

УДК 656.13.08

Трубицын Владимир Алексеевич, Голуб Денис Иванович

УПРАВЛЕНИЕ ТРАНСПОРТНЫМИ ПОТОКАМИ НА ОСНОВЕ СООТНОШЕНИЙ МОЩНОСТЕЙ ТРАНСПОРТНОГО ПОТОКА И ДОРОГИ

В статье представлены новые показатели эффективности дорожного движения: мощность транспортного потока, мощность дороги, коэффициент использования мощности дороги. Приведена методика управления дорожным движением на основе разработанных показателей.

Ключевые слова: транспортный поток, работа автомобиля, мощность транспортного потока, мощность дороги.

Trubitsyn Vladimir Alekseevich, Golub Denis Ivanovich

TRAFFIC MANAGEMENT BASED ON POWER RELATIONS OF TRAFFIC FLOW AND ROAD

New indicators of efficiency of traffic are presented: traffic capacity, capacity of the road, capacity factor of the road. The methods of traffic management on the basis of the developed indicators.

Key words: traffic flow, work car, the power of traffic flow, road capacity.

К основным энергетическим показателям эффективности дорожного движения относятся: шум ускорения, градиент скорости, шум энергии и градиент энергии [1, 2]. Главным преимуществом энергетических показателей эффективности дорожного движения является их объективность и непосредственность. Правильно выработанный энергетический показатель может одновременно являться эффективным критерием управления.

Мощность транспортного потока на участке автомобильной дороги длиной L_D (или всего маршрута) есть быстрота совершения работы A транспортным потоком:

$$N_D = \frac{\sum_{j=1}^{L_D q} A_j}{t_D} = \frac{V_{ТП} \sum_{j=1}^{L_D q} A_j}{L_D}, \quad (1)$$

где q – плотность транспортного потока, *авт/м*; A_j – работа, совершаемая j -ым автомобилем при проезде участка, длиной L_D , *Дж*; t_D – среднее время проезда участка, *с*; L_D – длина участка, *м*; $V_{ТП}$ – скорость транспортного потока, *м/с*.

Несложно предположить, что представленный показатель, как и основная диаграмма транспортного потока, имеет экстремум. Это обусловлено следующими фактами. Рост интенсивности движения увеличивает значение мощности, ускорения автомобиля увеличиваются с ростом интенсивности движения, затем снижаются в связи с падением скорости и достигают нуля при полностью «заторовом» состоянии (рис. 1).

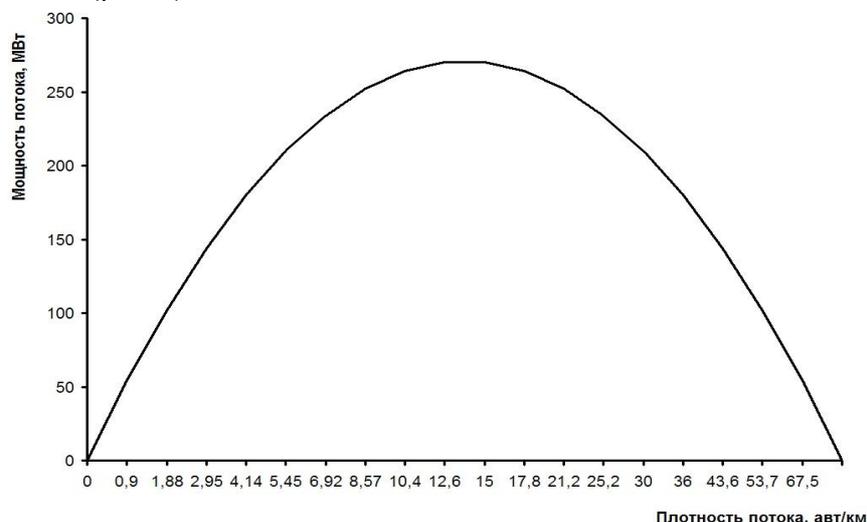


Рис. 1. Зависимость мощности транспортного потока $N_{ТП}$ от его плотности

Экстремум полученной зависимости (рис. 1) указывает на наиболее эффективный режим работы участка дороги и определяет мощность участка автомобильной дороги N_D . Другими словами,

$$N_D = N_{ТП\max} \quad (2)$$

Полученные показатели могут быть использованы практически во всех способах управления транспортными потоками: ограничение доступа к магистрали, реверсирование, управление сигналами светофоров, координация движения, рекомендация и назначение маршрута или информация о дорожном движении.

Ограничение доступа к магистрали. Равномерная загрузка улично-дорожной сети транспортными средствами может быть обеспечена при помощи управляемых дорожных знаков. При этом критерием распределения транспортных потоков по дублирующим магистралям будет являться соотношение мощности транспортного потока $N_{ТП}$ и мощности самой магистрали N_D :

$$k_N = \frac{N_D}{N_{ТП}}, \quad (3)$$

где k_N – коэффициент использования мощности дороги (0...1).

Полученный коэффициент показывает степень загрузки магистрали движением и запас ее мощности.

Управление сигналами светофоров. Одним из преимуществ предложенных показателей является их универсальность, поскольку они применимы как для безостановочного движения, так и для перекрестка (рис. 2).

Управление сигналами светофора может быть выполнено по следующей методике:

1. Длина участка L_D принимается равной длине очереди перед перекрестком (первая фаза – $L_{Д11}$ и $L_{Д12}$, вторая фаза – $L_{Д21}$).
2. В качестве расчетных принимаются направления с максимальным значением мощности в каждой фазе.
3. Среднее время проезда участка t_D , входящее в формулу (1), в данном случае является также средней задержкой автомобиля на перекрестке.

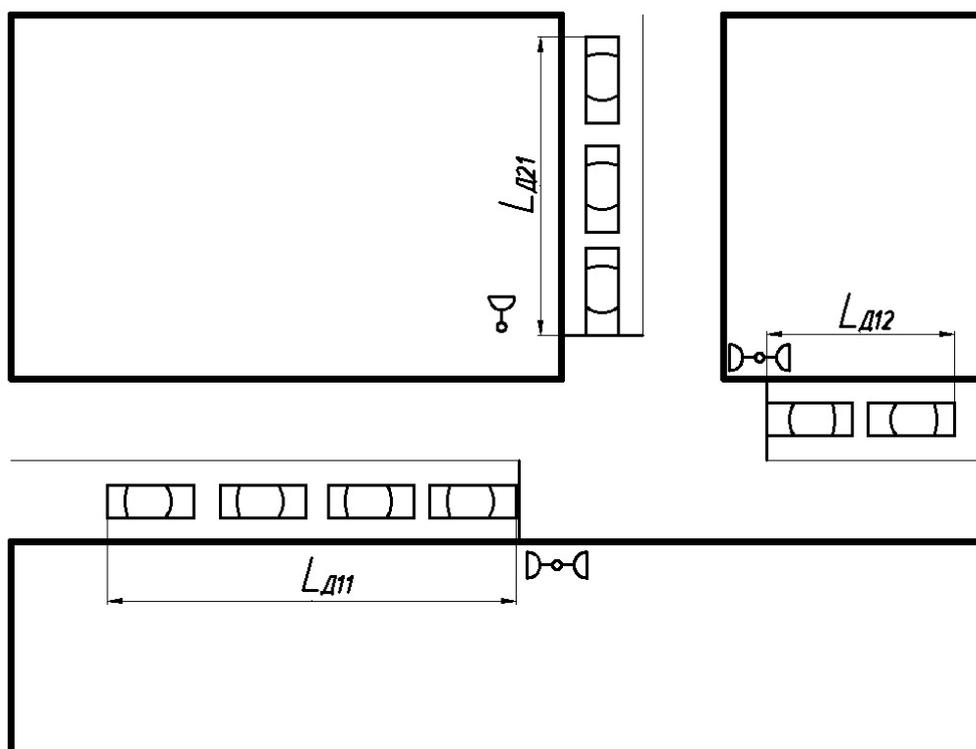


Рис. 2. Схема перекрестка со светофорным регулированием

Решение задачи оптимизации циклов светофорного регулирования сводится к задаче линейного программирования.

Ограничения, накладываемые на структуру цикла регулирования следующие:

- Величина основного такта регулирования должна быть меньше минимального значения (7 с):

$$\begin{aligned} t_{o1} &\geq 7, \\ t_{o2} &\geq 7. \end{aligned} \tag{4}$$

- Величина основного такта регулирования должна быть больше времени, необходимого для безопасного пропуска пешеходов t_{neu} (с):

$$\begin{aligned} t_{o1} &\geq t_{neu1}, \\ t_{o2} &\geq t_{neu2}. \end{aligned} \tag{5}$$

- Величина цикла регулирования должна быть меньше 120 с (необязательное условие):

$$T_{Ц} = t_{o1} + t_{n1} + t_{o2} + t_{n2} \leq 120. \tag{6}$$

- Мощность транспортного потока на подходе к перекрестку $N_{ПП}$ должна быть меньше мощности участка дороги $N_{Д}$:

$$\begin{aligned} t_{cp1} &\leq \frac{\sum_{j=1}^{L_{Д1}q_1} A_j}{N_{Д1}}, \\ t_{cp2} &\leq \frac{\sum_{j=1}^{L_{Д2}q_2} A_j}{N_{Д2}} \end{aligned} \tag{7}$$

После несложных преобразований получим систему ограничений:

$$\left\{ \begin{aligned} t_{o1} &\geq 7 \\ t_{o2} &\geq 7 \\ t_{o1} &\geq t_{neu1} \\ t_{o2} &\geq t_{neu2} \\ t_{o1} &\geq n_{o1} \frac{\sum_{j=1}^{L_{Д1}q_1} A_j}{N_{Д1} L_{Д1}q_1} \\ t_{o2} &\geq n_{o2} \frac{\sum_{j=1}^{L_{Д2}q_2} A_j}{N_{Д2} L_{Д2}q_2} \\ t_{o1} + t_{o2} &\leq 120 - T_{П} \end{aligned} \right. \tag{8}$$

Целевая функция – минимальная средневзвешенная задержка на перекрестке:

$$\frac{\sum_{j=1}^{L_{Д1}q_1} A_j}{N_{Д1}} + \frac{\sum_{j=1}^{L_{Д2}q_2} A_j}{N_{Д2}} = t_{cp.взв.} \rightarrow \min. \tag{9}$$

Если графически представить ограничения (8), то получим рис. 3.

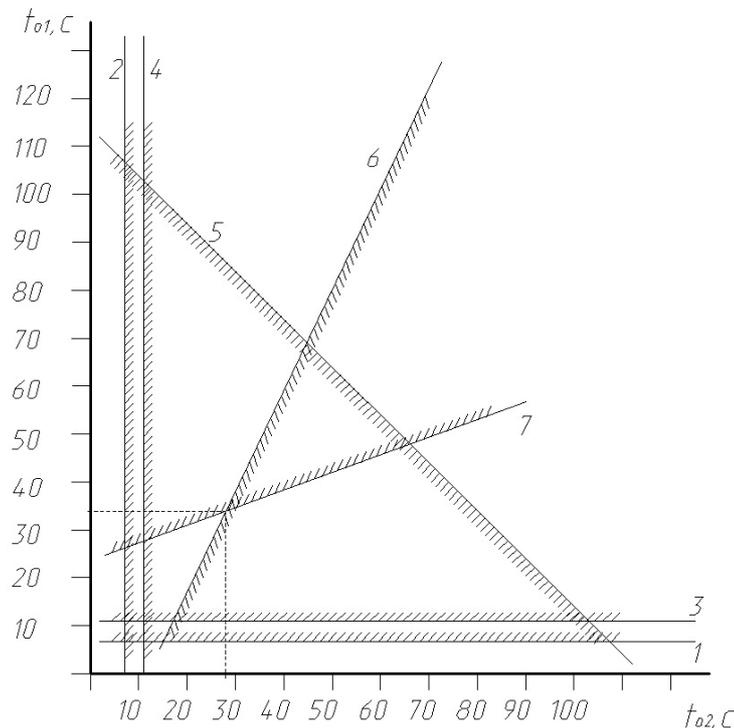


Рис. 3. Графическое изображение ограничений:

1, 2 – минимальные значения тактов (7 с); 3, 4 – минимальные значения тактов (по условию безопасного пропуск пешеходов); 5 – максимальное значение такта (по условию $T_{II} \leq 120$); 6, 7 – ограничение, накладываемое на величину тактов, исходящее из условий, что мощность транспортного потока на подходе к перекрестку меньше мощности участка дороги

Точка пересечения кривых 6, 7 характеризует оптимальное значение цикла светофорного регулирования.

Реверсирование. Очевидно, что мощность магистрали находится в прямой зависимости от ширины проезжей части и количества полос. Управление переключением полос в данном случае аналогично методике управления доступом к магистрали.

Координированное управление движением. Изменение интенсивности движения в течение суток приводит к изменению скорости транспортного потока и других характеристик. Вследствие чего такой метод, как рекомендация скоростного режима, становится беспомощным. Единственным способом повышения эффективности координированного движения является гибкое управление сдвигом фаз светофорного регулирования. Возрастание помех движению приведет к повышению мощности транспортного потока. В данном случае критерием управления сдвигом фаз является постоянство мощности транспортного потока.

Полученные в работе показатели (мощность транспортного потока, мощность дороги, коэффициент использования мощности) обладают рядом преимуществ перед существующими:

- высокая объективность. Данные показатели по своей сути являются интегральными и включают в себя все возможные факторы;
- непосредственность показателей. Полученные показатели являются одновременно и критериями управления, не требуют промежуточных расчетов, дополнительных показателей, что значительно повышает точность результатов и эффективность управления.

Литература

1. Дрю Д. Теория транспортных потоков и управление ими. М.: Транспорт, 1974. 424 с.
2. Клиновштейн Г. И., Афанасьев М. Б. Организация дорожного движения: учебник для вузов. 5-е изд., перераб. и доп. М.: Транспорт, 2001. 247 с.
3. Хейт Ф. Математическая теория транспортных потоков. М.: Мир, 1966. 288 с.