

*А.В. Куница, д.т.н., проф., Литвинов А.А., магистр, В.А. Куница, инженер
Автомобильно-дорожный институт Донецкого национального технического университета*

АНАЛИТИЧЕСКОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАДИУСА ПОВОРОТА ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ ДЛЯ ВЫПОЛНЕНИЯ РАСЧЕТОВ ДЛИТЕЛЬНОСТИ ЦИКЛА СВЕТОФОРНОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ

Определение зависимостей для нахождения диапазона изменения радиуса поворота транспортных средств позволяет расчетным путем определить диапазон изменения их скоростей и потока насыщения, что позволяет подойти с новых позиций к расчету длительности цикла светофорного регулирования.

Постановка задачи

При осуществлении автотранспортным средством (АТС) маневра поворота на перекрестке, во-первых, существует не единое значение радиуса поворота автомобиля, а диапазон значений радиуса поворота АТС. Во-вторых, каждому значению радиуса поворота автомобиля соответствует определенное значение допустимой расчетной скорости. В-третьих, это значение допустимой расчетной скорости определяет поток насыщения на перекрестке и время проезда транспортным средством перекрестка, а отсюда и параметры работы светофорного объекта.

Определив радиус поворота можно определить путь движения, скорость, а также время пересечения перекрестка автомобилем. Соответственно зная эти параметры, определим поток насыщения транспортного потока. Исходя из этого, получаем расчет методик определяющих физические процессы при осуществлении поворота автомобилем. В этом заключается актуальность данной статьи.

Анализ литературных источников

Параметром, используемым в расчетах длительности цикла светофорного регулирования, является поток насыщения. Конкретные значения потока насыщения определяются натурными обследованиями и аналитически.

В общеизвестной работе [1] указывается, что «... методика экспериментального определения потока насыщения M_{ni} требует существенных затрат времени. ... Для право - и левоповоротных потоков, движущихся по специально выделенным полосам, поток насыщения определяется в зависимости от радиуса поворота R : - для однопольного движения $M_{ni} = 1800 / (1 + 1,525 / R)$ (3.5); для двухпольного движения $M_{ni} = 3000 / (1 + 1,525 / R)$ (3.6). Радиус поворота может быть определен по плану перекрестка, вычерченного в масштабе. При двухпольном движении в формулу (3.6) подставляют среднее значение».

Из приведенного текста непонятно: 1) каким образом определяется среднее значение радиуса; 2) какой физический смысл «среднего радиуса». На наш взгляд, на перекрестке нужно определять радиус поворота отдельно для каждой полосы каждого направления движения.

В работе [3] устанавливается связь между потоком насыщения поворотных направлений в зависимости от радиуса поворота на основе экспериментальных данных и здесь уже имеются другие зависимости. Например, «При радиусе поворота менее 40 метров, автором предложена формула для расчета потока насыщения: $M_{Hлев} = 770 + 60R - 0,74R^2$,

(4) где R – радиус поворота, м» [3] и разработана на основе средне статистических данных «Расчетная кривая для определения потока насыщения для левоповоротных маневров в зависимости от радиуса поворота и времени разрешающего такта» [4].

Цель работы

Цель работы – найти аналитические зависимости для определения диапазона изменения радиуса поворота АТС.

Основной материал

На рис.1 приведена расчетная схема перекрестка для определения радиуса поворота АТС. Из всех возможных поворотов АТС, осуществляемых на этом перекрестке, на рис. 1 показан лишь один левый поворот с главной дороги на второстепенную дорогу. Кроме того, нанесены буквенные обозначения параметров перекрестка, необходимых для решения поставленной задачи: определить аналитические зависимости радиуса поворота автомобиля при его движении от точки 1 к точке 2 (рис. 1).

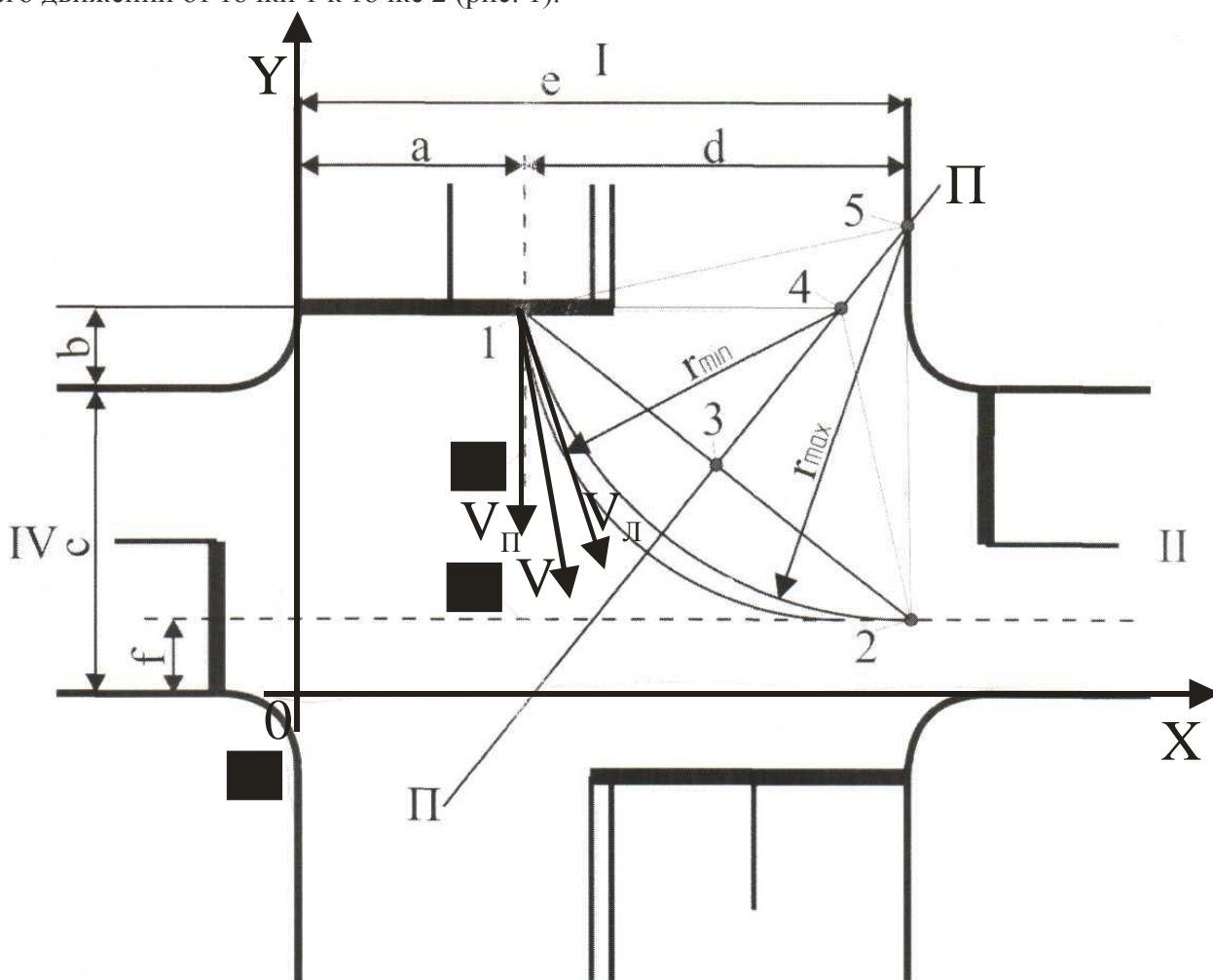


Рис. 1 Расчетная схема для определения радиуса поворота АТС

Уравнение прямой, проходящей через эти заданные точки 1 и 2, имеет вид [2]:

$$\frac{y - y_1}{y_2 - y_1} = \frac{x - x_1}{x_2 - x_1} \quad (1)$$

Параметры конкретно заданных двух точек 1 и 2: точка 1: $y_1 = b + c$; $x_1 = a$; точка 2: $y_2 = f$; $x_2 = a + d$.

После преобразований, в соответствии с (1), общее уравнение прямой 1-2, начало и конец которой образованы точками 1 и 2, имеет вид:

$$yd + x(b + c - f) - d(b + c) - a(b + c - f) = 0. \quad (2)$$

Уравнение (2) преобразуем к виду: $y = kx + b$. Тогда:

$$y = x \frac{b + c - f}{d} + b + c + \frac{a(b + c - f)}{d} \quad (3)$$

Угловым коэффициентом k равен $\operatorname{tg} \delta$, где δ - угол между положительным направлением оси x и прямой 1-2, и имеет вид:

$$k = \frac{b + c - f}{d}. \quad (4)$$

Прямая линия П-П, проходящая перпендикулярно к прямой 1-2 через ее середину в точке 3, будет геометрическим местом всех окружностей, проходящих через точки 1 и 2. Координаты точки 3 соответственно имеют выражения: $x_3 = a + 0,5d$; $y_3 = 0,5(b + c - f) + f$.

Прямая линия П-П имеет угловой коэффициент $k_{\text{П}} = \frac{1}{k} = \frac{d}{b + c - f}$.

Уравнение прямой, проходящей через заданную точку 3, имеет вид [1]:

$$y - y_3 = k_{\text{П}}(x - x_3). \quad (5)$$

После преобразований (5) с учетом выражений для x_3 , y_3 и разрешения полученного выражения отдельно относительно x и y имеем:

$$\delta = a + 0,5d + \frac{[y - 0,5(b + c + f)](b + c - f)}{d}; \quad (6)$$

$$y = x \frac{d}{b + c - f} + 0,5(b + c + f) + \frac{d(a + 0,5d)}{b + c - f}. \quad (7)$$

Анализ на чертеже векторов скоростей $V_{\text{П}}$, V , $V_{\text{л}}$ в точке 1, приводит к выводу, что минимальное и максимальное значения радиусов R_{min} и R_{max} , удовлетворяющие безопасности дорожного движения, определяются положениями точек 4 и 5 на прямой линии П-П.

Используя уравнение (6) и подставляя в него для точки 4 значение $y = c + b$, получим аналитическое выражение для определения значения x , которое имеет следующий вид:

$$x = a + 0,5d + \frac{0,5(b + c - f)^2}{d}.$$

Из чертежа видно, что R_{min} равняется длине отрезка 1-4, т.е. $R_{\text{min}} = x - a$. Отсюда:

$$R_{\min} = 0,5d + \frac{0,5(b+c-f)^2}{d}. \quad (8)$$

Используя уравнение (7) и подставляя в него для точки 5 значение $x = a + d$, получим выражение для определения значения y , которое имеет следующий вид:

$$y = 0,5(b+c+f) + \frac{0,5d^2}{b+c-f}. \quad (9)$$

Из чертежа видно, что R_{\max} равняется длине отрезка 5-2, т.е. $R_{\max} = y - f$. Отсюда:

$$R_{\max} = 0,5(b+c-f) + \frac{0,5d^2}{b+c-f}. \quad (10)$$

Аналогично можно отдельно получить аналитические зависимости по определению диапазона изменения радиуса поворота для всех разрешенных схемой организации дорожного движения направлений.

Вследствие того, что существует огромное количество перекрестков, отличающихся планировкой и параметрами, то аналитические зависимости по определению диапазона изменения радиуса поворота для всех разрешенных схемой организации дорожного движения направлений будут также разнообразны.

Выводы

1. В работе впервые определены аналитические зависимости для определения минимального и максимального значения радиуса поворота автомобиля, т.е. диапазона его изменения.
2. Зная диапазон изменения радиуса поворота автомобиля, состав транспортного потока и радиус поворота автомобилей из этого состава, заложенный конструктивно, можно определить возможность осуществления маневра каждым автомобилем из этого состава.
3. Зная диапазон изменения радиуса поворота автомобиля, можно определить максимально допустимую скорость осуществления поворота.
4. По определенному значению максимально допустимой скорости осуществления поворота и известной длине траектории автомобиля можно определить время проезда перекрестка одним автомобилем, а отсюда можно рассчитать поток насыщения.
5. Расчет потоков насыщения по разрешенным схемой организации дорожного движения направлениям позволяет определить длительность цикла светофорного регулирования и оптимизировать работу светофорного объекта, т.к. проектировщику будет ясен физический смысл производимых им расчетов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кременец Ю.А. Технические средства регулирования дорожного движения: Учеб. для вузов. – М.: Транспорт, 1990. – 255 с., ил.
2. И.Н. Бронштейн, К.А. Семендяев Справочник по математике /для инж. и учащихся втузов. – Изд. Восьмое стереотип. – М.: Госфизматиздат, 1959. – 608 с.
3. Цариков А.А. Определение потока насыщения поворотных направлений в зависимости от радиуса поворота// Совершенствование организации дорожного движения и перевозок пассажиров и грузов. Сборник научных статей Международной научно-практической конференции. Минск: Издательство БНТУ, 2010. – С. 210 – 214. ISBN 978–985–490–541–9.
4. Цариков А.А. Развитие методов расчета регулируемых узлов на улично-дорожной сети города: Автореф. дис. канд. техн. наук: - Екатеринбург, 2010. – 19 с.

Во-вторых, каждому значению радиуса поворота автомобиля соответствует определенное значение допустимой расчетной скорости. В-третьих, это значение допустимой расчетной скорости определяет поток насыщения на перекрестке. В четвертых, значение допустимой расчетной скорости определяет и время проезда транспортным средством перекрестка, а отсюда и параметры работы светофорного объекта.

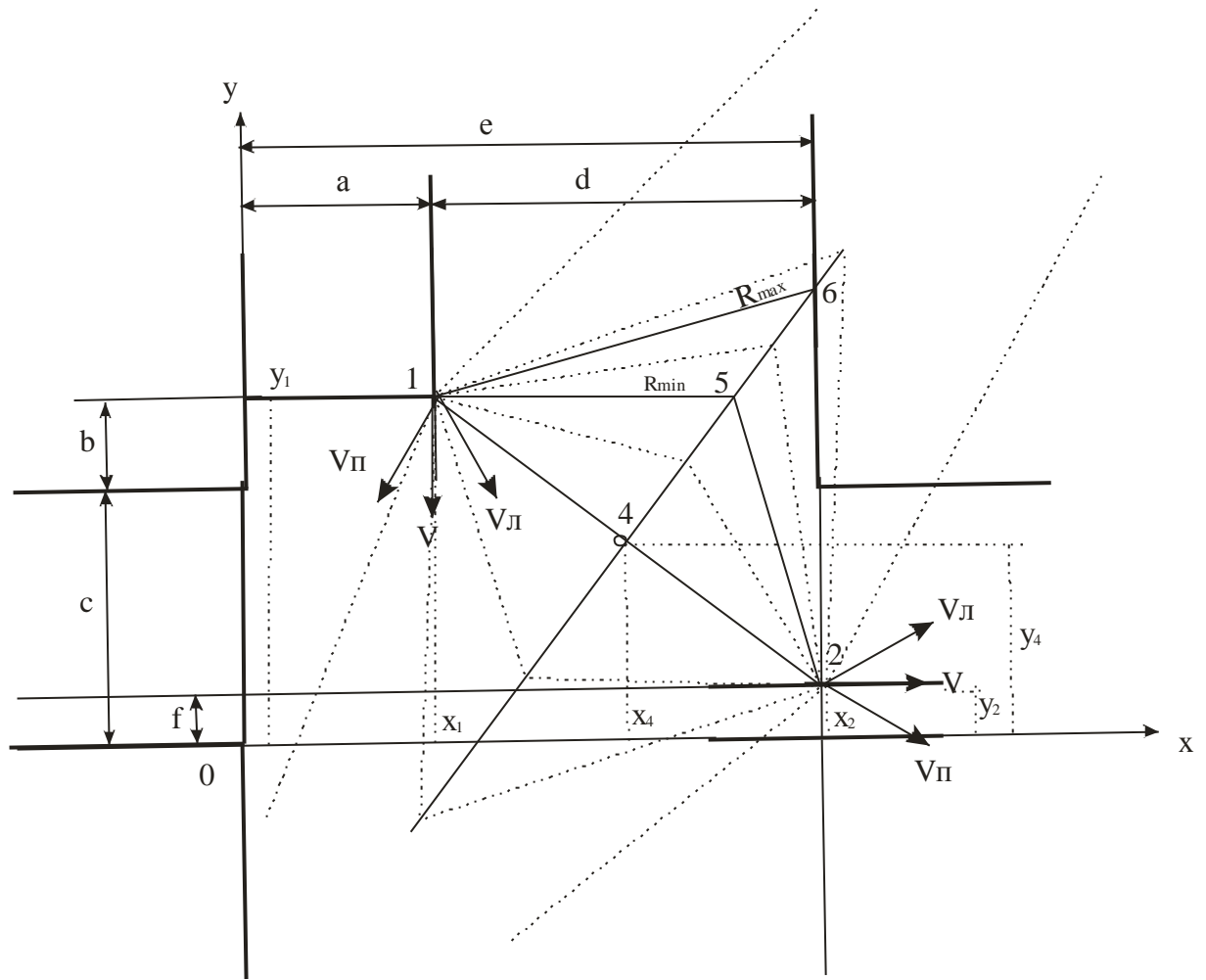
Требуется определить, из условий безопасности дорожного движения, аналитические зависимости радиуса поворота автомобиля при его движении от точки 1 к точке 2 (см. рисунок).

Примеры расчетов, определяющие значения радиусов R_{\min} и R_{\max} и диапазон изменения радиусов реальных автомобилей.

Определить, из условий безопасности дорожного движения, аналитические зависимости радиуса поворота автомобиля в случае, **если угол между траекториями его движения** от точки 1 к точке 2 **не равен 90°** (см. рисунок).

Примеры расчетов, определяющие значения радиусов R_{\min} и R_{\max}

Определить, из условий безопасности дорожного движения, аналитические зависимости радиуса поворота автомобиля отдельно при въезде в дворовой проезд и выезде из него в случаях при правоповоротном и левоповоротном маневрах, **если угол между траекториями его движения** от точки 1 к точке 2 **равен 90°** (см. рисунок).



Расчетная схема к определению радиуса поворота автомобиля