. По-друге, якщо управління має декілька цілей стосовно об'єкту, але жодна не може бути досягнута із повною визначеністю, то функція корисності являє зручний спосіб узгодженої оцінки ймовірності успіху із урахуванням важливості цілей.

Тому, необхідно сформулювати вимоги до раціонального агента, щоб він володів функцією корисності, очікуване значення якої він може максимізувати. На підставі цього, поняття раціональності необхідно перетворити в локальні обмеження на структуру раціонального агента, яка може бути виявлена у вигляді програмного забезпечення. Структура агента, який діє із урахуванням корисності, наведена на рис. 2.10.

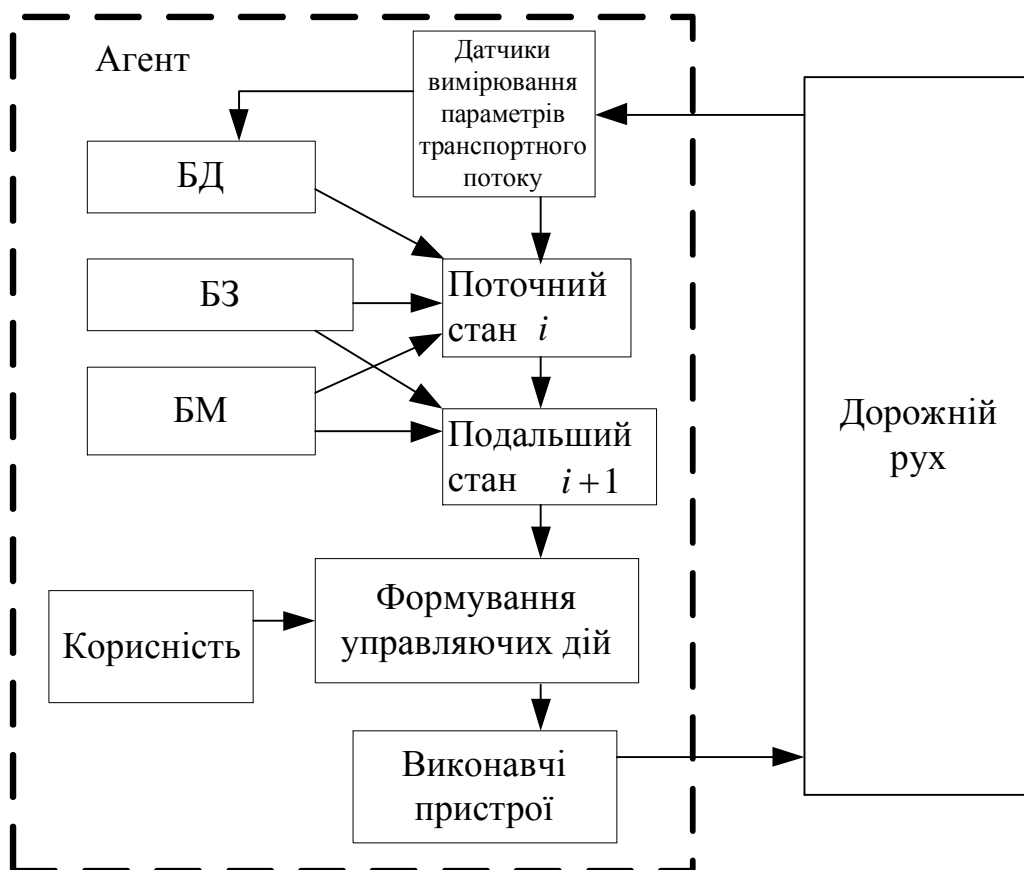


Рис. 2.10. Структура агента із урахуванням корисності

При цій структурі агент застосовує базу знань поряд із функцією корисності, яка визначає ступінь важливості дії агента на підставі бази моделей. Агент обирає ту управляючу дію, яка призводить до очікуваної корисності та для розрахунків якої виконуються усереднення за всіма можливими результатами із урахуванням коефіцієнта ймовірності кожного результату.

Таким чином, розглянуті загальні теоретичні засади штучного інтелекту можуть бути застосовані в системах управління дорожнім рухом. До висновків можливо віднести наступне:

Агент – це дещо діюче у визначеному середовищі. Функція агента – визначає дію, як відповідь на послідовність зміни стану середовища. Показники продуктивності визначають поведження агента у середовищі. Раціональний агент діє таким чином, щоб отримати максимальні значення показників продуктивності. До специфікації проблемного середовища належить визначення показників продуктивності об'єкту управління, датчиків, виконуючих пристроїв, а також зовнішнього середовища, тобто дорожнього руху, детекторів транспорту, світлофорних пристроїв та вулично-дорожньої мережі. Програма агента реалізує функції агента. Програми звичайних рефлексних агентів відповідають за вимір параметрів середовища, тоді як рефлексні агенти, які засновані на моделі, утримують внутрішній стан об'єкту управління. Агенти, які діють на підставі мети, організують свої дії таким чином, щоб досягнути мети, а агенти із урахуванням корисності намагаються здобути найбільшу очікувану «задоволеність». У дійсний час, при проектуванні систем управління дорожнім рухом у якості агентів застосовують імітаційні моделі для визначення параметрів управляючих дій.

Запитання для самоконтролю до розділу 2.

1. Охарактеризуйте просторові методи управління ДР.
2. Охарактеризуйте часові методи управління ДР.
3. Які існують локальні методи управління?
4. В чому полягає різниця однопрограмного та багатопрограмного жорсткого управління?

5. Які елементи входять у склад циклу світлофорного регулювання?
6. Які вихідні дані потрібні для розрахунку циклу світлофорного регулювання?
7. Які існують методи адаптивного управління?
8. В чому полягає особливість мережевих АСУДР?
9. В чому різниця між жорстким мережевим управлінням та адаптивним мережевим управлінням?
10. Розкрийте суть адаптивних методів управління.
11. Як визначити управляючі параметри при використанні методу пошуку розриву у транспортному потоці?
12. Що таке екіпажний час?
13. В чому суть методу роз'їзду черги?
14. В чому суть методу вирівнювання ступеню насичення фаз регулювання?
15. В чому полягають переваги методу пошуку розриву у транспортному потоці?
16. На які групи можна розділити методи управління дорожнім рухом, що діють у реальному часі?
17. На які групи можна розділити методи управління дорожнім рухом, що діють поза режимом реального часу?
18. Які існують системи координованого управління дорожнім рухом?
19. В чому полягає прогресивний метод координації світлофорних циклів на магістралі?
20. Який показник застосовується у якості критерію ефективності координованого управління?
21. Які вимоги висуваються до дорожніх умов при організації координованого управління?
22. Що розуміють під терміном «інтелектуальна транспортна система»?
23. Що називають агентом інтелектуальної транспортної системи?
24. Які існують види агентів інтелектуальної транспортної системи?
25. Що називають «обмеженою раціональністю» в теорії штучного інтелекту?

РОЗДІЛ 3. ТЕХНІЧНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ СИСТЕМ УПРАВЛІННЯ ДОРОЖНІМ РУХОМ

3.1. Класифікація технічних засобів АСУДР

Технічні засоби управління дорожнім рухом, по їх призначенню, можливо розділити на дві групи. До першої відносяться технічні засоби, що безпосередньо впливають на транспортні і пішохідні потоки з метою інформування учасників дорожнього руху щодо режиму руху на даній ділянці дороги. Це – керовані дорожні знаки, світлофори і інформаційні табло. До другої групи відносяться пристрої, що забезпечують роботу засобів першої групи по заданому алгоритму управління. Це - дорожні контролери, детектори транспорту, засоби обробки і передачі інформації, устаткування пунктів АСУД, засоби диспетчерського зв'язку. Світлофори і керовані дорожні знаки здатні забезпечувати змінний порядок руху (почерговий пропуск транспортних потоків через перехрестя за допомогою сигналів світлофора або, наприклад, тимчасову заборону руху в якомусь напрямі шляхом зміни символу керованого знаку). Робота останніх пов'язана з використанням технічних засобів другої групи.

На рисунку 3.1 наведено структурну схему, що повторює в більш розгорненому вигляді контур управління дорожнім рухом і пояснює вказаний принцип загальної класифікації.

Дорожні контролери мають різну функціональну схему, яка відповідає характеру задач, що ними виконуються і підрозділяються (як було вказано вище) на контролери локального і системного управління. Обидва типи контролерів можуть забезпечувати жорстке програмне управління, а за наявності зворотного зв'язку з транспортним потоком – адаптивне, яке здійснюється за допомогою детекторів транспорту. У дійсний час застосовують у системах управління дорожнім рухом мікропроцесорні контролери, які за своїм призначенням є пристрої місцевого управління.

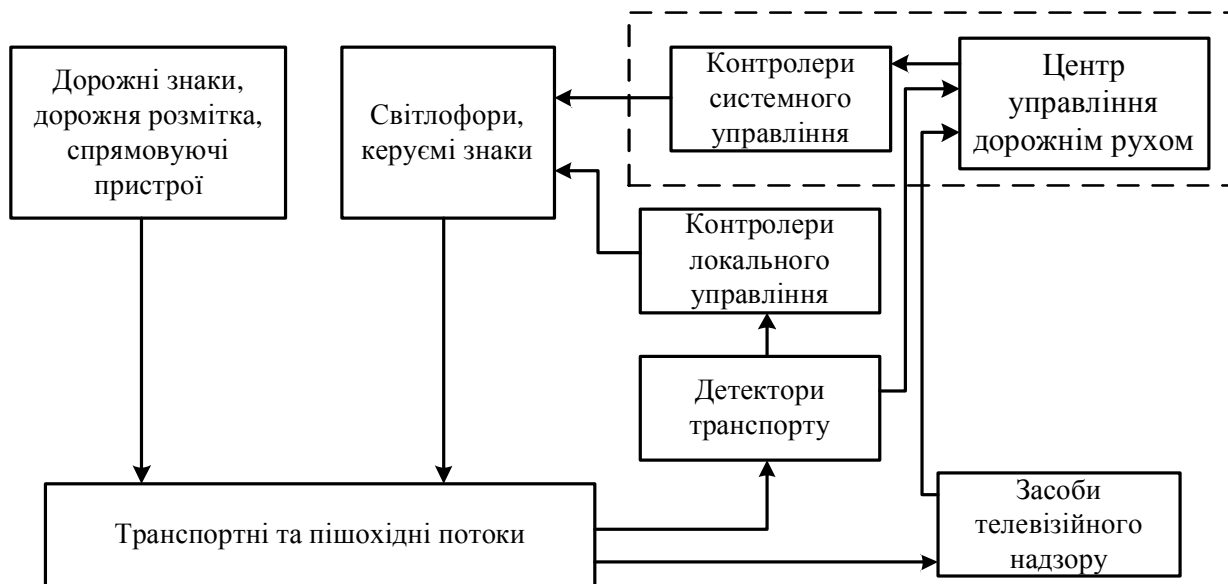


Рис. 3.1. Загальна класифікація технічних засобів управління дорожнім рухом

При автоматичному управлінні зворотний зв'язок здійснюється за допомогою детекторів транспорту. Пунктирною лінією визначено технічні засоби системного управління – центр управління або контролер системного управління. При локальному управлінні для зворотного зв'язку можуть бути використані засоби телевізійного огляду, телефонного зв'язку і засобу відображення інформації управляючого пункту. Останній використовує інформацію, що була визначена шляхом натурних спостережень з подальшою обробкою.

На підставі розподілу функцій у процесі управління, технічні засоби АСУДР можливо розподілити на керуючі пристрої, виконавчі пристрої та вимірюючі пристрої. До керуючих пристроїв належать контролери локальні та системні, до виконавчих – керовані дорожні знаки та світлофорні об'єкти, до вимірюючих – детектори транспорту та пристрої відеоспостереження.

3.2. Виконавчі пристрої АСУДР

3.2.1 Призначення керованих дорожніх знаків

Більшість стаціонарних знаків інформує водія про стан дорожніх умов або порядок руху на незмінний тривалий час. Якщо

встановлений порядок руху вводиться лише в певні дні або години доби, керуючи впливи знаків можливо уточнювати застосуванням відповідних додаткових табличок. У разі суттєвих змін умов руху, пов'язаних, з коливаннями інтенсивності і зміни складу потоку, зміною метеорологічних умов, виникає необхідність в зміні символу знаку, тобто застосуванні багатопозиційних знаків. Залежно від того, якого типу керуючі впливи формує система управління ДР, можливі наступні варіанти їх передачі:

- сигнал, що виробляється дорожнім контролером, приводить в дію механізм зміни символу знаку;

- багатопозиційні знаки є елементом автоматизованої системи управління дорожнім рухом, зміна символу здійснюється відповідно до прийнятого алгоритму управління.

На керованих знаках відтворюють по черзі від двох до десяти символів. Застосовують два основні способи зміни символів: механічний і світлотехнічний. В першому випадку міняють зображення з використанням електромеханічних та світлотехнічних пристроїв, а також застосовують спеціальні засоби передачі інформації. На рис. 3.2. приведена систематизація відомих в даний час принципів зміни символів.

Використовуючи механічний спосіб, можна міняти зображення знаку шляхом обертання одного або декількох щитків, пластин, призм навкруги вертикальних або горизонтальних осей; переміщення пластин з касет в робоче положення; висунення диска з символом або захисного екрану через проріз лицьового щитка знаку; перемотування стрічки з нанесеними на неї символами, згорнутої в декілька рулонів; перемотування стрічки, згорнутої в один загальний рулон або безперервної стрічки.

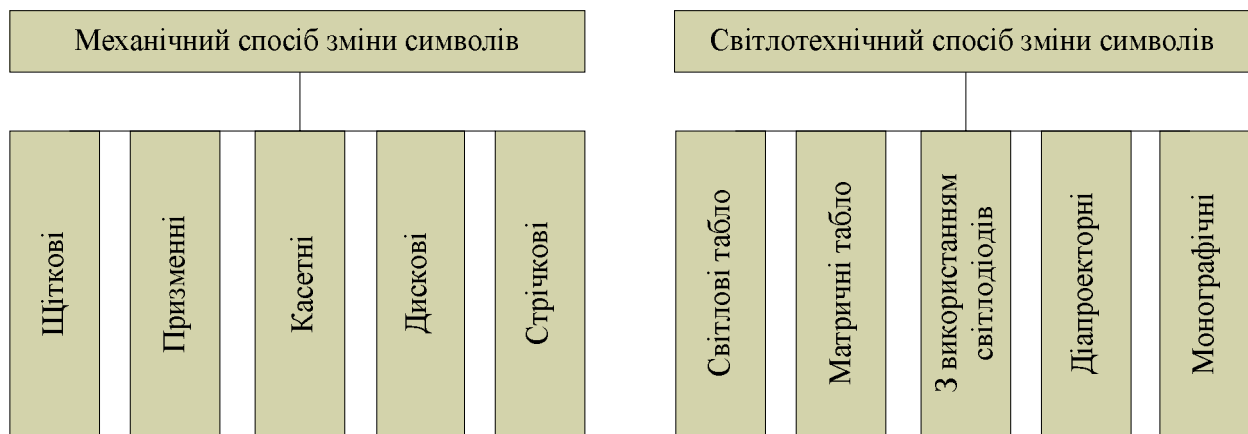


Рис. 3.2. Систематизація управляємих знаків за принципом зміни символів

При світлотехнічному способі включають окремі групи ламп світлового табло, що підсвічують зсередини одну або декілька написів; використовують табло з матрицею з ламп накаливання, застосовують світлодіоди (гнучкі оптично активні волокна, по яких передають зображення), діапроектори, галографічні установки.

Призматичні і дискові знаки щітків набули широке поширення завдяки простоті їх конструкції і надійності в роботі. Для простих трьох- і чотирьохпозиційних знаків, час зміни зображення складає 3—5 с. Перевагами дискових висувних знаків є швидка зміна зображення і невелика товщина корпусу. Навпаки, касетні знаки через особливості своєї конструкції мають великі розміри корпусу і тому використовуються рідше. Знаки, для яких символи змінюються при перемотуванні безперервної стрічки, вигідно застосовувати при наявності 2 або 3 позицій. При більшому числі позицій збільшується час перемотування стрічки і час зміни символу. В таких випадках доцільно застосовувати знаки, у яких стрічки згорнуті в декілька ролонів. Кожна стрічка з електроприводом утворює самостійний блок, відповідний одному значенню знаку.

3.2.2. Світлофори дорожні та їх типи

Залежно від призначеності світлофори поділяють на групи:

- транспортні (в умовному позначенні — Т);
- пішохідні (в умовному позначенні — П).

Конструктивно світлофор складається з однієї або декількох секцій. Недоліком світлофорів з електричними лампами

накалювання є їх низька надійність. Тому в останні роки все більше застосування знаходять світлофори з світловипромінюючими діодами замість ламп.

Світлофори з лінзами діаметром 200 мм встановлюють на вулицях районного і місцевого значення при дозволений швидкості руху до 60 км/год. Світлофори з лінзами діаметром 300 мм встановлюють на магістральних вулицях і широких площах міст.

Світлофори позначають цифровим кодом виду X_2X_3 , де:

X_1 - літера - група (Т - транспортний світлофор, П - пішохідний);

X_2 - перша цифра - тип світлофора, відповідно до «Правил дорожнього руху»;

X_3 - друга цифра - різновид виконання конструкції.

Світлофори типу 1 (рис 3.3), за схемою виконання Т1.1 – Т1.3, Т1.16, Т1.17, треба застосовувати для одночасного пропускання транспортних засобів в усіх дозволених напрямках на даному підході до перехрестя. Можна застосовувати світлофори зазначених позначень і в особливих випадках – на залізничних переїздах, перехрещенні з трамвайною колією, в місцях звуження проїзної частини, дорожньо-ремонтними роботами тощо.

Світлофори за схемою виконання Т1.4 – Т1.15, треба застосовувати для відокремленого пропуску транспортних потоків у визначених напрямках з одного підходу до перехрестя у виняткових випадках, якщо в конкретних умовах із технічних та економічних міркувань неможливо використати світлофори типу 2. Світлофори за схемою виконання Т1.13 – Т1.15, можливо компонувати з одною додатковою секцією, залежно від схеми організації дорожнього руху на перехресті. Зелений сигнал на світлофорах типу 1 дозволяє рух у всіх напрямках. Світлофори Т1.1. мають діаметр лінз всіх сигналів 200 мм. Світлофор Т1.2. з лінзою червоного сигналу діаметром 300 мм встановлюється на другорядній вулиці та інформує водія, що він буде виїздити або перетинати магістральну вулицю.

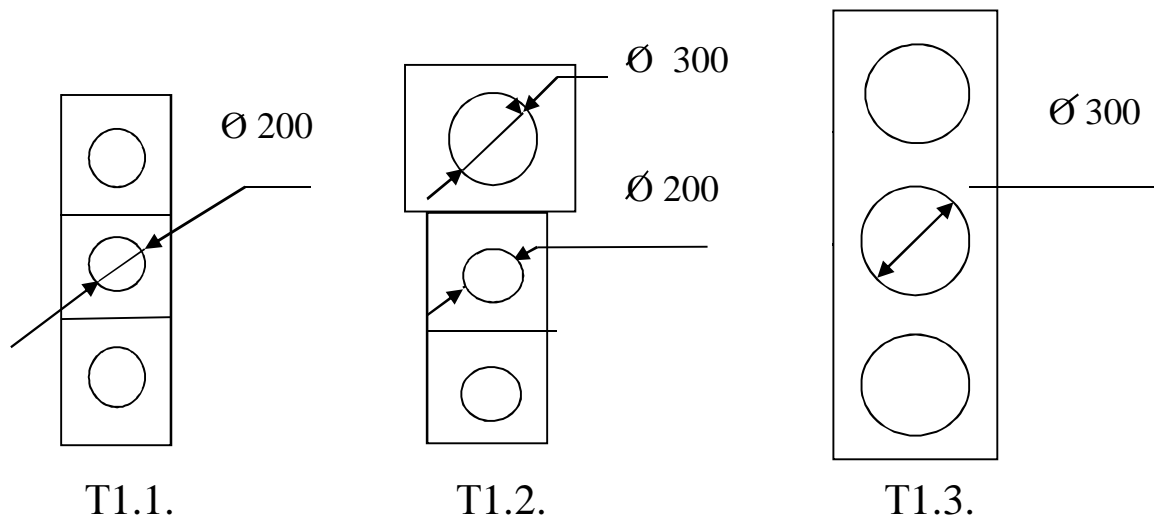


Рис. 3.3. Транспортні світлофори типу 1

Світлофори типу Т2 мають такі самі різновиди виконання, що і світлофори типу Т1, але призначені для регулювання руху у напрямку, позначеному стрілками на лінзах. Транспортні світлофори типу Т2 треба застосовувати для регулювання руху у визначених напрямках у тих випадках, коли транспортний потік, що рухається на їхній дозволяючий сигнал, не перетинається (злиття можливе) в межах перехрестя з транспортними потоками інших напрямків руху, а також не перетинається з пішохідними потоками (безконфліктне регулювання). У цьому випадку, кожному напрямку руху транспортних засобів повинен відповідати свій світлофор. При застосуванні світлофорів за схемою виконання Т2.10 – Т2.12, Т2.16 – Т2.18 можливе одночасне вмикання зеленого сигналу з початком руху пішоходів, що переходять проїзну частину вулиці праворуч. При впровадженні світлофорного регулювання на перехресті перевагу треба віддавати транспортним світлофорам типу Т2.

Транспортні світлофори типів Т1 і Т2, за схемою виконання Т1.3, Т1.6, Т1.9, Т1.12, Т1.15, Т1.17, Т2.3, Т2.6, Т2.9, Т2.12, Т2.15, Т2.18 з розміром для сигналів діаметром 300 мм треба застосовувати:

- на магістральних дорогах та площах;
- на дорогах з максимально допустимою швидкістю руху більше ніж 60 км/год;
- у несприятливих умовах видимості.

Світлофори за схемою виконання Т1.2, Т1.5, Т1.8, Т1.11, Т1.14, Т2.2, Т2.5, Т2.8, Т2.11, Т2.14, Т2.17 треба встановлювати з боку примикання другорядних доріг перед перехрестями у вищезазначених умовах. Світлофори типів Т1 і Т2 решти схем виконання треба застосовувати в усіх інших випадках.

Транспортні світлофори типу Т3 - це світлофори-повторювачі, які мають лінзи діаметром 100 мм та встановлюються нижче основних світлофорів на висоті 1300 - 1400 мм від рівня проїзної частини вулиці. Їх застосовують як повторювачі сигналів світлофорів типу Т1 у разі, якщо видимість світлофорів ускладнена для водія першого транспортного засобу, що зупинився біля стоп-лінії на крайній смузі проїзної частини даного напрямку. Можна застосовувати ці світлофори для регулювання руху велосипедистів у місцях перетинання дороги велосипедною доріжкою.

Транспортні світлофори типу Т4 - це реверсивні світлофори, які встановлюють на ділянках вулиць і доріг для почергового пропуску транспортних потоків зустрічних напрямків руху. Транспортні світлофори типу Т4 треба застосовувати для регулювання в'їзду на окремі смуги проїзної частини.

Світлофори типу Т5 з лінзами біло-місячного кольору діаметром 100 мм призначені для регулювання руху міського електротранспорту (рис. 3.4.) Їх застосовують тільки для безконфліктного регулювання руху трамваїв, а також маршрутних автобусів і тролейбусів, що рухаються спеціально виділеною смугою. В інших випадках для регулювання руху цих видів транспортних засобів треба використовувати транспортні світлофори типу Т1 або Т2. Також світлофори типу Т5 призначені для регулювання проїздом автотранспорту залізничних переїздів для підвищення безпеки руху транспорту.

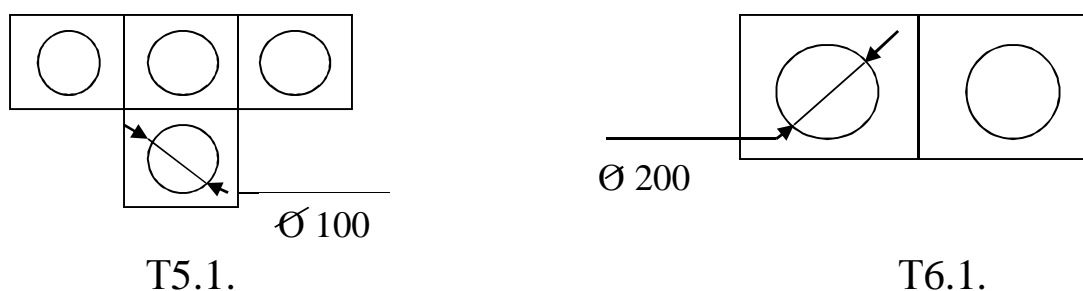


Рис. 3.4. Транспортні світлофори типу Т5 та типу Т6

Транспортні світлофори типу Т6 - це світлофори почергового включення червоного сигналу, які встановлюються на залізничних переїздах (рис. 3.4.). Світлофори Т6.1 мають лінзи діаметром 200 мм, а Т6.2 – 300 мм. Зазвичай світлофори цього типу треба застосовувати для регулювання дорожнього руху перед розвідними мостами, на причалах поромних переправ, у місцях виїзду на дорогу спеціальних транспортних засобів (оперативних, дорожньо-експлуатаційних і комунальних служб).

Транспортні світлофори типу Т7 призначені для жовтого миготіння, що мають одну або дві секції з лінзами жовтого кольору. Діаметр лінз дорівнює 200 або 300 мм. Транспортні світлофори типу Т7 треба застосовувати для позначання нерегульованих перехресть чи пішохідних переходів.

Пішохідні світлофори типів П1 і П2 треба застосовувати для регулювання руху пішоходів через проїзну частину доріг. Вони мають дві секції з лінзами червоного та зеленого кольорів (рис 3.5.).

Також на пішохідних переходах, якими регулярно користуються пішоходи з обмеженими можливостями зору, окрім світлофорної сигналізації треба застосовувати звукову сигналізацію, що працює в узгодженому режимі з пішохідними світлофорами.

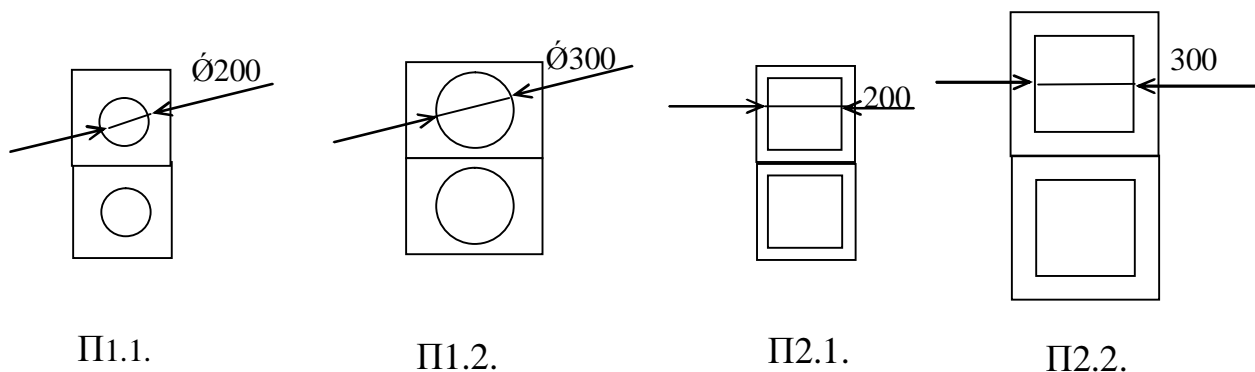


Рис. 3.5. Пішохідні світлофори

При встановленні додаткових секцій правого й/або лівого поворотів, отримують різновиди виконання транспортних світлофорів. Дозволяється горизонтальне розташування світлофорів без додаткових секцій.

3.2.3. Параметри схеми розміщення світлофорного пристрою

Транспортні світлофори встановлюють на колонках, кронштейнах, або прикріплюють до існуючих опор або стін будівель, на спеціальних консольних опорах і тросах-розтяжках. Для запобігання наїзду транспортних засобів на опори, їх розташовують на зовнішній стороні проїжджої частини або захищають огорожами. Способи розміщення світлофорів наведено на рис. 3.6.

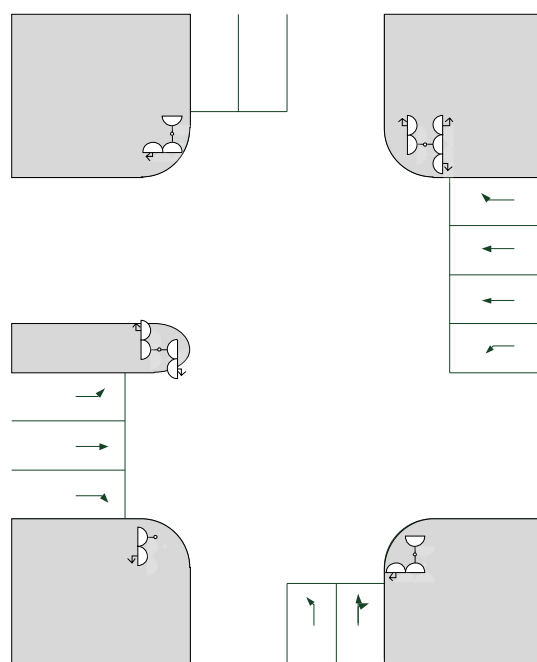


Рис. 3.6. Способи розміщення світлофорів на перехресті

Транспортні світлофори (окрім типів Т7 і Т8) розташовують над проїжджою частиною на висоті 4,5 – 5,5 м, або збоку від неї на висоті 2 – 3 м. В останньому випадку відстань від краю проїжджої частини до світлофора складає 0,5 – 2 м. В плані перехрестя світлофор розташовують за стоп-лінією. При цьому мінімальна відстань від нього до стоп-ліній складає 1 м (при установці його над проїжджою частиною – 3 м).

Основний світлофор (типу Т1 або Т2), якщо він не регулює рух лівоповоротних потоків, встановлюється справа перед перехрестям. Дублюючий світлофор (у разі вживання світлофорів першого типу)

розташовують також перед перехрестям на розділювальній смузі або на острівці безпеки. Якщо така можливість відсутня, дублюючий пристрій встановлюють за перехрестям на розділювальній смузі або на лівій стороні дороги. На дорогах з одностороннім рухом дублюючий світлофор встановлюється перед перехрестям зліва від проїжджої частини.

Основний транспортний світлофор з секцією для лівого повороту розташовується перед перехрестям на розділювальній смузі або на острівці безпеки, а у разі їх відсутності він може бути встановлений справа. Дублюючий світлофор – за перехрестям на розділювальній смузі або зліва від дороги. Секція для правого повороту дублюється в тих випадках, коли цей поворот здійснюється в декілька рядів.

При широкій проїжджій частині, вказані схеми встановлення можуть не забезпечувати видимості сигналів, і дублюючі світлофори слід розташовувати над дорогою (рис. 3.7.). Такий метод є єдино можливим при дублюванні світлофорів типу Т2. Необхідність в цьому виникає, коли основний світлофор розміщується справа або зліва від проїжджої частини, а рух, регульований цим світлофором, здійснюється по двох і більш смугам.

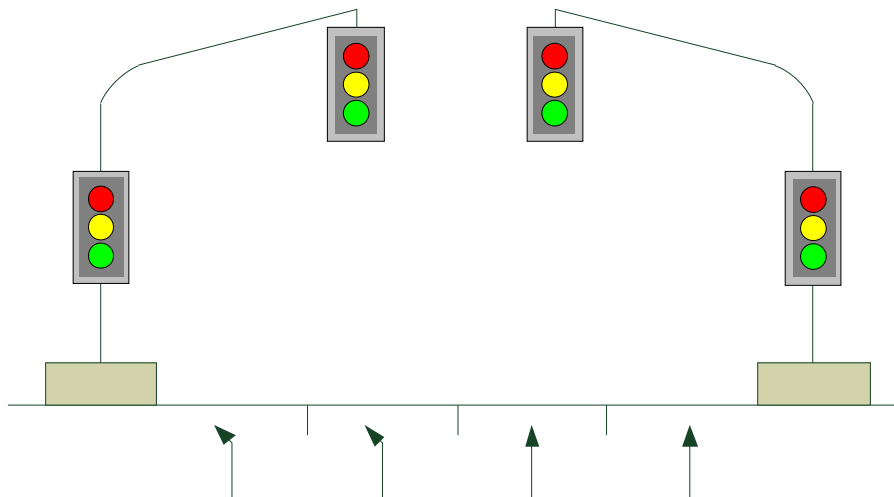


Рис. 3.7. Спосіб встановлення дублюючих світлофорів типу 2

Транспортні світлофори типу Т2, які регулюють проїзд за напрямком лівого повороту, встановлюються зліва від відповідної

смуги руху на розділовій смузі, або на острівці безпеки. Якщо ж ці елементи дороги відсутні, то допустимо встановлювати основний світлофор типу Т2 на лівій стороні дороги, по за умовою призначення однієї смуги для зустрічного руху транспорту. Інакше цей світлофор повинен бути розташований над проїжджою частиною.

При регулюванні руху по смугах, світлофори типу Т2 розміщуються над кожною смугою, відповідно дозволеному напрямку руху з даної смуги. При цьому необхідність в дублюючих світлофорах в цьому випадку відсутня.

Дальність видимості світлофора визначається за умовою своєчасної зупинки транспортних засобів на забороняючий сигнал. При цьому, зупинний шлях розраховується виходячи не з аварійного, а із робочого гальмування (величина уповільнення не перевищує $2 - 3 \text{ м/с}^2$) та повинен враховувати час, необхідний водію па пошук сигналу і його сприйняття. Прийнята в даний час нормативна величина мінімальної відстані видимості сигналу дорівнює 100 м.

Відстань видимості визначається світлотехнічними параметрами світлофора. Сила світла його оптичної системи і відстань видимості зв'язані залежністю

$$L_C = \sqrt{\frac{I_a \cdot \tau \cdot 10^{-3}}{E_{\Pi} \cdot k_{\Pi}}} \quad (3.1)$$

де L_C — відстань видимості сигналу, м;

I_a — сила світла оптичної системи під кутом α до її осі, кд;

τ — коефіцієнт прозорості атмосфери;

k_{Π} — виправний коефіцієнт, що залежить від кутового розміру світлового сигналу;

E_{Π} — порогова освітленість зрачку глазу водія, при якій він упевнено розпізнає сигнал, лк.

Характер розподілу сили світла сигналу світлофору в залежності від положення водія відносно оптичної осі світлового пристрою наведено на рис. 3.8.

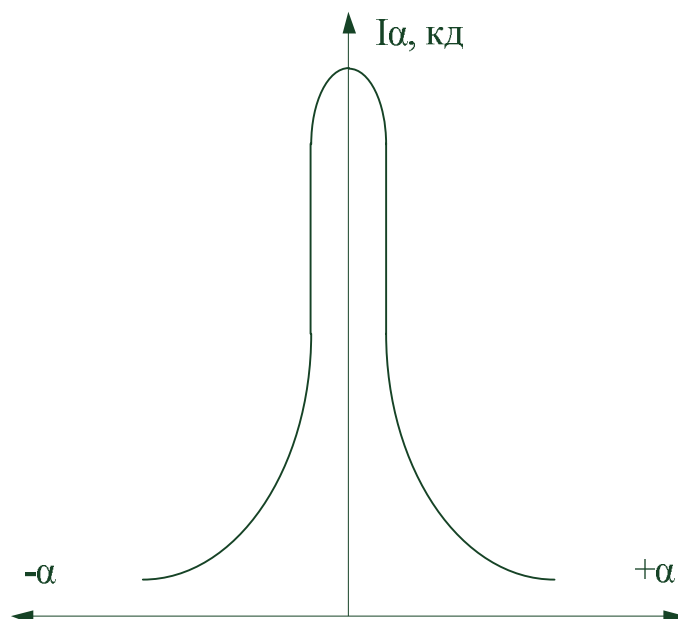


Рис. 3.8. Характер розподілу сили світла сигналу світлофору в залежності від положення водія відносно оптичної осі

3.3 Керуючі пристрої АСУДР

3.3.1. Типи дорожніх контролерів та галузі їх застосування

Дорожні контролери – це пристрої місцевого управління. Дорожні контролери (ДК) призначені для управління перемиканням сигналів світлофорів і символів керованих дорожніх знаків. Останнім часом отримали розповсюдження динамічні інформаційні табло (ДІТ), які по міжнародній класифікації відносяться до керованих дорожніх знаків з інформацією, що змінюється. Крім цього, залежно від конструкції, ДК можуть сигналізувати про виконання команд що надходять з центру управління (ЦУ), а також, виконувати функції командного пристрою для групи інших контролерів при об'єднанні декількох перехресть при управлінні дорожнім рухом.

Контролери за типом розподіляються на локальні і системні. Локальні контролери управляють світлофорною сигналізацією тільки з урахуванням умов руху на даному перехресті. Обмін

інформацією з контролерами інших перехресть і центром управління ДР не передбачений.

До локальних контролерів відносяться наступні типи ДК:

- контролери жорсткого управління з фіксованою тривалістю фаз регулювання або дозволяючих сигналів по окремих напрямках перехрестя. Світлофорні сигнали перемикаються по одній, або по декількох наперед заданих програмам. Такі контролери призначені для управління дорожнім рухом на перехрестях з інтенсивністю руху, що мало змінюється протягом доби.

- визивні пристрої, які забезпечують перемикання світлофорних сигналів по виклику пішоходів або транспортних засобів, що прибувають з прилеглих до магістралі вулиць. Ці контролери призначені для управління епізодичним рухом пішоходів або транспортних засобів по перетинаючих магістраль напрямках. Тривалості дозволяючих сигналів для пішоходів і вказаних транспортних засобів, як і у попередньому випадку, фіксовані. Останнім часом визивні пристрої окремо не випускають. Виклик дозволяючої фази по запиту пішоходів забезпечують контролери всіх типів.

- контролери адаптивного управління забезпечують змінну тривалість фаз. Вони призначені для управління рухом на перехрестях, де інтенсивність руху не висока і часто змінюється протягом доби. Тривалість фаз регулювання так само, як і всього циклу регулювання, змінюється в наперед заданих межах від мінімального до максимального значення.

Системні контролери перемикають сигнали світлофорів за командами ЦУ або будь якого контролера, який виконує функції координатора.

До адаптивних контролерів відносяться наступні типи:

- програмні контролери жорсткого управління. Вони управляють рухом по одній з декількох наперед заданих тимчасових програм, закладених в контролерах. Всі дорожні контролери, які належать до системи управління, підключені до системного каналу зв'язку. Програма управління та момент її включення обираються по команді ЦУ.

- контролери безпосереднього підкорення жорсткого і адаптивного управління. Кожний з них, як правило, має окремий

канал зв'язку з ЦУ. Момент включення і тривалість фаз регулювання залежать від команд, що поступають з ЦУ по вказаних каналах зв'язку. У свою чергу, кожний контролер по цих же каналах інформує ЦУ щодо параметрів управління ДР і стану свого функціонування. Контролери адаптивного управління реалізують функцію корекції управляючих дій ЦУ. Кожний такий контролер має декілько закладених в нього програм, що виконують роль резервних. Вони реалізуються при порушенні зв'язку з ЦУ, коли контролер тимчасово переходить на локальний режим управління.

- контролери для перемикання символів керованих дорожніх знаків (КДЗ), покажчиків рекомендованої швидкості руху ТП і динамічних інформаційних табло. Такі контролери застосовують у складі АСУДР, тому вони відносяться до класу системних.

Крім цієї класифікації, всі ДК, що знаходяться в експлуатації, можна розділити на дві групи контролерів: забезпечуючих лише пофазне управління на перехресті та контролери, що мають функцію забезпечення, окрім пофазного роз'їзду на перехресті, також управління ДР за окремими напрямками руху на перехресті. Останні набувають найбільше поширення, оскільки збільшують гнучкість управління дорожнім рухом, а отже, і ефективність управління.

Останнім часом набули поширення контролери управління рухом по окремих смугах, особливо на швидкісних міських дорогах і в тунелях.

По конструктивній ознаці ДК можуть бути виконані на базі електромеханічних, електронно-релейних або повністю електронних схем. Останні виготовляють на дискретних елементах (потенційно-імпульсні схеми), на інтегральних мікросхемах, а також використовують в їх конструкції МІКРОЕОМ (мікропроцесори). Випуск електромеханічних контролерів в теперішній час припинений.

3.3.2. Принципова схема мікропроцесорного контролеру

Для виконання функцій управління мікропроцесорний контролер має складну структурну схему (рис. 3.9.). Основними її складовими є блок управління (програмно-логічний пристрій) і силова частина (виконавчий пристрій). Блок управління призначений для формування керуючих впливів на об'єкт управління, силова частина – для зв'язку з виконуючими пристроями. Оскільки на перехресті одночасно можуть бути включено декілька десятків ламп, силова частина контролера комутує струми великої величини. Робота блоку управління заснована на слабкострумівих пристроях, що діють при напрузі 5 – 12 В. Тому в будь-якому контролері блок управління і силова частина представляють окремі його частини. Причому силова частина працює по командах блоку управління.

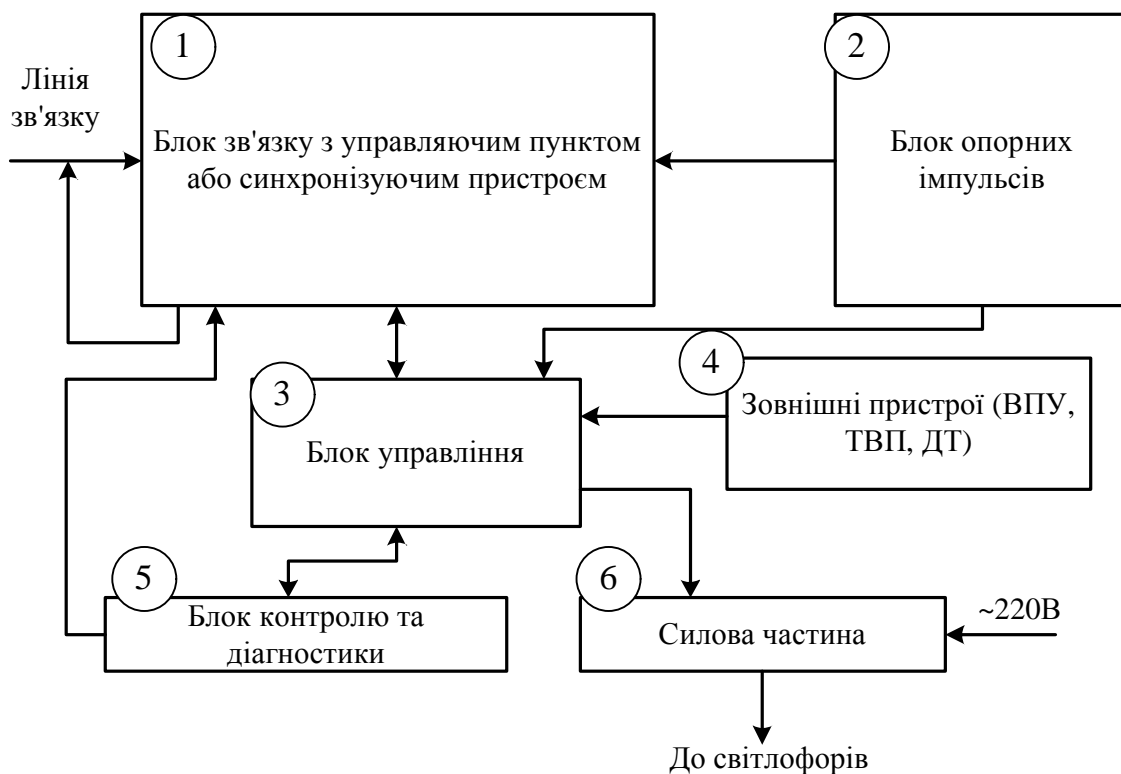


Рис. 3.9. Загальна структурна схема контролера

Управління світлофорним об'єктом відбувається автоматично. Проте нерідко виникає необхідність в ручному управлінні перехрестям (спецрежими, наладка контролера). Для цього існує пульт управління (блок 4), який може бути вбудованим або виносним. Останній передбачений для зручності роботи оператора, керівника рухом безпосередньо на перехресті.

Таким чином, в найпростішому випадку для роботи контролера необхідні блоки 3, 4 і 6 (блок 2 може бути з'єднаний з блоком 3). Сучасний локальний контролер містить всі блоки, показані на рис. 3.9, окрім блоку 1, який використовується, якщо контролер підключається до системи управління. В цьому випадку блок 1 розшифровує поступаючу з управляючого пункту інформацію, формує у відповідь телесигналізацію для передачі її в лінію зв'язку. Окрім цього, тут формуються службові сигнали для контролера. Останні потрібні для гарантії правильної розшифровки команд телекерування і телесигналізації. Це необхідне у зв'язку з тим, що у ряді пристроїв управляючого пункту і контролера застосовані генератори імпульсів, що використовують початкову частоту мережі 50 Гц. В окремих частинах міста вона має різний зсув по фазі. Вузол синфазування забезпечує автоматичне підстроювання фаз з постійною точністю.

Блок опорних імпульсів формує імпульси, необхідні як для роботи самого контролера, так і його телекерування.

У блоці управління формується програма управління перехрестям. Такти перемикаються відповідно до програми блоку управління, або при подачі сигналу від управляючого пункту, або від зовнішніх пристроїв, наприклад від виносного пункту управління (ВПУ). Підключення до контролера детекторів транспорту дозволяє реалізовувати управління дорожнім рухом по розриву у транспортному потоці, змінюючи дію дозволяючих сигналів, якщо не знайдений розрив в транспортному потоці у напрямі, для якого дозволено проїзд перехрестя. Перемикання сигналів світлофорів може відбутися і по запиті пішохода за допомогою табло виклику пішоходом (ТВП). Окрім цього, контролер реалізує режим жовтого миготливого сигналу. Таким чином, мікропроцесорний контролер може реалізувати різні режими

управління за командами ЦУ або на підставі заздалегідь розроблених програм управління.

Блок контролю діагностує роботу усіх блоків контролера та стежить за його працездатністю. Інформація, щодо стану контролера відбивається на табло індикації, що знаходиться на лицьовій панелі контролера. При системному управлінні ця інформація поступає також в ЦУ. Відмова функціонування контролера є підставою для ухвалення рішення по управлінню дорожнім рухом у критичних ситуаціях.

3.4. Вимірюючі пристрої АСУДР

3.4.1. Класифікація детекторів транспорту

Однією з функцій АСУДР є вимір параметрів транспортних потоків. Оскільки остаточна обробка інформації виконується обчислювальними пристроями, які знаходяться на досить великій відстані від детекторів транспорту, то зібрана інформація передається в управляючий обчислювальний комплекс (УОК) центру управління по каналах зв'язку.

Тип параметрів, їх кількісні і якісні характеристики, а також точність виміру визначаються вимогами алгоритмів автоматичного або диспетчерського управління, а також функціями збору статистичної інформації.

Основними параметрами транспортного потоку, що підлягають виміру, реєстрації і використанню в АСУДР, є:

- моменти часу проїзду автомобілями заданих перерізів дороги;
- інтенсивність транспортного потоку (кількість автомобілів, що пройшли переріз дороги) за проміжок часу будь-якої тривалості (час виміру);
- середня швидкість потоку на заданій ділянці дороги і за заданий час виміру;
- щільність транспортного потоку на заданій ділянці дороги за заданий час виміру;
- довжина черги автомобілів біля перехрестя в заданому напрямі руху.

Ці параметри вимірюються в АСУДР зазвичай за допомогою ДТ двох типів – прохідними детекторами та детекторами присутності. Вказані детектори сучасного типу виконуються одночи багато смуговими. У першому випадку вимірювана інформація, що з'являється на виході детектора відноситься тільки до однієї смуги руху, в другому – детектори на виході надають вимірювану інформацію на автошляхах окремо по кожній смузі. Зазвичай, використовуються детектори, що вимірюють параметри транспортного потоку на ширині дороги до восьми смуг руху (у будь-якому напрямі).

Найбільш розповсюджені детектори це відео реєстратори які виконують наступні функції:

- визначають загальну кількість транспортних засобів, що проїхали по кожній смузі руху за заданий проміжок часу;
- класифікують транспортні засоби, що проїхали по типах: мотоцикли, легкові автомобілі, пікапи і малі вантажівки (завдовжки менше 12 м), автобуси, великі вантажівки (завдовжки більше 12 м);
- підраховують середню швидкість руху по кожній смузі для різних типів транспортних засобів;
- визначають ступінь насичення кожної дорожньої смуги транспортним засобом (якщо транспортні засоби у момент закінчення заданого періоду часу спостереження не рухаються або рухаються зі швидкістю менше 5 км/год., ситуація на дорозі класифікується як транспортний затор);
- фіксують відстань між транспортними засобами для кожної смуги руху;
- одна відеокамера дозволяє фіксувати дані з чотирьох смуг руху. істотною перевагою відео детекторів є можливість одночасного та паралельного відео спостереження за зоною контролю.

Детектори транспорту призначені для виявлення транспортних засобів у певній зоні ВДМ і визначення параметрів транспортних потоків. Ці дані необхідні для реалізації алгоритмів гнучкого регулювання, розрахунку або автоматичного вибору програми управління дорожнім рухом.

Будь-який детектор має структуру, яка наведена на рис. 3.10. Вона складається із наступних елементів: чутливий елемент (ЧЕ), підсилювач-перетворювач і вихідний пристрій (ВП).

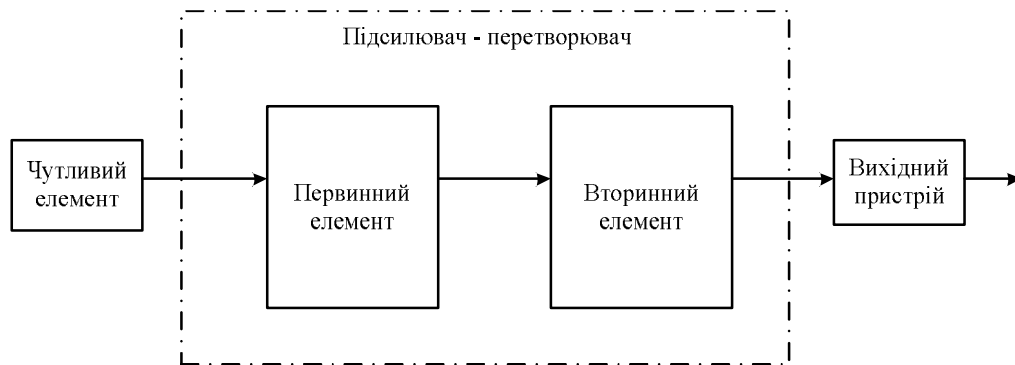


Рис. 3.10. Загальна схема детектору транспорту

Чутливий елемент безпосередньо сприймає сигнали при проходженні або присутності в зоні його дії транспортного засобу. Це змінює фізичні параметри детектора і виробляє первинний сигнал.

Підсилювач-перетворювач підсилює, обробляє і перетворює первинні сигнали до вигляду, зручного для реєстрації вимірюваного параметра транспортного потоку. До його складу входять два вузла: первинний і вторинний елемент. Первинний елемент підсилює первинний сигнал до вигляду, необхідного для подальшої обробки. Вторинний елемент перетворює сигнали різної фізичної природи (це залежить від природи чутливого елементу) в двоічний код. В окремих детекторах вторинний елемент може бути відсутній або поєднуватися з первинним в єдиному функціональному вузлі.

Вихідний пристрій призначений для зберігання і передачі сформованого детектором коду по спеціально виділених каналах зв'язку в ЦУ або контролер.

Детектори транспорту можна класифікувати за призначенням та принципом дії чутливого елементу. За призначенням детектори розділяються на прохідні детектори і детектори присутності. Прохідні детектори видають нормовані по тривалості сигнали при появі транспортного засобу в контрольованій детектором зоні. Параметри сигналу не залежать від часу знаходження в цій зоні транспортного засобу. Таким чином, цей тип детекторів фіксує

тільки факт появи автомобіля, що необхідно, наприклад, для реалізації алгоритму управління дорожнім рухом за принципом пошуку розриву в транспортном потоці. Завдяки цьому прохідні детектори знайшли найбільше розповсюдження.

Детектори присутності формують сигнал продовж часу проїзду транспортного засобу в зоні, контрольованій детектором. Ці типи детекторів призначені для визначення інтенсивності транспортного потоку та його складу, тобто вони дозволяють отримати кількісні показники ТП.

За принципом дії чутливі елементи детекторів можна розділити на три групи: контактного типу (електромеханічні, пневмо- і п'єзоелектричні), випромінювання (фотоелектричні, радарні, ультразвукові), зміни параметрів електромагнітних систем (магнітні, індуктивні).

3.4.2. Визначення параметрів розміщення детекторів транспорту

Ефективність адаптивного управління залежить від місця встановлення детектора транспорту. Воно визначається характером задач, які вирішують системи локального і системного управління дорожнім рухом. В першому випадку, детектор встановлюють на підході до перехрестя для реалізації алгоритму МГР, в другому - детектори необхідні для автоматичного вибору необхідної програми координації по транспортній ситуації в районі, визначення швидкості руху, включення ЗУ, виявлення заторів.

Для реалізації алгоритму МГР необхідно встановити ДТ на такій відстані від перехрестя, щоб автомобіль, після виявлення розриву та пройшовши контрольовану детектором зону, зміг своєчасно зупинитися перед стоп-лінією. Найсприятливішим випадком є той, коли у момент проходження автомобілем контрольованої зони, вмикається жовтий сигнал світлофора. Тому, відстань від детектора до стоп-ліній ($S_{\text{ДТ}}$) визначається по величині зупиночного шляху транспортного засобу:

$$S_{\text{ДТ}} = V_a \cdot t_{\text{рк}} / 3,6 + V_a^2 / (26a_T) \quad (3.2)$$

де $t_{\text{рк}}$ – час реакції водія на зміну сигналів світлофора;

a_{T} – уповільнення автомобіля при гальмуванні на забороняючий сигнал, м/с^2 .

По довжині відстані $S_{\text{дт}}$ визначають решту параметрів МГР, зокрема екіпажний час $t_{\text{ек}}$ і мінімальна тривалість основного такту t_{3min} . Подібний підхід практично виключає проїзд автомобілем перехрестя на жовтий сигнал, що підвищує безпеку руху.

При такій установці ДТ проїзд автомобіля на жовтий сигнал можливий лише тоді, коли контролер відпрацьовує максимальний час t_{3max} тривалості основного такту. Цей режим роботи відповідає жорсткому регулюванню і тривалість проміжного такту забезпечує необхідну безпеку руху.

Для автоматичного вибору програми координації дорожнього руху в районі ВДМ необхідно визначити перетини ВДМ для обладнання їх детекторами транспорту. Інформація від них повинна дати об'єктивну оцінку зміни параметрів ТП у всьому районі управління. При цьому розглядаються два типи перетинів. До першого типу відносяться перетини в тих місцях, де параметри потоків на перетині близькі за значенням інтенсивності ТП на перегонах. Перетини другого типу визначають в місцях, де, навпаки, ці параметри різко змінюються: потоки розгалужуються або зливаються на перехресті.

При автоматичному включенні управління за методом «зелена хвиля» (ЗХ) довжина ділянки і місце установки детектора, що фіксує автотранспортний засіб, визначають з наступних міркувань. У момент появи транспортного засобу в контрольованій детектором зоні ділянки до перехрестя по магістралі, вмикається мінімальний зелений сигнал на час t_{3min} (зазвичай 10-12 с), що забезпечує попереднє розвантаження цього напрямку. Враховуючи, що до t_{3min} і після нього повинні бути наступні такти (червоний з жовтим і жовтий сигнали), відстань від детектора до першого перехрестя ділянки «зеленої хвилі» $L_{\text{3Х}}$ повинна задовольняти нерівність:

$$L_{\text{3Х1}} > (t_{\text{ЖК}} + t_{\text{3min}} + t_{\text{Ж}}) \cdot V_{\text{са}} / 3,6, \quad (3.3)$$

де $V_{\text{са}}$ — швидкість спецавтомобіля, км/ч .

Запитання для самоконтролю до розділу 3.

1. На які групи розділяються технічні засоби управління дорожнім рухом?
2. Які технічні засоби входять до складу АСУДР?
3. Функції та призначення технічних засобів АСУДР.
4. Які технічні засоби відносять до виконавчих пристроїв?
5. Які технічні засоби відносять до керуючих пристроїв АСУДР?
6. Які технічні засоби входять до складу вимірюючих пристроїв?
7. Які існують типи керованих дорожніх знаків?
8. Опишіть структурну схему мікропроцесорного контролера.
9. В чому полягає призначення контролерів адаптивного управління?
10. Які типи дорожніх контролерів розрізняють у відповідності з конструктивною ознакою?
11. Які блоки структурної схеми контролера являються обов'язковими?
12. Які блоки входять до складу структури контролера?
13. Функції блоку управління дорожнього контролера.
14. Які існують типи світлофорних пристроїв?
15. Які існують типи детекторів транспорту?
16. Які функції здатні виконувати відеодетектори?
17. Які основні елементи входять до структури детектору транспорту і в чому полягає їх призначення?
18. Які параметри являються визначальними при розташуванні чутливого елемента детектору транспорту?
19. На які групи можна розділити чутливі елементи детекторів за принципом дії?
20. Які параметри впливають на місце розташування детекторів?

РОЗДІЛ 4. КРИТЕРІЇ ЕФЕКТИВНОСТІ УПРАВЛІННЯ ДОРОЖНІМ РУХОМ.

4.1. Технічні критерії ефективності управління

У процесі функціонування системи управління, процес 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 системи управління.

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 змінює.

Визначення поточних параметрів транспортного потоку, є складним і трудомістким завданням. Однак, при розрахунку керуючих параметрів у системах управління, 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 мають інструментальну та суб'єктивну похибки. 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 значення параметрів транспортного потоку, отримані в on-line режимі, вимагають узагальнення до середнього значення динних. Розрахунок керуючих параметрів проводиться на підставі узагальнених даних про параметри транспортного потоку.

До параметрів ефективності організації дорожнього руху відносять наступні групи параметрів:

- а) технічні параметри ефективності управління:
 - градієнт швидкості руху автотранспортного засобу;
 - шум прискорення автотранспортного засобу.
- б) екологічні параметри ефективності управління:
 - витрати палива;
 - обсяги викидів шкідливих речовин в атмосферу.
- в) параметри надійності управління:
 - оптимальна пропускна спроможність вулично-дорожньої мережі;
 - 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 залежить від особливостей поведінки кожного з водіїв та складу транспортного потоку.

Методи магістрального управління на ВДМ засновані на вимірюванні 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 ділянці магістралі 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 транспортним засобом від параметра шуму прискорення. При збільшенні шуму прискорення ефективність управління знижується. На рис. 4.1 наведено графік залежності граничних значень шуму прискорення автотранспортного засобу від максимальної швидкості транспортного потоку, для визначення областей надійного, ненадійного і небезпечного управління транспортним потоком (керування легковим автомобілем).

Згідно енергетичного підходу до визначення параметрів дорожнього руху, коефіцієнт корисної дії транспортного потоку визначається як відношення кінетичної енергії до загальної енергії ТП (4.1) і найбільша його величина характеризує мінімум ентропії ТП, що впливає на гранично допустимий рівень техногенної небезпеки ТП. Поняття техногенної небезпеки ТП на ВДМ містить головні аспекти небезпеки: дорожню аварійність і рівень забруднення атмосферного повітря, а саме їх нерозривний взаємозв'язок. З іншого боку, досліджуване відношення являє собою нормовану величину кінетичної енергії ТП.

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

де W_k - кінетична енергія транспортного потоку;
 $W_{обц}$ - загальна енергія транспортного потоку.

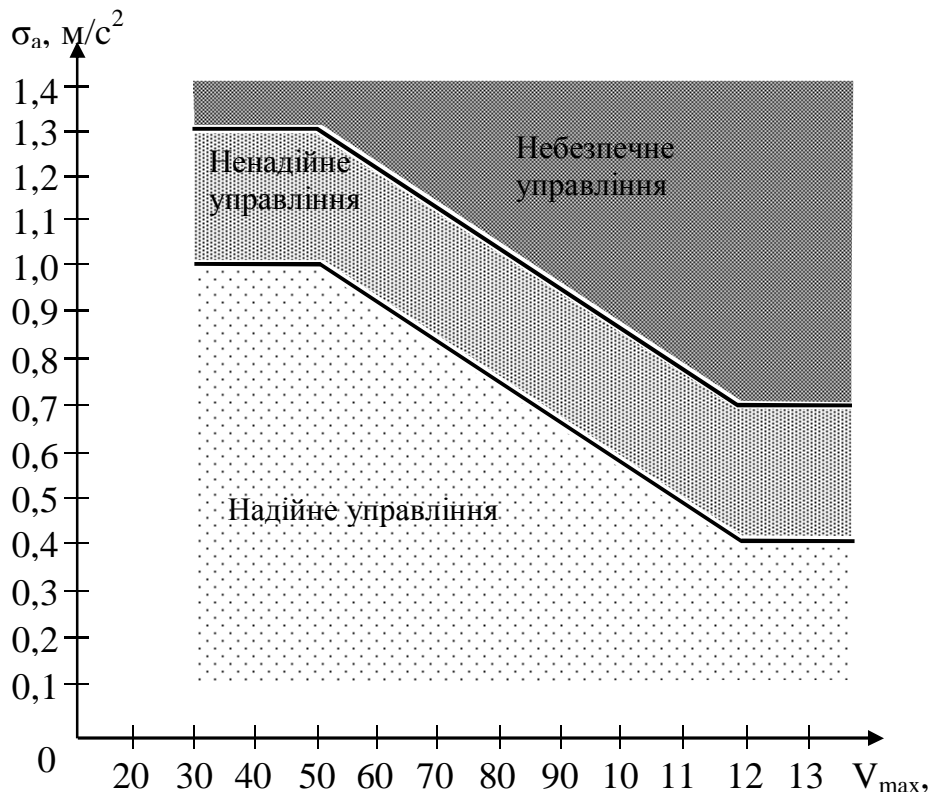


Рис. 4.1. Залежність граничних значень шуму прискорення, що відповідають різним рівням управління легкового автомобіля від максимальної швидкості

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 їздових циклів окремих автотранспортних засобів в порівнянні з їздовими циклами, спостережуваними при максимальній кінетичній енергії ТП. Взаємозв'язок інтенсивності та щільності ТП є характеристикою поточного рівня його ентропії. Оскільки в це поняття 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.

За енергетичні критерії оцінки ефективності дорожнього руху приймаємо шум прискорення і градієнт швидкості. Тому що 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, с,

dt - проміжок часу між двома вимірами, с,

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 рис. 4.2. Дані отримані при проїзді однієї ділянки дороги зі зміною часу простою на перехресті від 1 до 45 с. При затримці автотранспортного засобу на перехресті більш ніж 25 с шум прискорення стає менше, ніж при невинному рівномірному русі, хоча на практиці така величина затримки свідчить про недостатній рівень управління дорожнього руху.

З огляду на розглянуті обмеження, шум прискорення можливо 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 пропонують проводити, в залежності від наступних значень:

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

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

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

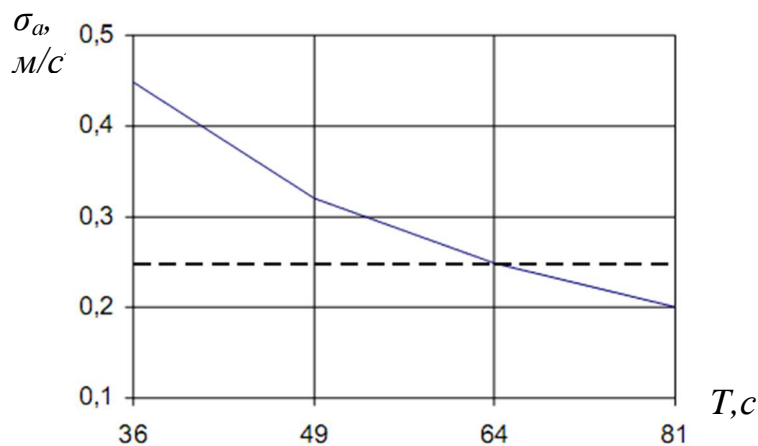


Рис. 4.2. Зміна шуму прискорення при збільшенні часу проїзду ділянки дороги за рахунок простою на перехресті

Проведені експериментальні дослідження управління дорожнім рухом на магістралях міста Полтави показують, що зміна градієнта швидкості на 60% обумовлено нерівномірністю руху і на 40% - затримками при русі. Цей критерій є більш універсальним і може бути застосований для оцінки ефективності управління дорожнім рухом на вулично-дорожній мережі міста. Отримані залежності між градієнтом швидкості і параметрами дорожнього руху наведено на рис. 4.3 і 4.4.

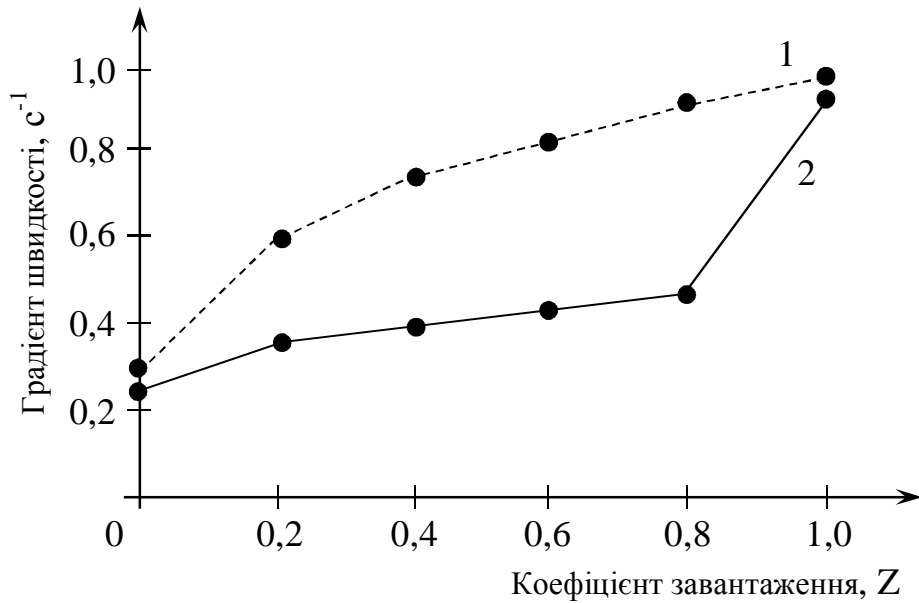


Рис. 4.3. Залежність градієнта швидкості від рівня завантаження при локальному управлінні (1) і координованому регулюванні (2)

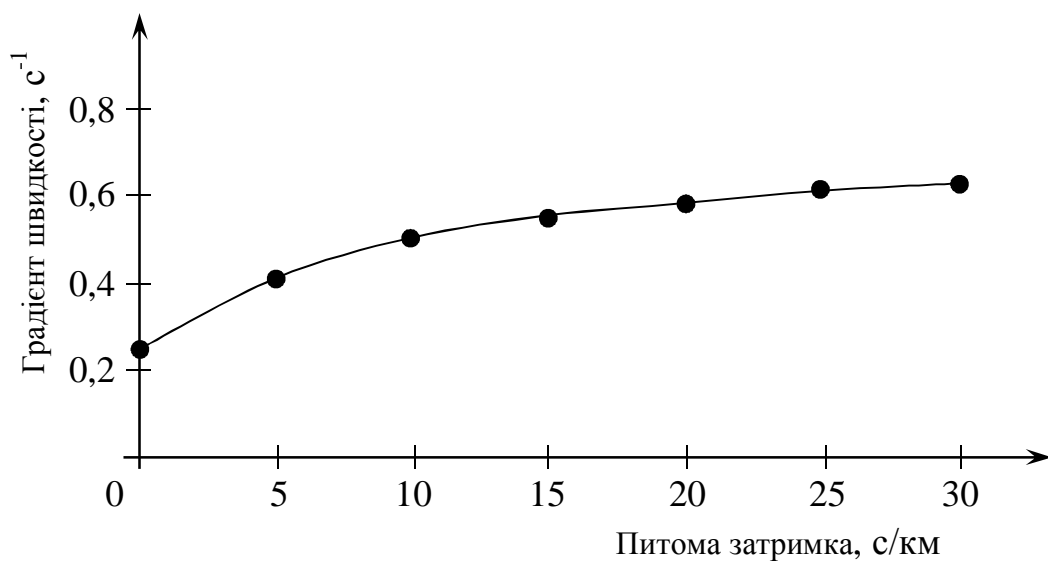


Рис. 4.4. Залежність градієнта швидкості від питомої затримки транспортного потоку

Таким чином, при виборі параметра оцінки ефективності методів координованого управління на мережі магістралей міста визначений показник - шум прискорення, є найбільш точним параметром, що характеризує якість управління на магістралях міста при введенні координованого управління.

4.2. Оцінка безпеки в ергатичних системах

В дійсний час питання безпеки учасників дорожнього руху становиться об'єктом уваги не лише професійних спеціалістів, а й наукових теорій, які ставлять перед собою мету визначення критеріїв якості ергатичних систем, до яких належать системи управління дорожнім рухом.

Для того щоб сформулювати вимоги безпеки, необхідно визначити такі терміни, як безпека технічного обладнання системи управління та безпека технологічного процесу дорожнього руху.

Безпека технічного обладнання визначається стандартом, як властивість обладнання зберігати надійність при виконанні заданих функцій при певних умовах протягом визначеного часу.

Безпека технологічного процесу визначається як властивість процесу виконувати свої функції протягом визначеного часу із заданими параметрами.

Приведені визначення мають відношення до ергатичних систем та процесів.

Надамо узагальнюючий алгоритм ергатичного процесу, який реалізується операторами систем управління або ергатичними (автоматизованими) підсистемами у системах. При цьому ергатичні процеси можна розділити на два типи:

I тип. Небезпечні процеси, для яких той чи інший фактор безпеки є властивістю, яку закладено до технологічних принципів процесу. Дорожній рух має усі ознаки небезпечного процесу.

II тип. Процеси, в яких виникає небезпека в разі відмови, що виникає при функціонуванні системи у номінальному режимі. Відмова технічних засобів управління підвищує небезпеку дорожнього руху.

Процеси із безпекою при відмові можливо характеризувати, як підвищення надійності. При цьому застосовується теорія надійності технологічних (технічних) процесів та систем.

Тенденції сучасної технології полягає у тому, що безпечні процеси, у яких безпека існує увесь час функціонування, можливо розглядати як процеси із безпекою при відмові. Тому існує теоретичний та практичний інтерес до аналізу технологічних процесів з точки зору кількісної оцінки їх безпеки та з урахуванням

її під час проектування. У процесах з відмовою, відмову можна розглядати як стан ергатичної системи, коли порушення апріорно визначених граничних значень параметрів призведе до зміни показника безпеки ергатичної системи.

Таким чином, відмова у функціонуванні процесу управління дорожнім рухом, не обов'язково стосується будь-якого технічного пристрою системи. Відмова, у тому розумінні, як було визначено, може існувати у системі при працездатному обладнанні. Такий підхід дозволяє розробляти та визначати рекомендації для забезпечення ергатичного процесу. Виникнення затору на ділянці вулично-дорожньої мережі можливо розглядати, як відмову у системі управління дорожнім рухом.

На підставі того, що безпеку процесу можливо розглядати як показник його якості, то необхідно формувати рекомендації, які стосуються нової організації взаємодії різних типів технічних пристроїв та методів управління у системах.

4.3. Параметри надійності технічних засобів та систем управління дорожнім рухом

Надійність – це властивість об'єкта виконувати задані функції, без зміни у часі значення показників в заданих межах. Надійність містить також безвідмовність, довготривалість, ремонтпридатність та збереження працездатності об'єкту або певне сполучення цих властивостей. Забезпечення надійності є дуже складна проблема. Часті відмови або тривалі перерви у роботі системи можуть привести до повної втрати ефективності та до значних експлуатаційних витрат.

Технічні засоби управління дорожнім рухом є частиною транспортної системи міста. Тоді вимоги до надійності АСУДР можливо визначити на підставі загальної задачі функціонування транспортної системи - забезпечити стратегічні зовнішні та внутрішні зв'язки у місті при будь-яких умовах експлуатації.

Кількісна оцінка надійності функціонування технічних засобів АСУДР визначається на підставі показників надійності, які визначаються як для відновлюваних (тобто об'єктів, які відновлюють роботу після кожної відмови), так і для

невідновлюваних об'єктів. АСУДР та її підсистеми відносяться до відновлювальних об'єктів.

При визначенні надійності АСУДР застосовуються наступні показники:

- параметр потоку відмов – ω ;
- час напрацювання на відмову – T_0 ;
- імовірність безвідмовної роботи – $P(t)$;
- середній час відновлення – T_B ;
- коефіцієнт готовності об'єкту – K_r .

Параметр потоку відмов – це щільність імовірності виникнення відмов відновлюваного об'єкту у заданий проміжок часу:

$$\omega = \frac{n}{N \cdot \Delta t}, \quad (4.4)$$

де n - кількість відмов протягом часу Δt ;

N - кількість досліджуваних об'єктів;

Δt - проміжок часу.

Напрацювання на відмову - це відношення часу напрацювання відновлюваного об'єкту до математичного очікування кількості його відмов протягом часу напрацювання:

$$T_0 = \frac{T_p}{n}, \quad (4.5)$$

де $T_p = \sum_{i=1}^n t_i$ - загальний час роботи у визначеному календарному терміні, год.;

n - кількість відмов за час спостереження;

t_i - час роботи об'єкта між $(i-1)$ та i - ою відмовами.

У подальших дослідженнях (до отримання експериментальних даних) приймається, що закон розподілення часу між відмовами – експоненціальний. За експоненціальним законом розподілення часу напрацювання між відмовами T_0 дорівнює

$$T_0 = \omega^{-1}, \quad (4.6)$$

Імовірність безвідмовної роботи об'єкту визначається як відношення кількості об'єктів, що безвідмовно пропрацювали до моменту часу t , до кількості об'єктів, які були працездатні в початковий момент часу

$$P(t) = e^{-\omega t} = e^{-\frac{t}{T_0}}. \quad (4.7)$$

Середній час відновлення визначається залежністю:

$$T_B = \frac{\sum_{i=1}^n \tau_i}{n}, \quad (4.8)$$

де τ_i - час відновлення i -го об'єкту (складається із часу прибуття ремонтної бригади, пошуку та усунення відмови);

n - кількість відмов.

Коефіцієнт готовності K_r - це імовірність того, що об'єкт знаходиться у працездатному стані у будь-який момент часу. Він визначається як:

$$K_r = \frac{1}{1 + \frac{T_B}{T_0}} = \frac{1}{1 + \omega \cdot T_B}. \quad (4.9)$$

Таким чином, коефіцієнт готовності - це частка часу працездатного стану об'єкту.

На підставі того що системи управління дорожнім рухом є багатофункціональними системами (забезпечують збір інформації, виконання декількох програм управління, тощо), показники надійності необхідно визначати для кожної функції окремо.

Коефіцієнт відмов ($K_{\text{від}}$) визначається як частка відмов окремого типу (відмова пристроїв, ліній зв'язку, помилкові відмови, наїзд транспортних засобів на технічні засоби) у загальній кількості відмов:

$$K_{\text{від}} = 1 - K_r, \quad (4.10)$$

В залежності від місця виявлення відмови, вони розподіляються на периферійні та диспетчерські, тобто такі відмови, які виникли на центральному пункті управління.

Периферійні ознаки відмов:

- не світяться сигнали світлофорів;
- сигнали світлофорів не перемикаються;
- нема одного або декількох сигналів світлофорів, або вони періодично зникають;
- усі сигнали світлофорів світяться одночасно;
- недостатня видимість сигналів світлофорів, яка пов'язана із падінням напруги у мережі, або із дефектом світловідбиваючої системи, тощо;
- неможливість здійснити управління світлофором із пульта керування;
- не працює показчик швидкості або керований знак.

Диспетчерські ознаки відмов:

- із диспетчерського пульта не вмикається режим управління (наприклад «зелена вулиця»);
- не вмикається жодна з програм управління світлофорною сигналізацією;
- периферійні пристрої не відповідають на запит;
- периферійні пристрої постійно знаходяться під контролем центру;
- порушена координація світлофорних пристроїв;
- немає зв'язку із детекторами транспорту, тому відсутні дані щодо параметрів транспортних потоків.

Наведені показники надійності та ознаки відмов можливо застосувати для оцінки ефективності АСУДР.

4.4. Показники надійності АСУДР

Надійність АСУДР пов'язана із ефективністю функціонування системи, до показників якої можливо віднести також зменшення часу проїзду, скорочення кількості зупинок при русі, а також можливість оперативного втручання у процес дорожнього руху шляхом зміни режимів світлофорної сигналізації, позицій керованих

дорожніх знаків, організації викликів ремонтних бригад, передачі управляючих дій співробітникам ДАІ.

Взаємозв'язок ефективності та працездатності АСУДР можливо отримати, якщо показником технічної ефективності (Φ_0) вважати зменшення часу проїзду транспортних засобів. Тоді, кожна дія управління є складовою в загальне зменшення часу проїзду:

$$\Phi_0 = \sum_{i=1}^N \sigma_i, \quad (4.11)$$

де σ_i - частка зменшення часу проїзду при наявності управляючих дій;

N - кількість управляючих дій.

Імовірність досягнення технічної ефективності, тобто ефективність системи (E), пов'язана з імовірністю працездатного стану системи співвідношенням:

$$E(t) = \sum_{i=1}^N \sigma P_i(t), \quad (4.12)$$

де $P_i(t)$ - імовірність працездатного стану i -го пристрою системи.

При цьому $\lim_{t \rightarrow \infty} P_i(t) = K_r$

Тоді, у разі достатньо тривалого проміжку часу, можливо визначити:

$$E = \sum_{i=1}^N \sigma_i K_r = \Phi_0 \cdot K_r. \quad (4.13)$$

Рівняння (4.13) розкриває зв'язок ефективності системи управління з комплексним показником надійності – коефіцієнтом готовності. Таким чином, можливо зробити висновок, що підвищенню ефективності системи управління дорожнім рухом сприяє зменшення кількості відмов та часу на їх усунення.

4.5. Соціальні критерії ефективності управління ДР

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

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

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

$$P_M = \frac{\sum_{m=1}^M \left(\frac{1}{1-P_m} - 1 \right)}{1 + \sum_{m=1}^M \left(\frac{1}{1-P_m} - 1 \right)}, \quad (4.14)$$

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

M - кількість заходів по підвищенню безпеки руху.

$$N_{\text{ДТП после}} = N_{\text{ДТП до}} - (N_{\text{ДТП до}} \cdot P_M), \quad (4.15)$$

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

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

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

$$t_{зам} = 0,9 \cdot \frac{M_i \cdot (T_y - t_3)^2}{2 \cdot T_y \cdot (M_i - N_i)}, \quad (4.16)$$

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 конфліктуючих напрямках

$$\bar{t}_{зам} = \frac{\sum_{i=1}^m t_{замi} N_i}{\sum_{i=1}^m N_i}, \quad (4.17)$$

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

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

m - кількість фаз регулювання.

Втрати часу за рік на ізольованому регульованому перехресті визначаються за формулою

$$T_{pn} = \frac{365 \cdot N \cdot \bar{t}_{зам}}{3600 \cdot k_n}, \quad (4.18)$$

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

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

$$T_n = \frac{365 \cdot N_{эл} \cdot l_n}{k_n \cdot V_a}, \quad (4.19)$$

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

$$T = T_{pn} + T_n, \quad (4.20)$$

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 управління рухом середня затримка на перехресті в напрямку координації визначається за формулою

$$\bar{t}_{pk} = \left[\frac{1}{2\pi} \cdot \cos\left(\frac{2\pi \cdot t_{cdв}}{T_{\psi}}\right) + \frac{1}{2} \cdot (1 - \lambda) \right] \cdot T_{\psi}, \quad (4.21)$$

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

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

T_{ψ} - тривалість циклу регулювання, с.

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

$$T_{pk} = \frac{365}{3600} \cdot \frac{N^{KY} \cdot t_o}{k_n}, \quad (4.22)$$

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

4.6. Економічні критерії ефективності управління ДР

4.6.1. Аналіз витрат пального транспортними потоками

Однією із найважливіших характеристик автомобіля, що впливає на стан навколишнього середовища, є його паливна економічність.

Під паливною економічністю автомобіля розуміється його властивість використовувати мінімально можливу кількість палива при виконанні транспортної роботи.

Існують наступні показники паливної економічності:

- контрольні витрати палива;

- паливна характеристика автотранспортного засобу при русі, що установився;
- витрати палива у магістральному та міському циклах на дорогах;
- у міському циклі на стенді із біговими барабанами;
- паливно-швидкісна характеристика на магістралі з горбистою місцевістю.

При проведенні вимірів пред'являються жорсткі вимоги до автомобілів, що випробуються, до дорожніх та погодних умов, контрольно-вимірювальної апаратури.

Випробування автомобілів на паливну економічність здійснюють по їздовим циклам.

Їздовий цикл - послідовний циклічний перехід режиму холостого ходу на режим розгону, усталеної роботи та гальмування.

В реальних умовах експлуатації на витрату палива впливають різноманітні експлуатаційні показники, а витрати палива мають назву експлуатаційні витрати палива.

Загальні витрати палива обумовлюються втратами енергії в двигуні ($Q_{дв}$) та трансмісії ($Q_{тр}$), а також загальним опором рухові, що складається з опору коченню (Q_f), опору повітряному потоку (Q_w), опору сил інерції (Q_i) та опору підйому (Q_α). Сукупність цих складових утворює паливний баланс:

$$Q = Q_{дв} + Q_{тр} + Q_f + Q_w + Q_i + Q_\alpha \quad (4.23)$$

При русі легкового автомобіля по горизонтальній ділянці дороги зі швидкістю 60 км/ч питома вага складових розподіляється наступним чином:

$$Q_{дв} = 65\%; Q_f = 16\%; Q_w = 10\%; Q_{тр} = 9\%. \quad (4.24)$$

Експлуатаційні витрати палива визначаються як відношення загальних витрат палива до пройденого шляху $q = Q/S$.

На рис. 4.5. показано зміну експлуатаційних витрат палива легковим автомобілем на ділянці міської та позаміської магістралі у залежності від швидкості сполучення.

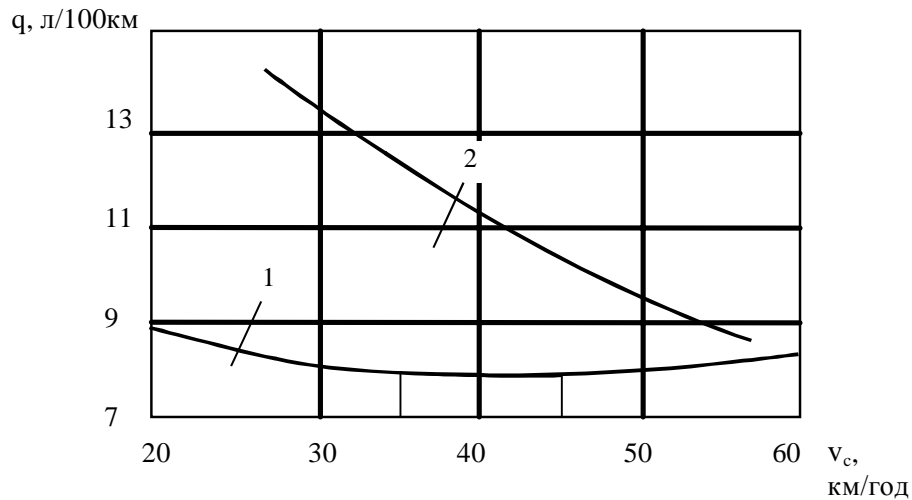


Рис. 4.5. Вплив швидкості руху на експлуатаційні витрати палива:
 1 – позаміська магістраль; 2 – міська магістраль із регульованим рухом.

Крива 1 доводить зміни витрати палива залежно від швидкості усталеного руху, а заштрихована зона відповідає витратам палива при русі з економічною швидкістю.

Але в міських умовах переважають неусталені режими руху, що характеризуються частою зміною швидкості, переключенням передач, зупинками та роботою двигуна на холостому ходу. Автомобіль рухається в основному у режимах розгону та гальмування, причому поєднання цих фаз є найрізноманітнішим.

Перелічені особливості призводять до неможливості руху із економічними швидкостями та до додаткової витрати палива (зона між 1 та 2).

Параметри режимів руху формуються під впливом багатьох факторів, які у свою чергу впливають і на витрати палива.

Значний вплив на витрати палива мають методи управління дорожнім рухом та параметри транспортного потоку. Витрати палива на одній і тій же самій ділянці змінюються протягом доби та їх зміни майже повністю відповідають зміні інтенсивності руху.

4.6.2. Прогнозування сумарних витрат палива транспортним потоком

До факторів, що впливають на витрати палива при русі у міських умовах, можливо віднести:

- щільність транспортного потоку та його склад ;
- кількість смуг руху;
- частоту розміщення світлофорних об'єктів та методи управління ними;
- ступінь ізолюваності проїжджої частини від пішохідного руху;
- методи управління та схеми ОДР.

Оскільки метою управління ДР є розробка та застосування наукових принципів, засобів, методів, технічних засобів для забезпечення безпечного, швидкого, комфортного, зручного та економічного пересування людей та вантажів, то сучасні методи управління ДР повинні розглядатися, як засіб енергозберігаючих технологій.

Зрозуміло, що для реалізації заходів по управлінню ДР з метою зниження споживання палива, а отже й з метою нормалізації екологічної ситуації на вулично-дорожній мережі, необхідно мати інформацію про вплив керуючих чинників на витрати палива.

Розглянемо рух двох автомобілів по ділянці міської магістралі. Припустимо, що 1-й автомобіль подолав його зі швидкістю 60 км/год, а 2-й зупинявся на деяких перехрестях. Витрати палива першим автомобілем визначаються залежністю:

$$Q_I = q_L l \quad , \quad (4.25)$$

де q_L - норма витрати палива, л/км;

l - довжина ділянки, км.

Витрати палива другим автомобілем складаються з витрат палива на розгін Q_p , гальмування Q_r , на рух при холостому ході Q_{xx} і при русі з відносно постійною швидкістю Q_v :

$$Q_{II} = Q_p + Q_r + Q_{xx} + Q_v \quad (4.26)$$

Запишемо формулу інакше:

$$Q_{II} = Q_I + D_3, \quad (4.27)$$

де D_3 - додаткові витрати палива, що пов'язані із зупинкою автомобіля, л.

Витрата D_3 визначається числом зупинок (Z) та часом роботи на холостому ході (t_{xx}):

$$D_3 = q_0 Z + q_{xx} t_{xx}, \quad (4.28)$$

де q_0 - додаткові витрати палива на зупинку,

q_{xx} - витрати палива на холостому ході, л/год.

Значення додаткової витрати палива на зупинку визначається як різниця між витратою палива за один цикл гальмування-розгону і витратою палива при беззупинному русі по ділянці:

$$q_3 = Q_{ц} - q_{уст} (S_{г} + S_{р}). \quad (4.29)$$

Витрати палива на зупинку залежать від інтенсивності руху і кінцевої швидкості розгону.

На рис. 4.6. наведено залежності змін додаткових витрат палива на зупинку найбільш розповсюджених легкових та вантажних автомобілів.

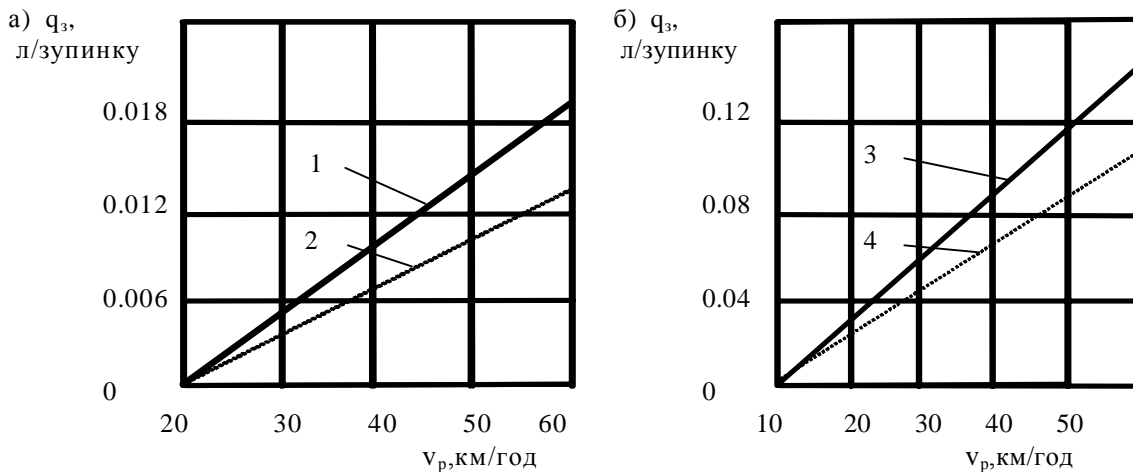


Рис. 4.6. Залежності додаткової витрати палива на одну зупинку від початкової швидкості гальмування і кінцевої швидкості розгону.

а) легкові автомобілі, 1- ГАЗ-24; 2- ВАЗ-2101

б) вантажні автомобілі 3- ЗІЛ-130; 4- ГАЗ-53а

Окрім швидкості, на додаткові витрати палива на зупинку впливає місце автомобіля у черзі та її склад.

Тому значення q_3 повинно корегуватися із урахуванням місця автомобіля:

$$q_{3i} = q_3 K_{чi}, \quad (4.30)$$

де $K_{чi}$ - коефіцієнт, що враховує збільшення витрати палива i -м автомобілем (табл. 4.1).

Таблиця 4.1

Значення коефіцієнта витрати палива у черзі

Положення автомобіля	Значення $K_ч$ в залежності від номеру автомобіля в черзі								
	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Легковий за легковим	1,07	1,1	1,12	1,13	1,14	1,15	1,15	1,15	1,15
Легковий за вантажним	1,16	1,24	1,3	1,32	1,34	1,36	1,36	1,39	1,4
Вантажний за вантажним	1,09	1,13	1,15	1,17	1,18	1,19	1,2	1,21	1,22

Якщо автомобіль тільки затримується, але не зупиняється, додаткова витрата палива q_z менша за q_3 та залежить тільки від часу затримки:

$$q_z = q_3 K_z, \quad (4.31)$$

де K_z - коефіцієнт затримки, що у вільних умовах руху приймає значення:

$$\begin{aligned} \text{для легкового АТЗ} \quad K_{zл} &= 0,1 \cdot t_3 && \text{при } t_{зл} < 10\text{с.}; \\ \text{для вантажного АТЗ} \quad K_{zв} &= 0,041 \cdot t_3 && \text{при } t_{зв} < 24\text{с.}; \\ q_z &= q_3 && \text{при } t_{зл} > 10\text{с та } t_{зг} > 24\text{с.} \end{aligned}$$

Додаткові витрати палива пов'язані не тільки із зупинками та затримками автомобілів. Як уже відзначалося, рух з усталеною швидкістю по міській магістралі практично неможливий, тому питомі витрати палива q_L будуть відрізнятися від q_y :

$$q_L = q_y + \Delta q_L \quad . \quad (4.32)$$

Перша складова цього виразу залежить від швидкості руху АТЗ, а друга – від ступеня його нерівномірності.

Додаткові витрати палива при рухсі по міській магістралі дорівнюють:

$$D = D_n + D_{\text{пер}}, \quad (4.33)$$

де D_n та $D_{\text{пер}}$ - додаткові витрати палива на перегоні та в зоні перехрестя.

$$D_n = \Delta q_L \cdot l \quad D_{\text{пер}} = q_z \cdot Z + q_{xx} \cdot t_{xx} + q_z \cdot Z. \quad (4.34)$$

Сумарні витрати палива потоком автомобілів складаються із витрат палива кожним транспортним засобом. Для їх визначення розглянемо ділянку міської магістралі у вигляді графа F (рис. 4.7), де I – ланка графу (перегін), J – вершина графу (перехрестя).

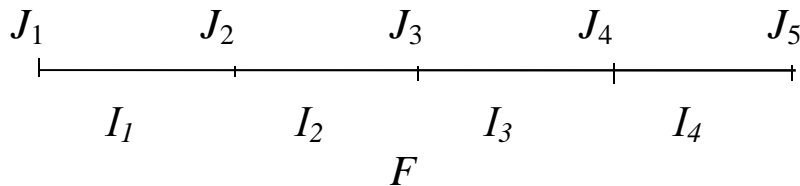


Рис. 4.7. Схема ділянки міської магістралі.

Припускаємо, що на ВДМ знаходиться транспортний потік, що складається із автомобілів різних моделей N_k , тому мають значення витрати палива кожним автомобілем Q_k , довжина ланки l_i та кількість вершин m .

Витрата палива одиночним автомобілем в потоці визначається залежністю:

$$Q_k = \sum_{i=1}^n q_{L_k} \cdot l_i + \sum_{j=1}^m \left(q_{xx_k} \cdot t_{xx_j} + q_{z_{k_j}} \cdot Z_j + q_{Z_{k_j}} \cdot Z_j \right), \quad (4.35)$$

де Z_j – кількість зупинок в m вершинах;

Z_j - кількість затримок в m вершинах.

Витрата палива потоком автомобілів на ділянці F :

$$Q_F = \sum_{k=1}^K \sum_{i=1}^I q_{L_k} \cdot l_i \cdot N_{k_i} + \sum_{k=1}^K \sum_{j=1}^J \left[\left(q_{xx_k} \cdot t_{xx_j} + q_{z_{k_j}} \right) \cdot N_{kz_j} Z_j + q_{Z_{k_j}} \cdot N_{kz_j} \right], \quad (4.36)$$

де N_{ki} - число автомобілів k -тої моделі на i -тій ланці;

N_{kzj} и N_{kzj} - відповідно кількість АТЗ k -тої моделі на i -тому перехресті, що зупинились та затримались.

У загальному вигляді останню формулу можна записати як:

$$Q_F = Q_6 + D_F, \quad (4.37)$$

де Q_6 - витрата палива при безупинному рухові потоку;

D_F - додаткові витрати палива на перехрестях ділянки F , л.

4.6.3. Обґрунтування методів управління дорожнім рухом

Основна складність при вирішенні рівняння полягає в тому, що транспортний потік складається із автомобілів різноманітних моделей, що відрізняються своїми експлуатаційними властивостями та витратою палива. Визначення в кожному окремому випадку частки автомобілів відповідної моделі не представляється можливим, бо це дуже трудомісткий процес. Тому прийняте допущення, що транспортний потік складається із розрахункових витрат палива легкових автомобілів, вантажних з карбюраторним двигуном та вантажних з дизельними двигунами. За розрахунковий легковий автомобіль приймаємо автомобіль типу “Жигулі”. Розрахунковий вантажний автомобіль за своїми технічними параметрами та паливною характеристикою найбільш близький до ЗІЛ-130.

Витрати палива потоком автомобілів при безупинному русі залежить від:

- кількості транспортних засобів ;
- рівня завантаження перегону;
- витрати палива одиночними автомобілями.

У таблиці 4.2 наведено взаємозв'язок витрат палива та стану транспортного потоку.

Вплив стану транспортного потоку на питому витрату палива

Стан транспортного потоку	Тип автомобіля	Питома витрата палива		
		q_L , л/км	q_{xx} , л/год	q_z , л/зупинку
Вільний	Л	0.072	1.03	0.016
	ВК	0.346	2.1	0.130
	ВД	0.362	1.8	0.153
Груповий	Л	0.076	1.03	0.012
	ВК	0.375	2.1	0.106
	ВД	0.392	1.8	0.121
Колонний	Л	0.082	1.03	0.006
	ВК	0.49	2.1	0.066
	ВД	0.495	1.8	0.078

Збільшення щільності транспортного потоку призводить до різкого збільшення інтенсивності руху. Водночас із цим, збільшується видаток палива окремим автомобілем з причини підвищення нерівномірності руху.

Після досягнення пропускнуої спроможності дороги інтенсивність руху при подальшому зростанні щільності зменшується. Закономірність зміни витрати палива в цілому є аналогічною (рис. 4.8).

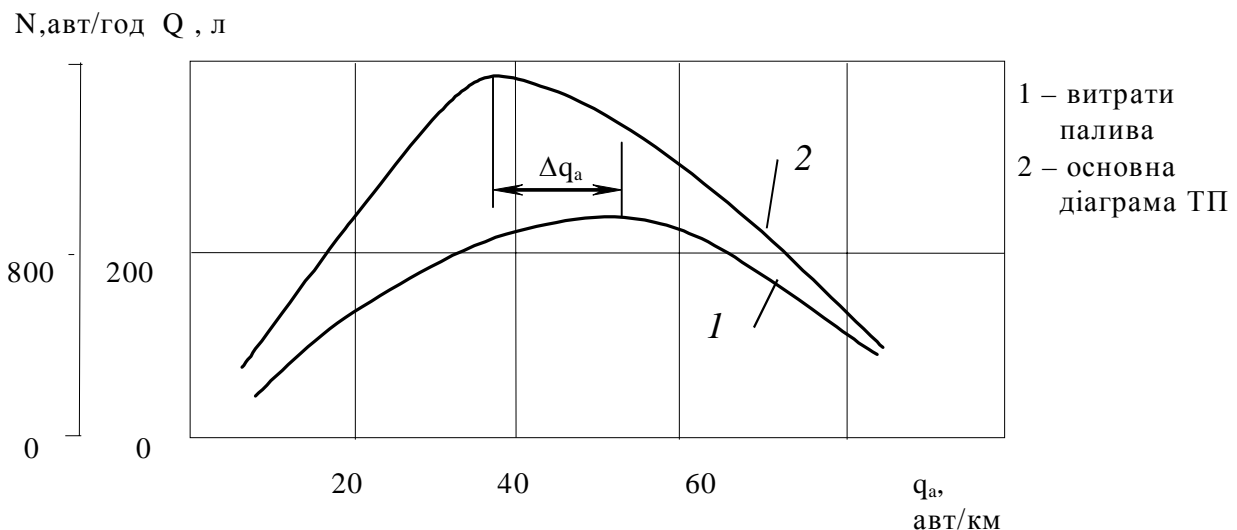


Рис. 4.8. Основна діаграма транспортного потоку і витрата палива.

Проте, зростання щільності транспортного потоку викликає різке збільшення витрат палива окремим автомобілем, тому витрати

палива потоком продовжують зростати, незважаючи на зниження інтенсивності.

Максимальний розмір витрати палива не відповідає пропускній спроможності даної ділянки магістралі, а спостерігається при більш високих значеннях щільності.

Розглянемо вплив заходів управління ДР на зміну витрати палива (зниження витрати палива у відсотках).

1. Скорочення одного перетинання транспортних та пішохідних потоків – призводить до зниження витрат палива на 5-20 %:

Створення магістралей безупинного руху виправдане не тільки з позиції економії палива, але й з позиції зниження загального впливу автомобільного транспорту на навколишнє середовище. При збільшенні відстаней між перехрестями ефект від безупинного руху зменшується.

2. Зниження рівня завантаження ділянок ВДМ на 10% при груповому та колонному режимах – призводить до зниження витрат палива на 3-10 %:

Однією з причин перевитрати палива є значний рівень транспортного завантаження. Економічно доцільний рівень завантаження складає приблизно 0,45.

Зниження рівня завантаження може досягатися шляхом:

- розподілення транспортних потоків у часі і просторі;
- збільшенням пропускної спроможності магістралі;
- раціональною організацією автомобільних перевезень.

3. Оптимізація складу транспортного потоку – призводить до зниження витрат палива на 7-8 %:

Створення однорідних потоків досягається за допомогою:

- диференціювання смуг руху для легкових та вантажних автомобілів;
- виділення магістралей для пасажирського та вантажного руху;
- виділення окремих смуг для маршрутного пасажирського транспорту;
- спеціалізації смуг при підході до пересічення для поворотного руху;
- заборони вантажного руху в центрі міста.

4. Оптимізація швидкісного режиму – призводить до зниження витрат палива на 8-12 %:

Обмеження до 50 км/год дозволяє знизити витрату палива на 8-12 %; до 40 км/год на 4-8 % порівняно зі швидкістю 60 км/год.

5. Оптимізація циклу регулювання по мінімуму витрати палива – призводить до зниження витрат палива на 5-7 %:

Із зростанням $T_{\text{ц}}$ до визначеної величини, зменшується кількість автомобілів, що зупиняються, і знижуються додаткові витрати палива. При подальшому збільшенні $T_{\text{ц}}$, кількість зупинених автомобілів досягає деякої межі і змінюється несуттєво, але у той же час збільшує тривалість роботи двигунів на холостому ході і загальна витрата палива зростає (рис. 4.9). Тому задача оптимізації часу циклу світлофорного регулювання є дієвим заходом адаптивних систем управління дорожнім рухом.

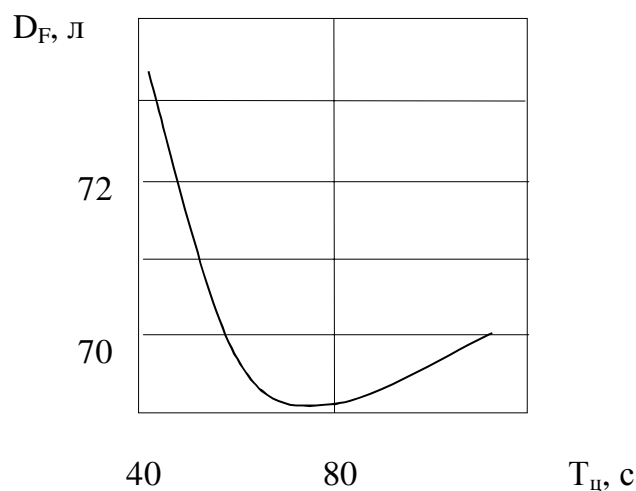


Рис. 4.9. Вплив тривалості циклу регулювання $T_{\text{ц}}$ на витрату палива.

Оптимальна тривалість за критерієм витрати палива визначена як $T_{\text{ц}} = 50-60$ с. для легкових потоків, $T_{\text{ц}} = 90-100$ с. для потоків із більшою кількістю вантажних автомобілів.

6. Впровадження АСУДР – призводить до зниження витрат палива на 5-15 %:

Зменшення витрати палива обумовлюється:

- зниженням затримок транспортних засобів;
- зменшенням нерівномірності руху на перегонах магістралей.

Дослідження впливу керуючих параметрів на витрати палива автомобілями, які були проведені в МАДІ, показали, що параметр

витрати палива в певних умовах може бути використано у вигляді критерію, оскільки він відображає:

- економічні показники дорожнього руху;
- швидкісні показники;
- обсяг викидів токсичних речовин.

Запропонований критерій K_T , що є відносним показником збільшення витрати палива Q_n автомобілем в пікові періоди порівняно з витратою у вільних умовах руху $Q_{св}$, можливо отримати як відношення:

$$K_T = Q_n / Q_{св}. \quad (4.38)$$

При $K_T = 1$ вплив управління відсутній;

Якщо $K_T > 1$, витрата палива може бути зменшена визначенням раціональних керуючих впливів системи управління на транспортний потік.

4.7. Екологічна безпека дорожнього руху

4.7.1. Екологічні критерії управління дорожнім рухом

При екологічній оцінці транспортних систем міст визначаються показники токсичності транспортних потоків, насамперед валовий викид видпрацьованих газів (ВГ) та інтенсивність викиду ВГ транспортного потоку.

Валовий викид CO , г/(м·с) розраховується залежно від витрати палива потоком автомобілів:

$$Q_{co} = 2,06 \cdot 10^{-4} \cdot m (G_{л}N_{л} + G_{в}N_{в} + G_{а}N_{а}), \quad (4.39)$$

де $G_{л,в,а}$ - середня кількість палива, що споживається легковим, вантажним автомобілем та автобусом на 1 км пробігу;

$N_{л,в,а}$ - інтенсивність руху легкових, вантажних автомобілів та автобусів;

m - поправочний коефіцієнт, що враховує перерозподілення відсоткового вмісту CO у ВГ при зміні швидкості руху автомобілів (табл. 4.3).

Таблиця 4.3

Значення коефіцієнту відсоткового вмісту CO у ВГ

Швидкість , км /год	20	30	40	50	60	70	80
m	0,72	0,6	0,45	0,22	0,1	0,12	0,16

Визначення обсягу викидів токсичних речовин по витраченому паливу може бути використано тільки для орієнтовної оцінки, бо не враховує структуру та технічний стан парку АТЗ, умови руху та експлуатації автомобілів.

Токсична характеристика транспортного потоку залежить від складу (однорідності) дорожнього руху. При оцінці впливу транспортного потоку на навколишнє середовище для обліку складу транспортного потоку вводять поправочні коефіцієнти для приведення до однорідного потоку приведених автомобілів.

Транспортний потік приводиться до потоку, що складається із двох груп розрахункових автомобілів: легкових (Л) і вантажних (В), що відрізняються параметрами режимів руху та питомою вагою приведенного до CO викиду на цих режимах (табл. 4.4).

$$\bar{N}_{pj} = \sum_{i=1}^I K_{пріj} N_i, \quad (4.40)$$

де N_{pj} - приведена інтенсивність руху Л або В в одиницю часу;

N_i - фактична інтенсивність руху ТЗ i -того типу;

$K_{пріj}$ - коефіцієнт приведення до Л або В для ТЗ i -того типу (табл. 4.4);

I - число типових груп транспортних засобів.

Таблиця 4.4

Значення коефіцієнтів приведення

Тип транспортного засобу	Коефіцієнт приведення по викиду CO	
	Л	В
Легковий автомобіль	1	-
Вантажний автомобіль		
вантажопідйомністю, т:		
до 2	1,5	-
2-5	-	1
10 - 15	-	1,85
понад 15	-	2,5

Автобус пасажиромісткості:		
особливо малої	1,4	-
малої	-	1
середньої	-	1,85
великої	-	2,25

Для дизельних вантажних автомобілів та автобусів коефіцієнт приведення помножують на 0,14 для газобалонних автомобілів – на 0,25.

Розрахунковий легковий автомобіль (Л) - усереднена по характеристикам модель типу “Жигулі”, розрахунковий вантажний автомобіль (В) по своїм технічним параметрам і паливній характеристиці найбільш близький до автомобіля типу ЗІЛ-130.

Транспортні вузли та частота їх розміщення істотно впливають на обсяг та склад ВГ.

Середнє значення пробігового викиду від одного автомобіля j -того типу на ділянці магістралі “перегін - регульоване перехрестя” визначається як:

$$q_j^{CO} = \{ \delta_{0j} L_n^{-1} [a_j v + b_j T_{\text{ц}} (1 - \lambda) + c_j] + d_j / v + e_j \} \cdot \text{ПР}_j^{CO}, \quad (4.41)$$

де a_j, b_j, c_j, d_j, e_j - постійні коефіцієнти (табл. 4.5);

v - середня швидкість руху, що установилася на перегоні, км/год;

λ - ефективна частка горіння дозволяючого сигналу;

ПР_j^{CO} - добуток поправочних коефіцієнтів, що враховують вплив середнього віку парку автомобілів на викид CO , рівень технічного стану автомобілів на викид CO , зміна нормативних вимог на пробіговий викид CO .

Таблиця 4.5

Значення коефіцієнтів рівняння 4.41

	a	b	c	d	e
Л	0,171	0,041	- 2,74	68	9,65
В	0,656	0,125	-7,5	-604,8	49

При проектуванні генерального плану міста і комплексної транспортної схеми міста чи схеми руху транспорту на ВДМ району,

у випадку неможливості прогнозувати режими транспортних потоків, можна застосувати наступну формулу для визначення пробігового викиду CO :

$$q_j^{CO} = [a_{1j} + \mu(a_{2j} + a_{3j} \cdot m)L_n^{-1}] \text{ПР}_j^{CO}, \quad (4.42)$$

де a_1, a_2, a_3 - коефіцієнти, значення яких наведено в таблиці 4.6;

m - кількість смуг руху на магістралі в одному напрямку.

μ - коефіцієнт, що враховує рівень ОДР та умови руху.

Значення коефіцієнту μ наведені в таблиці 4.7.

Таблиця 4.6

Значення коефіцієнтів a_i

	a_1	a_2	a_3
Л	12	3,55	0,23
В	45	9,25	0,37

Таблиця 4.7

Значення коефіцієнта μ

Нерегульований рух, часті перехрестя, значний поперечний рух транспортних засобів та пішоходів	1,25 - 1,50
Нерегульований рух, рідкі перехрестя, острівки безпеки та маркування, незначний поперечний рух транспортних засобів та пішоходів	1 - 1,25
Жорстке ізольоване світлофорне регулювання, пересічення транспортних та пішохідних потоків в одному рівні	0,8 - 1
Координоване гнучке регулювання, пересічення транспортних та пішохідних потоків в одному рівні	0,6 - 0,8
Автоматизоване, удосконалене регулювання, підземні пішохідні переходи в основних вузлах	0,4 - 0,6
Безупинний рух, тунелі, розділення транзитного та місцевого руху	до 0,2

Більші цифри відносяться до умов щільного потоку.

На підставі визначення пробігового викиду можливо розрахувати викиди CO в одиницю часу на ділянці магістралі одиничної довжини від інтенсивності транспортного потоку, що рухається в одному напрямку, тоді інтенсивність викидів CO , мг/(м·с) визначається:

$$Q_{CO} = 2,78 \cdot 10^{-4} \sum_{j=1}^2 q_j^{CO} \bar{N}_{pj} . \quad (4.43)$$

Викиди вуглеводнів C_nH_m , мг/(м·с) від інсивності транспортного потоку в одному напрямку на ділянці магістралі визначаються за залежністю:

$$Q_{CH} = 2,78 \cdot 10^{-5} [1,57 - 0,08(T-1985)] (q^{-CO} N_L + q^{-CO} N_B), \quad (4.44)$$

де q^{-CO} - “умовний” пробіговий викид CO автомобілем розрахункового типу без урахування PR_j^{CO} .

Викиди окислів азоту NO_x , мг/ (мс) можливо отримати наступним чином:

$$Q_{NO} = 2,78 \cdot 10^{-4} (q^{-NO} N_L + q^{-NO} N_B), \quad (4.45)$$

$$q_L^{NO} = 2,3 + 0,1 (v_L - 34) - 0,05 (T - 1985), \quad (4.46)$$

$$q_B^{NO} = 8 + 0,17 (v_B - 34) - 0,15 (T - 1985), \quad (4.47)$$

де N_L та N_B - фактична інтенсивність руху Л та В в одному напрямку, авт /год;

V_L та V_B - швидкість усталеного руху Л та В автомобілів, км /год.

4.7.2. Визначення концентрації токсичних компонентів в атмосферному повітрі

Ступінь впливу шкідливих викидів автомобільного транспорту на навколишнє середовище визначається рівнем їх приземних концентрацій в атмосферному повітрі. Існуючі методи прогнозування та моделювання параметрів забруднення повітря міст поки що відстають від розрахункових методів визначення концентрації шкідливих викидів від стаціонарних джерел. Тому у сучасних умовах створюють моделі для розрахунків концентрацій, що враховують вплив різноманітних факторів на характер дисперсії забруднюючих речовин в умовах примагістральної забудовлі.

Існує два основних підходи у визначенні концентрації шкідливих викидів:

1) В основі першого методу лежать емпіричні залежності, одержані внаслідок статистичної обробки даних натурних вимірів та фізичного моделювання.

Прикладом такого підходу може служити метод мічених газів (США).

Мета методу - визначення швидкості та напрямку розсіювання відпрацьованих газів.

2) Другий підхід базується на використанні основних залежностей розрахунку концентрацій токсичних компонентів від стаціонарних джерел стосовно транспортного потоку.

В Україні найчастіше застосовують водночас напівемпіричну (основану на використанні коефіцієнтів турбулентної дифузії) та статистичну (основану на припущенні про розподіл концентрації відповідно до закону Гауса) теорії для розрахунку концентрації за певний час.

Розглянемо деякі з емпіричних моделей, що встановлюють зв'язок між забрудненням повітря магістралей та параметрами транспортних потоків, елементами поперечного профілю вулиць, метеорологічними умовами.

За допомогою обстежень у місті Нью-Йорк встановлено зв'язок між концентрацією CO в повітрі автомагістралей та інтенсивністю руху транспорту, який визначається залежністю:

$$C_{co} = 1,53 \cdot N^{0.368}, \quad (4.48)$$

де C_{co} - концентрація CO на краю проїзної частини.

Розрахунок середніх концентрацій CO в повітрі над краєм проїзної частини (mg/m^3) можливо отримати:

$$C_{co} = 0,006 N_{л} - 9 \lg v - 0,3 u + 17, \quad (4.49)$$

де $N_{л}$ - приведена інтенсивність руху, легкових авт/год;

v - середня швидкість потоку, км/год;

u - середня швидкість вітру, м/с.

Для прогнозування рівня забруднення повітря автомагістралей CO та побудови полів концентрації використовується наступна залежність:

$$C_{CO} = \frac{1,37 \cdot Q_{CO}}{(0,82v^2)^{1/3} (x/u)^{2/3} u}, \quad (4.50)$$

де Q_{CO} - обсяг викиду CO , мкг/ (мс);

x - відстань до розрахункової точки.

Для оцінки токсичності повітря на рівні фасаду будівель, розміщених уздовж автомагістралей, запропоновано формулу:

$$T = \frac{69 \cdot N}{B \cdot h \cdot \Gamma} \cdot [1 + 7,8(M - 0,02)], \quad (4.51)$$

де T - токсичність повітря в частках ГДК;

B - ширина автомагістралі в м;

h - висота будов в м;

Γ - природня кратність повітрообміну протягом 1 год;

M - концентрація озону в повітрі (мг /м³).

Визначення концентрації з урахуванням пробігового викиду проводимо за формулою:

$$C = N P q / (120 u), \quad (4.52)$$

де P - щільність руху, авт /м;

q - пробіговий викид від одного автомобіля, г/авт· км.

За результатами натурних обстежень та полігонного моделювання отримані рівняння регресії для концентрації CO в залежності від складу транспортного потоку, швидкості руху, ширини проїзної частини, погодних умов, висоти будівель. Внаслідок апроксимації запропоновано формулу для розрахунку концентрації в повітрі над бордюром проїзної частини дороги:

$$C_{CO} = (N F)^{1/2} e^{-(u+1)/3} [1 + 1,17 (h/B)^{2/3}], \quad (4.53)$$

де символ F позначає наступний вираз:

$$F = 1,75 \cdot 10^{-4} (1,43 \cdot 10^{-2} \Delta_B + 1) \cdot v^2 - 2,67 \cdot 10^{-2} (5,17 \cdot 10^{-3} \Delta_B + 1) v - 1. \quad (4.54)$$

де Δ_B – частка вантажних автомобілів у транспортному потоці.

Розглянуті емпіричні залежності визначені для середніх умов у містах і тому можуть бути використані при обмеженій інформації

про умови руху та планувальні рішення примігстральної забудівлі. Крім того, наведені вище залежності не дозволяють докладно проаналізувати вплив дорожньо-транспортних та архітектурно-планувальних факторів на зміну концентрацій токсичних речовин.

На підставі цього найбільш дієвим інструментом розрахунку приземних концентрацій є розрахунково-теоретичні методи.

Транспортний потік розглядають як безупинне лінійне джерело викидів, що знаходиться на висоті H від землі.

Встановлено, що для лінійного джерела викидів, що знаходиться на висоті H від рівня землі, відстань до точки максимуму концентрацій x_{\max} пропорційна H та зворотно пропорційна інтенсивності турбулентності ε :

$$X_{\max} = 2,41 \frac{H}{\varepsilon}, \quad (4.55)$$

а максимальна концентрація шкідливих викидів в приземному шарі складає:

$$C_{\max} = Q / p \text{ и } H, \quad (4.56)$$

де p - параметр, що залежить від стану атмосфери;

ε - інтенсивність турбулентності, що залежно від швидкості вітру змінюється в межах від 0,08 – 0,27;

H - середня висота транспортного джерела викидів (для легкових автомобілів дорівнює 0,4 м, для вантажних – 0,6 м).

Дифузію у просторі забруднюючих речовин, що виділяються лінійним джерелом безупинної дії, можна описати залежністю:

$$C = Q / u C_o, \quad (4.57)$$

де C_o - параметр зміни одиничних концентрацій забруднюючих речовин у залежності від відстані розрахункової точки від джерела викиду.

Максимальні значення C_o знаходяться на відстані 7-10 м від джерела (рис. 4.10).

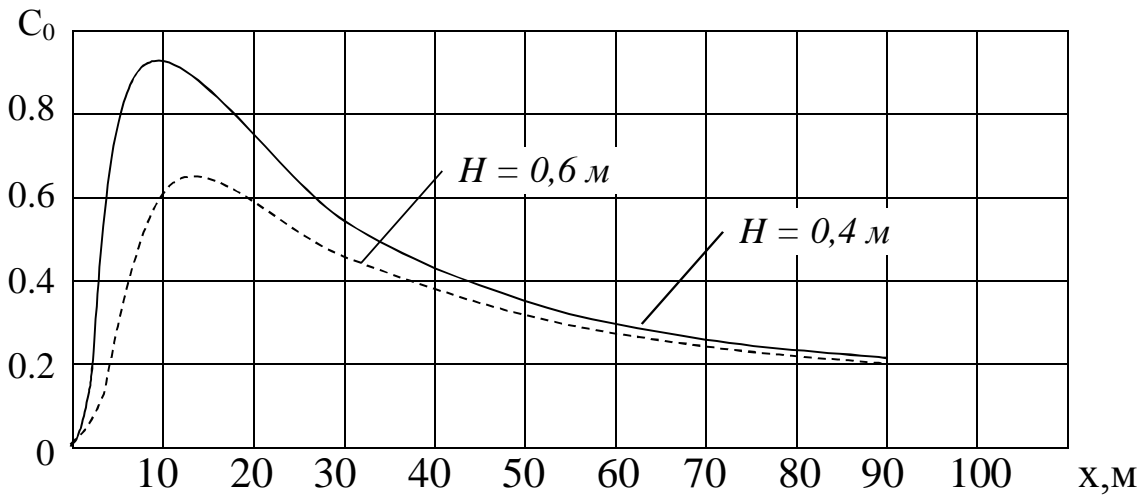


Рис.4.10. Залежність параметру C_0 від відстані розрахункової точки від джерела викиду.

Транспортні засоби, що рухаються в транспортному потоці, активно впливають на перемішування шлейфу ВГ кожного автомобіля. При малих швидкостях вітру вклад транспортних засобів в загальне розсіювання шкідливих викидів збільшується до 50%.

Таким чином, при ширині проїжджої частини 15-22 м максимальні значення концентрацій будуть спостерігатися поблизу краю проїжджої частини (рис. 4.11).

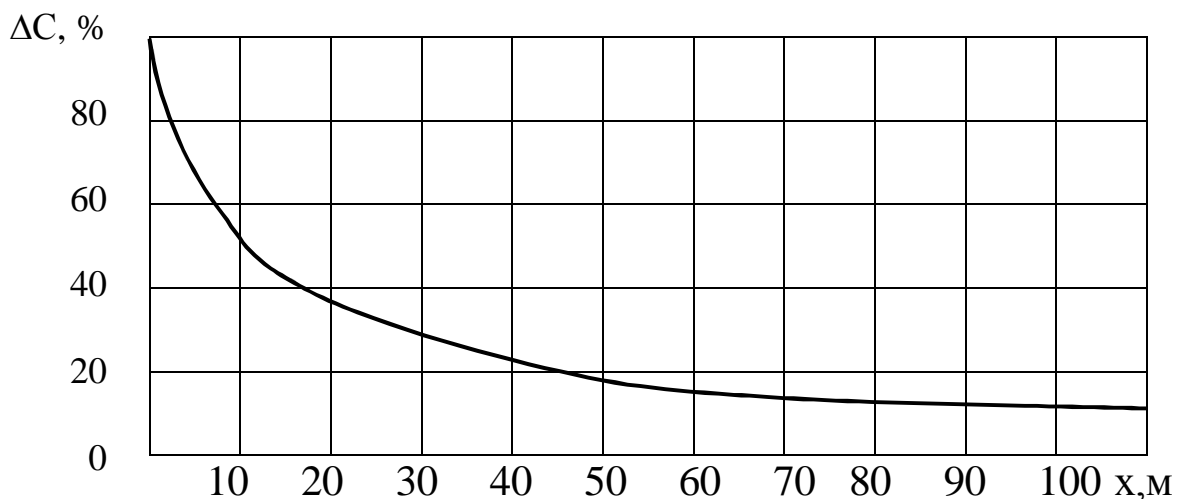


Рис.4.11. Зниження приземних концентрацій в залежності від відстані від краю проїжджої частини автомагістралі.

Примагістральна забудова також впливає на умови розсіювання відпрацьованих газів автомобілів.

Чим щільніша забудова, тим менш повітря вона пропускає, тим гірше провітрювання магістралі.

Характеристиками забудови є:

- поверховість;
- щільність;
- архітектурне планування.

При однаковій поверховості, тип планування забудови може бути різним і забезпечувати різну щільність ВДМ.

Різноманітні планувальні типи забудівлі є схематизованими:

- лінійне планування (лінійне і точкове);
- рядкове;
- групове;
- вільне.

Кожний з можливих типів забудови забезпечує особливий мікроклімат території і умови провітрюваності.

Для дослідження умов обміну повітря використовується єдина аеродинамічна характеристика – коефіцієнт ажурності. Коефіцієнт ажурності являє собою відношення площі проекції розривів між будинками до загальної площі проекції фронту забудови на червону лінію. Коефіцієнт ажурності враховує вплив забудови на умови провітрювання магістралі та визначається:

$$A = m_k \cdot m_{\Pi} , \quad (4.58)$$

де m_k - коефіцієнт, що залежить від середньої поверховості забудівлі;

m_{Π} - коефіцієнт, що залежить від типу планування забудівлі, значення якого наведено у таблиці 4.8.

Таблиця 4.8

Значення коефіцієнту m_{Π} залежно від середньої поверховості забудівлі $h_{\text{ср}}$

$h_{\text{ср}}$	1	2	3	5	7	9	11	14	16
m_{Π}	0,5	0,55	0,57	0,61	0,65	0,69	0,73	0,79	0,85

Середня поверховість примагістральної забудови визначається як:

$$h_{\text{ср}} = \sum h_k l_k / \sum l_k, \quad (4.59)$$

де n - кількість будинків примагістральної забудови, що розташовані поряд із магістраллю;

h_k - кількість поверхів k -того будинку;

l_k - довжина проєкції k -того будинку на червону лінію магістралі, м.

Коефіцієнт, що залежить від типу планування забудівлі m_k визначається із таблиці 4.9, якщо схема планування відноситься до типу вільного планування, то коефіцієнт приймають рівним 1.

Відносна довжина розривів між будовами (у відсотках) складає:

$$\Delta l = 100 \left(1 - \sum_{k=1}^n \frac{l_k}{L_M} \right), \quad (4.60)$$

де L_M - довжина ділянки магістралі, м.

Середній кут повороту будівель до осі магістралі визначається як:

$$\gamma_{\text{ср}} = \arccos \left(\frac{\sum_{k=1}^n l_k}{\sum_{k=1}^n l_{\text{дк}}} \right), \quad (4.61)$$

де $l_{\text{дк}}$ - довжина фасаду чи краю k -того будинку, поверненого до магістралі.

Таблиця 4.9

Значення коефіцієнту m_k

Кут повороту будівлі до до осі магістр. у в градусах	Відносна протяж. розривів Δl , %	Значення залежно від схеми			
		Лінійна		Рядкова	Групова
		Лінійні будівлі	Точкові будівлі		
	0	0,51	-	0,40	0,35
	20	0,65	0,61	0,55	0,50

Продовження табл. 4.9

0	40	0,78	0,76	0,70	0,65
	60	0,93	0,91	0,85	0,80
45	0	0,64	-	0,64	0,30
	20	0,70	0,60	0,70	0,48
	40	0,79	0,72	0,79	0,66
90	60	0,90	0,85	0,88	0,84
	0	-	-	0,63	0,35
	20	-	0,61	0,70	0,50
	40	-	0,76	0,78	0,65
	60	-	0,91	0,85	0,80

Розрахункова концентрація забруднюючої речовини, що викидається з ВГ автомобілів розраховується наступним чином:

$$C = D \psi Q Z / (u_p A), \quad (4.62)$$

де D - коефіцієнт, що враховує вплив поверховості примігстральної забудовлі на турбулентність вітрового потоку, значення якого наведено у таблиці 4.10;

ψ - коефіцієнт стабільності вітрового потоку, що враховує вплив поривчастості вітрового потоку та непостійність напряду його на зміну концентрацій;

Q - інтенсивність викиду забруднюючої речовини;

Z - комплексний параметр, що враховує зниження концентрації з віддаленістю розрахункової точки від лінійного джерела викиду та умов турбулентності, м;

u_p - розрахункова швидкість вітрового потоку, м/с ;

A - коефіцієнт ажурності, значення якого наведено у таблиці 4.11.

Таблиця 4.10

Значення поправочного коефіцієнту D в залежності від середньої поверховості примігстральної забудови

h_{cp}	<3	3-5	5-7	7-12	12-22	>22
D	1	0,9	0,8	0,7	0,65	0,6

Значення коефіцієнту A в залежності від щільності забудови та відносної довжини розривів

Щільність забудови	$\Delta l, \%$	A_1
Дуже щільна.	10-19	0,59-0,71
Щільна	20-29	0,72-0,82
Середньої щільності	30-39	0,82-0,9
Малої щільності	40-49	0,9-0,97
Вільна	50-60	0,97-1
Відкритий простір	>60	1

Коефіцієнт стабільності вітрового потоку визначається залежністю:

$$\psi = \Theta / \Delta u, \quad (4.63)$$

де Θ - параметр, що враховує повторюваність різних напрямів вітрового потоку щодо осі магістралі, дорівнює 0,55-0,9;

Δu - константа, що враховує нерівномірність швидкості вітрового потоку, тобто його поривчастість ($\Delta u = 0,8$).

Комплексний параметр Z розраховується за поліноміальною залежністю:

$$Z = 0,994 - 4,36 \cdot 10^{-2} \cdot x + 9,162 \cdot 10^{-4} \cdot x^2 - 6,82 \cdot 10^{-6} \cdot x^3 \quad (4.64)$$

де x - відстань від лінійного джерела шкідливих викидів до розрахункової точки, м.

Концентрація CO та інших токсичних компонентів ВГ автомобілів на перехрестях міських магістралей визначається за формулою:

$$C_{\text{пер}} = C_1 (1 + N_1 / N_2), \quad (4.65)$$

де C_1 - максимальна концентрація токсичної речовини у повітрі головної магістралі, мг/м; N_1 та N_2 - інтенсивність руху транспортного потоку відповідно по головній та другорядній дорогах, авт/год.

4.7.3. Значення гранично - допустимих концентрацій токсичної речовини

Гранично допустимою концентрацією токсичної речовини (ГДК) прийнято вважати максимальну концентрацію домішки, віднесену до певного часу усереднення, що при періодичному впливі чи на протязі всього життя людини не чинить шкідливої дії на організм людини і на навколишнє середовище в цілому.

Значення ГДК деяких компонентів ВГ автомобілів наведено у табл. 4.12.

Таблиця 4.12

Значення ГДК компонентів ВГ автомобілів

Речовини	ГДК, мг/м ³		
	разові	середньодобові	в робочій зоні
Окис <i>NO</i>	0,6	0,06	30
Окис <i>NO</i> ₂	0,45	0,04	2
Свинець (<i>Pb</i>):	-	0,0003	0,02
Нітрат <i>Pb (NO</i> ₃) ₂	-	0,0003	0,01
Сірка (<i>S</i>):	-	-	6
Окис сірки <i>SO</i> ₂	0,5	0,05	10
Вуглець (<i>C</i>):	0,15	0,05	4
Окис <i>CO</i>	5	3	20
Бензапірен (<i>C</i> ₂₀ <i>H</i> ₁₂)	-	0,000001	0,00015
Бутан (<i>C</i> ₄ <i>H</i> ₁₀)	200	-	300
Пропан (<i>C</i> ₃ <i>H</i> ₈)	-	-	1800

За максимальну разову концентрацію приймають концентрацію токсичної речовини за 30 хвилин найбільшого завантаження.

Якщо максимальну разову концентрацію в даній точці міста прийняти за 1, то максимальна середньодобова концентрація складе 0,42, максимальна середньомісячна - 0,167 і середньорічна 0,067. І навпаки, якщо середньорічну концентрацію забруднюючої речовини в даній точці населеного пункту прийняти за 1, то максимальна середньомісячна концентрація в тій самій точці буде 2,5, максимальна середньодобова - 6,3; максимальна разова - 15.

При екологічній оцінці стану приміагістральної території необхідно враховувати наявність в атмосферному повітрі одразу декількох токсичних речовин.

В цьому випадку розглядається відносна сумарна концентрація, тобто сума відношень концентрацій токсичних речовин, що розглядаються, до їх ГДК.

Екологічний стан вважається сприятливим, якщо відносна сумарна концентрація не перевищує 1, тобто:

$$\sum_{i=1}^I \frac{C_i}{ГДК_i} \leq 1, \quad (4.65)$$

Для порівняння різноманітних токсичних речовин необхідно обрати базовий токсичний компонент, по якому буде здійснюватися коригування всіх інших. У вигляді базового приймається окис вуглецю CO .

Помножимо обидві частини нерівності на $ГДК_{CO}$. Приведене співвідношення може бути представлено у вигляді:

$$\sum_{i=1}^I C_i \frac{ГДК_{CO}}{ГДК_i} \leq ГДК_{CO}. \quad (4.66)$$

Ця формула може бути також записана у вигляді:

$$\sum_{i=1}^I C_i K_{пр1i} \leq ГДК_{CO}. \quad (4.67)$$

де $K_{пр1i}$ - коефіцієнт приведення, що дорівнює $K_{пр1i} = ГДК_{CO}/ГДК_i$

При визначенні збитків від забруднення атмосфери токсичними речовинами використовують коефіцієнт приведення до окису вуглецю, але з урахуванням додаткових факторів:

$$K_{пр2} = a_i \cdot \alpha_i \cdot \delta_i \cdot \lambda \cdot \beta, \quad (4.68)$$

де a_i - показник відносної небезпеки присутності домішки в повітрі.

$$a_i = \left[\frac{ГДК_{CO}^{(C)} ГДК_{CO}^{(P)}}{ГДК_i^{(C)} ГДК_i^{(P)}} \right]^{0,5} = \left[\frac{60}{ГДК_i^{(C)} ГДК_i^{(P)}} \right]^{0,5}, \quad (4.69)$$

де $ГДК_i^{(C)}$ - середньодобова ГДК, мг/м;

$ГДК_i^{(P)}$ - гранично допустима концентрація токсичних речовин у повітрі робочої зони, мг/м.

α_i - поправочний коефіцієнт, що враховує імовірність надходження токсичної речовини в організм людини, ($\alpha_i=1 \div 5$);

δ_i - поправочний коефіцієнт, що враховує можливість впливу на інші живі організми, окрім людини, ($\delta_i=1 \div 2$);

λ - коефіцієнт, що враховує імовірність повторного викиду домішки в атмосферу після її осідання на поверхні землі, ($\lambda=1 \div 1,2$);

β - коефіцієнт, що враховує утворення повторних шкідливих речовин, ще більш небезпечних, ніж вихідні, ($\beta=1 \div 5$).

Значення коефіцієнту приведення $K_{пр2}$ для різноманітних токсичних речовин мають наступні значення:

Окис вуглецю _____	1,0
Сірчистий ангідрид _____	22,0
Окиси азоту _____	41,1
Вуглеводні _____	3,16
Фенол _____	310,0
Двоокис кремнію _____	83,2
Сажа _____	41,5
Сполуки свинцю _____	22400,0

Поряд з ГДК, що є загальноприйнятим критерієм якості стану навколишнього середовища, існує показник токсичності автомобіля - гранично допустимий викид (ГДВ).

Гранично допустимий викид (ГДВ) – це кількість токсичних речовин, що викидаються в одиницю часу разом з ВГ автомобілів, що в сумі з викидами від інших джерел міста (промислових підприємств, котельних і т.д.) не створює концентрації токсичних речовин в атмосферному повітрі, що перевищують її ГДК.

У випадках, коли визначення ГДК окремих речовин в повітрі є неможливим, тоді по узгодженню з органами Мінздраву та

Держкомгідромету призначаються тимчасово узгоджені викиди (ТУВ).

Тимчасово узгодженим викидом від автомобільного транспорту є такий викид ВГ, при якому концентрація токсичних компонентів від автомобілів та інших джерел викиду досягає певного значення (більше ГДК), але що не може бути знижена в даний період часу за технічними чи економічними причинами.

Обґрунтування ТУВ здійснюється за кількома періодами з послідовним зниженням розрахункової концентрації токсичних речовин в атмосферному повітрі та доведенням її до ГДК.

Дані про стан загазованості повітря зазвичай вимірюються на стаціонарних пунктах чи за допомогою рухомих лабораторій та містяться у Санепідемстанції міста (СЕС) або гідрометобсерваторії.

Для виявлення найбільш несприятливих ділянок міських територій проводиться аналіз існуючих даних. За територіальну одиницю прийнятий транспортно-планувальний підрайон (ТПП), що включає ділянку магістралі з житловою забудовою та громадськими установами. Розмір ТПП повинен складати 2-4 км. На підставі аналізу виявляють найбільш забруднені ТПП, в яких аналізують завантаження магістралей, характер прилеглої забудови та її призначення. Внаслідок проведеної оцінки складають маршрути руху рухомої лабораторії по ВДМ ТПП для вияву найбільш несприятливих ділянок магістралей. По одержаним даним спостережень ранжують “небезпечні” ділянки мережі по мірі їх загазованості та відзначають на плані міста.

Головними джерелами забруднення атмосферного повітря у містах є автомобільний транспорт, енергетика (теплові електростанції та котельні) і промисловість. Згідно до цього, при оцінці можливого і допустимого рівня загазованості повітря необхідно виділяти частку забруднення від кожного джерела.

Припустима загазованість атмосферного повітря від автомобільного транспорту визначається як:

$$\Delta C_{\text{тр}} < C_{\text{ГДК}} - C_{\text{ст}}, \quad (4.70)$$

де $C_{\text{тр}}$ - припустима концентрація токсичної речовини в повітрі від транспортного потоку, мг /м;

$C_{\text{ГДК}}$ - гранично припустима концентрація речовини у повітрі;

$C_{ст}$ - концентрація токсичної речовини від стаціонарних джерел в приземному шарі повітря.

У випадках, коли в зоні міста, що розглядається, рівень загазованості атмосферного повітря від викидів промислових підприємств перевищує допустимий рівень, можлива загазованість від автомобільного транспорту визначається, як:

$$C_{тр} = C_{ту} - C_{ст}, \quad (4.71)$$

де $C_{ту}$ - тимчасово узгоджена концентрація токсичної речовини у повітрі, мг /м.

Зниження концентрації токсичних речовин може бути досягнуто за допомогою заходів:

1. Будівництво інженерних споруд по захисту навколишнього середовища (табл. 4.13).

Таблиця 4.13

Зниження концентрації токсичних речовин за захисними спорудами

Вид захисної споруди	Розмір споруди, м	Розмір зони, м	Зниження загазованості, %
Екран-стінка	4	33-36	45-50
Уступ (зниження рельєфу за напрямком вітру)	4	22-24	43- 47
Уступ (підвищення рельєфу за напрямком вітру)	4	33-36	65-70
Земляний насип	4	33-36	40-45
Стінка на насипу	2/4*	33-36	45-50
Будівлі	15/5**	80-90	53-62
	27/9	150-165	65-80
	36/12	200-220	70-95

* В чисельнику - висота стінки, в знаменнику - висота насипу.

** В чисельнику - висота будівлі, в знаменнику - число поверхів.

2. Композиційні прийоми забудівлі, тобто зонування примігстральної смуги, будівництво біля магістралей торгово-побутових чи соціально-культурних закладів та підприємств.

3. Посадка зелених насаджень.

Захисний ефект зелених насаджень примігстральної території залежить від структури посадок, довжини та розміру рядків, пори року. Значення рівня загазованості (ΔC_{3c}) наведено у табл. 4.14.

Щільна посадка зелених насаджень, що розміщені уздовж магістралі, має властивість посилювати вертикальні повітряні течії. Це призводить до зниження концентрацій токсичних речовин в приземному шарі повітря за цими спорудами. Крім того, зелені насадження мають властивість збору та біологічної переробки токсичних сполук, що посилює їх захисний ефект.

Таблиця 4.14

Зниження рівня загазованості $\Delta C_{зс}$ в літній час, % залежно від типу посадки

Тип посадки	$\Delta C_{зс}$, %
Однорядна посадка дерев з чагарником висотою 1.5 м на смузі шириною 3-4 м	10-15
Дворядна посадка дерев без чагарника, шириною 8-10 м	10-20
Те ж з чагарником висотою 1,5 м на смузі шириною 10-12 м	30-35
Трирядна посадка дерев з двома рядами чагарника шириною 15-20 м	40-50

При розрахунку гранично допустимої концентрації токсичних речовин, що викидаються з ВГ автомобілів на житлову забудову, необхідно враховувати можливе зниження рівня концентрації зеленими насадженнями на $\Delta C_{зс}$:

$$\Delta C_{гр} = \frac{C_{ГДК} - C_{ст}}{1 - \Delta C_{зс}/100} \quad (4.72)$$

4. Заходи з організації дорожнього руху.

У табл. 4.15 зведені основні заходи з ОДР, що сприяють на зниження інтенсивності шкідливих викидів ТП.

Таблиця 4.15

Ефективність заходів з організації дорожнього руху, спрямованих на зниження інтенсивності шкідливих викидів транспортного потоку.

Заходи по ОДД	Зниження інтенсивності викидів		
	CO	$C_n H_m$	NO _x
Збільшення долі легкових автомобілів з 20% до 50%	21	27	26
до 80%	40	60	

Продовження табл. 4.15

Збільшення в транспортному потоці доли дизельного транспорту до 20%	27	31	—
до 40%	52	68	—
Зниження інтенсивності руху з 1400			
до 1000 авт/год	25	26	22
до 800 авт/год	37	35	40
до 200 авт/год	68	56	79
Збільшення тривалості циклу світлофорного регулювання з 40 до 60 с	12	13	5
до 80 с	20	20	14
до 100 с	25	31	17
до 120 с	28	39	20
Збільшення частки ефективної тривалості дозволяючого сигналу з 0,3 до 0,4	3	12	—
до 0,5	10	24	—
до 0,6	20	38	1
до 0,7	32	47	6

Таблиця 4.16

Можливі концентрації токсичних компонентів ВГ автомобілів на лінії забудівлі (на краю магістралі)

Категорії вулиць і доріг	Склад транспортного потоку	Концентрації токс. комп. ВГ, мг/м		
		СО	C _n H _m	NO _x
Швидкісні дороги	Легковий	16,5-28,2	1,8-3,2	6,8-8
Магістральні вулиці та дороги:				
загальноміського значення:				
безупинного руху	Легковий	54,3-66	6-7,7	12,6-15,5
	Змішаний	65-85,8	5,4-6,9	9,9-12
регульованого руху	Легковий	41,4-51,3	4,2-5,1	8,4-10,2
	Змішаний	36,5-45,3	3,5-4,5	6,6-8,2
районного значення	Легковий	37,3-46,7	3,5-4,6	6,1-7,7
	Змішаний	41,4-51,8	4,2-5,3	7,5-9,5
Дороги вантажного руху	Вантажний	14,9-18,6	1,4-1,9	2,7-3,2

При розрахунку можливої концентрації токсичних компонентів ВГ автомобілів на краю магістралі (табл. 4.16), використані можливі характеристики транспортного потоку та містобудівні

характеристики примагістральної забудівлі на розрахунковий період (20 років) $u = 1$ м/с.

Запитання для самоконтролю до розділу 4.

1. Які параметри застосовуються для оцінки ефективності організації дорожнього руху? Їх основні групи.

2. Які параметри відносяться до групи енергетичних критеріїв оцінки ефективності дорожнього руху?

3. Які властивості передбачає безпека технічного обладнання?

4. Які властивості передбачає безпека технологічного процесу?

5. Які існують типи ергатичних процесів? Їх ознаки.

6. Дайте визначення надійності об'єкта.

7. Які показники застосовуються при визначенні надійності АСУДР?

8. Яким чином визначається ймовірність безвідмовної роботи системи?

9. Що характеризує коефіцієнт готовності системи? Яким чином він визначається?

10. Які ознаки роботи системи називають периферійними ознаками відмов?

11. Які ознаки роботи системи називають диспетчерськими ознаками відмов?

12. Який параметр відображає взаємозв'язок ефективності та працездатності АСУДР?

13. Які параметри оцінки ефективності дорожнього руху відносяться до групи соціальних?

14. Якими показниками оцінюється паливна економічність?

15. Які фактори найбільш істотно впливають на витрати палива?

16. Який рівень завантаження дороги рухом вважається економічно доцільним?

17. Які основні підходи відомі для визначення концентрації шкідливих викидів?

18. Які методи управління впливають на зміну витрат палива і в якій мірі?

19. Які фактори визначають особливості мікроклімату території і умови її провітрюваності?

20. Що прийнято вважати гранично допустимою концентрацією токсичної речовини?

21. Реалізація яких заходів управління дозволяє досягнути зниження концентрації токсичних речовин?

ВИСНОВКИ

В умовах стрімкої автомобілізації, удосконалення автомобільного транспорту, розвитку інфраструктури міст питання проектування систем управління дорожнім рухом у містах є актуальним та своєчасним.

Комплексний підхід до проектування базується на узагальнюючих принципах:

- збір (вимірювання) та обробка даних параметрів ТП;
- вибір структури системи управління за функціями управління по призначенню;
- вибір методу управління дорожнім рухом;
- визначення керуючих виконавчих пристроїв у складі системи управління;
- визначення оцінки ефективності управління за технічними, соціальними та екологічними критеріями.

При вимогах вирішення проблеми удосконалення державної системи підвищення безпеки дорожнього руху необхідно реалізувати комплекс заходів організаційного, правового, методичного та інформаційного забезпечення систем управління. Впровадження систем управління дорожнім рухом дозволить підвищити швидкість сполучення транспортних засобів та пропускну спроможність вулично-дорожньої мережі міст, а також буде сприяти забезпеченню рівномірного руху транспортного потоку, що знижує забруднення навколишнього середовища шкідливими речовинами. Крім того, управління дорожнім рухом покращує умови експлуатації та подовжує термін придатності дорожнього покриття, а також підвищує загальну культуру обслуговування учасників дорожнього руху.

Додаток 1. Витяг з національного стандарту України (ДСТУ 4158-2003)

Безпека дорожнього руху Автоматизовані системи керування дорожнім рухом Загальні вимоги

1 СФЕРА ЗАСТОСУВАННЯ

1.1 Цей стандарт поширюється на автоматизовані системи керування дорожнім рухом і встановлює вимоги до них в цілому і до окремих видів їх забезпечення.

1.2 Вимоги 5.4, розділу 6 та додатка А цього стандарту є обов'язкові.

1.3 Вимоги до технічної документації на автоматизовані системи керування дорожнім рухом наведено в додатку А.

2 НОРМАТИВНІ ПОСИЛАННЯ

У цьому стандарті є посилання на такі стандарти:

ДСТУ 3574-97 Патентний формуляр. Основні положення. Порядок складання та оформлення.

ГОСТ 12.0.003-74 ССБТ. Опасные и вредные производственные факторы. Классификация.

ГОСТ 12.1.003-83 ССБТ. Шум. Общие требования безопасности.

ГОСТ 12.1.004-91 ССБТ. Пожарная безопасность. Общие требования.

ГОСТ 12.2.003-91 ССБТ. Оборудование производственное. Общие требования безопасности.

ГОСТ 12.2.007.0-75 ССБТ. Изделия электротехнические. Общие требования безопасности.

ГОСТ 12.2.049-80 ССБТ. Оборудование производственное. Общие эргономические требования.

ГОСТ 12.4.026-76 ССБТ. Цвета сигнальные и знаки безопасности.

ГОСТ 24.104-85 Единая система стандартов автоматизированных систем управления. Автоматизированные системы управления. Общие требования.

ГОСТ 24.701-86 Единая система стандартов автоматизированных систем управления. Надежность автоматизированных систем управления. Основные положения.

ГОСТ 26.013-81 Средства измерений и автоматизации. Сигналы электрические с дискретным изменением параметров входные и выходные.

ГОСТ 26.014-81 Средства измерений и автоматизации. Сигналы электрические кодированные входные и выходные.

ГОСТ 26.205-88 Комплексы и устройства телемеханики. Общие технические условия.

ГОСТ 34.201-89 Информационная технология. Комплекс стандартов на автоматизированные системы. Виды, комплектность и обозначение документов при создании автоматизированных систем.

ГОСТ 34.401-90 Информационная технология. Комплекс стандартов на автоматизированные системы. Средства технические периферийные автоматизированных систем дорожного движения. Типы и технические требования.

ГОСТ 34.601-90 Информационная технология. Комплекс стандартов на автоматизированные системы. Автоматизированные системы. Стадии создания.

ГОСТ 34.602-89 Информационная технология. Комплекс стандартов на автоматизированные системы. Технологическое задание на создание автоматизированной системы.

ГОСТ 34.603-92 Информационная технология. Виды испытаний автоматизированных систем.

ГОСТ 177422-82 Системы передачи данных. Скорости передачи данных и основные параметры помехоустойчивых циклических кодов.

ГОСТ 21552-84 Средства вычислительной техники. Общие технические требования, приемка, методы испытаний, маркировка, упаковка, транспортирование и хранение.

ГОСТ 23000-78 Система «человек-машина». Пульты управления. Общие эргономические требования.

ГОСТ 23511-79 Радиопомехи промышленные от электротехнических устройств, эксплуатируемых в жилых домах или подключаемых к их электрическим сетям. Нормы и методы измерений.

ГОСТ 23545-79 Автоматизированные системы управления дорожным движением. Условные обозначения на схемах и планах.

ГОСТ 27883-88 Средства измерения и управления технологическими процессами. Надежность. Общие требования и методы испытаний.

3 ТЕРМІНИ ТА ВИЗНАЧЕННЯ ПОНЯТЬ

У цьому стандарті наведено такі терміни та визначення:

3.1 пропускна здатність ділянки дороги

Максимальна кількість транспортних засобів, які проходять певний відрізок дороги за одиницю часу.

3.2 автоматизована система керування дорожнім рухом

Комплекс технічних, програмних і організаційних засобів, що забезпечує автоматичне збирання та оброблення інформації про транспортні та пішоходні потоки, а також оптимізоване керування дорожнім рухом в рамках обмежень, що їх накладають умови руху.

4 ПОЗНАЧЕННЯ ТА СКОРОЧЕННЯ

У цьому стандарті застосовують такі позначення та скорочення:

АСКДР – автоматизована система керування дорожнім рухом;

ВДМ – вулично-дорожня мережа;

ДТП – дорожньо-транспортна пригода;

ЗВП – запасні вироби і пристрої;

ОК – обчислювальний комплекс;

ПК – пункт керування;

ТЗ – транспортний засіб.

5 ПРИЗНАЧЕННЯ ТА ФУНКЦІЇ АСКДР

5.1 Призначення та склад АСКДР

5.1.1 АСКДР призначена для керування рухом ТЗ та пішоходів за допомогою інформаційного впливу з метою досягнення раціональних режимів руху.

Призначення АСКДР визначає рівень її складності, тип структури, принципи алгоритмічної та програмної реалізації, а також соціальну та економічну ефективність її функціонування.

5.1.2 Залежно від об'єкту керування АСКДР поділяють на :

- АСКДР на ВДМ;
- АСКДР міського громадського транспорту;
- АСКДР на автомагістралях;
- АСКДР на автомобільних дорогах;
- АСКДР в тунелях.

5.1.3 Залежно від призначення та типу за 5.1.2 АСКДР може виконувати задачі:

-підвищення практичної пропускну здатності наявної ВДМ застосуванням методів координованого, реверсивного та маршрутного керування, видачі додаткової інформації водіям ТЗ про режими та умови руху;

-забезпечення пріоритетного проїзду найбільш завантажених перехресть спеціальним та маршрутним ТЗ;

-забезпечення в'їзду (виїзду) ТЗ в окремій зоні ВДМ під час проведення масових заходів в спеціальних умовах змінення схем руху та перерозподілом транспортних потоків;

-підвищення безпеки руху регламентуванням величин обмежень або безпосереднім впливом на агрегати ТЗ у разі введення елементів автоматичних систем контролю на них;

-зниження витрат палива, рівня шуму та забруднення атмосферного повітря, ступені зносу вузлів ТЗ і дорожнього покриття за рахунок формування економічних та комфортних режимів руху.

5.1.4 Складовими АСКДР є технічне, програмне, інформаційне та організаційне забезпечення.

5.2 Функції АСКДР розподіляють на керувальні, інформаційні та допоміжні.

5.2.1 До керувальних функцій належать:

- автоматичне локальне керування дорожнім рухом на окремих перехрестях ВДМ;

-автоматичне координоване керування дорожнім рухом на групі перехресть (маршрути координації);

- координоване керування дорожнім рухом на ВДМ або її фрагментах (зонах, районах);

- оперативне керування реверсивним рухом;

-автоматичний пошук та прогнозування заторів на ВДМ, а також їх попередження або ліквідація;

-забезпечення пріоритетного проїзду маршрутних та спеціальних транспортних засобів через вузли та ділянки об'єкта керування;

-маршрутизоване керування (перерозділ транспортних потоків) на ділянках ВДМ об'єкта керування;

-керування швидкісними режимами руху (обмеження та рекомендації) на ділянках ВДМ об'єкта керування;

-керування рухом ТЗ на в'їздах в тунелі та на автомагістралі;

-диспетчерське керування рухом ТЗ та пішоходів на ділянках і вузлах ВДМ об'єкта керування;

5.2.2. До інформаційних функцій належать:

-формування та індикація даних про характеристики транспортних потоків, стан дорожнього покриття;

-накопичення, аналіз та документування даних про стан об'єкта управління, режими функціонування АСКДР та її технічних засобів, їх несправності та дії диспетчера;

- забезпечення можливості візуального спостереження за дорожнім рухом на ділянках ВДМ за допомогою телевізійної апаратури;
- формування сигналів про порушення правил дорожнього руху;
- забезпечення аварійно-викликового зв'язку повздовж магістралей;
- забезпечення можливості оперативного зв'язку оператора системи з оперативними та спеціальними службами;
- інформування водіїв ТЗ про небезпечні умови на маршруті руху (туман, ожеледиця, ДТП, тощо);
- реєстрація зміни режимів роботи АСКДР, реєстрація і аналіз спрацювань пристроїв блокувань і захисту;
- формування та індикація сигналів про несанкціонований доступ до периферійного обладнання АСКДР.

5.2.3 До допоміжних функцій АСКДР належить автоматизація розрахунків програм координатії, формування банків статистичних даних різного призначення.

5.3 Перелік функцій під час проектування АСКДР формують на базі 5.2 залежно від конкретного об'єкта керування і уточнюють в технічному завданні на розроблення АСКДР. Дозволено вводити додаткові керувальні, інформаційні та допоміжні функції.

5.4 Залежно від об'єкта та мети керування у ролі показників ефективності АСКДР повинні використовуватись:

- середня непродуктивна затримка ТЗ;
- середня непродуктивна затримка ТЗ на об'єкті керування;
- кількість зупинок ТЗ;
- кількість ТЗ у черзі;
- середня швидкість поїздки;
- середня швидкість руху ТЗ;
- час проїзду;
- час сполучення;
- довжина маршруту руху;
- витрати пального;
- масовий викид шкідливих речовин в атмосферу;
- рівень транспортного шуму;
- сподівана чи фактична кількість ДТП.

6 ЗАГАЛЬНІ ВИМОГИ ДО АСКДР

6.1 Вимоги до АСКДР

6.1.1 АСКДР повинна відповідати вимогам даного стандарту, технічному завданню на її створення (розвиток або модернізацію) або завданню на проектування (у разі використання типових рішень). Технічне завдання, завдання на проектування повинно бути погоджене з МВС України та іншими зацікавленими організаціями.

6.1.2 Під час створення АСКДР різного рівня складності повинен бути використаний мінімальний комплекс технічних засобів і програмного забезпечення, що виконує задачі, поставленні перед АСКДР.

6.1.3 АСКДР створюють за модульним принципом із забезпеченням можливості об'єднання модулів в систему більш високого рівня складності.

6.1.4 АСКДР повинна допускати можливість модернізації і подальшого розвитку.

6.1.5 Стадії та етапи створення конкретної АСКДР – за ГОСТ 34.601. Зміст робіт на кожному етапі визначають технічним завданням або завданням на проектування.

6.2 Вимоги до видів забезпечення

6.2.1 *Вимоги до технічного забезпечення*

6.2.1.1 Технічне забезпечення АСКДР формують залежно від об'єкта керування, призначення та функцій АСКДР (5.1-5.4). Технічне забезпечення АСКДР визначають технічним завданням на розробку. Воно містить (цілком або частково):

- периферійні технічні засоби;
- апаратуру телемеханічного зв'язку між периферійними технічними засобами;
- технічні засоби ПК АСКДР та засоби диспетчерського контролю;
- апаратуру телемеханічного зв'язку між периферійними технічними засобами та ПК;
- ОК з обладнанням для резервування;
- прилади, пристрої та програмне забезпечення для налагодження, контролю та діагностики обладнання системи в цілому;
- комплект ЗВП (пусконаладжувальний та експлуатаційний).

6.2.1.2 Комплекс технічних засобів за своїм складом повинне забезпечувати реалізацію усіх функцій АСКДР, перерахованих в технічному завданні на її створення.

6.2.1.3 У складі ОК використовують електронно-обчислювальну техніку, що випускають серійно.

6.2.1.4 Технічні засоби ОК і периферійні технічні засоби повинні задовольняти вимоги ГОСТ 21552 і ГОСТ 34.401 відповідно, а також вимоги 6.2.1.5-6.2.1.15.

6.2.1.5 Технічні засоби виготовляють з елементів, що випускають серійно на основі типових конструкцій. Однотипні складові одиниці та блоки повинні бути взаємозамінними.

6.2.1.6 За стійкістю до впливів кліматичних факторів в процесі експлуатації технічні засоби повинні відповідати 2-й групі за ГОСТ 21552.

6.2.1.7 Рівень індустріальних радіоперешкод, що створюють технічні засоби під час роботи, також в моменти увімкнення і вимкнення, повинен відповідати нормам, встановленим ГОСТ 23511.

6.2.1.8 Під час організації зв'язку між технічними засобами АСКДР використовують як провідні, так і безпроводні канали зв'язку.

6.2.1.9 Під час використання відомчих каналів зв'язку параметри лінійних кіл встановлюють в технічних умовах на конкретний технічний засіб.

6.2.1.10 Сигнали і коди, яких використовують для зв'язку між пристроями комплексу технічних засобів – за ГОСТ 26.013, ГОСТ 26.014.

6.2.1.11 Технічні засоби і швидкість обміну інформацією – за ГОСТ 17422.

6.2.1.12 Достовірність передавання інформації в АСКДР для пристроїв телекерування, телесигналізації, кодових телевимірів за кожною функцією окремо повинно відповідати 3-й категорії пристроїв за ГОСТ 26.205.

6.2.1.13 Технічні засоби ПК за імовірністю безвідмовної роботи повинні відповідати 1-й групі надійності за ГОСТ 26.205.

6.2.1.14 Середній час відновлення технічних засобів повинен бути не більше ніж півгодини.

6.2.1.15 Значення гамма-відсоткового терміну збережуваності за умови $\gamma = 90\%$ визначають за ГОСТ 27883.

Перевірка показника збережності – за ГОСТ 27883. Методика перевірки повинна бути наведена в технічних умовах на конкретний технічний засіб.

Примітка. Показник збережності включають до номенклатури показників надійності технічних засобів за погодженням між споживачем і розробником (або виробником).

6.2.2 Вимоги до програмного забезпечення

6.2.2.1 Комплекс програм АСКДР повинен забезпечувати реалізацію усіх функцій системи, визначених в технічному завданні на її створення або завданні на проектування.

6.2.2.2 Програмне забезпечення будують на базі пакетів прикладних програм.

6.2.2.3 Інші вимоги до програмного забезпечення – за ГОСТ 24.104.

6.2.3 Вимоги до організаційного, інформаційного та іншого забезпечення – за ГОСТ 24.104.

6.3 Вимоги безпеки

6.3.1 Види небезпечних і шкідливих виробничих чинників встановлюють конкретно для кожної АСКДР за ГОСТ 12.0.003 і зазначають в нормативній документації на АСКДР і технічні засоби, що входять до її складу.

6.3.2 Загальні вимоги безпеки до конструкції технічних засобів АСКДР – за ГОСТ 12.2.003, ГОСТ 12.2.007.0.

6.3.3 Допустимі норми шуму в приміщеннях ПК – за ГОСТ 12.1.003.

6.3.4 Вимоги до пожежної безпеки приміщень ПК – за ГОСТ 12.1.004.

6.3.5 Сигнальні кольори і знаки безпеки – за ГОСТ 12.4.026.

6.3.6 Загальні ергономічні вимоги до виробничого обладнання АСКДР – за ГОСТ 12.2.049, до пультів керування – за ГОСТ 23000.

6.4 Комплектність АСКДР – за ГОСТ 24.104.

6.5 Вимоги до проведення випробувань АСКДР

6.5.1 Види і порядок проведення випробувань АСКДР – за ГОСТ 34.603 з урахуванням вимог 6.5.2–6.5.7.

6.5.2 Перед приймально-здавальними випробуваннями АСКДР проводять їх дослідну експлуатацію протягом 3-6 місяців.

6.5.3 Рішення про введення АСКДР в дослідну експлуатацію приймає комісія в складі представників замовника, виконавця і співвиконавців.

В програмі дослідної експлуатації повинні бути передбачені:

- перевірка технічного стану і працездатності технічних засобів та програмного забезпечення АСКДР;

- визначення несправностей, причин і способів їх усунення;

- оцінка якості робіт щодо створення АСКДР.

6.5.4 Результати дослідної експлуатації оформляють актом, який затверджує замовник АСКДР.

6.5.5 Приймально-здавальні випробування перед прийманням системи в промислову експлуатацію повинна проводити комісія, що складається з представників замовника, виконавця, співвиконавців, МВС України та інших зацікавлених організацій.

6.5.6 Під час проведення приймально-здавальних випробувань АСКДР виконавець надає комісії документацію згідно з А.7 додатка А.

6.5.7 Акт про результати приймально-здавальних випробувань повинен містити:

- висновок про ступінь відповідності АСКДР технічному завданню на її створення або завданню на проектування і вимогам цього стандарту;

- рішення про приймання системи в промислову експлуатацію.

6.6 Вимоги до пакування і транспортування технічних засобів АСКДР та засобів обчислювальної техніки – за ГОСТ 34.401 та ГОСТ 21552 відповідно.

6.7 Гарантійний строк експлуатації АСКДР – 12 місяців з дня введення системи в промислову експлуатацію.

ДОДАТОК А
(обов'язковий)

ВИМОГИ ДО ТЕХНІЧНОЇ ДОКУМЕНТАЦІЇ НА АСКДР

А.1 Технічне завдання на створення (розвиток або модернізацію) АСКДР повинне містити розділи, встановлені ГОСТ 34.602, з урахуванням доповнень, викладених в А.1.1-А1.5.

А.1.1 Розділ «Призначення АСКДР» повинен містити:

- основну мету створення АСКДР;
- перелік функцій системи відповідно до 5,2;
- об'єм, що планують, і етапи розвитку системи (за необхідності);

А1.2 Розділ «Характеристика технічного об'єкта керування» повинен містити:

-відомості про ВДМ (магістраль) – протяжність і кількість смуг руху, характеристики перехресть, розв'язок у різних рівнях, наявність магістралей-дублерів, кількість і види штучних дорожніх споруд, основні і допоміжні маршрути руху ТЗ, виходячи з планувальної структури і поділу міста на райони;

- характеристики об'єкта керування;
- відомості про особливості організації дорожнього руху;
- відомості про периферійні технічні засоби, яких встановлено на перехрестях (на ділянці магістралі), пропозиції щодо їх використання під час створення АСКДР;
- відомості про перспективи розвитку дорожньої мережі автомобільного парку на найближчі десять років;

-перелік перехресть (ділянок магістралі), яких обслуговують АСКДР.

А.1.3 Розділ «Техніко-економічні показники АСКДР» повинен містити:

- вихідні дані для розрахунку економічної ефективності;
- значення очікуваних показників ефективності системи. Ефективність оцінюється на основі порівняння показників, які зазначені в 5.4, до і після введення системи в експлуатацію.

А.1.4 Зміст розділу «Вимоги до АСКДР» – за ГОСТ 34.602 з наступними доповненнями.

В підрозділі «Вимоги до системи в цілому» як показник надійності системи повинен використовуватись комплексний показник, що враховує зниження ефективності функціонування системи через ненадійність її технічних засобів і якого визначають за ГОСТ 24.701 як відношення показників ефективності АСКДР за наявного рівня надійності до показників ефективності у припущенні абсолютної надійності АСКДР.

Підрозділ «Вимоги до складових частин системи» повинен містити вимоги до технічного, програмного, інформаційного і організаційного забезпечення відповідно до 6.2, а також вимоги до кількості і кваліфікації обслуговуючого персоналу і режиму його роботи.

А.1.5 У розділі «Вимоги до замовника з підготовки об'єкта» додатково до переліку робіт, передбачених ГОСТ 34.602, повинен бути визначений порядок надання замовником вихідних даних для проектування АСКДР і розрахунку економічної ефективності.

А.2 Комплект технічної документації проектів АСКДР – за ГОСТ 34.201. Перелік документів та їх комплектність на АСКДР та її складові частини повинен бути визначений в технічному завданні на створення АСКДР.

А.3 Зміст документації технічного забезпечення – за РД 50-34.698 [1] з наступними доповненнями:

А.3.1 Умовні позначення на схемах і планах – за ГОСТ 23545.

А.3.2 Патентний формуляр на систему укладають за ДСТУ 3574.

А.3.3 Формуляр системи укладають за РД 50-34.698 [1]. У розділі «Основні параметри і технічні характеристики АСКДР» наводять перелік перехресть (ділянок магістралі), що входять до району керування, і встановлених на них периферійних технічних засобів системи.

А.4 Програмні документи АСКДР повинні відповідати вимогам стандартів Єдиної системи програмної документації, а також РД 50-34.698 [1].

А.5 Зміст документації інформаційного забезпечення – за РД 50-34.698 [1]. У документації повинна бути передбачена можливість розширення інформаційних масивів з урахуванням перспективи розвитку конкретної системи. Вихідні документи і відеограми оформлюють у вигляді, зручному для сприйняття оператором системи.

А.6 Зміст документації організаційного забезпечення – за РД 50-34.698 [1].

А.7 Під час проведення приймально-здавальних випробувань АСКДР виконавець надає комісії таку документацію:

- технічне завдання на створення АСКДР;
- завдання на проектування;
- проект програми і методики приймально-здавальних випробувань;
- експлуатаційну документацію на АСКДР і технічні засоби;
- акт, що фіксує початок експлуатації АСКДР;
- журнали дослідної експлуатації АСКДР.

ДОДАТОК Б
(довідковий)

БІБЛІОГРАФІЯ

[1] РД 50-34.698 – 90 Методические указания. Информационная технология. Комплекс стандартов и руководящих документов на автоматизированные системы. Автоматизированные системы. Требования к содержанию документов.

БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. Абрамова Л.С. Обоснование выбора показателей эффективности контурного управления дорожным движением на улично-дорожной сети города / Абрамова Л.С., Чернобаев Н.С. – Восточно-Европейский журнал передовых технологий №4/3(46) 2010 – X.: «Технологический Центр», 2010. – с 58-61.
2. Абрамова Л.С., Чернобаев Н.С. Координированное управление дорожным движением на сети магистралей города: монография. – Харьков: «Точка», 2012. – 160 с.
3. Аксенов В.А. Техничко-экономическое обоснование мероприятий, повышающих безопасность движения / В.А. Аксенов. - М.: Транспорт, 1974. - 112 с.
4. Афанасьев В.Н., Математическая теория конструирования систем управления. / Афанасьев В.Н., Колмановский В.Б., Носов В.Р. – М.: Высшая школа, 1989. – 447 с.
5. Бабков В.Ф. Дорожные условия и безопасность движения: [учебник для вузов] / В.Ф. Бабков. – М.: Транспорт, 1993. – 271 с.
6. Блинкин М.Я. Вопросы расчета и смены управляющих программ в системе АРДАМ / М.Я. Блинкин // Труды Гипродорнии. - М., 1976. - вып. 16. С. 148 - 161.
7. Брайловский Н.О. Моделирование транспортных систем / Н.О. Брайловский, Б.И. Грановский – М.: Транспорт, 1978. – 125 с.
8. Василевский М.И. Исследование возможности оперативной оценки качества организации дорожного движения на центральных улицах городов: автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук: спец. 05.22.11 «Автомобильный транспорт» / М.И. Василевский. – М.: 1974. – 25 с.
9. Вероятностные и имитационные подходы к оптимизации автодорожного движения / [Буслаев А.П., Новиков А.В., Приходько В.М., Таташев А.Г., Яшина М.В.]; под ред. чл.-корр. РАН В.М. Приходько. — М.: Мир, 2003. — 368 с.
10. Владимиров В.А. Инженерные основы организации дорожного движения. / Владимиров В.А. и др. – М.: Стройиздат, 1975. – 212 с.
11. Говорущенко Н.Я. Основы управления автомобильным транспортом. / Говорущенко Н.Я. – X.: Вища школа - 1978. - 224 с.

12. Григоров М.А. Інформаційне забезпечення для оптимізації транспортних потоків: Монографія. / Григоров М.А. – Одеса: Астропринт, 2004. – 392 с.
13. Дрю Д. Теория транспортных потоков и управление ими, Пер. с англ. Коваленко Е. Г. и Шермана Г. Д. Под редакцией чл. – корр. АН СССР Бусленко Е.Г. / Дрю Д. – М.: Транспорт, 1972 – 357 с.
14. Енглезі І.П. Ефективність координованого управління транспортними потоками : автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук: спец. 05.22.01 «Транспортні системи» / І.П. Енглезі. – Х.: 2004. – 15 с.
15. Иносе Х. Управление дорожным движением: пер. с англ. под ред. М.Я. Блинкина / Х. Иносэ, Т. Хамада. - М.: Транспорт, 1983. – 248 с.
16. Капитанов В.Т. Управление транспортными потоками в городах / В.Т. Капитанов, Е.Б. Хилажев. - М.: Транспорт, 1985 – 94 с.
17. Клинковштейн Г.И. Организация дорожного движения: [для студ. вузов] – 5-е изд., перераб. и доп. / Г.И. Клинковштейн, М.Б. Афанасьев - М.: Транспорт, 2001 – 247 с.
18. Коноплянко В.И. Организация и безопасность дорожного движения / В.И. Коноплянко - М.: Транспорт, 1991. – 183 с.
19. Кременец Ю.А. Технические средства организации дорожного движения / Ю.А. Кременец, М.П. Печерский, М.Б. Афанасьев. – М.: Академкнига, 2005. – 279 с.
20. Лукьянов В.В. Безопасность дорожного движения. / Лукьянов В.В. - М.: Транспорт, 1978. - 245с.
21. Методы оценки качества организации дорожного движения / [Г.И. Клинковштейн, В.Н. Сытник, С.И. Смирнов и др.]. - М.: МАДИ, 1987 – 78 с.
22. Михеев С.В. Автоматизированная система контроля и управления дорожным движением / С.В. Михеев, Т.И. Михеева, А.В. Золотовицкий // В кн. Математика. Компьютер. Образование. - Москва: Прогресс - Традиция, 2000. - С. 207-214.
23. Організація та регулювання дорожнього руху: підручник / за заг. ред. В.П. Поліщука, О.О. Бакуліч, О.П. Дзюба, В.І. Єресов та ін. – К.: Знання України, 2012. – 467 с.

24. Полищук В. П. Проектирование автоматизированных систем управления движением на автомобильных дорогах / В. П. Полищук, Б.М. Четверухин. - К.: КАДИ, 1983. – 95 с.
25. Полищук В.П. Технічні засоби забезпечення безпеки дорожнього руху / Полищук В.П., Кунда Н.Т. – Навч. посібник. – К.: ІЗМН, 1998. – 132 с.
26. Пугачев И.Н. Организаци и безопасность движения: Учебное пособие / И.Н. Пугачев. – Хабаровск: Из-во Хабар. гос. техн. Ун-та, 2004. – 232 с.
27. Семенов В.В. Смена парадигмы в теории транспортных потоков/ Семенов В.В. - М., 2006. - 32 с. - (Препринт ИПМ № 46 / Институт прикладной математики им. М.В. Келдыша, Москва, 2006).
28. Сильянов В.В. Теория транспортных потоков в проектировании дорог и организации движения / В.В. Сильянов. – М.: Транспорт. 1977. – 303 с.
29. Хейт Ф. Математическая теория транспортных потоков; пер. с англ.- М.: Мир, 1966. – 286 с.
30. Хилажев Е.Б., Кондратьев В.Д. Микропроцессорная техника в управлении транспортными потоками / Е.Б. Хилажев, В.Д. Кондратьев.-М: Транспорт, 1987. - 174 с.
31. Хомяк Я.В. Организация дорожного движения: [для студ. вузов] / Я.В. Хомяк - К.: Высшая школа, 1986. 270 с.
32. 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.
33. Lighthill M. J., Whitham G. B. On kinematic waves: II. Theory of traffic flow on long crowded roads // Proc. R. Soc. London, Ser. A. 1955. V. 229. P. 281 345.
34. Transit ITS compendium: an informational report of the Institute of Transportation Engineers Institute of Transportation Engineers / ITE Transit/ITS Committee.; Transit Council (Institute of Transportation Engineers); ITS Council (Institute of Transportation Engineers) – Washington D.C. – 1997 – 114 p.
35. Webster F.V. Traffic Signals / F.V. Webster, B.M. Cobbe // Road Research Technical Paper. – 1966. - №56 – P. 111.

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ

АРМ - автоматизоване робоче місце;
АСУ - автоматизовані системи управління;
АСУДР - автоматизовані системи управління дорожнім рухом;
АТЗ - автотранспортний засіб;
ВДМ – вулично-дорожня мережа;
ВПУ - виносного пункту управління;
ВП - вихідний пристрій;
ГДВ - гранично допустимий викид;
ГДК - гранично допустима концентрація;
ДР - дорожній рух;
ДТ - детектор транспорту;
ЗВ - «зелена вулиця»;
ІЗ – інформаційне забезпечення;
ІТС - інтелектуальні транспортні системи;
КД - контроллер дорожній;
КДЗ - керований дорожній знак;
КУ - координоване управління;
МГР - місцеве гнучке регулювання;
МЗ – математичне забезпечення;
ОЗ – організаційне забезпечення;
ОК - обчислювальний комплекс;
ПЗ - програмне забезпечення;
ПК – план координації;
ПУ - пункту управління;
СУБД - системи управління базами даних;
ТВП - табло виклику пішоходом;
ТЗ – технічне забезпечення;
ТП – транспортний потік;
ТПП - транспортно-планувальний підрайон;
ТУВ - тимчасово узгоджені викиди;
УОК - управляючий обчислювальний комплекс;
ЦУ - центр управління;
ЧЕ - чутливий елемент;
TRANSYT - TRAffic Network Study Tool;
TRL - Transport Research Laboratory.

ПРЕДМЕТНИЙ ПОКАЖЧИК

автоматизація

- управління повна - 13
- управління часткова - 12
- контролю повна - 13

безпека

- екологічна – 23
- технічного обладнання – 125
- технологічного процесу - 125

гальмування – 26

градієнт швидкості - 124

графоаналітичний метод - 84

довжина черги – 32

дорожні контролери

- локального управління 96, 108
- системного управління 96, 108

екологічні характеристики - 23

елементи дорожнього руху - 4

ефективність

- системи – 4
- організації дорожнього руху – 119
- технічна АСУДР – 130

забруднення навколишнього середовища

- інградієнтне - 9
- параметричне – 9
- екологічне - 9

«зелена хвиля» - 80, 83

«зелена вулиця» - 117

інтенсивність

- транспортного потоку – 39
- руху – 36, 62, 75, 83, 110, 143

інтелектуальні транспортні системи – 87

керовані дорожні знаки – 38, 98

класифікація

- детекторів транспорту - 112
- негативних наслідків автомобілізації – 9

- технічних засобів управління дорожнім рухом – 96
коефіцієнти

- безупинного проїзду – 80
- відмов - 129
- готовності – 128
- ефективності системи – 6
- завантаження дороги рухом - 35
- стабільності вітрового потоку - 157

критерії

- управління екологічні - 146
- якості ергатичних систем - 125
- якості управління – 118
- якості управління соціальні - 131

методи управління дорожнім рухом

- адаптивні – 60
- off-line – 64
- on-line - 63
- програмні – 60, 73
- програмно-адаптивні – 60, 73

метод

- визначення параметрів координації - 80
- вирівнювання ступеню насичення фаз регулювання - 62
- координації руху комбінований - 77
- мічених газів - 150
- оптимізації параметрів управління світлофорною сигналізацією - 77
- пошуку розриву у транспортному потоці – 61
- прогнозу прибуття АТЗ до перехрестя – 62
- роз'їзду черги – 61
- розрахункового визначення тривалості циклу – 62

об'єкти управління – 11, 20

організація дорожнього руху - 12

паливна економічність - 134

параметри

- ефективності організації дорожнього руху - 119
- ефективності управління – 119

- надійності технічних засобів та систем управління дорожнім рухом - 126
- надійності управління - 119
- нерівномірності руху – 119
- потоку відмов - 127
- управління екологічні - 119

підсистема АСУДР

- інформаційного забезпечення – 42
- математичного забезпечення – 42
- організаційного забезпечення - 42
- програмного забезпечення – 42
- технічного забезпечення – 42

потік

- змішаний - 32
- насичення – 30
- однотипний – 31
- пішохідний - 12
- транспортний – 12, 20,

принципи

- організації діяльності системи – 4
- системного підходу – 5

пристрої АСУДР

- виконавчі – 98
- вимірюючі – 97, 112
- керуючі- 97, 108

проектування підсистем – 6

процеси

- ергатичні - 125
- управління – 17

регулювання - 12

- автоматичне – 10
- світлофорне - 11

режим руху – 15, 24

рівень

- автоматизації – 19
- управління оперативний - 38
- управління стратегічний – 38

- управління тактичний – 38
- розгін – 26
- світлофори дорожні
 - пішохідні - 99;
 - транспортні - 99;
- система забезпечення безпеки дорожнього руху – 4
- системи управління дорожнім рухом
 - адаптивні – 19
 - замкнуті – 18
 - мультипрограмні – 19
 - програмні - 19
 - розімкнуті – 18
- системи координованого управління
 - прогресивні - 68
 - синхронні - 66
- системотехніка– 5
- склад транспортного потоку - 31
- споживання ресурсів
 - земельні – 9
 - енергетичні – 9
 - матеріальні – 9
 - трудові - 9
- стан навколишнього середовища – 15
- структура АСУДР
 - децентралізована - 46
 - ієрархічна - 49
 - централізована - 47
- структура агента
 - заснованого на корисності - 93
 - рефлексного – 90
 - який діє на підставі мети – 92
- ступінь
 - впливу шкідливих викидів - 150
 - досягнення мети – 5
 - ефективності координації - 71
- технічні засоби – 18, 21
- типи

- інформаційного зв'язку – 44
 - управління - 51
- транспортна мережа - 20
- умови
- руху – 15
 - дорожні – 15, 16, 25
 - дорожніх обставин – 16
 - погодно-кліматичні - 16
- управління
- автоматичне – 11
 - автоматизоване – 11
 - дорожнім рухом – 17, 18
 - зональне - 55
 - координоване - 53
 - локальне – 13, 52
 - магістральне – 53
 - районне - 55
 - системне – 13, 56
- усталений рух – 26
- фазовий коефіцієнт – 29
- функції
- управляючі – 36
 - оперативного рівня управління – 41
 - центру управління - 48
- функціонування системи - 4
- холостий хід - 26
- час очікування – 30
- швидкість
- руху -32
 - сполучення – 33
 - транспортного потоку – 33
 - вільного руху – 33
- шум прискорення - 121

ЗМІСТ

Вступ	3
Розділ 1.	
Особливості управління дорожнім рухом.....	4
1.1 Призначення систем управління та основи проектування	4
1.2. Взаємодія автомобілізації з природою і суспільством	6
1.3. Загальне визначення елементів управління і регулювання дорожнього руху	10
1.4. Умови руху транспорту на вулично-дорожній мережі.....	14
1.5. Опис процесу управління дорожнім рухом	17
1.6. Особливості об'єкту управління.....	20
1.7. Транспортний потік – джерело впливу на навколишнє середовище	22
1.8. Аналіз режимів руху автомобілів у транспортному потоці ...	24
1.9. Моделювання швидкості руху транспортного потоку	32
1.10. Функції АСУДР.....	36
1.11. Склад автоматизованої системи управління дорожнім рухом	41
1.12. Структура АСУДР. Типи структури.....	44
Запитання для самоконтролю до розділу 1.....	49
Розділ 2.	
Математичне забезпечення систем управління дорожнім рухом	51
2.1. Аналіз методів управління дорожнім рухом.....	51
2.2. Адаптивні методи управління дорожнім рухом.....	60
2.3. Програмні методи управління дорожнім рухом	63
2.3.1. Методи управління дорожнім рухом в режимі реального часу.....	63
2.3.2. Методи управління ДР поза режимом реального часу.....	64
2.4. Координоване управління дорожнім рухом.....	65
2.4.1. Типи систем координованого управління.....	65
2.4.2. Магістральне управління дорожнім рухом «Зелена хвиля»	82
2.4.3. Графоаналітичний метод визначення параметрів	

координованого управління дорожнім рухом.....	84
2.5. Основи проектування інтелектуальних систем управління дорожнім рухом	87
2.5.1 Опис рефлексних агентів	89
2.5.2 Опис рефлексного агента, заснованого на моделі	91
2.5.3 Опис агента, заснованого на досягненні мети.....	92
2.5.4 Структура агента, заснованого на корисності	94
Запитання для самоконтролю до розділу 2.....	96

Розділ 3.

Технічне забезпечення систем управління дорожнім рухом	98
3.1. Класифікація технічних засобів АСУДР	98
3.2. Виконавчі пристрої АСУДР	99
3.2.1. Призначення керованих дорожніх знаків.....	99
3.2.2. Світлофори дорожні та їх типи.....	101
3.2.3. Параметри схеми розміщення світлофорного пристрою....	106
3.3. Керуючі пристрої АСУДР	109
3.3.1. Типи дорожніх контролерів та галузі їх застосування.....	109
3.3.2. Принципова схема мікропроцесорного контролеру.....	112
3.4. Вимірюючі пристрої АСУДР.	114
3.4.1. Класифікація детекторів транспорту.....	114
3.4.2. Визначення параметрів розміщення детекторів транспорту	117
Запитання для самоконтролю до розділу 3.....	119

Розділ 4.

Критерії ефективності управління дорожнім рухом.....	120
4.1. Технічні критерії ефективності управління.....	120
4.2. Оцінка безпеки в ергатичних системах.....	127
4.3. Параметри надійності технічних засобів та систем управління дорожнім рухом.	128
4.4. Показники надійності АСУДР.....	131
4.5. Соціальні критерії ефективності управління ДР.....	133
4.6. Економічні критерії ефективності управління ДР	135
4.6.1. Аналіз витрат пального транспортними потоками	135
4.6.2. Прогнозування сумарних витрат палива	

транспортним потоком.....	138
4.6.3. Обґрунтування методів управління дорожнім рухом.	142
4.7. Екологічна безпека дорожнього руху.	146
4.7.1. Екологічні критерії управління дорожнім рухом.	146
4.7.2. Визначення концентрації токсичних компонентів в атмосферному повітрі.	150
4.7.3. Значення гранично-допустимих концентрацій токсичної речовини.....	159
Запитання для самоконтролю до розділу 4.....	166
Висновки.....	168
Додаток 1. Витяг з національного стандарту України (ДСТУ 4158-2003)	169
Бібліографічний список	177
Перелік скорочень	180
Предметний покажчик	181

ДЛЯ НОТАТКІВ

ДЛЯ НОТАТКІВ

ДЛЯ НОТАТКІВ

Навчальне видання

АБРАМОВА Людмила Сергіївна
БАКУЛІЧ Олена Олександрівна

АВТОМАТИЗОВАНІ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ
ДОРОЖНІМ РУХОМ

Навчальний посібник

Відповідальний за випуск Наглюк І.С

В авторській редакції

Коректор _____

Комп'ютерна верстка _____

Дизайн обкладинки _____

План 2013 р., поз. _____
Підписано до друку _____ формат _____ Папір офсетний
Гарнітура _____. Віддруковано на ризографі.
Ум. друк. арк. ____ Обл.-вид.арк. ____
Зам. ____ . Тираж _____ прим. Ціна договірна

Видавництво
