

А. В. Куница, д-р техн. наук, профессор, А. А. Литвинов, В. А. Куница

Автомобильно-дорожный институт ГВУЗ  
«Донецкий национальный технический университет», г. Горловка

## 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.*

*Ключевые слова:* радиус поворота, поток насыщения, цикла длительность, светофорное регулирование, диапазон скоростей, расчетный путь

### *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  $M_{ni} = 3000 / (1 + 1,525 / R)$ . Радиус поворота может быть определен по плану перекрестка, вычерченного в масштабе. При двухпольном движении в формулу подставляют среднее значение» [1].

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 [3] предложена формула для расчета потока насыщения:

© Куница А. В., Литвинов А. А., Куница В. А., 2012

$$M_{\text{Лев.}} = 770 + 60R - 0,7R^2,$$

где  $R$  – радиус поворота, м,  
и разработана на основе среднестатистических 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 рисунке приведена расчетная схема перекрестка для определения радиуса поворота АТС. Из всех возможных поворотов АТС, осуществляемых на этом перекрестке, 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.

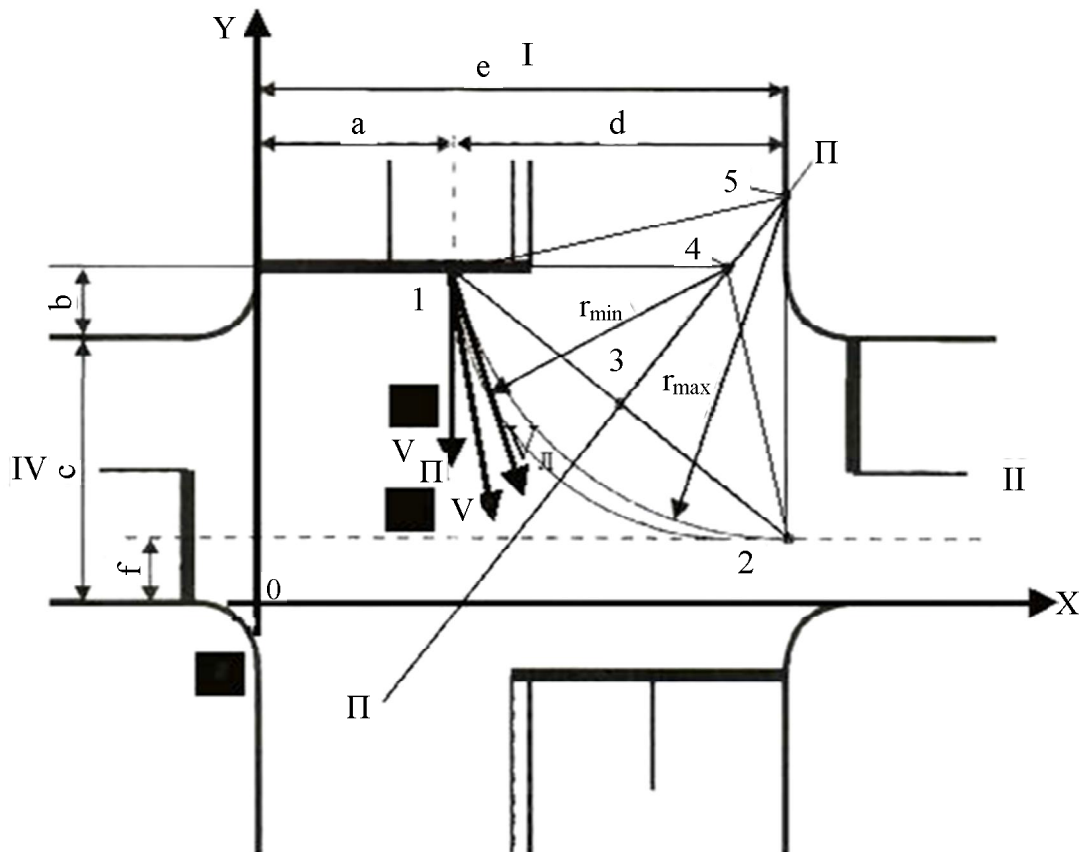


Рисунок – Расчетная схема для определения радиуса поворота АТС

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  $\delta$  – 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  $k_{II} = \frac{1}{k} = \frac{d}{b + c - f}$ .

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

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

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

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

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

Анализ на чертеже векторов скоростей  $V_{II}$ ,  $V$ ,  $V_{LI}$  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.  $R_{\min} = x - a$ . 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**

В работе впервые определены аналитические зависимости для определения минимального и максимального значения радиуса поворота автомобиля, т. е. диапазона его изменения.

### **Перспективы развития дальнейших исследований:**

1. 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.
2. Зная диапазон изменения радиуса поворота автомобиля, можно определить максимально допустимую скорость осуществления поворота.
3. 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.
4. 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 / Ю. А. Кременец. – М.: Транспорт, 1990. – 255 с.  
Kremenets Yu. A. Tekhnicheskiye sredstva regulirovaniya dorozhnogo dvizheniya: ucheb. dlya vuzov (Technical means of traffic control: college textbook) / Yu. A. Kremenets. – М.: Transport, 1990. – 255 s.
2. Бронштейн И. Н. Справочник по математике для инж. и учащихся ВТУЗов / И. Н. Бронштейн, К. А. Семендяев. – 8-е изд. – М.: Госфизматиздат, 1959. – 608 с.  
Bronshiteyn I. N. Spravochnik po matematike dlya inzh. i uchashchikhsya VTUZov (Reference book on mathematics for engineers and students of higher technical institutions) / I. N. Bronshiteyn, K. A. Semendiyayev. – 8-e izd. – М.: Gosfizmatizdat, 1959. – 608 s.
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 / А. А. Цариков. – Минск: изд-во БНТУ, 2010. – С. 210–214.

Tsarikov A. A. Opredeleniye potoka nasyshcheniya povorotnykh napravleniy v zavisimosti ot radiusa povorota (Saturation flow of turning directions determination depending on turning radius) / Sovershenstvovaniye organizatsii dorozhnogo dvizheniya i perevozok passazhirov i gruzov: sbornik nauchnykh statey Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii (Road traffic and passenger and goods transportation management improvement: collection of scientific articles of the International research and scientific conference) / A. A. Tsarikov. – Minsk: izdatelstvo BNTU, 2010. – S. 210–214.

4. Цариков А. А. Развитие методов расчета регулируемых узлов на улично-дорожной сети города: автореф. дисс. на соискание науч. степени канд. техн. наук / А. А. Цариков. – Екатеринбург, 2010. – 19 с.

Tsarikov A. A. Razvitiye metodov rascheta reguliruyemykh uzlov na ulichno-dorozhnoy seti goroda: avtoref. dis. na soiskaniye nauch. stepeni kand. tekhn. nauk (The development of calculation methods of controlled junctions on the network of streets of the city: abstraction of Ph.D. thesis in Engineering Science) / A. A. Tsarikov. – Yekaterinburg, 2010. – 19 s.

Рецензент: канд. техн. наук, доц. Т. Є. Василенко., АДІ ДонНТУ.

Стаття надійшла до редакції 16.07.12

*А. В. Куниця, О. О. Литвинов, В. А. Куниця  
Автомобільно-дорожній інститут ДВНЗ  
«Донецький національний технічний університет», м. Горлівка*

### **АНАЛІТИЧНЕ ВИЗНАЧЕННЯ РАДІУСА ПОВОРОТУ ТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ ДЛЯ ВИКОНАННЯ РОЗРАХУНКІВ ТРИВАЛОСТІ ЦИКЛУ СВІТЛОФОРНОГО РЕГУЛЮВАННЯ.**

Визначення залежностей для знаходження діапазону зміни радіуса повороту транспортних засобів дозволяє розрахунковим шляхом визначити діапазон зміни їх швидкостей і потоку насичення, що дозволяє піти з нових позицій до розрахунку тривалості циклу світлофорного регулювання.

При здійсненні автотранспортним засобом (АТС) маневру повороту на перехресті, по-перше, існує не єдине значення радіуса повороту автомобіля, а діапазон значень радіуса повороту АТС. По-друге, кожному значенню радіуса повороту автомобіля відповідає певне значення допустимої розрахункової швидкості. По-третє, це значення допустимої розрахункової швидкості визначає потік насичення на перехресті і час проїзду транспортним засобом перехрестя, а звідси і параметри роботи світлофорного об'єкта.

Визначивши радіус повороту визначаємо шлях руху, швидкість, а також час перетину перехрестя автомобілем. Відповідно, знаючи ці параметри, визначаємо потік насичення транспортного потоку. За рахунок чого отримуємо розрахунок за методиками, що визначають фізичні процеси при здійсненні повороту автомобілем.

**РАДІУС ПОВОРОТУ, ПОТІК НАСИЧЕННЯ, ЦИКЛА ТРИВАЛОСТІ, РЕГУЛЮВАННЯ СВІТЛОФОРНЕ, ДІАПАЗОН ШВИДКОСТЕЙ, ШЛЯХ РОЗРАХУНКОВИЙ.**

*A. V. Kunitsa, A. A. Litvinov, V. A. Kunitsa  
Automobile Transport and Highway Engineering Institute of Donetsk National Technical University,  
City of Gorlovka*

### **Analytical Determination of Turning Radius of Transport Vehicles for Traffic Signal Control Cycle Duration Calculation**

The dependences determination for turning radius turn-down of transport vehicles makes it possible to determine their speed and traffic saturation flow turn-down so we can calculate the traffic signal control cycle duration in a new way.

In the course of transport vehicle's operating turning maneuver on crossroad, firstly, there is not a single value of transport vehicle turning radius, but there is a value range of motor vehicle turning radius. Secondly, the specified value of allowable rated speed corresponds to every vehicle turning radius value. Thirdly, this value of allowable rated speed determines the traffic saturation flow on the crossroad and passing time of the crossroad using the motor vehicle and therefore the operation parameters of the set of traffic lights.

By analyzing the turning radius one can determine traffic route, speed as well as vehicle crossing time. Respectively, knowing these parameters let us determine the traffic saturation flow rate. On the basis of it we get the method of traffic analysis in the course of transport vehicle's operating turning maneuver.

Calculated parameters value of traffic makes it possible to calculate the traffic light cycle on the basis of physical processes occurred in the cross traffic. Therein lies the article relevance.

**TURNING RADIUS, TRAFFIC SATURATION FLOW, CYCLE DURATION, TRAFFIC SIGNAL CONTROL, SPEED RANGE, DESIGNED DISTANCE**