

**МЕТОДИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ОЦЕНКИ ВРЕМЕНИ ЗАДЕРЖКИ
ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ НА ПЕРЕСЕЧЕНИЯХ**

Gantimurova J.O.

**METHODOLOGICAL ASPECTS ASSESSING DELAY TIME
OF VEHICLES AT INTERSECTIONS**

Аннотация. Анализируется важность оценки временных задержек на регулируемых и нерегулируемых перекрестках в качестве основного показателя эффективности транспортных систем. Представлены формулы, которые позволяют количественно оценить время задержки, включая методику вычисления средней задержки на основе параметров транспортного потока и временных характеристик движения.

Ключевые слова: время задержки, пересечения, дорожное движение, интенсивность движения, безопасность дорожного движения.

Abstract. The importance of assessing time delays at controlled and uncontrolled intersections as the main indicator of the efficiency of transport systems is analyzed. Formulas are presented that allow quantitative assessment of the delay time, including the method of calculating the average delay based on the parameters of the traffic flow and the time characteristics of the movement.

Keywords: delay time, intersections, traffic, traffic volume, road safety.

Обеспечение необходимого уровня эффективности и безопасности движения осуществляется методами управления, которые включают научные, инженерные и организационные мероприятия, и может быть достигнуто при своевременном и полном информировании участников движения об изменениях условий движения, дорожно-транспортных ситуаций, что в конечном итоге позволит водителям и пешеходам выбрать правильное направление и безопасный режим движения [1, 2].

С ростом интенсивности транспортного потока на главной дороге возможности проезда перекрестка с второстепенных направлений ухудшаются [3]. В ожидании приемлемого интервала водители вынуждены простаивать значительное время и нередко принимать интервалы меньшие, чем необходимо по условиям безопасности движения. В этой связи рассмотрим существующие подходы к определению задержек транспортных средств на регулируемых и нерегулируемых пересечениях.

Движение по главной дороге на нерегулируемых перекрестках при наличии знаков приоритета обеспечивается практически без задержек. На второстепенной дороге водитель, не обладающий преимущественным правом проезда, вынужден для дальнейшего движения ожидать появления безопасного интервала между транспортными средствами по главной дороге.

Граничный интервал времени $t_{гр}$, находящийся в диапазоне минимально приемлемых значений, зависит от типа маневра, который совершает транс-

портное средство, выезжающее на перекресток с второстепенной дороги. Согласно исследованиям, при пересечении двухполосной дороги t_{rp} составляет 6–8 секунд, при повороте налево – 10–13 секунд, а при повороте направо – 4–7 секунд [2, 4].

Задержка на второстепенной дороге зависит от времени, которое водитель ожидает приемлемого интервала, проведенного в очереди, и изменений скорости движения, вызванных торможением перед перекрестком. Компоненты потерь при постоянных интенсивностях движения варьируются в широких пределах и могут отличаться для каждого транспортного средства. Учитывая влияние множества случайных факторов, потери времени оцениваются через среднюю задержку одного транспортного средства t_{Δ} , которая рассчитывается по следующей формуле:

$$t_{\Delta} = t_{\Delta 1} - t_{\Delta 2} + t_{\Delta 3}, \quad (1)$$

где $t_{\Delta 1}$ – среднее время ожидания приемлемого интервала, с.; $t_{\Delta 2}$ и $t_{\Delta 3}$ – средние задержки, связанные с пребыванием транспортных средств в очереди, образующейся на второстепенной дороге, и с торможением перед перекрестком, с. [4].

Среднее время $t_{\Delta 1}$ принимают равным отношению суммарной продолжительности. Средняя задержка зависит от количества транспортных средств в очереди, которое может быть определено с использованием основных положений теории массового обслуживания, когда примыкающий к перекрестку участок второстепенной дороги можно представить как канал обслуживания с экспоненциальным распределением времени поступления требований и времени обслуживания. Среднюю задержку $t_{\Delta 2}$ определяют как разность между временем, необходимым на торможение перед перекрестком и последующий разгон автомобиля, и временем его движения в свободных условиях (без торможения).

При условии постоянных замедлений и ускорений в процессе изменения скорости, и экспоненциального распределения вероятного появления временных интервалов между транспортными средствами на дороге, средняя задержка автомобиля, движущегося по второстепенной дороге, может быть определена следующим образом:

$$t_{\Delta p} = \frac{e^{N_{\Gamma} t_{rp}} - N_{\Gamma} t_{rp} - 1}{N_{\Gamma} - N_{\text{Б}} \cdot (e^{N_{\Gamma} t_{rp}} - N_{\Gamma} t_{rp} - 1)} + \frac{V_a}{7,2} \cdot \left(\frac{1}{a_{\Gamma}} + \frac{1}{a_{\text{п}}} \right), \quad (2)$$

где e – основание натурального логарифма; N_{Γ} – интенсивность транспортного потока на главной дороге в обоих направлениях, авт/с; $N_{\text{Б}}$ – интенсивность, приходящаяся в среднем на одну полосу второстепенной дороги в рассматриваемом направлении движения, авт/с; a_{Γ} и $a_{\text{п}}$ – соответственно замедление и ускорение автомобиля (в расчетах принимаются равными в пределах 3–4 м/с² и 1–1,5 м/с² соответственно); V_a – скорость автомобиля в свободных условиях, км/ч.

Среднюю задержку автомобиля Δt на перекрестке в целом определяют как средневзвешенное значение задержек для всех направлений (подходов к перекрестку) второстепенной дороги, рассчитываемых по формуле (3) [4]:

$$\bar{t}_{\Delta H} = \frac{\sum_{j=1}^n (t_{\Delta H j} \cdot N_j)}{\sum_{j=1}^n N_j}, \quad (3)$$

где N_j – интенсивность движения на j -м направлении второстепенной дороги, авт/ч; n – число направлений (подходов к перекрестку) второстепенной дороги.

Задержки на регулируемых перекрестках зависят от организации работы светофорного регулирования на второстепенных и главных дорогах в условиях появления запрещающего сигнала [5]. Как и в предыдущем случае, она оценивается средней задержкой одного транспортного средства в рассматриваемом направлении движения и может быть определена по формуле (4):

$$t_{\Delta p} = (T_{\text{ц}} - t_0) / 2, \quad (4)$$

где $T_{\text{ц}}$ – длительность светофорного цикла, с.; t_0 – длительность основного такта, с. [4].

Формула основана на предположении, что задержка автомобиля, прибывающего к перекрестку в начале запрещающего сигнала, равна длительности этого сигнала. Если автомобиль прибывает в момент окончания запрещающего сигнала, задержка равна нулю. Эта формула справедлива лишь при условии прибытия автомобилей к перекрестку через постоянные интервалы времени (характерно для потоков высокой интенсивности, близкой к пропускной способности дороги), в ином случае – отмечаются ощутимые погрешности при определении задержки.

Для изолированного перекрестка, который не связан с соседними участками дороги, прибытие автомобилей является случайным событием. Это учитывается в формуле для расчета задержки Ф. Вебстера, которая получила широкое применение в практической деятельности управления дорожным движением [4]:

$$t_{\Delta p} = \frac{T_{\text{ц}}(1-\lambda)^2}{2(1-\lambda x)} + \frac{x^2}{2N(1-x)} - 0,65 \cdot \left(\frac{T_{\text{ц}}}{N^2} \right)^{1/3} \cdot x^{2+5\lambda}, \quad (5)$$

где λ – отношение длительности разрешающего сигнала к циклу ($\lambda = t_0 / T_{\text{ц}}$); N – интенсивность движения транспортных средств в рассматриваемом направлении, ед./с.

Первая составляющая формулы (5) позволяет определить задержку при регулярном прибытии транспортных средств к перекрестку. При полностью насыщенной фазе ($x=1$) формула после ряда преобразований превращается в выражение (4).

Вторая составляющая учитывает случайный характер прибытия и основана на теории массового обслуживания. Она позволяет определить среднюю задержку в заданном направлении перекрестка, который рассматривается как одноканальная система обслуживания с потоком заявок, имеющим постоянную

интенсивность. Третья составляющая выступает в роли корректирующего элемента, позволяя учесть погрешность, возникающую при расчете задержки по первым двум компонентам уравнения (5) по сравнению с экспериментально определенным значением. В среднем эта погрешность составляет 10%, поэтому для практических расчетов используется упрощенная версия уравнения [4]:

$$t_{\Delta p} = 0,9 \cdot \left[\frac{T_{\Pi}(1-\lambda)^2}{2(1-\lambda x)} + \frac{x^2}{2N(1-x)} \right], \quad (6)$$

Для машинных методов расчета задержки предпочтительнее применять формулу (5), так как она обеспечивает более точные результаты. В целом для регулируемого перекрестка средневзвешенную задержку определяют аналогичным образом, как и для нерегулируемого, с той лишь разницей, что учитывают направления не только второстепенной, но и главной дороги.

Определение и анализ задержек движения являются важным инструментом для создания безопасной и эффективной транспортной инфраструктуры, что в конечном итоге улучшает качество жизни населения и способствует устойчивому развитию городских агломераций [2, 5].

ЛИТЕРАТУРА

1. **Ветрогон, А. А.** Транспортное моделирование как инструмент для эффективного решения задач в области управления транспортными потоками / А. А. Ветрогон, М. Н. Крипак. – Текст: непосредственный // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. – 2018. – № 3 (59). – С. 82-91.
2. **Бахирев, И. А.** Оценка условий движения на городских улицах / И. А. Бахирев, А. Ю. Михайлов. – Текст: непосредственный // Градостроительство. – 2015. – № 4 (38). – С. 63-68.
3. **Федотова, А. С.** Степень использования пропускной способности автомобильных дорог / А. С. Федотова, О. А. Лебедева. – Текст: непосредственный // Сборник научных трудов Ангарского государственного технического университета. – 2015. – Т. 1. № 1. – С. 270-274.
4. **Кременец, Ю. А.** Технические средства организации дорожного движения / Ю. А. Кременец. – Текст: непосредственный // М.: ИКЦ «Академия». – 2005. – 279 с.
5. **Пиров, Ж. Т.** Влияние распределения транспортных потоков на скорость сообщения на сегментах городских улиц с регулируемым движением / Ж. Т. Пиров, А. Ю. Михайлов. – Текст: непосредственный // Интеллект. Инновации. Инвестиции. – 2020. – № 2. – С. 115-124.