

Refinement Calculation of Road Carrying Capacity

Bublyk Roman

Department of Transport Technologies, M. Ostrogradskyi Kremenchuk National University, 21 Pershotravneva Str., Kremenchuk, UKRAINE, E-mail: rublik1987@bk.ru

Traffic light control causes stop waves in the traffic flow and changed speeds. Selection of the right mode of movement promotes reduced traffic compression-dissolution ratio and increased road carrying capacity.

Ideal conditions of traffic flow functioning in the network are considered. This implies no intersections, obstacles and conflict flows; the distance between vehicles and speed are constant. For these conditions, a speed ensuring maximum carrying capacity was found. The calculations show that for the speed 22-25 km/hr carrying capacity per lane is 743 repr. veh./hr.

In order to calculate maximum carrying capacity of a real road stretch, the fact should be taken on board that the speed of vehicles is not constant – they accelerate and slow down depending on traffic lights operation.

These variations in speed should be considered. Such refined calculation will allow more realistic estimation of the effectiveness of traffic flow control. Application of this particular value of carrying capacity for computing traffic light operation modes will give more accurate and effective results for the cycle duration and control phases.

For efficient work of traffic lights in a real transport flow, maximum approaching to the ideal conditions of its functioning should be achieved. To this end, cruising speed of vehicles between crossroads should be calculated. This value can be derived from expression (11), which should be transformed in such a way as to give $V_{рек}$ in the left part as a recommended cruising speed at which the ideal conditions will be maximally approached. Value V in this case is the optimal operating speed of traffic flow which ensured maximum carrying capacity at the ideal conditions.

*Translated by Polyglot Translation Bureau
<http://www.polyglot-lviv.com>*

Уточнення розрахунку пропускної здатності перегону

Роман Бублик

Кафедра транспортних технологій, Кременчуцький національний університет ім.М. Остроградського, УКРАЇНА, м. Кременчук, вул.Першотравнева, 21, E-mail: rublik1987@bk.ru

Обрахунок пропускної здатності дороги стоїть на першому місці при знаходженні режимів роботи світлофорної сигналізації. Якомога точніше визначення пропускної здатності, наближення теоретичного (розрахункового) значення до реального є першочисловою до створення ефективного світлофорного керування транспортними потоками. В даній статті розглядається метод уточнення розрахунку пропускної здатності перегону, шляхом більш точного визначення швидкості руху транспортних засобів між перехрестями.

Ключові слова – перехрестя, швидкість руху, пропускна здатність, транспортний потік, модель аналог, світлофор, фаза.

I. Вступ

Зі зростанням кількості транспортних засобів на вулично-дорожній мережі сучасних міст та тісною забудовою цих міст, все більш доцільним є використання організаційних методів керування транспортними потоками. Архітектурні методи можуть бути застосовані лише при будівництві нових мікрорайонів, житлових масивів тощо.

Важливу роль в ефективному управлінні транспортними потоками грає знаходження та вибір раціональних режимів роботи світлофорної сигналізації на перехрестях. Ефективність роботи світлофорів залежить від найточнішого врахування всіх факторів, що мають вплив на транспортний потік.

II. Постановка задачі

Існує кілька методик розрахунку пропускної здатності автомобільної дороги. Вони розрізняються за ступенем врахування людського чиннику на транспортний потік, проте всі спираються на поняття швидкості руху потоку чи одиночного автомобіля. Деякі джерела визначають дану швидкість рівною середній технічній швидкості руху транспортних засобів, деякі – максимальній розрахунковій.

Проте, в усіх випадках знаходження пропускної здатності відбувається абстраговано від реального потоку – ділянка транспортної мережі розглядається такою, що не містить перетинань та конфліктуючих потоків.

Таке спрощення несприятливо впливає на загальний розрахунок пропускної здатності та як результат – на знайдені режими роботи світлофорів.

Тому слід більш точно обрахувати швидкість руху транспортних засобів на ділянках між перехрестями.

В даній статті розглядається метод, за допомогою якого при розрахунку швидкості руху транспортних засобів враховується відстань між перехрестями.

III. Виклад основного матеріалу

При розрахунку режимів роботи світлофорів, спеціалісти спираються на розраховане значення пропускної здатності перегонів перед світлофорами. Вона залежить насамперед від геометричних параметрів дороги та від складу потоку:

$$P_c = K_{\text{бп}} \cdot \frac{1000 \cdot V_0}{L_0^1} \quad (1)$$

де $K_{\text{бп}}$ – коефіцієнт багатополосності ($K_{\text{бп}}=1,9$ – для двох смуг, $2,7$ – для трьох, $3,5$ – для чотирьох); V_0 – швидкість руху одиночного автомобіля, км/год; L_0 – динамічний габарит автомобіля.

Максимально можлива пропускна здатність на ділянці дороги матиме місце лише в тому випадку, якщо дана ділянка не має пересічень на одному рівні, на дорозі відсутні перешкоди, рух транспортних засобів рівномірний.

При введенні світлофорної сигналізації на реальних перехрестях спеціалісти з транспортної галузі намагаються наблизити стан транспортного потоку до ідеальних умов (може бути досягнута максимально можлива пропускна здатність).

Задамося питанням – яка пропускна здатність на одну смугу руху може бути максимально досягнута за даних ідеальних умов?

Розглянемо транспортний потік подібним потоку рідини (дане порівняння відповідає концепції моделей аналогів транспортних потоків). В гідродинамічному потоці відстань між окремими частками (в нашому випадку – між транспортними засобами) рівна на всьому протязі ділянки, що розглядається. Потік рухається з усталеною швидкістю. В ньому відсутні будь-які турбулентні збурення (даний потік називають ламінарним), таким чином в потоці не виникають ударні хвилі та розриви.

Єдина величина яка може бути змінена за даних умов – це швидкість руху потоку.

Виразимо графічно залежність величини транспортного потоку від швидкості руху транспортного потоку – рис. 1. Розрахунок ведеться за залежністю (1).

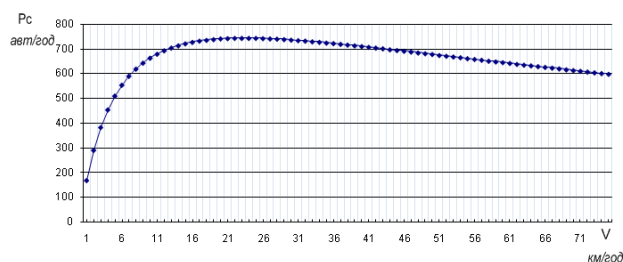


Рис. 1 Функціональна залежність пропускної здатності від швидкості руху

Як бачимо, на певному діапазоні швидкості руху пропускна здатність є найбільшою. Межі діапазону становлять 22 і 25 км/год, пропускна здатність в цьому випадку складає 743 ум.ТЗ/год (розглядаються умовні одиниці транспортних засобів, так як потік не розділяється за типами рухомих одиниць, а прирівнюється до потоку умовних легкових автомобілів).

Дана швидкість може бути прийнята як оптимальна експлуатаційна швидкість транспортного потоку за якої пропускна здатність буде максимальною.

Наступним кроком розглянемо експлуатаційну швидкість руху транспортних засобів, яка зумовлена відстанню між перетинаннями.

При розрахунку режимів роботи світлофорів та пропускної здатності дороги спеціалісти приймають швидкість відповідно прийнятій нормі (обмеження максимальної швидкості руху транспортних засобів на даній ділянці, середня прийнята швидкість руху). Проте, в реальних умовах руху ця швидкість дуже різниться від стандартної. Її величина залежить від психологічних факторів (температури водія, його стану здоров'я тощо), відстані між світлофорами, складу та щільності транспортного потоку.

Подана вище форма розрахунку пропускної здатності розраховується для ділянки дороги, яка не має перехресних напрямів, вільна від світлофорів та інших перешкод. Таким чином це максимально можлива пропускна здатність. Проте вона є лише теоретичною і при її використанні знайдені режими роботи світлофора не відповідатимуть реальній ситуації на ділянці дороги. Дана пропускна здатність не враховує такі важливі фактори функціонування транспортного потоку на вулицях міста як зупинки перед світлофорами, прискорення та гальмування.

А тому необхідно уточнити вказану вище формулу.

Необхідно врахувати прискорення та гальмування автомобілів, так як в цей час швидкість менша за вказану, а отже розрахована вище пропускна здатність завищена і не відповідає реальній.

Розглянемо формулу швидкості. В самому елементарному подані вона виглядає як відношення пройденої відстані до часу:

$$V = \frac{S}{t} \quad (2)$$

де S – відстань руху (довжина перегону), м; t – час руху на перегоні, с.

Час руху автомобіля на перегоні складається з двох компонент – безпосередньо руху та часу очікування дозвільного сигналу.

Час руху на перегоні складається з часу затраченого на розгін автомобіля, часу на сталий рух, часу на гальмування:

$$t_p = t_{\text{прис}} + t_{\text{гальм}} + t_{\text{стал}} \quad (3)$$

де $t_{\text{прис}}$ – час за який автомобіль прискорюється і набуває встановленої швидкості, с; $t_{\text{стал}}$ – час руху зі сталою швидкістю, с; $t_{\text{гальм}}$ – час зупинки автомобіля, с.

Перетворимо формулу (2) з урахуванням (3):

$$V = \frac{S}{t_{\text{прис}} + t_{\text{гальм}} + t_{\text{стал}} + t_{\text{оч}}} \quad (4)$$

Час за який автомобіль набуває усталену швидкість становить

$$t_{\text{прис}} = \frac{V_{\text{рек}}}{a} \quad (5)$$

де $V_{\text{рек}}$ – рекомендована швидкість руху, км/год; a – середнє прискорення автомобіля, $2,6 \text{ м/с}^2$.

Прискорення розглядається рівномірним.

Час за який автомобіль зупиниться:

$$t_{\text{гальм}} = \frac{V_{\text{рек}}}{a_{\text{гальм}}} \quad (6)$$

де $a_{\text{гальм}}$ – максимально комфортне сповільнення автомобіля, 3 м/с^2 .

Автомобіль рухається зі сталою швидкістю не на всьому протязі ділянки, що розглядається.

$$S_{\text{стал}} = S - S_{\text{приск}} - S_{\text{гальм}} \quad (7)$$

Відстань яку пройде автомобіль за час прискорення становить:

$$S_{\text{приск}} = \int_0^{V_{\text{рек}}} f(a) dt \quad (8)$$

Аналогічно розраховується відстань, яку пройде автомобіль з часу початку гальмування.

$$S_{\text{гальм}} = \int_{V_{\text{рек}}}^0 f(a_{\text{гальм}}) dt \quad (9)$$

Час, протягом якого автомобіль рухається з усталеною швидкістю:

$$t_{\text{стал}} = \frac{S_{\text{стал}}}{V_{\text{рек}}} \quad (10)$$

Використавши формули (8,9,10) зробимо відповідні перетворення і отримаємо залежність, яка визначає середню швидкість руху автомобілів:

$$V = \frac{S}{\frac{V_{\text{рек}}}{S} - \int_0^{V_{\text{рек}}} f(a) dt - \int_{V_{\text{рек}}}^0 f(a_{\text{гальм}}) dt + \frac{V_{\text{рек}}}{a} + \frac{V_{\text{рек}}}{a_{\text{гальм}}} + t_{\text{оч}}} \quad (11)$$

В лівій частині виразу ми маємо величину швидкості руху транспортних засобів на обраному перегоні. Вона враховує усі технологічні стани руху автомобіля: очікування дозволу на рух, початок руху, пересування зі сталою швидкістю, гальмування.



Рис. 2 Схематичне зображення ділянки вулично-дорожньої мережі, що розглядається

В правій – її математичне вираження. Величини прискорення та гальмування автомобілів взято як серед-

не стандартне значення [3]. Відстань між перехрестями обирається залежно від їх фізичного розташування, час очікування дозвільного сигналу залежить від існуючого режиму роботи світлофорів перехресть, що розглядаються. Величину рекомендованої швидкості руху обираємо в залежності від існуючих обмежень швидкості на ділянці дороги, що розглядається.

Розглянемо три реально існуючих перехрестя міста Кременчук.

Уточнимо, що під фазою 1 слід розуміти дозвільну фазу по вулиці Першотравневої, під фазою 2 – заборонну фазу по цій вулиці.

Виходячи з реального стану транспортного потоку в транспортній мережі, середня затримка транспортних засобів в очікуванні дозвільної фази подана в таблиці.

Середня затримка одного транспортного засобу

Перехрестя 1	Перехрестя 2	Перехрестя 3
15,71 с	17,02 с	17,65 с

Відстань від попереднього перехрестя до перехрестя Першотравнева – Пролетарська складає 720 м, відстань між перехрестям Першотравнева – Пролетарська і Першотравнева – Шевченка складає 130 м., між перехрестями Першотравнева – Шевченка і Першотравнева – Гагаріна – 140 м.

Максимальна пропускна здатність кожної смуги руху становить 743 авт./год.

Розрахуємо дійсну швидкість руху транспортного потоку на кожному перегоні, для вулиці Першотравневої.

Для перегону 1 (ділянки дороги перед перехрестям вулиці Першотравневої та Пролетарської) реальна швидкість руху транспортного потоку складатиме 40 км/год, для перегону 2 (ділянка дороги перед перехрестям Першотравнева – Шевченка) – 15 км/год, для перегону 3 (ділянка дороги перед перехрестям Першотравнева – Гагаріна) – 16 км/год.

Ми розглядали рух транспортного потоку таким, що має зупинитися на кожному перехресті (це імітує ситуацію неузгоджених режимів роботи світлофорів). Як бачимо швидкість на другому і третьому перегонах менша ніж знайдена оптимальна для досягнення максимально можливої пропускної здатності.

Таким чином необхідно узгодити режими роботи світлофорів – автомобілі що рушили з місця на першому перехресті мають подолати наступне перехрестя без зупинок і зупинитися на заборонній фазі лише на третьому перехресті.

Тоді середня швидкість на такому «об'єднаному» перегоні становитиме 24 км/год.

Це задовольняє умову оптимальної швидкості руху в потоці.

Подальший розгляд відбувається вже по 2 перегонам.

Пропускна здатність на першому перегоні (із врахуванням отриманого швидкісного режиму) складатиме 642 авт./год. на одну смугу руху, пропускна

здатність на другому «об'єднаному» перегоні становитиме 667 авт./год.

ВИСНОВОК

Метою даного дослідження було знаходження оптимального швидкісного режиму транспортних засобів в потоці, за якого умови руху будуть наближені до ідеальних. В такому випадку буде досягнуто більшої пропускної здатності, а отже покращено ефективність управління дорожнім рухом.

Також на меті було уточнити розрахунок пропускної здатності на ділянках дороги між перехресттями, довжина яких не дозволяє транспортним засобам рухатися зі сталою швидкістю протягом тривалого часу.

Отриманий результат пропускної здатності не означає, що ми її просто зменшили чи врахували не всі чинник, через що її величина менша ніж в попередніх методах розрахунку. Пропускна здатність яка була знайдена із врахуванням зміни швидкостей руху транспортних засобів більш точно відображає реальну можливу пропускну здатність на чітко визначеній ділянці дороги і не являється універсальною величиною для усіх автодоріг.

Застосування в розрахунку режимів роботи світлофорів саме цього значення пропускної здатності дасть більш точний та ефективний результат тривалості циклу та фаз регулювання.

Слід зазначити, що з виразу (11) можна знайти не лише дійсну експлуатаційну швидкість потоку, за певних умов, а й необхідну технічну швидкість руху

транспортних засобів, за якої ефективність руху буде максимальною. Для цього необхідно зробити перетворення таким чином, щоб в лівій частині виразу лишилося значення $V_{рек}$ (як рекомендованої технічної швидкості руху, за якої буде досягнуто наближення до ідеальних умов функціонування транспортного потоку). Величина V в цьому випадку – це оптимальна експлуатаційна швидкість руху транспортного потоку, за якої в ідеальних умовах було досягнуто максимальної пропускної здатності.

Література

- [1] Бублик Р.П. Обґрунтування вибору швидкостей руху транспортних засобів, зумовленого відстанню між перетинаннями // Вісник Східноукраїнського національного університету ім.В.Даля. – Луганськ, Видавництво Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля, 2011. – № 5 (159). – С. 169-173.
- [2] Смирнов Н.Н., Киселев А.Б., Никитин В.Ф., Юмашев М.В. Математическое моделирование автотранспортных потоков. – Москва, МГУ, 1999. – С. 200-213.
- [3] Кликовштейн Г. И., Афанасьев М. Б. Организация дорожного движения // Учеб. для вузов.– 5-е изд., перераб. и доп. – Москва, Транспорт, 2001. – С. 247-280.
- [4] Лобанов Е.М., Сильянов В.В., Ситников Ю.М. Пропускная способность автомобильных дорог. – Москва, Транспорт, 1970. – С. 146-152.