

РОЗДІЛ 7 КООРДИНОВАНЕ СВІТЛОФОРНЕ РЕГУЛЮВАННЯ

7.1 Суть координованого світлофорного регулювання. Умови організації координованого світлофорного регулювання на магістралі

Координоване регулювання являє собою узгоджену роботу ряду світлофорних об'єктів на магістралі з метою безупинного проїзду автотранспортних засобів по магістралі за принципом «зеленої хвилі». Сутність проектування координованого регулювання полягає в призначенні такої швидкості руху на перегонах між світлофорними об'єктами (швидкості координації) і таких відрізків часу між моментами включення зелених сигналів світлофорів на суміжних (сусідніх) світлофорних об'єктах, щоб транспортні засоби підходили до наступного світлофорного об'єкту на зелений сигнал світлофора.

Відрізок часу між моментами включення зелених сигналів світлофорів на суміжних світлофорних об'єктах (СО) називається *фазовим зсувом* між СО.

Організувати координоване регулювання на магістралі можливо, якщо:

- відстань між суміжними СО не перевищує 800 м (відстань між суміжними СО визначається як відстань між «стоп-лініями» на в'їздах на ці СО. Наприклад, як це показано на рис. 7.1);
- не менше двох смуг руху в кожному з напрямків руху на магістралі; стоянка транспорту на проїзній частині заборонена; нерегульованих пішохідних переходів немає; рух велосипедистів і тихохідного транспорту заборонено;
- на всіх світлофорних об'єктах магістралі, режим роботи яких узгоджується, тривалість циклу світлофорного регулювання повинна бути однаковою (іноді – кратною).

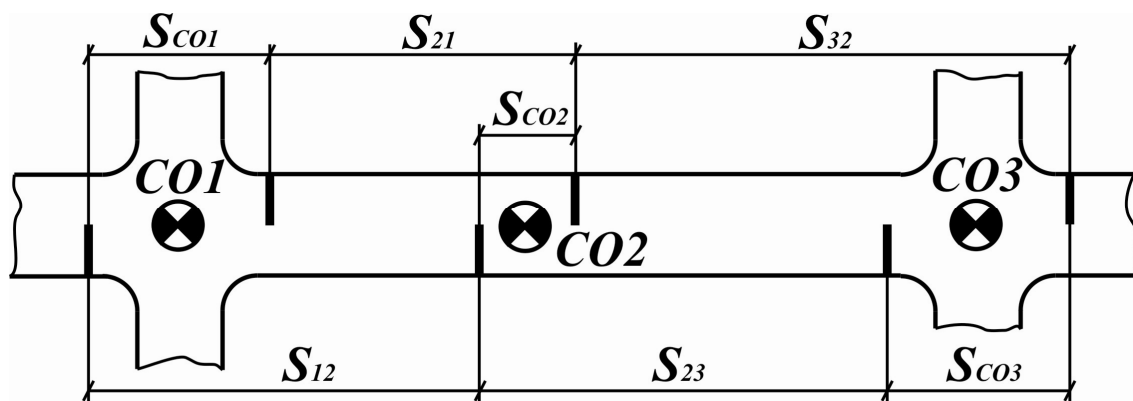


Рисунок 7.1 – Приклад визначення відстані між суміжними світлофорними об'єктами

CO1, CO2, CO3 – відповідно перший, другий і третій світлофорні об'єкти на ділянці магістральної вулиці; S_{12} – відстань між першим і другим світлофорними об'єктами; S_{23} – відстань між другим і третім світлофорними об'єктами; S_{32} – відстань між третім і другим світлофорними об'єктами; S_{21} – відстань між другим і першим світлофорними об'єктами; S_{CO1} , S_{CO2} , S_{CO3} – відповідно ширина першого, другого і третього світлофорних об'єктів по магістралі координації.

7.2 Визначення швидкості координації на перегоні магістральної вулиці

Для визначення швидкості координації на перегоні магістральної вулиці необхідно для кожного з напрямків руху за вихідними даними, що повинні бути отримані шляхом натурних досліджень швидкості руху транспортних засобів, побудувати гістограму (рис 7.2 а) і кумулятивну криву (рис. 7.2 б) розподілу миттєвих швидкостей руху транспортних засобів. Методика побудови цих графічних матеріалів наведена в [3, с. 22 – 25, 53 – 54].

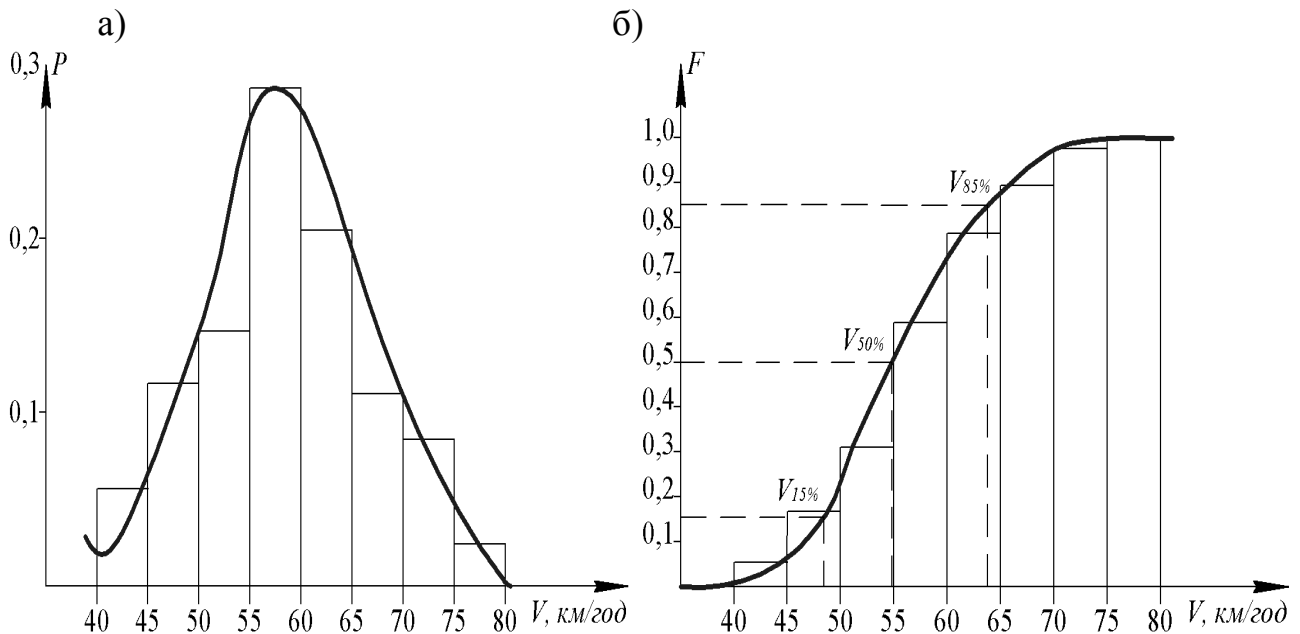


Рисунок 7.2 – Гістограма (а) й кумулятивна крива (б) розподілу миттєвих швидкостей руху транспортних засобів (приклад)

З використанням кумулятивної кривої треба визначити: швидкість 50 % - вої забезпеченості ($V_{50\%}$), яка буде використовуватися при визначенні перехідних інтервалів в циклах світлофорного регулювання на перехрестях і регульованому пішохідному переході, і швидкість 85 % - вої забезпеченості ($V_{85\%}$), яка буде використовуватися при визначенні швидкості координації світлофорних об'єктів на ділянці магістральної вулиці.

Наприклад, для визначення $V_{85\%}$ на осі ординат (рис. 7.2 б) необхідно знайти точку, якій би відповідало значення накопленої частоти $F = 85\%$. Через цю точку паралельно осі абсцис проводиться пряма. Через точку перетинання цієї прямої з кумулятивною кривою проводиться перпендикуляр до осі абсцис. Значення швидкості руху в точці перетинання перпендикуляра з віссю абсцис дасть нам $V_{85\%}$.

Розрахункова швидкість координації світлофорних об'єктів відповідно для прямого ($V_{ПР}$) й зворотного ($V_{ЗВ}$) напрямків руху по магістралі приймають як збільшену на 5 – 8 км/год швидкість $V_{85\%}$, при цьому величина розрахункової швидкості координації повинна бути кратна 5 (на дорожніх знаках 5.30 «Рекомендована швидкість» величина швидкості руху повинна бути кратною 5 км/год).

7.3 Методика координації світлофорних об'єктів вздовж вулиці

Етапи методики проектування координованого світлофорного регулювання на магістралі з використанням графоаналітичного методу наведені на рис. 7.3.

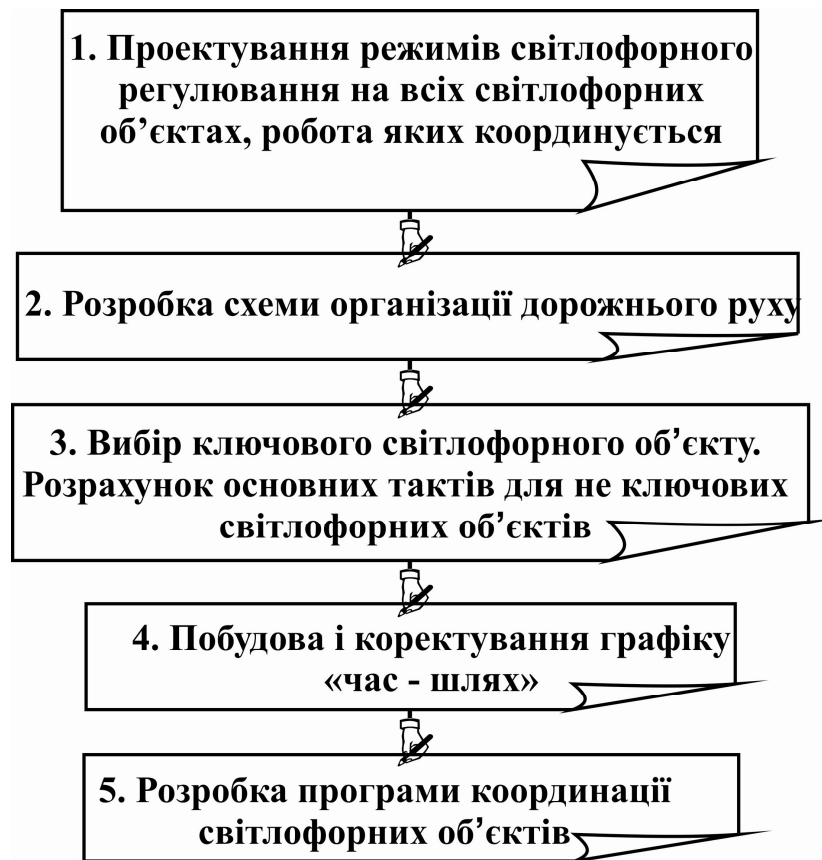


Рисунок 7.3 – Етапи методики проектування координованого світлофорного регулювання на магістралі з використанням графоаналітичного методу

Етап 1. Проектування режимів світлофорного регулювання на всіх світлофорних об'єктах, робота яких координується.

Режим світлофорного регулювання на всіх світлофорних об'єктах (як існуючих, так і тих, що пропонуються) розраховують як для ізольованих СО за методикою, що викладені в розділах 5 і 6 цього навчального посібнику.

Етап 2. Розробка схеми організації дорожнього руху.

Схема організації дорожнього руху – графічний документ, на якому умовними позначеннями відображена організація дорожнього руху на визначеній ділянці дороги чи вулиці у вигляді раціонального застосування, розміщення та ув'язки між собою технічних засобів організації дорожнього руху.

Вказівки до розробки схеми ОДР наведені в [2, с. 25 – 26].

Застосування і розміщення дорожніх знаків регламентується ДСТУ 4100 [10]. Правила застосування дорожньої розмітки наведені в ДСТУ 2587 [9]. Правила застосування і розміщення світлофорів наведені в ДСТУ 4092 [4]. Умовні позначення ТЗОДР на схемі організації дорожнього руху повинні бути у відповідності до вимог ДСТУ 4159 [11], СОУ 45.2–00018112–048 [12] і наведені в

[2, додаток А]. Запроектвана схема ОДР повинна бути накреслена з використанням масштабу 1:500 на листі графічної частини курсової роботи.

Етап 3. Вибір ключового СО. Розрахунок основних тактів для не ключових світлофорних об'єктів.

Світлофорний об'єкт, для якого отримана максимальна тривалість циклу регулювання, називається ключовим. Тривалість циклу регулювання на ключовому СО приймається як розрахункова для всіх інших СО магістралі.

Основні такти на не ключових СО збільшують пропорційно їхньої тривалості для одержання на кожному світлофорному об'єкті розрахункового значення тривалості циклу.

Етап 4. Побудова і коректування графіку «час - шлях».

Графік «час - шлях» будують у системі прямокутних координат. По горизонтальній осі відкладають значення часу (для курсової роботи рекомендується масштабний коефіцієнт $\mu_t = 1 \frac{мм}{с}$), по вертикальній осі - значення шляху (рекомендується масштаб 1 : 1000 або масштаб 1 : 1500).

Ліворуч від вертикальної осі з дотриманням вертикального масштабу викреслюють схематичний план магістралі із вказівкою відстаней між світлофорними об'єктами (рис. 3.3). Ліворуч від плану магістралі біля кожного СО вказується тривалість сигналів світлофорів по магістралі координації в послідовності зелений – жовтий – червоний – червоний з жовтим.

Вправо через границі світлофорних об'єктів паралельно горизонтальній осі проводять лінії (рис. 7.4). Нагадаємо, що границями СО є «стоп-лінії», що розташовані на в'їздах на СО по магістралі координації, як це показано на рис. 7.1 – відстані S_{CO1} , S_{CO2} , S_{CO3} .

Таким чином, через границі кожного із СО повинно бути проведено по дві горизонтальних лінії. Простір між цими лініями далі будемо називати «смугою світлофорного об'єкту».

На смузі ключового СО у масштабі наносять зліва направо послідовність сигналів світлофорів, що регулюють рух по магістралі координації. Необхідно нанести таких послідовностей у межах 6 ... 10 циклів регулювання.

Далі необхідно побудувати графіки руху лідерів груп транспортних засобів по магістралі координації в прямому й зворотному напрямках за умови, що швидкість руху цих транспортних засобів на всьому протязі магістралі координації є постійною величиною. Для цього через точки початку зелених сигналів на ключовому перехресті (на рис. 7.4 це точки A_1 при русі в прямому напрямку від СО1 до СО4 і точки B_1 при русі у зворотному напрямку від СО4 до СО1) проводять похилі до горизонталі лінії під кутами α_1 і α_2 відповідно для прямого й зворотного напрямків руху по магістралі координації. Чисельно тангенс кута нахилу цих ліній відповідає розрахунковій швидкості координації по магістралі:

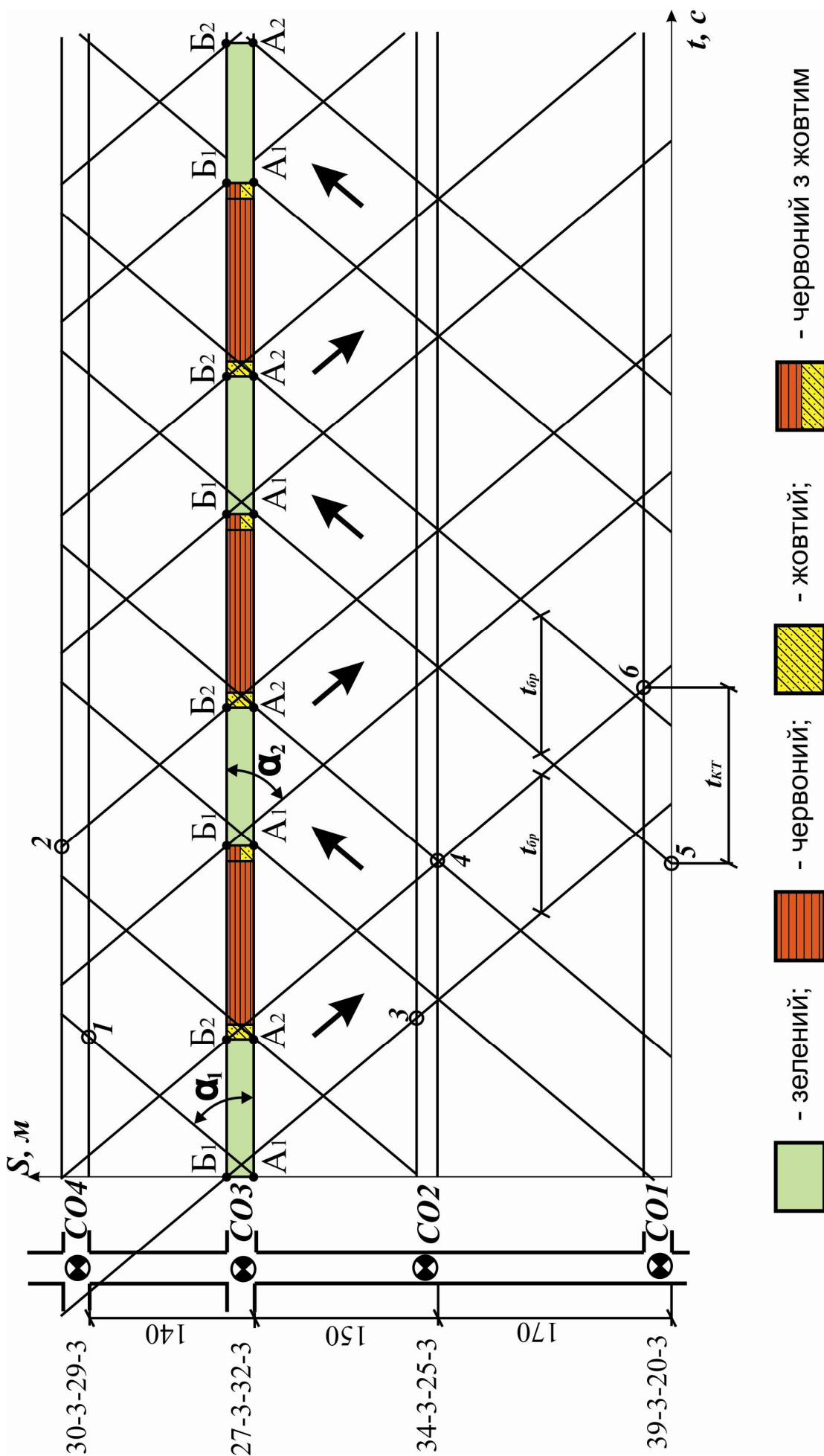


Рисунок 7.4 – Приклад побудови графіку «час – шлях»

$$\operatorname{tg}\alpha_1 = \frac{V_{\text{ПР}}}{3,6 \cdot \mu_t \cdot M_S}, \quad (7.1)$$

$$\operatorname{tg}\alpha_2 = \frac{V_{\text{ЗВ}}}{3,6 \cdot \mu_t \cdot M_S}, \quad (7.2)$$

де $V_{\text{ПР}}$, $V_{\text{ЗВ}}$ – розрахункова швидкість координації світлофорних об'єктів відповідно для прямого й зворотного напрямків руху по магістралі, км/год;

μ_t – горизонтальний масштабний коефіцієнт ($\mu_t = 1 \frac{\text{мм}}{\text{с}}$);

M_S – масштабний коефіцієнт вертикальної осі графіку «час – шлях» (для масштабу 1 : 1000 $M_S = 1 \frac{\text{м}}{\text{мм}}$, для масштабу 1 : 1500 $M_S = 1,5 \frac{\text{м}}{\text{мм}}$).

Через точки, що відповідають моментам вимикання зелених сигналів на ключовому перехресті (на рис. 7.4 це точки A_2 при русі в прямому напрямку й точки B_2 при русі у зворотному напрямку) необхідно провести похилі до горизонталі лінії, паралельні раніше побудованим графікам руху лідерів груп транспортних засобів по магістралі координації, в прямому й зворотному напрямках.

Простір між похилими лініями, проведеними через точки A_1 і A_2 у прямому напрямку руху по магістралі координації (точки B_1 і B_2 у зворотному напрямку) називається «стрічкою безупинного руху» (СБР). Якщо графік руху автомобіля перебуває усередині цієї стрічки, то йому гарантується рух без зупинки на протязі усієї магістралі координації.

Ширина СБР $t_{\text{бр}}$ (рис. 7.4) для організації координованого регулювання повинна бути не меншою $0,3 \cdot T$ [6, 13].

Режими роботи СО вважаються скоординованими, якщо СБР в прямому й зворотному напрямках руху на всіх СО, що входять у систему координації, проходять у межах зелених сигналів всіх світлофорів, що регулюють рух по магістралі координації.

Для перевірки цієї умови необхідно виконати наступні дії:

1) на смугах усіх не ключових світлофорних об'єктів необхідно знайти крайні точки перетинання цих смуг стрічками безупинного руху. Відзначимо, що для прямого напрямку руху крайня точка завжди буде лежати на нижній границі смуги світлофорного об'єкту, а для зворотного напрямку - на верхній границі смуги світлофорного об'єкту. Наприклад, на рис. 7.4 такими крайніми точками є: для СО4 - точки 1 і 2, для СО2 - точки 3 і 4; для СО1 - точки 5 і 6;

2) для кожного з не ключових СО виміряється відстань по горизонталі між крайніми точками й з використанням масштабного коефіцієнту μ_t переходимо до виміру цієї відстані в секундах ($t_{\text{КТ}}$). Значення $t_{\text{КТ}}$ представляє собою мінімально необхідну тривалість зеленого сигналу світлофора по магістралі координації на даному СО, при якій буде забезпечена координація режиму світлофорного регулювання на цьому СО з режимами світлофорного регулювання на всіх інших СО, включених до системи координованого регулювання на магістралі;

3) для кожного з не ключових СО порівнюється значення t_{KT} із тривалістю зеленого сигналу по магістралі координації. Якщо тривалість зеленого сигналу не менша t_{KT} , то для цього СО корекція графіку «час-шлях» не потрібна. Якщо ділянка t_{KT} виявилася більше зеленого сигналу на якому-небудь СО (тобто, одна зі стрічок безупинного руху попадає частково на заборонний сигнал), необхідна корекція графіка «час-шлях». Наприклад, на рис. 7.4:

- для СО1: $t_{KT} = 34 \text{ с} < t_3 = 39 \text{ с}$ - корекція графіку «час-шлях» не потрібна;
- для СО2: $t_{KT} = 31 \text{ с} < t_3 = 34 \text{ с}$ - корекція графіку «час-шлях» не потрібна;
- для СО4: $t_{KT} = 37 \text{ с} > t_3 = 30 \text{ с}$ - необхідна корекція графіку «час-шлях».

Корекція графіку «час-шлях» може здійснюватися шляхом зміни розрахункової швидкості координації на одному з перегонів (або декількох перегонах) магістралі. Під перегоном тут розуміється ділянка магістралі між світлофорними об'єктами. При цьому буде змінюватися величина кута нахилу СБР до горизонталі. Збільшення розрахункової швидкості координації призводить до збільшення цього кута нахилу. Припустимими границями зміни розрахункової швидкості координації є $\pm 5 \text{ км/год}$.

Другий спосіб корекції графіку «час-шлях» полягає в зменшенні ширини СБР. Не рекомендується робити ширину стрічки часу меншою за $0,3 \cdot T$, тому що з її звуженням зменшується ймовірність безупинного проїзду транспортних засобів по магістралі координації.

У виняткових випадках скоординувати роботу світлофорних об'єктів можна шляхом збільшення тривалості зеленого сигналу по магістралі координації за рахунок зменшення тривалості зеленого сигналу на другорядній вулиці, або шляхом ліквідації однієї фази при трьох- або чотирьохфазному світлофорному регулюванні.

На рис. 7.5 корекція графіку «час-шлях» виконана шляхом зменшення на 5 км/год розрахункової швидкості координації на перегоні між СО3 і СО4 як у прямому, так і зворотному напрямках. Після зменшення розрахункової швидкості координації на цьому перегоні величина кутів нахилу стрічок безупинного руху стала α_1^* й α_2^* відповідно для прямого й зворотного напрямків руху. Після корекції графіку «час-шлях» на світлофорному об'єкті №4: $t_{KT} = 27 \text{ с} < t_3 = 30 \text{ с}$. Таким чином, можна вважати, що режим роботи СО4 скоординований з режимами роботи інших світлофорних об'єктів і подальша корекція графіку «час-шлях» не потрібна.

Етап 5. Розробка програми координації світлофорних об'єктів.

Після корекції графіку «час-шлях» на смугах всіх не ключових СО у масштабі наносять зліва направо послідовність сигналів світлофорів, що регулюють рух по магістралі координації. При цьому стрічки безупинного руху повинні бути повністю розміщені в межах зеленого сигналу по магістралі координації.

Зелений сигнал по магістралі координації повинен включатися з деяким випередженням до моменту прибуття на цей СО транспортних засобів, що рухаються в межах стрічок безупинного руху. Це викликано тим, що на світлофорному об'єкті може накопичуватися певна кількість «позагрупових»

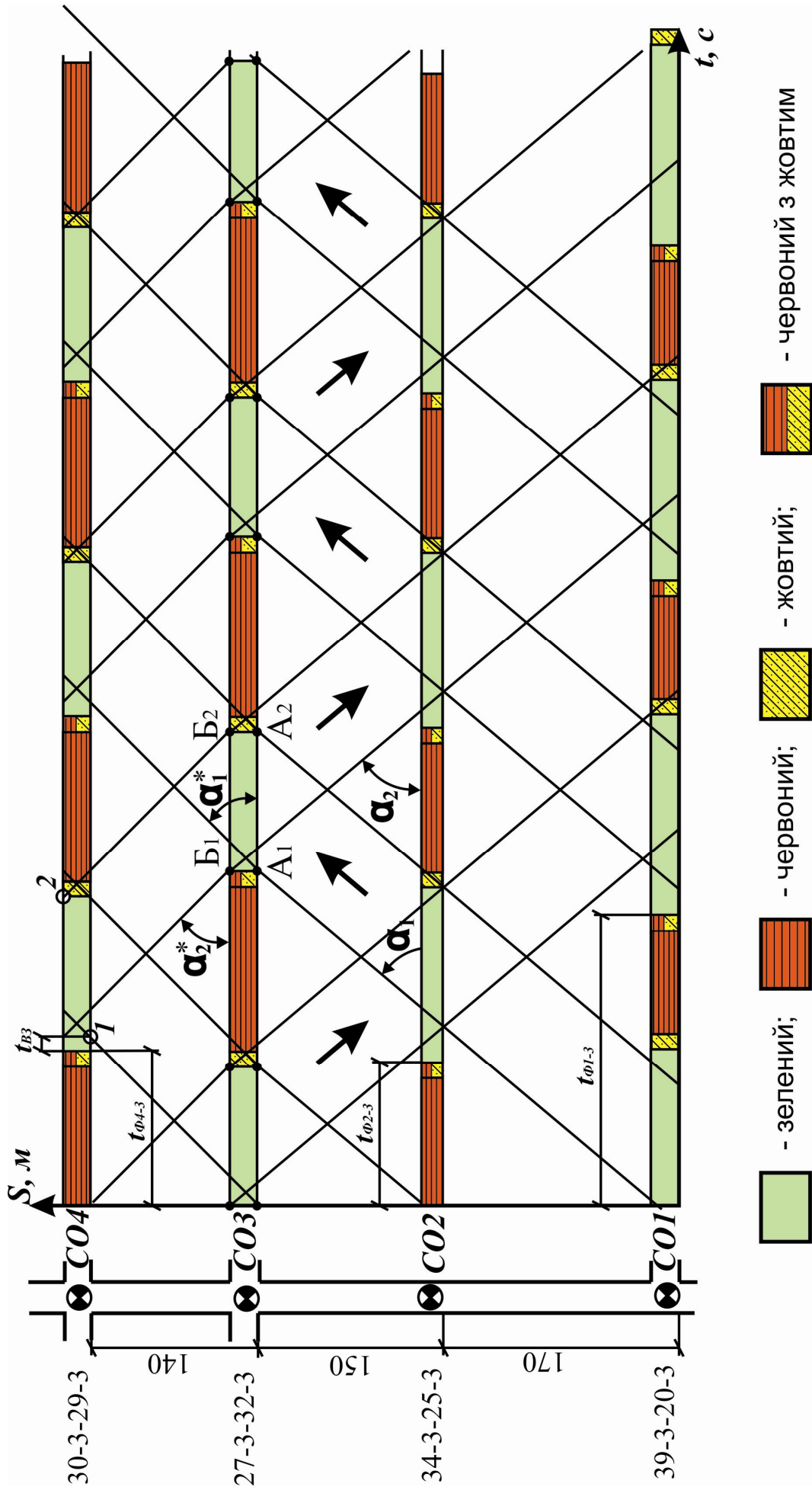


Рисунок 7.5 – Графік координованого регулювання на ділянці міської магістральної вулиці

транспортних засобів. До «позагрупових» транспортних засобів відносяться такі, які повертають на магістраль координації із другорядних вулиць. Ці транспортні засоби прибувають на наступний світлофорний об'єкт магістралі координації на червоний сигнал світлофора й тому зупиняються. Проблема полягає в тому, що ці «позагрупові» транспортні засоби можуть створити перешкоди для транспортних засобів, що рухаються в стрічці безупинного руху. Випередження включення зеленого сигналу дозволяє «позагруповим» транспортним засобам від'їхати від «стоп-лінії» до прибуття транспортних засобів, що рухаються в стрічці безупинного руху.

Випередження включення зеленого сигналу (t_{B3}) забезпечується за рахунок різниці між його тривалістю й тривалістю t_{KT} .

Після вводу в експлуатацію системи координованого регулювання для кожного із СО шляхом проведення натурних обстежень необхідно визначити величину фактичної черги «позагрупових» транспортних засобів. Тривалість випередження включення зеленого сигналу визначають за середньою кількістю «позагрупових» автомобілів, що стоять на одній смузі в очікуванні зеленого сигналу світлофора, з розрахунку 2 с на один «позагруповий» автомобіль. Якщо тривалість зеленого сигналу не дозволяє забезпечити таке випередження його включення, то випередження може бути отримано тільки за рахунок зменшення тривалості зеленого сигналу по другорядному напрямку руху на перехресті. З огляду на те, що величина інтенсивності руху транспорту в цьому напрямку, як правило, значно менша, ніж по магістралі координації, сумарна затримка в районі координації істотно не зростає.

На рис. 7.5 наведений остаточний вид графіка координованого регулювання на ділянці міської магістральної вулиці.

Програма координації світлофорних об'єктів являє собою набір таких керуючих параметрів: тривалість циклу світлофорного регулювання, фазові зсуви щодо ключового світлофорного об'єкту, величина швидкості координації світлофорних об'єктів на перегонах між світлофорними об'єктами в прямому й зворотному напрямках руху по магістралі. Ці керуючі параметри необхідно звести в таблицю, форма якої представлена на рис. 7.6.

№ світлофорного об'єкту	Тривалість циклу, с	Фазовий зсув відносно ключового перехрестя, с	Величина швидкості координації на перегонах між світлофорними об'єктами	
			↑	↓
1	2	3	4	5

Рисунок 7.6 – Форма таблиці керуючих параметрів програми координації світлофорних об'єктів

Запитання для самоконтролю

1. Поясніть суть координованого світлофорного регулювання. Які умови організації координованого світлофорного регулювання на міській магістралі?
2. Як визначити швидкість координації на перегоні магістральної вулиці? Наведіть відповідний приклад.
3. Наведіть етапи методики координації світлофорних об'єктів вздовж вулиці з використанням графоаналітичного методу. Дайте пояснення для кожного етапу цієї методики.
4. Як побудувати графік «час – шлях» для координації світлофорних об'єктів вздовж магістралі? Наведіть відповідний приклад.
5. Коли необхідне коректування графіку «час – шлях» і як це зробити при координації світлофорних об'єктів вздовж магістралі?