

УДК 656.05

Сенатосенко В.А.

ДВНЗ «Приазовський державний технічний університет»

Ступак В.В.

ДВНЗ «Приазовський державний технічний університет»

ДОСЛІДЖЕННЯ РЕЖИМІВ РУХУ СВІТЛОФОРНОГО РЕГУЛЮВАННЯ НА ПЕРЕХРЕСТЯХ

У статті розглянуто метод комплексної оцінки режимів світлофорного регулювання на перехрестях вулично-дорожньої мережі, що враховує схеми організації дорожнього руху, параметри дорожнього руху і умови розподілу транспортних потоків згідно з обраним критерієм, для удосконалення технології управління світлофорною сигналізацією.

Ключові слова: дорожні умови, транспортні потоки, організація дорожнього руху, світлофорне регулювання, критерій оптимізації, перехрестя, моделювання, смуга руху.

Постановка проблеми. На сьогодні у світі спостерігається тенденція переселення людей до міської зони, тобто кількість населення у містах на земній кулі невпинно зростає. Це призводить до більшого насичення міст учасниками руху – як пішоходами, так і транспортними засобами. У зв'язку з цим зростає актуальність проблеми ефективного управління транспортними засобами і пішоходами на вулично-дорожньої мережі (далі – ВДМ) міста. У кожній системі управління існує свій об'єкт управління. У даному разі цим об'єктом є транспортний потік, який має свої властивості: динамічний характер поведінки – характеристики транспортних потоків змінюються протягом доби через нерівномірність надходження автомобілів до транспортної мережі; ймовірнісний характер поведінки – періодична зміна одних і тих же параметрів потоку у фіксовані інтервали часу доби показує статистичний характер процесу руху транспортних засобів; статистичні закономірності руху носять стійкий характер – більшість поїздок здійснюється за постійними маршрутами; інерційність – властивість транспортного потоку переходити з одного стану в інший у просторі і часі; взаємозалежність руху транспортних потоків – найменші зміни умов руху призводять до різкої зміни характеру руху не лише на даній ділянці, але й на віддалених магістралях і перехрестях міста; існування тенденції до розвитку – кількісні зміни об'єкта управління, які пов'язані зі збільшенням кількості автомобілів, покращенням їх динамічних характеристик,

переглядом організації руху, спорудженням нових регульованих перехресть, призводить до потреби якісного перегляду алгоритмів управління [1].

Всі ці властивості ускладнюють шлях досягнення мети управління дорожнім рухом – забезпечення максимального рівня обслуговування, що передбачає високу ефективність транспортного процесу. На жаль, сьогодні визначення універсального критерію, який враховує всі фактори ефективності транспортного процесу (максимальне використання пропускної здатності ВДМ, мінімізація кількості дорожньо-транспортних пригод (далі – ДТП), забезпечення екологічних характеристик, зменшення часу поїздки та ії безпеки й інші) є дуже складним завданням через те, що всі фактори є взаємопов'язаними, але явний вид цих залежностей невідомий [1].

Постановка завдання. Особливий інтерес викликає проблема критеріальності управління на перехресті, оскільки існуючі критерії вимагають удосконалення [5–7]. Метою дослідження є розробка методик, які дозволяють, з одного боку, оцінити рівень організації дорожнього руху (далі – ОДР) на перехресті ВДМ при заданому режимі управління з погляду безпеки руху (БР), причому за будь-яким із напрямків; а з іншого – здійснити вибір принципу управління, оптимізацію режимів світлофорного регулювання (СФР). Це дозволить наблизитися до створення систем автоматизованого проєктування світлофорних об'єктів.

Виклад основного матеріалу дослідження. Оскільки всі методи і заходи ОДР спрямовані на

зниження рівня аварійності, то дослідження ДТП, які вже виникли, дає чимало підстав для впровадження керуючих впливів на транспортні і пішохідні потоки. Існує чимало методик вибору заходів із підвищенням БР, які ґрунтуються на проведенні статистичних досліджень і обробці даних про ДТП.

Технологія управління СФР на перехресті може здійснюватися за фазами і сигнальними групами (окремими напрямками руху). Управління за фазами є відносно простим методом ОДР на перехресті.

Пофазне регулювання передбачає роз'їзд транспортних засобів, який забезпечує розподіл конфліктуючих потоків [1; 5; 7]. Вибір між регулюванням за фазами або за сигнальними групами на даний час здійснюється інтуїтивно, і може бути перевірений лише шляхом проведення експериментів, тому що чітких критеріїв вибору не існує.

У практиці регулювання дорожнім рухом найбільшого розповсюдження набула модель, розроблена англійським дослідником Вебстером [3].

Завдання розрахунку керуючих впливів на локальному перехресті є багатоетапним і включає в себе: розрахунок перехідних інтервалів, об'єднання напрямків у фази, розрахунок основних тактів, формування циклу регулювання (стикування дозволяючих і забороняючих сигналів, перехідних інтервалів). Тобто поставлена задача може бути розділена на декілька задач, які вирішуються у такій послідовності (рис. 1): фазоутворення – формування фаз управління, компонування фаз – формування послідовності включення фаз керування, корекція тривалостей – формування тривалостей фаз керування, формування перехідних інтервалів, протягом дії яких проходить зміна фаз керування.

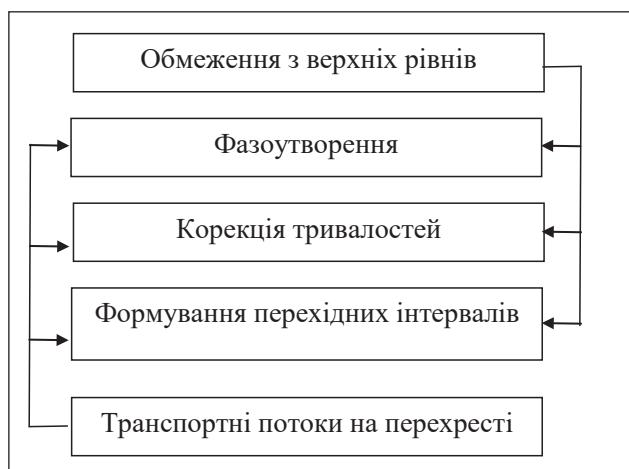


Рис. 1. Розрахунок керуючих впливів на перехресті

Обмеження з верхніх рівнів запропоновані такі: для фазоутворення – обов'язкове суміщення деяких напрямків в одній фазі, для компонування фаз – фіксована послідовність деяких фаз керування, для корекції тривалостей – інтервали мінімальної і максимальної дії зеленого сигналу, для формування перехідних інтервалів – максимальні тривалості зміни фаз.

Вихідними даними для розрахунку СФР є: кількість фаз регулювання, схеми пофазного роз'їзду, геометричні параметри перехрестя, характеристики транспортних і пішохідних потоків. З перерахованих величин дві – кількість фаз і схеми пофазного роз'їзду – визначаються інженерно-інтуїтивними методами. Таким чином, можна зробити висновок, що вибір числа фаз за такого підходу повинен бути обґрутований.

У найпростішому випадку обирають двофазне регулювання. У першій фазі реалізують пропуск транспортних засобів по головній дорозі, а в другій – по другорядній. Три і більше фаз використовуються, якщо виникають труднощі з перепуском поворотних потоків або перепуском пішоходів. Щоб уникнути введення третьої фази, Ю.А. Кременець і М.П. Печерський [5] рекомендують використовувати спосіб розщепленої фази, тобто перепуск поворотних потоків організовувати при затримці включення зеленого сигналу на конфліктуючому напрямі (затримка старту) або виключення зеленого сигналу на цьому напрямі трохи раніше (рання відсічка). Але застосування цього методу можливе лише у разі суттєвої різниці в інтенсивностях зустрічного і попутного напрямків [2]. Є ще один аспект застосування цього методу: не визначена різниця між інтенсивностями руху, за якої доцільно застосовувати цей спосіб. Тобто відсутній кількісний підхід, який дозволяє безпомилково визначити доцільність впровадження. Цей метод є спробою реалізувати регулювання за сигнальними групами.

Для забезпечення безпеки в управлінні рухом запропоновані обмеження на управління, а саме: тривалість зеленого сигналу не може бути нижчою за певний рівень безпеки, який для кожного перехрестя повинен вибиратися з урахуванням інтенсивності пішохідного руху, ширини вулиць, складу транспортного потоку, ступеня видимості світлофорів і т. д.; тривалість жовтого сигналу повинна бути жорстко обмежена залежно від конкретних особливостей руху – ширини проїзної частини дороги, габаритів і динамічних властивостей транспортних засобів, психофізіологічних якостей водіїв; тривалість сигналу не може бути

вищою за певний рівень безпеки, який повинен вибиратися з урахуванням інтенсивності руху на перехресті.

Для вирішення цієї проблеми пропонується модернізувати нормативну методику розрахунку режимів СФР шляхом оптимізації керуючих впливів із урахуванням додаткових кількісних і якісних показників.

У зв'язку з цим, доцільно спробувати формалізувати всю процедуру оптимізації керуючих впливів у вигляді єдиної задачі: оцінка принципової конфліктності регульованих напрямків (визначення можливості конфлікту), визначення кількісної оцінки ступеня конфліктності (формулювання критерію безпеки), оптимізація чергування сигналів світлофорів за кількістю фаз (сигнальних груп); ступенем конфліктності; черговістю фаз (сигнальних груп).

У разі успішного вирішення цього кола задач виникає можливість розробки кількісної оцінки рівня ОДР на регульованих перехрестях і конкретизованих маршрутах ВДМ; оптимізація керуючих впливів на регульованих перехрестях дозволить істотно підвищити безпеку і ефективність процесу управління дорожнім рухом у цілому.

Постановка завдання. Першим кроком на шляху до мети оптимізації режимів СФР повинна

бути оцінка ступеня принципової конфліктності кожного перехрестя. Визначення «ваги» конфліктних ситуацій на перехресті (ступеня конфліктності) дозволить підвести аналітичну базу під вибір числа фаз, схем пофазного роз'їзду, порядку чергування фаз.

Для вирішення даної задачі пропонується формалізувати і систематизувати масив даних, який характеризує схему ОДР на перехресті, у вигляді матриці напрямків, яка б відбивала можливості виконання окремих маневрів і ступінь конфліктності одночасного виконання декількох маневрів (у фазі). Зупинимося на прикладі простого чотиристороннього перехрестя (рис. 2).

Позначимо вхідні напрямки непарними цифрами, а вихідні парними за годинниковою стрілкою. Тепер побудуємо матрицю 4x4, колонки якої позначаються номерами вхідних напрямків, а рядки – номерами вихідних напрямків. Таким чином, кожна комірка відповідатиме одному з маневрів на перехресті. Надалі для зручності роботи введемо позначення маневрів, які виконують транспортні засоби на перехресті: Р – розворот, П – пряма, Л – ліворуч, Р – праворуч.

Наприклад, комірка 1–2 позначає маневр транспортного засобу з напряму 1 у напрям 2, що, виходячи з рис. 2, є розворотом. За такого

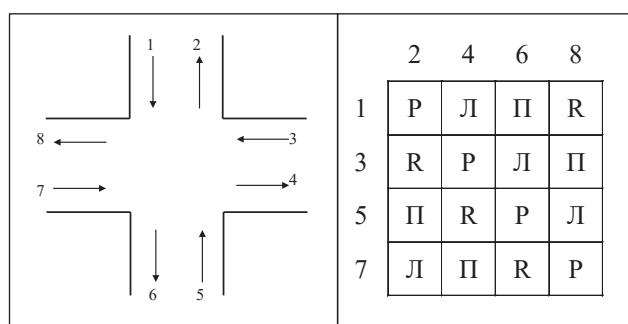


Рис. 2. Схема ОДР перехрестя та матриця напрямків перехрестя

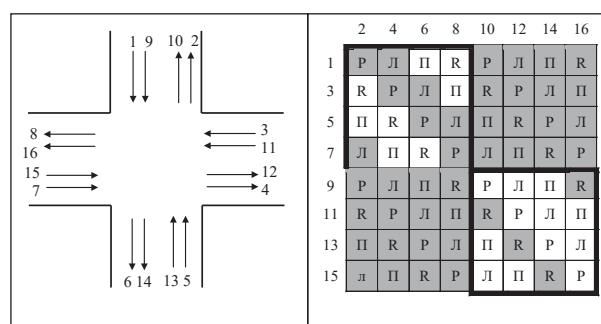


Рис. 3. Схема та матриця перехрестя з 4 смугами

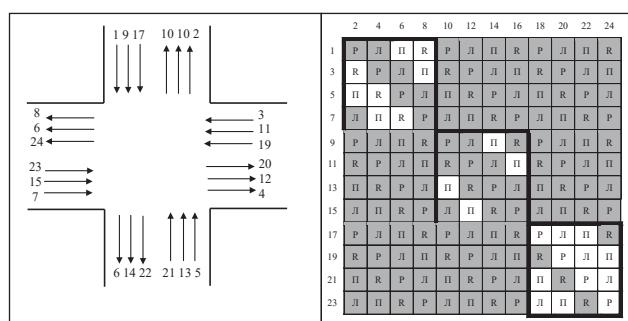


Рис. 4. Схема та матриця перехрестя з 6 смугами руху

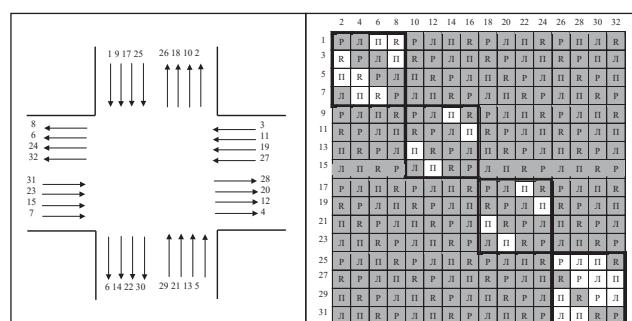


Рис. 5. Схема та матриця перехрестя з 8 смугами руху

відображення кожний маневр займе свою діагональ, тобто матриця має симетричний вигляд, зручний для математичного опису. Крім того, кожна комірка матриці є своєрідною «візитною карткою» відповідного маневру.

Розглянутий приклад простого перетинання необхідний для виявлення суті методу, оскільки на практиці складнощі в ОДР виникають під час перетинання доріг із двома і більше смугами руху (в одному напрямі). Тому розглянемо матриці для більш складних перехресть. Для доріг із двома смугами руху (рис. 3).

Нумеруємо напрямки по колу за годинниковою стрілкою. Analogічно вищевикладеним методом побудуємо матрицю маневрів.

Необхідно зазначити, що матриця складається з 4 симетричних часток, назовемо їх квадрантами. Кожен із них точно повторює матрицю простого перетинання. Крім того, є комірки, які відповідають ускладненим маневрам. Ускладненням маневру є, наприклад, здійснення повороту ліворуч із крайньої правої смуги. Тому буде доцільним виділити реально можливі маневри на перехресті (комірки з білим фоном). Тепер неважко помітити, що визначними для даного перехрестя будуть квадранти, які розміщені в правому верхньому і лівому нижньому кутах матриці.

Для перехрестя із трьома смугами руху в одному напрямку схема і матриця показані на рис. 4.

Неважко встановити, що визначними для цього перехрестя будуть ті ж квадранти, що і для перехрестя із двома смугами руху в одному напрямку.

Схема і матриця для перехрестя із чотирма смугами руху в одному напрямку показані на рис. 5.

У даному разі ситуація подібна до розглянутих прикладів.

Підсумовуючи вищевикладене, можна стверджувати, що вся необхідна інформація про будь-яке чотиристороннє перехрестя міститься у цих двох квадрантах, незалежно від кількості смуг руху в одному напрямку на перехресті.

Таким чином, якщо побудувати запропонованім методом матрицю конкретного перехрестя, з'являється можливість за її допомогою працювати з кожним видом керуючих впливів на транспортний потік будь-якого напрямку цього перехрестя. Але постає питання: яким чином надалі обґрунтовувати кожен крок у цьому напрямку в подальших дослідженнях?

Запропонована матриця перехрестя легко підлягає математичній обробці і дозволяє систематизувати масив даних, що є вагомим для викорис-

тання у розрахунках сучасної обчислювальної техніки.

Вхідними даними є тип перехрестя та інтенсивності руху транспортних засобів за напрямками.

Проведемо дослідження гіпотетичного перехрестя, утвореного перетином двох доріг на ВДМ міста. Інтенсивності руху визначені експериментально і представлени на рис. 6.

Критерій безпеки руху задається довільно. У ролі критерію – кількість ДТП на рік. Після

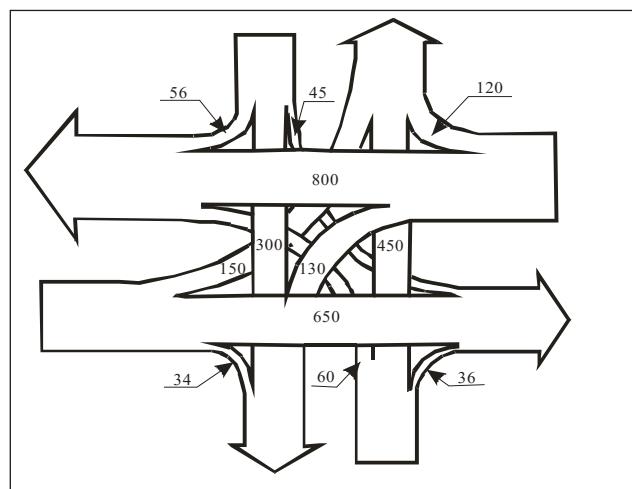


Рис. 6. Інтенсивності руху транспортних засобів на перехресті

Формування двох сигнальних груп									
1 група				2 група					
1	2	4	6	8	1	2	4	6	8
2	45	300	56		1	2	4	6	8
3	0	0	0		3	120	130	800	
5	450	34		60	5	0	0		0
7	0	0	0		7	150	650	34	
1	2,809	1,286	1,495		1	0	0	0	
3	0	0	0		3	2,995		6,408	3,737
5	1,842	1,101		2,330	5	0	0		0
7	0	0	0		7	4,486	3,123	1,302	
Потенційно-можлива кількість ДТП за годину на перехресті $n_{\text{Cум}}=8,528$									
Потенційно-можлива кількість ДТП за годину на перехресті $n_{\text{Cум}}=1,418$									
Показник небезпечної перехрестя 9,93 ДТП/рік									

Рис. 7. Формування двох сигнальних груп

Формування трьох сигнальних груп											
1 група		2 група		3 група							
	2 4 6 8		2 4 6 8		2 4 6 8						
1	45	300	56	1	0	0	0				
3	0	0	0	3	120	0	800				
5	450	34	60	5	450	36	60				
7	0	0	0	7	650	34					
1	2,809	1,286	1,495	1	0	0	0				
3	0	0	0	3	3,040	0	2,411				
5	1,842	1,101	2,330	5	0	0	0				
7	0	0	0	7	2,133	9,671					
Потенційно можлива кількість ДТП на годину на перехресті				Потенційно можлива кількість ДТП на годину на перехресті							
$n_{\text{sym}}=8,528$				$n_{\text{sym}}=4,945$							
Потенційно можлива кількість ДТП на годину на перехресті											
$n_{\text{sym}}=5,101$											
Показник небезпечності перехрестя											
6,13 ДТП/год											

Рис. 8. Формування трьох сигнальних груп

Формування чотирьох сигнальних груп											
1 група		2 група		3 група							
	2 4 6 8		2 4 6 8		2 4 6 8						
1	45	300	56	1	0	0	0				
3	0	0	0	3	120	0	800				
5	450	34	60	5	450	36	60				
7	0	0	0	7	650	34					
1	2,809	1,286	1,495	1	0	0	0				
3	0	0	0	3	3,040	0	2,411				
5	1,842	1,101	2,330	5	0	0	0				
7	0	0	0	7	2,133	9,671					
Потенційно можлива кількість ДТП на годину на перехресті				Потенційно можлива кількість ДТП на годину на перехресті							
$n_{\text{sym}}=8,528$				$n_{\text{sym}}=4,945$							
Потенційно можлива кількість ДТП на годину на перехресті											
$n_{\text{sym}}=5,101$											
Показник небезпечності перехрестя											
6,13 ДТП/год											

Рис. 9. Формування чотирьох сигнальних груп

вводу вихідних даних про інтенсивність руху за напрямками формуємо:

- матрицю напрямків;
- матрицю інтенсивностей;
- матрицю вагових показників кожного маневру.

Обчислюємо показник потенційно можливої кількості ДТП на перехресті за годину. Далі виконуємо «Формування сигнальних груп». Процес формування сигнальних груп починається з «формування двох сигнальних груп» (рис. 7), у складі якого сформовані схеми роз'їзду транспортних засобів у кожній сигнальній групі та відповідні кожній сигнальній групі матриці напрямків, інтенсивностей та вагових показників маневру.

У матрицях напрямків позначені ті маневри, виконання яких дозволено у відповідній сигнальній групі.

Також подаються значення показника потенційно можливої кількості ДТП на перехресті для кожної сформованої сигнальної групи.

Якщо визначена потенційна конфліктність перехрестя при двох сигнальних групах перевищує критерій, то необхідно виконати «формування сигнальних груп», виконання якого починається з розрахунків для формування третьої сигнальної групи.

Формування трьох сигнальних груп виконано на рис. 8, також міститься інформація (матриці, схеми маневрів) про показники потенційно можливої кількості ДТП на рік при сформованих трьох сигнальних групах.

Аналогічно виконується формування для чотирьох сигнальних груп (рис. 9).

Внаслідок виконання всіх процедур було сформовано сигнальні групи, їх кількість, схеми роз'їзду транспортних засобів на перехресті з урахуванням показників БР. Наголосимо на зниженні ступеня конфліктності на даному перехресті (рис. 10).

Результати наукових досліджень повинні застосовуватися під час проектування схем ОДР на перехрестях ВДМ, причому не тільки для роботи з окремими перехрестями, а й у проведенні досліджень на мережі перехресть. Отримані результати дозволяють обґрунтувати вирішення ті проблеми, які на сьогодні виконуються інженерно-інтуїтивними методами з урахуванням існуючих рекомендацій, а саме формування сигнальних груп, обґрунтування їх кількості.

Отримані результати є вихідними даними для розрахунку тривалостей основних та додаткових тактів СФР та формування оптимального циклу регулювання.

Дані розробки дозволяють оцінити запропоновані до реалізації схеми ОДР з погляду забезпечення необхідного рівня безпеки ще на стадії проектування й обрати більш придатний варіант.

Також запропонований підхід дозволяє обґрунтовано вирішити питання заборони або дозволу того чи іншого маневру на конкретному перехресті з погляду БР, що є підставою для використання відповідних дорожніх знаків.

Провівши дослідження перехрестя на ВДМ за допомогою запропонованого підходу, можна спрогнозувати місця концентрації ДТП у масштабі міста, що є необхідним для проведення досліджень із ОДР у цілому, та розробити цілу систему автоматизованого проектування «Перехрестя» для створення автоматизованого робочого місця технолога з організацією руху і проведення необхідних досліджень у галузі ОДР.

Висновки. Отримано математичний опис перехрестя, на основі якого розроблена методика удосконалення технології управління транспортними потоками на регульованих перехрестях ВДМ з урахуванням показників БР. Удосконалення технології управління транспортними потоками є важливою і актуальнюю задачею, пов'язаною з підвищенням ефективності міських транспортних систем. Формалізовано оцінку можливості принципової сумісності регульованих напрямків у сигнальних групах, що дозволяє обґрунтувати кількість фаз (сигнальних груп) в режимі регулювання. Запропоновано кількісний показник рівня безпеки руху на перехресті – ступінь конфліктності перехрестя, що враховує схему ОДР на перехресті, пофазовий роз'їзд та інтенсивності транспортних потоків, тип і небезпечність конфліктних точок, а також кількість фаз або сигнальних груп у режимі

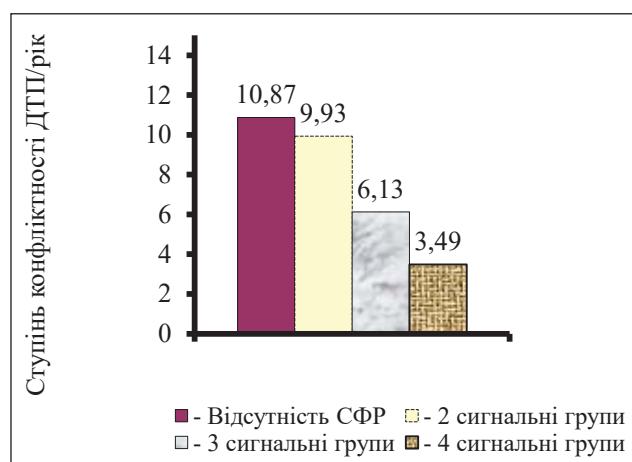


Рис. 10. Ступінь конфліктності на перехресті

регулювання. Розроблені підходи до комплексної оцінки технології управління світлофорною сигналізацією на перехрестях ВДМ, що є основою (базою) для математичного забезпечення систем автоматизованого проектування світлофорних об'єктів.

Список літератури:

1. Дрю Д. Теория транспортных потоков и управление ими. Москва, 1972. 423 с.
2. Клинковштейн Г.И. Организация дорожного движения. Москва, 1981. 240 с.
3. Коноплянко В.И. Организация и безопасность дорожного движения. Москва, 1991. 183 с.
4. Кременец Ю.А., Печерский М.П. Технические средства регулирования дорожного движения. Москва, 1981. 252 с.
5. Лобанов Е.М. Транспортная планировка городов. Москва, 1990. 240 с.
6. Хейт Ф. Математическая теория транспортных потоков. Москва, 1966. 286 с.
7. Хомяк Я.В. Организация дорожного движения. Киев, 1986. 270 с.

ИССЛЕДОВАНИЕ РЕЖИМОВ ДВИЖЕНИЯ СВЕТОФОРНОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ НА ПЕРЕКРЁСТКАХ

В статье рассмотрен метод комплексной оценки режимов светофорного регулирования на перекрестках улично-дорожной сети, учитывающий схемы организации дорожного движения, параметры дорожного движения и условия распределения транспортных потоков согласно выбранным критериям, для усовершенствования технологии управления светофорной сигнализацией.

Ключевые слова: дорожные условия, транспортные потоки, организации дорожного движения, светофорного регулирования, критерий оптимизации, перекресток, моделирование, полоса движения.

RESEARCHING OF ESTIMATION OF TRAFFIC-LIGHT CONTROL MODES AT CROSSROADS

The researching of the method of complex estimation of traffic-light control modes at the intersections of the street-road network is highlighted in the article. This method takes into account the schemes of traffic organization, traffic parameters and conditions of traffic flows distribution according to selected criteria, that allows to improve the technology of control of traffic-light signaling.

Key words: road conditions, traffic flows, traffic management, traffic control, optimization criteria, intersection, modeling, lane movement.