

Последние десятилетия состояние безопасности дорожного движения в российских городах является одной из важнейших проблем. При этом значительное количество ДТП отмечается на нерегулируемых перекрестках, которые составляют значительную долю всех пересечений городских УДС. В соответствии с данными международной статистики переоборудование нерегулируемых пересечений в кольцевые пересечения малого и среднего диаметра позволяет снизить аварийность на 40-80% (таб.1). Это обусловило широкое распространение в мировой практике пересечений, обозначаемых термином «современные кольцевые пересечения» (modern roundabouts). Данным термином обозначаются кольцевые пересечения малого и среднего диаметра, имеющие приоритет движения по кольцевой проезжей части и целый ряд особенностей проектирования геометрических элементов, обеспечивающих проезд длинномерных транспортных средств, а также безопасное движение пешеходов. Такие пересечения получили широкое применение в США, Канаде, в большинстве стран Западной Европы, Израиле и англоязычных странах Австралии, Новой Зеландии, Южной Африке [1,2,4,6,7,11]. Масштабы применения современных кольцевых пересечений характеризуются следующими цифрами: по данным английской прессы в Великобритании насчитывается 5000 таких пересечений; во Франции в конце 1994 г. насчитывалось около 12080 современных кольцевых пересечений, а в 2005 г. их уже было более 27000 [5].

В российской практике ОДД кольцевые пересечения малого диаметра и мини-кольца, центральный островок которых выделяется дорожной разметкой, не получили должного применения. Соответственно, поскольку в Российской Федерации нет опыта эксплуатации мини-колец, внедрение таких пересечений может сопровождаться нарушениями правил дорожного движения. Поэтому, наибольший интерес для российской практики, в настоящее время, могут представлять компактные кольцевые пересечения:

- компактные кольца могут размещаться в габаритах красных линий на магистральных улицах районного значения, имеющих две полосы движения и на местных улицах;
- в отличие от мини-колец, центральные островки которых выделяются разметкой или выполняются приподнятыми на 10-12

см, компактные кольца имеют выделенный бортовым камнем центральный островок, что важно в условиях низкой дисциплины водителей;

- применяемые конструкции центральных островков компактных колец (Англия, Германия, США, Франция), предусматривают движение длинномерных транспортных средств (центральный островок включает наклонную краевую полосу шириной 1-2 м, на которую заезжают грузовые автомобили и автобусы) [1,2,4].

Таким образом, целью нашего исследования стало определение условий эффективного применения компактных кольцевых пересечений вместо нерегулируемых пересечений с использованием таких показателей как суммарная пропускная способность и суммарные задержки транспортных средств.

В ходе исследования мы проанализировали существующие модели расчета пропускной способности и задержек. Наиболее распространенные модели основаны на различных теоретических функциях распределения случайных величин. Далее, для оценки применимости данных функций нами были проанализированы 22 различных нерегулируемых и кольцевых пересечений, расположенных в различных частях города Иркутска, с различными интенсивностями на них. Мы оценивали функцию поступления транспортных средств на пересечении, а затем, полученную функцию сравнивали с теоретическими функциями по критерию согласия χ^2 Пирсона. Результаты данного исследования сведены в табл. 1.

Таблица 1

Оценка применимости теоретических распределений интервалов

Интенсивность движения, авт/ч	Значение критерия согласия χ^2							
	Случайное поступление транспортных средств				Неравномерное поступление транспортных средств (наличие пачек)			
	Тип распределения				Тип распределения			
	Экспоненциальное	Смещенное Экспоненциальное	Cowan M3 Britton	Cowan M3 Tanner	Экспоненциальное	Смещенное Экспоненциальное	Cowan M3 Britton	Cowan M3 Tanner
менее 300	1,040	0,224	0,649	0,482	0,583	0,652	0,045	0,401
300 -500	0,281	0,249	0,033	0,070	2,43	2,41	2,326	2,360
500 -700	0,104	0,091	0,037	0,035	0,809	0,734	0,216	0,347
700 - 1000	0,398	0,288	0,071	0,081	0,887	0,703	0,213	0,352
1000 -1300	0,225	0,041	0,020	0,032	1,211	1,02	0,237	0,366

Стоит отметить, что в 6 из 22 случаев в городских условия в потоке имелись пачки (например, влияет светофорное регулирование) и поэтому поток следует рассматривать состоящим из двух частей – связанной и свободной. В этой связи используется **дихотомическое распределение**, которое предложил Covan (распределение получило название Covan's M3) [3,8,9].

$$f(t) = \begin{cases} 0, & \text{если } t < t_m, \\ \alpha \lambda e^{-\lambda(t-t_m)}, & \text{если } t \geq t_m, \end{cases} \quad (1)$$

где α – доля свободной части транспортного потока; λ – параметр распределения, определяемый формулой (5).

Для применения распределения Covan's M3 Troutbeck R.J. модифицировал модель оценки пропускной способности Таннера

$$Q_e = \frac{3600(1-\theta)q_p e^{-\lambda(t_c-t_m)}}{1-e^{-\lambda t_f}} = \frac{3600 \alpha q_p e^{-\lambda(t_c-t_m)}}{1-e^{-\lambda t_f}}. \quad (2)$$

где Q_e – пропускная способность второстепенного направления на пересечении, авт/ч; θ – доля связанной части потока главного направления (доля транспортных средств в пачках); q_p – интенсивность движения на главном направлении, авт/с; t_c – критический интервал, с; λ – параметр распределения интервалов в главном потоке; t_m – минимальный интервал между транспортными средствами главного потока, с; t_f – интервал следования из очереди второстепенного потока, с

Параметр λ уравнения (4) определяется как

$$\lambda = \frac{(1-\theta)q_p}{1-t_m q_p} = \frac{\alpha q_p}{1-t_m q_p}. \quad (3)$$

Одновременно Troutbeck R.J. предложил скорректированную модель расчета задержки Адамса (Adams delay) d_{min} – средней задержки транспортных средств второстепенного потока при очень низкой его интенсивности

$$d_{min} = \frac{e^{\lambda(t_c-t_m)}}{Q_e \alpha} - t_c - \frac{1}{\lambda} - \frac{\lambda t_m^2 - 2t_m + 2t_m \alpha}{2(t_m \alpha + \alpha)}. \quad (4)$$

В соответствии с приведенными выше выражениями средняя задержка второстепенного направления d рассчитывается как

$$d = d_{min} + \frac{3600 kx}{(1-x)}, \quad (5)$$

где $k = d_{min} Q_e / 3600$ – параметр уравнения средней задержки; x – коэффициент насыщения в заданный период времени, (т.е. отношение интенсивности на входе к пропускной способности).

Для определения параметра α предложены следующие формулы:

$$\text{формула Таннера (J.C.Tanner)} \quad \alpha = 1 - t_m q_p ; \quad (6)$$

$$\text{формула Брилона (W. Brilon)} \quad \alpha = e^{-Aq_p} , \quad (7)$$

где A - параметр, определяемый экспериментально и имеющий значения от 6 до 9 [10,11,12].

Таким образом, дихотомическое распределение (1) с параметром α , рассчитываемым с применением формулы (8) дает достаточно хорошее качество аппроксимации. Вместе с тем формула Таннера (7) более проста и удобна для применения, она и рекомендуется к использованию в практических расчетах.

После выбора наиболее оптимальной модели для расчета пропускной способности и задержек нам предстоит определить параметры, необходимые для моделирования, а именно параметры функции распределения A и t_m , значения критических интервалов и интервалов следования из очереди для различных видов маневров. Значения данных параметров представлены в табл.2 и табл.3.

Таблица 2

Установленные значения параметров дихотомического распределения

Параметр	Характер поступления транспортных средств к перекрестку	
	Случайное	Наличие пачек в потоке
A	2	4
t_m, c	1,5	1,8

В табл.2 указаны два варианта состояния транспортного потока на перекрестке, которые мы наблюдали на исследуемых пересечениях. Первый вариант подразумевает абсолютно случайное поступление транспортных средств на перекресток, а второй вариант подразумевает наличие связанной части потока. Параметры A и t_m , для этих вариантов имеют разные значения.

Также по результатам обработки данных исследований для расчетов пропускной способности и задержек мы используем следующие значения критических интервалов t_c и интервалов следования из очереди второстепенного направления t_f (табл.3).

Таблица 3

Значения критических интервалов и интервалов следования

Вид маневра	Критический интервал t_{cr} , с	Интервал следования из очереди t_f , с
Правый поворот	4,4	2,1
Пересечение главного потока	5,5	2,4
Левый поворот с главного направления	4,9	2,4
Левый поворот со второстепенного направления	6,5	2,9
Въезд на кольцевое пересечение	4,8	2

На основе выбранной модели и полученных параметров, было выполнено моделирование значений пропускной способности и задержек для нерегулируемых и компактных кольцевых пересечений. В процессе моделирования рассматривается широкий диапазон интенсивностей движения, разные соотношения распределения потоков на главном и второстепенном направлениях и разные соотношения левоповоротных, прямых и правоповоротных потоков.

Сравнение нерегулируемых и компактных пересечений на основе численного моделирования дало следующие результаты:

- компактные кольца имеют большую суммарную пропускную способность во всем диапазоне рассмотренных значений интенсивности движения;

- нерегулируемые перекрестки имеют лучшие показатели суммарных задержек в случаях очень высокой неравномерности распределения потоков по направлениям, т.е. при соотношении интенсивностей движения в прямом и обратном направлениях на подходах к пересечению 9:1;

- нерегулируемые пересечения предпочтительнее компактного кольцевого пересечения по показателю суммарных задержек в случаях, когда доля прямого потока на главной улице перекрестка превышает 60%, а доля прямого движения на второстепенной улице ниже 40%. Это преимущество сохраняется до суммарной интенсивности движения 2200 авт/ч;

- при росте доли связанной части потока у компактных кольцевых пересечений отмечается более значительный рост суммарных задержек, что позволяет рекомендовать их размещение на удалении от регулируемых пересечений.

В соответствии с полученными в работе результатами, рекомендуемой областью применения компактных кольцевых пересечений являются участки двухполосных магистральных улиц районного значения и участки местных улиц, удаленные от

регулируемых пересечений на 600-700 м и имеющие неравномерность движения в прямом и обратном направлениях не более 9:1.

Список использованной литературы

1. Antoine D.: The safety of roundabouts and traffic lights in, Belgium D.G.1 Department of Motorways and Highways, Walloon Ministry of Equipment and Transports, 2003. - 20 p.
2. Brilon, W. : Roundabouts : A State of the Art in Germany. Vail, Colorado 2005.- 16 p.
3. Cowan R. J. Adams' formula revised//*Traffic Engineering and Control*, 1984, vol. 25, no. 5, pp. 272–274.
4. Flannery. A.: Geometric Design and Safety aspects of Roundabouts. Washington, DC,: Transportation Research Board, National Research Council, 2001.- 104 p.
5. Guichet B.: Evolution of Roundabouts in France and their New Uses. Vail, Colorado 2005. Ministère de l'Équipement et des Transports.- 7 p.
6. Jacquemart G.: Modern Roundabout Practice in the United States. Washington, D.C.: Transportation Research Board, National Research Council, 1998.- 74 стр.
7. Kennedy J.: Review of Accident Research at Roundabouts, Wokingham, Berkshire, Transport Research Laboratory (TRL Limited), 2005.- 14 p.
8. Kimber, R. M., Marlow, M. Hollis, E. M.. Flow/delay relationships for major/minor priority junctions//*Traffic Engineering and Control*, 1977, vol. 18, no. 11, p. 516–519.
9. McDonald M., Armitage D.J., The Capacity of Roundabouts//*Traffic Engineering Control*, Vol. 19, no 10, pp. 447-450.
10. Roundabouts: An Informational Guide// Publication No FHWA–RD-00-67, June 2000, 277 p.
11. Taekratok T.: Modern roundabouts for Oregon. Salem, OR: Oregon Department of Transportation, 1998. - 124 p.
12. Troutbeck R. J. A review on the process to estimate the Cowan M3 headway distribution parameters. //*Traffic Engineering and Control*, 1997, vol. 38, no. 11, pp. 600–603.