

УДК 625.739

А.Ю.Васильева,
Е.А.Рейцен

ИССЛЕДОВАНИЕ КОЛЬЦЕВЫХ САМОРЕГУЛИРУЕМЫХ ПЕРЕСЕЧЕНИЙ В ОДНОМ УРОВНЕ

Под заглавием, вынесенным в наименование статьи, в 1975 году на кафедре городского строительства КИСИ А.А.Рыжковым была защищена диссертация на соискание степени кандидата технических наук [1].

Еще тогда, анализируя генпланы городов, А.А.Рыжков отметил, что в Киеве, например, было предусмотрено около 200 кольцевых пересечений (КП), а в Донецке вместе с Макеевкой – 213 КП.

Как обстоят дела на сегодняшний день в отношении КП? Приходится констатировать, что из-за возросшей интенсивности движения транспорта возросли и задержки транспортных средств. Поэтому уже в 80-х годах наметился процесс замены КП на перекрестки со светофорным регулированием.

Первая такая замена в Киеве коснулась Голосеевской площади, за ней последовали пл.Толстого, Европейская, Московская, Ленинградская, Соломенская площади и, наконец, Харьковская площадь, которая имела наибольший радиус центрального островка.

Возникает вопрос, где же место КП в цепочке городских транспортных пересечений различного типа по критерию задержек.

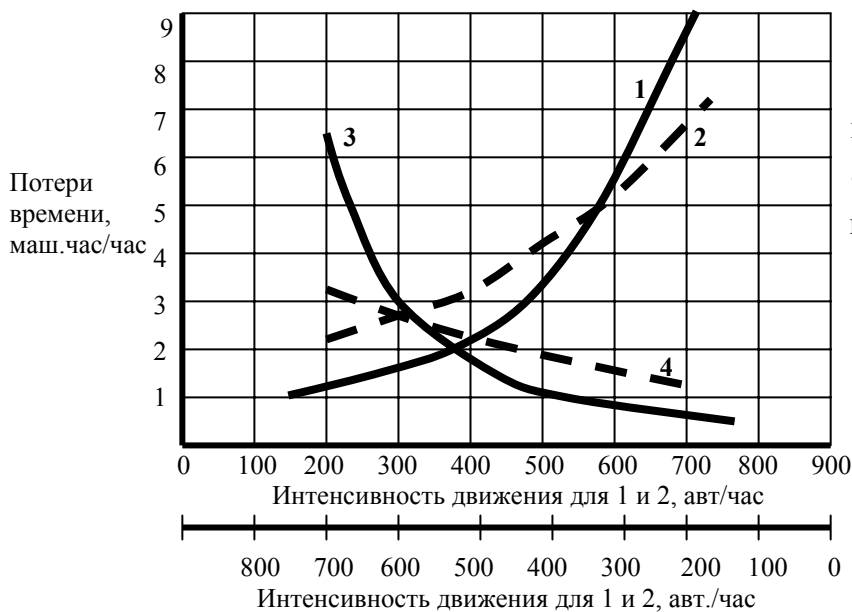


Рис.1 Сравнение суммарных потерь времени (1 и 2) и потерь от простоя (3 и 4) на кольцевом пересечении (1 и 3) и регулируемом перекрестке (2 и 4) при равенстве пересекающихся (сливающихся) потоков транспорта.

Например, А.А.Рыжков указывал, что при интенсивностях сливающихся потоков до 570 авт./час и 20% объеме левоповоротных экипажей величина задержек на КП меньше, чем на регулируемых перекрестках. При более высоких интенсивностях картина меняется.

При этом играет роль какой тип КП мы рассматриваем. Все КП можно разделить по транспортному и планировочному признакам.

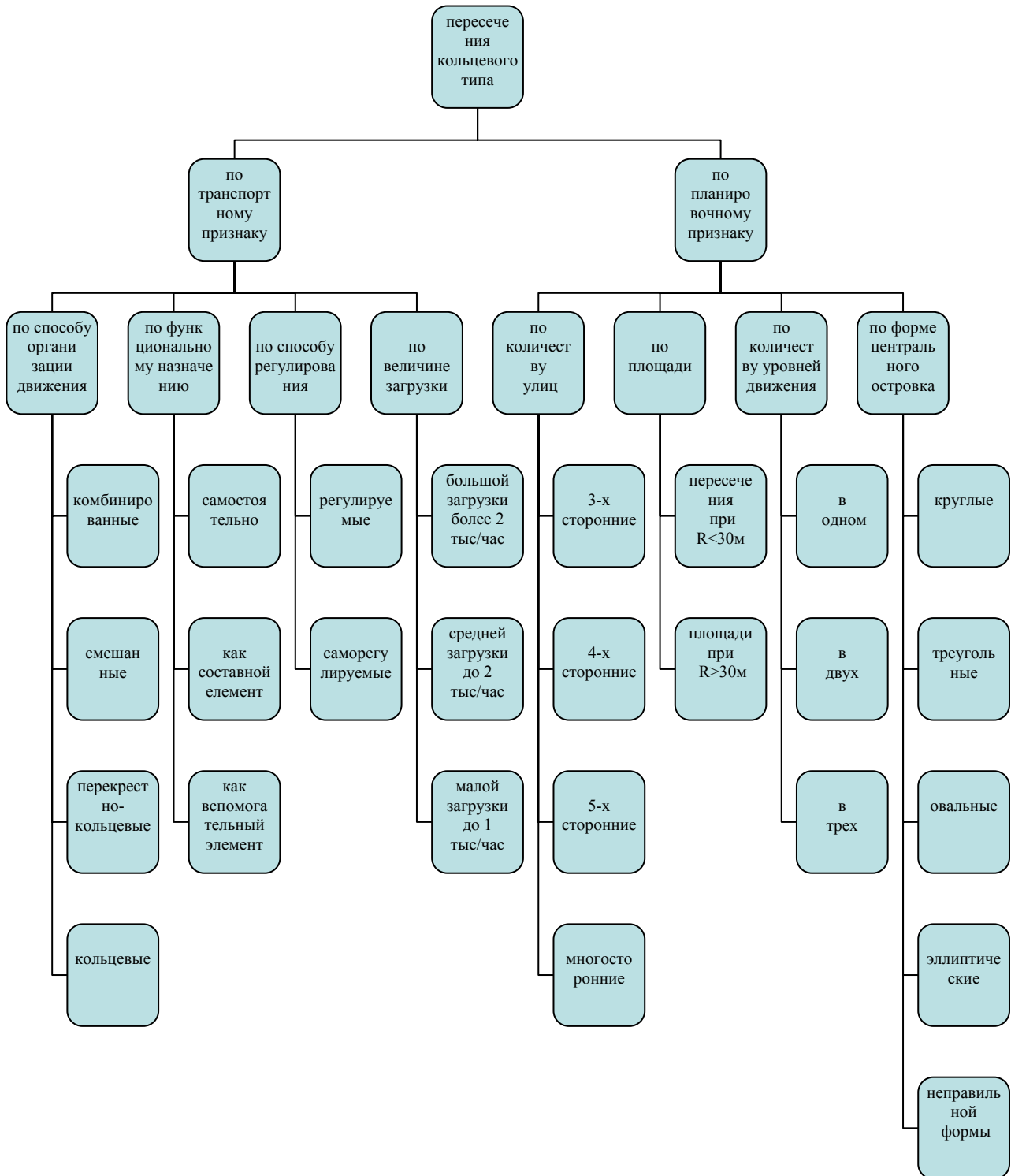


Рис.2

Обобщение исследований различных типов пересечений на улично-дорожной сети городов позволило А.А.Рыжкову построить график границ их рекомендуемого применения и определить при этом место КП среди других типов транспортных развязок.

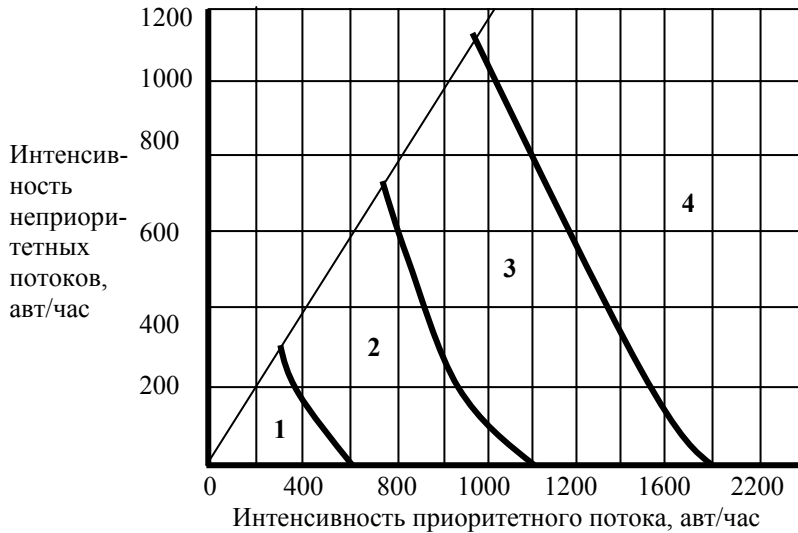


Рис.3 Границы целесообразного применения различных типов пересечений городских магистралей.
1-нерегулируемый перекресток;
2-саморегулируемое кольцевое пересечение;
3-регулируемый перекресток;
4-пересечение в разных уровнях.

В последние годы проектировщики дорожных коммуникаций мало используют КП со светофорным регулированием. Основной причиной этого является то, что они занимают значительную территорию, которая в населенных пунктах является весьма ценной. Это верно, если развязка проектируется в виде круга большого радиуса, определяемого условием переплетения потоков и регулирования движения дорожными знаками. В этих случаях предпочтение обычно отдается значительно меньшей площади, но при значительно больших задержках.

Противоречие «занимаемая площадь – транспортные задержки» можно решить компромиссно при помощи регулируемого кольцевого перекрестка [2] (рис.4). Диаметр круга определяется необходимой зоной для автомобилей, совершающих левый поворот. В дальнейшем приведем сравнение такого перекрестка с четырехсторонним перекрестком с аналогичными геометрическими элементами (рис.5). На обоих перекрестках пешеходное движение выполнено в разных уровнях.

Сравнение по занимаемой площади.

Кольцевой узел.

На рис.5 приведены элементы в виде коробовой кривой $R_1 = 80\text{м}$, $R_2 = 40\text{м}$, $\alpha = 33^\circ 30'$, $\gamma = 28^\circ 25'$.

Рис.4 Регулируемый кольцевой перекресток.

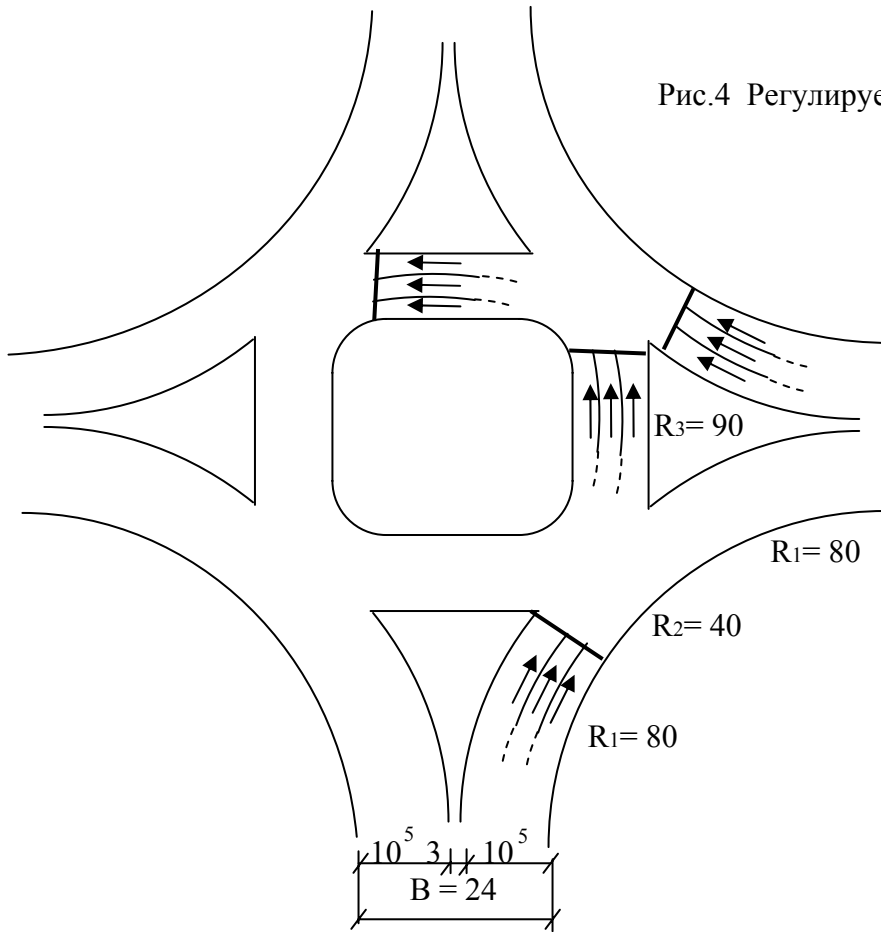
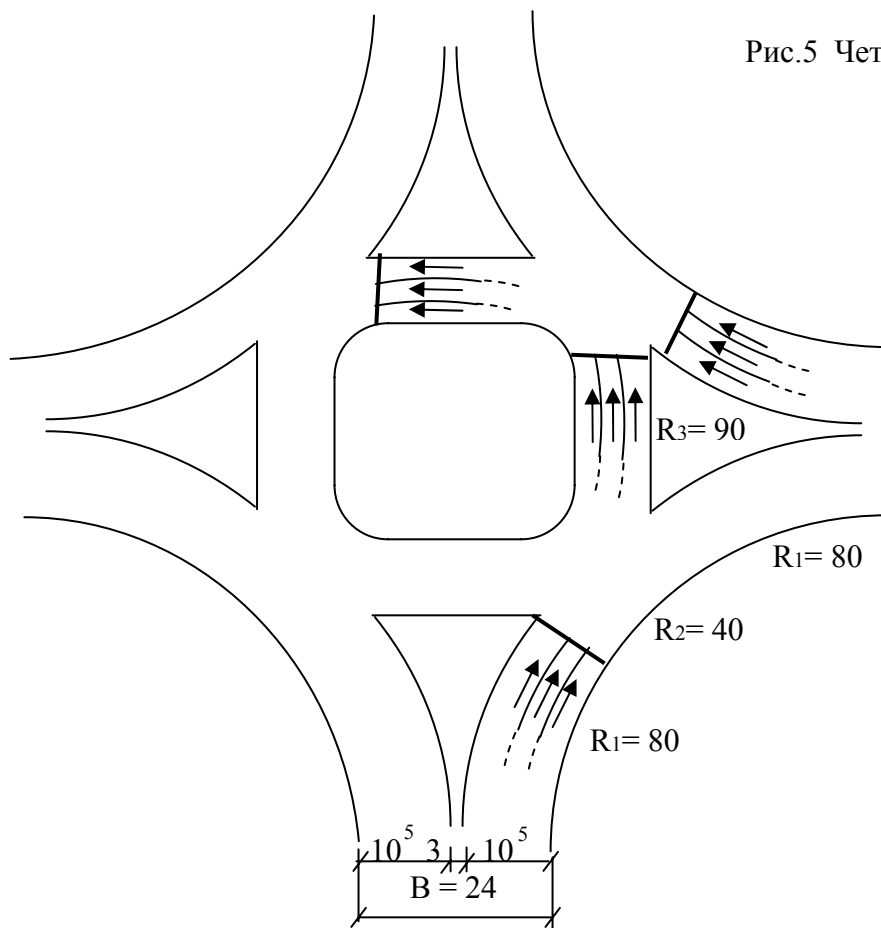


Рис.5 Четырехсторонний перекресток.



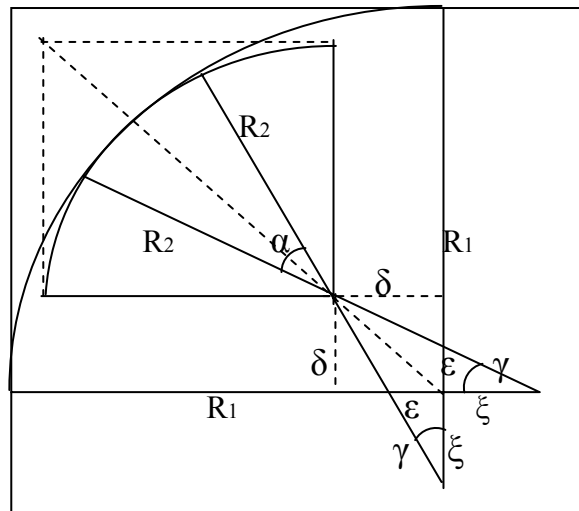


Рис.6 Элементы коробовой кривой.

Дополнительная площадь по сравнению с нормальными профилями пересекающихся улиц равняется:

$$\Delta F = 4[(R_1 - \xi)^2 - F_{\text{сект}}], \quad [\text{m}^2] \quad (1)$$

где

$$\gamma = \frac{90 - \alpha}{2}, \quad [^\circ] \quad (2)$$

$$\delta = R_2 \sin \gamma, \quad [\text{m}] \quad (3)$$

$$\frac{\delta + \xi}{\delta} = \cot g \gamma$$

$$\xi = \delta(\cot g \gamma - 1) = \delta \left(\frac{1 - \text{tg} \gamma}{\text{tg} \gamma} \right), \quad [\text{m}] \quad (4)$$

$$\frac{\delta + \xi}{\delta} = \frac{\epsilon}{E} \quad E = \frac{\delta \xi}{\delta + \xi}, \quad [\text{m}] \quad (5)$$

$$F_{\text{сект}} = \Pi R_2^2 \frac{\alpha}{360} + 2\Pi R_1^2 \frac{\gamma}{360} - \left[\frac{(\xi + E)\delta}{2} + \frac{\xi E}{2} \right], \quad [\text{m}^2] \quad (6)$$

$$\delta = 18,95\text{m}, \xi = 16,35\text{m}, E = 8,78\text{m}, F_{\text{сект}} = 3319\text{m}^2$$

$$\Delta F = 2744\text{m}^2$$

Площадь всего узла равняется

$$\Phi_0 = \Delta F + 4(R_1 - \xi)B + B^2 = 2744 + 6110 + 576 = 9430\text{m}^2$$

Четырехсторонний перекресток.

Дополнительная площадь по сравнению с нормальным профилем пересекающихся улиц равняется:

$$\Delta F = 4 \left[40^2 - \frac{\Pi \times 40^2}{4} \right] = 1370 m^2$$

Площадь всего перекрестка равна:

$$\Phi_4 = \Delta F + 4RB + B^2 = 1370 + 4 \times 40 \times 24 + 24^2 = 5786 m^2$$

Таким образом, видно, что площадь, занимаемая кольцевым дорожным узлом, примерно на 63% больше, чем площадь четырехстороннего перекрестка.

Сравнение по транспортно-техническим параметрам.

Задержки движения на входах на перекрестки.

Сравнение выполнено при следующих допущениях:

- Задержки относятся к пересекающимся потокам двух входов, движущимися направо (Q_1, Q_2);
- Четырехсторонний перекресток нагружен взаимно пересекающимися левыми поворотами (Q_3, Q_4), равными пропускной способности левых поворотов ($\Pi_{л1}$ и $\Pi_{л2}$) кольцевого перекрестка;
- Для удобства значения потока насыщения одинаковы для всех рассматриваемых случаев – 1925 авт/час, а для Q_1 и Q_2 приняты значения от 50 до 800 авт/час через 50 авт/час.

Кольцевой перекресток.

В расчетах использовались следующие выражения:

$$y_i = \frac{Q_i}{S} \quad [-] \quad (7)$$

$$T_y = \frac{1,5L + 5}{1 - \sum_1 Y_i} \quad [s] \quad (8)$$

$$t_{3,i}^{ef} = \frac{Y_i}{\sum_{i=1} Y_i} (T_y - L) \quad [s] \quad (9)$$

$$\lambda_i = \frac{t_{3,i}^{ef}}{T_y} \quad [-] \quad (10)$$

$$x_i = \frac{Q_i}{\lambda_i S} \quad [-] \quad (11)$$

$$d_i = \frac{T_y(1 - \lambda_i)^2}{2(1 - \lambda_i x_i)} + \frac{x_i^2}{2 \frac{Q_i}{3600}(1 - x_i)} - 0,65 \left[\frac{T_y}{\left(\frac{Q_i}{3600} \right)^2} \right]^{\frac{1}{3}} \times x_i^{(2+5\lambda_i)} \quad [з/авт] \quad (12)$$

$$D_i = d_i Q \quad [\text{кола.s/h}] \quad (13)$$

$$D = \sum_{i=1}^2 D_i \quad [\text{кола.s/h}] \quad (14),$$

Y_i - фазовый коэффициент;

L - потерянное время в цикле, с;

$T_{ц}$ - длительность цикла, с;

$t_{3,1}^{ef}$ - эффективная длительность фазы, с;

x_i - степень насыщения;

d_i - средняя задержка одного автомобиля данных входа и фазы, секунда на автомобиль;

D_i - общая задержка на входе, автомобиль-секунда на час;

D - общая задержка на перекрестке, автомобиль-секунда на час;

Движение регулируется в две фазы. При помощи матрицы промежуточного времени определено, что:

$$L_1 = 7-1 = 6\text{с}, L_2 = 7-1 = 6\text{с}, L = L_1 + L_2 = 12\text{с}.$$

Четырехсторонний перекресток.

Допущение о том, что перекресток нагружен левыми поворотами Q_3 и Q_4 , равными левым потокам $\Pi_{л1}$ и $\Pi_{л2}$ вызывает необходимость четырехфазного регулирования движением.

$$\Pi_{л1} = t_{3,1}^{ef} \frac{S}{T_{ц}} = Q_3 \quad [\text{E/h}] \quad (15) \quad \Pi_{л2} = t_{3,2}^{ef} \frac{S}{T_{ц}} = Q_4 \quad [\text{E/h}] \quad (16)$$

$T_{ц}$ и $t_{3,1}^{ef}$ определены по формулам (7), (8) и (9) для Q_1 и Q_2 при кольцевом узле. Для конкретного кольцевого узла в зоне ожидания поворота налево накапливается не более 15 единиц/цикл, т.е. максимальная пропускная способность левого поворота в одной фазе равняется:

$$\Pi_{л}^{\max} = 15 \frac{3600}{T_{ц}}, \quad (\text{E/h}) \quad (17)$$

Если $\Pi_{л1}$ и $\Pi_{л2}$ больше, чем $\Pi_{л}^{\max}$, для Q_3 и Q_4 принимается $\Pi_{л}^{\max}$. Значения $t_{3,3}^{ef}$ и $t_{3,4}^{ef}$ равны, соответственно:

$$t_{3,3}^{ef} = \frac{Q_3}{S} T_{ц} \quad [\text{s}] \quad t_{3,4}^{ef} = \frac{Q_4}{S} T_{ц} \quad [\text{s}] \quad (18)$$

В данном случае $T_{ц}$ – это цикл кольцевого узла для Q_1 и Q_2 . Тогда при расчете L необходимо добавить 4с для четырех фаз, и получим:

$$L = 4 + (Q_3 + Q_4) \frac{T_{ц}}{S} \quad [\text{s}] \quad (19)$$

Последовательность расчета следующая:

- для заданных Q_1 и Q_2 кольцевого узла определяются Q_3 и Q_4 , и рассчитывается L по формуле (19);
- по формулам (7) - (14) рассчитываются задержки D при $i = 1, 2$ для прямых потоков Q_1 и Q_2 .

Пропускная способность левоповоротного потока.

Кольцевой узел.

Каждой паре значений Q_1 и Q_2 соответствуют определенные значения $T_{ц}$, $t_{3,1}^{ef}$, $t_{3,2}^{ef}$, для которых по формулам (15) и (16) определяются пропускаемые налево потоки $\Pi_{л1}$ и $\Pi_{л2}$. каждый из них не может превышать $\Pi_{л}^{max}$, определенный по формуле (17).

Выполненные расчеты показали, что зависимость суммы $\Pi_{л1}$ и $\Pi_{л2}$ от Q_1 и Q_2 , т.е. $\sum_{i=1}^2 \Pi_{л,i} = f(Q_1, Q_2)$ является линейной.

Значения $\sum_{i=1}^2 \Pi_{л,i}$ резко уменьшаются при значениях Q_1 и Q_2 , для которых действительно ограничение:

$$\Pi_{л,i} = \Pi_{л}^{max} = 15 \frac{3600}{T_{ц}} \quad (20),$$

но независимо от этого абсолютное значение достаточно высокое.

Четырехсторонний перекресток.

При одинаковом режиме регулирования кольцевого узла (2 фазы):

$$\Pi_{л,1} = \Pi_{л,2} = \Pi_{л}^{max} = 2 \frac{3600}{T_{ц}} \quad (21)$$

$$\sum_{i=1}^2 \Pi_{л,i} = 2\Pi_{л}^{max} = 4 \frac{3600}{T_{ц}} \quad (22)$$

Зависимость $\sum_{i=1}^2 \Pi_{л,i} = f(Q_1, Q_2)$ является линейной и при $Q_1 + Q_2 = S$ стремится к нулю.

На основании приведенных расчетов сделаны следующие выводы:

1. При аналогичных ситуационных параметрах КП со светофорным регулированием занимает большую площадь, чем четырехсторонний перекресток.
2. При всех комбинациях Q_1 и Q_2 и при обеспечении одинаковой пропускной способности левого поворота у четырехстороннего перекрестка задержки движения больше, чем у кольцевого узла.
3. Четырехсторонний перекресток функционирует лучше, чем кольцевой, только если не имеется правоповоротных потоков (или если они не более 2 авт./цикл в одном направлении).
4. КП может пропускать значительные левоповоротные потоки без изменения оптимального режима регулирования в две фазы. У четырехстороннего перекрестка при наличии интенсивных

левоповоротных потоков необходимо использовать дополнительные фазы, что вызывает резкое повышение простоев.

Применение КП со светофорным регулированием является целесообразным в случаях наличия интенсивных левоповоротных потоков.

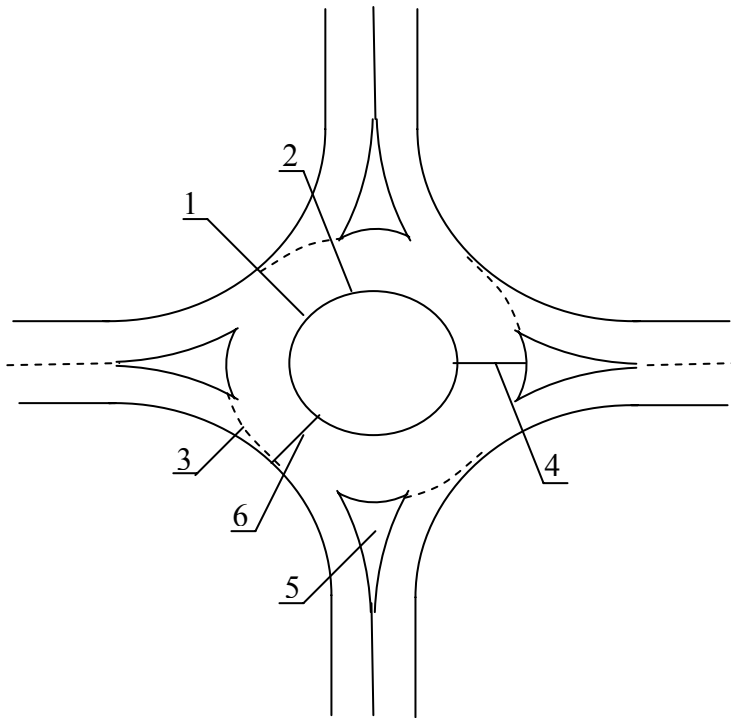


Рис.7 Схема кольцевого перекрестка с однополосным движением.

- 1- линия безопасности;
- 2-центральный островок безопасности, включая линию безопасности;
- 3-линия пересечения с главной дорогой;
- 4-круговая полоса движения автомобилей;
- 5-разделительный островок;
- 6-вписанный диаметр

Проведенные в Западной Европе в течение последних 5 лет исследования показали, что при замене обычных пересечений КП число ДТП снизилось [3]. В Нидерландах за счет устройства КП удалось достигнуть снижения на 95% числа пострадавших при ДТП водителей и пассажиров. На городских дорогах Франции число пострадавших и раненых при въезде на КП составило 4 случая на 100 млн. автомобилей, а на обычных пересечениях с линией остановки автомобилей перед пешеходным переходом этот показатель равен 12 случаев на 100 млн. автомобилей. КП, обустроенные в большинстве городских и пригородных зон Франции, включают жилые кварталы, которые являются предпочтительнее по условиям безопасности по сравнению с регулируемыми пересечениями. Ряд исследований отмечают, что крупные КП с расширенным въездом и большим числом мотоциклистов менее безопасны, чем остальные пересечения такого типа.

На дорогах Германии показатель аварийности при въезде на небольшие КП, на регулируемые перекрестки и на старых обходных дорогах соответственно равен 1,24; 3,35; 6,58 случаев на 1 млн. автомобилей.

Проведенный в Норвегии анализ ДТП также показал, что КП безопаснее регулируемых. Число ДТП с пострадавшими пассажирами на трех и

четырёхсторонних КП соответственно составило 3 и 5 случаев на 100 млн. автомобилей. Для Т-образных и Х-образных перекрестков этот показатель соответственно равен 5 и 10 случаев на 100 млн. автомобилей. На рис.8 показаны результаты сравнительной оценки безопасности движения на кольцевых и Х-образных перекрестках, где 1 – число ДТП/год со смертельным исходом и ранением; 2 – коэффициент соотношения второстепенных и общих средних суточных интенсивностей движения; 3 – регулируемый; 4 и 6 – общая среднесуточная интенсивность движения на въезде; 5 – стоп-линия (регулирование); 7 – Х-образный перекресток; 8 – кольцевое пересечение.

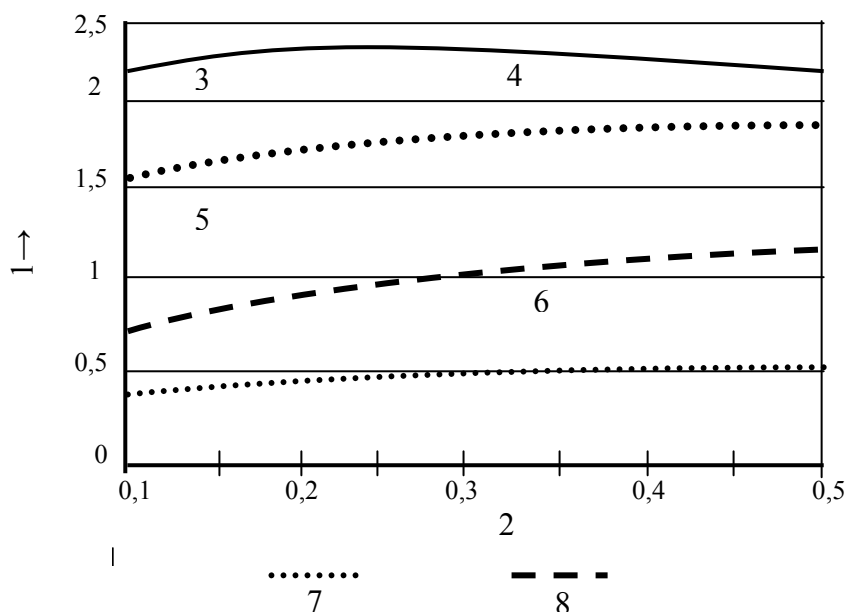


Рис.8

Пешеходы отмечают большую степень удобства и безопасности движения на КП благодаря наличию разделительных островков и островка безопасности, снижению скорости движения автомобилей на въезде по сравнению с традиционными перекрестками. В некоторых странах зарегистрировано повышение числа ДТП с участием мотоциклистов после строительства КП. В то же время в Нидерландах отмечено снижение числа ДТП с участием мотоциклистов с 1,3 до 0,37 случаев/год на 181 обычном перекрестке после переоборудования их для кругового движения.

В последние годы круговое движение получает все большее распространение в США. По оценке дорожных служб штатов Флорида, Мериленд и Невада замена Т-образных и Х-образных перекрестков кольцевыми значительно снизила частоту ДТП. В шт. Флорида за счет обустройства КП ожидается улучшение условий движения транспортных потоков. На однополосных четырехсторонних КП с интенсивностью движения до 2,1 тыс.

авт./час зареєстрована найменша величина затримок транспортних засобів по порівнянню з іншими типами перехрестий доріг. Величина зменшення затримок автомобілів в діапазоні від 0 до 10 с/автомобіль залежить від інтенсивності руху на в'їзді перехрестя і прийнятої системи управління дорожнім рухом. Двухполосний чотирьохсторонній КР розрахований на пропуск близько 4 тис. авт./год. Затримки автомобілів на такому перехресті значно менше, ніж на звичайних регульованих перехрестях.

Таким чином, заміну регульованих перехрестів на КР і навпаки потрібно підходити диференційовано, залежно від того, якого типу КР, де воно розташоване, яка величина інтенсивності руху вхідних потоків і їх розподіл по напрямках і т.п.

Литература

1. Рыжков А.А. Исследование кольцевых саморегулируемых пересечений в одном уровне / Дис., к.т.н., К.: КИСИ, 1975. – 132с.
2. Табаков П. Кръгово светлинно регулирано кръстовище / Пътища. – 1990. - № 6. – С. 10 – 12.
3. Roundabouts. Improving road safety and increasing capacity // TR News. – 1997. - № 191. – С. 13 – 15, 27.

Аннотация

Приведен сравнительный анализ обычных и кольцевых пересечений со светофорным регулированием по следующим параметрам: занимаемой площади; величине задержек транспортных средств; пропускной способности; количества ДТП.

Анотація

Наведено порівняльний аналіз звичайних та кільцевих перехресть зі світлофорним регулюванням по наступним параметрам: площі; величині затримок транспортних засобів; пропускній спроможності; кількості ДТП.