

ПРОЕКТИРАНЕ И ОПРЕДЕЛЯНЕ НА ПРОПУСКАТЕЛНА СПОСОБНОСТ НА КРЪГОВИ КРЪСТОВИЩА

Доброслав Симеонов, Георги Георгиев

dss54@abv.bg, gezibg@yahoo.com

**ВТУ „Тодор Каблешков”, 1574 гр. София, 158 Гео Милев
БЪЛГАРИЯ**

Ключови думи: *Кръгово кръстовище, Скоростен профил, Проектна скорост, Геометрия на входовете, Безопасност, Пропускателна способност.*

Резюме: *В доклада са разгледани пътно-транспортни проблеми свързани с кръстовища от кръгов тип. Изследвани са стандарти, насоки и практики на други държави, с цел да се разработят препоръки за изграждане на ефективни кръгови кръстовища у нас. Анализирани е скоростта на превозното средство при вливане и отливане от кръгов сегмент. Направена е връзка между скорост и хоризонтална крива. Представени са геометричните параметри на входовете и изходите със съответните предимства и недостатъци. Описани са най-честите видове пътно-транспортни произшествия, изтъкнати са предимствата за повишаване нивото на безопасност, подробно са разгледани пропускателната способност и степенята на използване на кръговите кръстовища. Използвани са най-новите методи за изследване на транспортните потоци на база на преброяване на автомобилно движение. Оценени са: сумарният обем на смесващите се потоци; коефициента на преплитане; приемливи празни интервали от време, необходими на подчинения поток да се включи в циркулиращия; максималната часова пропускателна способност и др..*

Изследването може да подпомогне проектантите при вземането на решение за типа на пресичане на транспортните потоци и да се използва от пътно-транспортните инженери, ангажирани в сферата на определяне на пропускателната способност на кръстовища от кръгов тип. Може да се използва и като средство в подкрепа на политиката за популяризиране и стандартизиране на този вид кръстовища.

Траекториите на повечето участници в пътното движение, разгледани в хоризонтален план често пъти се пресичат на едно ниво. В точката на пресичане – кръстопът възникват конфликтни ситуации между водачите, движещи се в противоположни или попътни посоки, като възникват задръжки и/или пътно-транспортни произшествия (ПТП). Ето защо пропускателната способност на кръстовищата не рядко се явява критичен фактор на експлоатацията на пътя, като цяло или в определени посоки.

Кръговите кръстовища са форма на движение част от транспортната система на Обединеното кралство (УК) от 1905г. Това е форма на движение, при която

автомобилните потоци се движат по или обратно на часовниковата стрелка (в страни с дясно движение), около централен остров. Първоначално този тип кръстовища са имали редица проблеми, свързани със задръствания, тежки ПТП, ниска пропускателна способност и др. Това кара Английската пътна лаборатория (RRL) да направи редица изследвания с помощта на които да се оптимизира работата на този тип пресичания. През 1966 г. се приема правило, което гласи че входящият поток се подчинява на циркулиращия. Това правило предотвратява блокирането на кръстовището и позволява намаляването на централния остров, а по-малкият остров от своя страна намалява скоростта на циркулиращия поток. Тази на пръв поглед дребна, но съществена промяна в организацията на движението подробно, дава на кръговите кръстовища съществено предимство пред сигнално регулираните такива. С тези промени се подобряват, както безопасността на кръговите кръстовища, т.е. намалява се броят и тежестта на стълкновенията и се подобрява пропускателната способност.

Проектирането на геометрията на кръгово кръстовище включва избор между компромисни нива за безопасност и капацитет. Кръговите кръстовища работят най-безопасно, когато геометрията е такава, че забавя превозните средства. Тесните бурдюрни криви също спомагат скоростта да остане ниска. От друга страна това намалява капацитета на кръстовището, което води до образуване на колонно движение преди навлизането в него, а това увеличава, както индивидуалните разходи на всеки водач, така и повишава вредните емисии в района, шума и запрашеността. Освен тези два аспекта геометричните параметри се регулират и от изискванията за маневриране на най-големите превозни средства (съчленени автобуси, съчленени камиони и автовлакове), които се очаква да преминат през кръстовището.

Докато основните форми на кръговите кръстовища са еднакви, независимо от тяхното местоположение, много от техниките за проектиране и планиране са различни в зависимост от скоростта, въздействието върху околната среда и желания капацитет на отделните входове. В извънградска среда приоритет се дава на скоростта, докато в градска среда на първо място се поставя безопасността на пешеходците и велосипедистите.

В зависимост от вида на кръговото кръстовище (еднолентово или многолентово) техниките за проектиране значително се различават.

При изграждане на нов възел и/или реконструкция на съществуващ, първият идеен проект трябва да бъде кръгово кръстовище.

Американският департамент по транспорт предлага следната последователност при разглеждането на спецификата за дадено пресичане на транспортни потоци.[1]

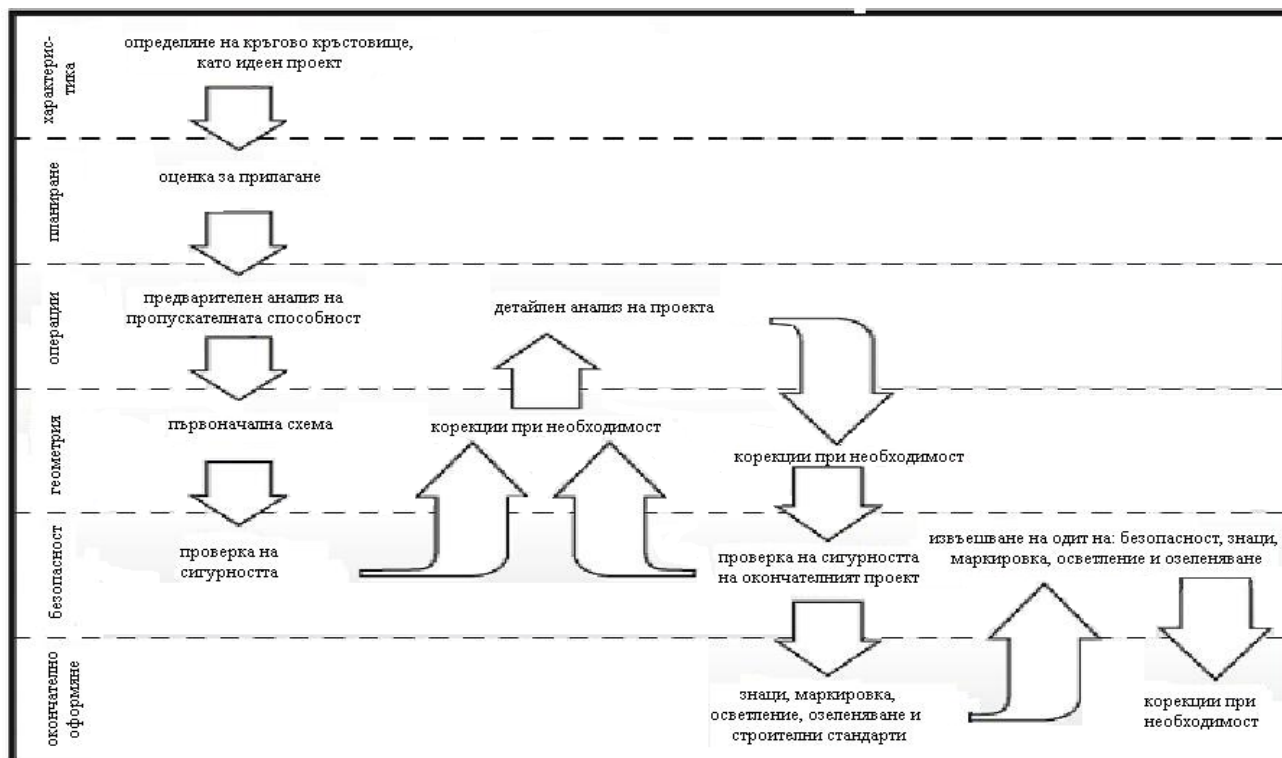


схема1

Необходимо е оформянето на пресичането да премине няколко пъти през операции геометрия и безопасност, защото малки промени в геометрията, могат да доведат до съществени промени, както в безопасността, така и в производителността (пропускателната способност) на кръстовището.

Първо се изготвя скица с нивата на детайлност. Въпреки, че имаме желание веднага да изградим пресичането детайлно, трябва да се съобразим с действащата нормативна уредба и да съвместим отделните компоненти един с друг. Преди окончателно да дефинираме геометрията, трябва да определим и следните три фундаментални елемента в предварителната фаза на проектиране:

1. Оптимален размер на кръговото кръстовище;
2. Оптимална позиция на кръговото кръстовище;
3. Оптимално групиране и подреждане на транспортните средства в подхода към кръговото кръстовище.

Принцип на проектиране

Най-критични трябва да бъдем към дизайна, тъй като той има сериозно влияние върху безопасността и постигането на подходяща скорост на автомобилния поток в кръга. Едно добре проектирано кръгово кръстовище, трябва да понижава относителните скорости на конфликтните автомобилни потоци, както при отливане, така и при вливане в циркулиращия поток.

Скоростен профил

Схема 2 показва типичните скорости на лек автомобил при приближаване към кръгово кръстовище. Забавянето става в подхода към кръговото кръстовище на приблизително 100 m от центъра на кръстовището. Това забавяне спомага на приближаващите водачи по-сигурно, ефективно и безопасно да изберат желаната от тях лента за движение и така да намалят бъдещи конфликти при навлизане в кръга. Забавянето в подхода също така има за цел да приближи (уеднакви) скоростта на движение на двата потока.[2]

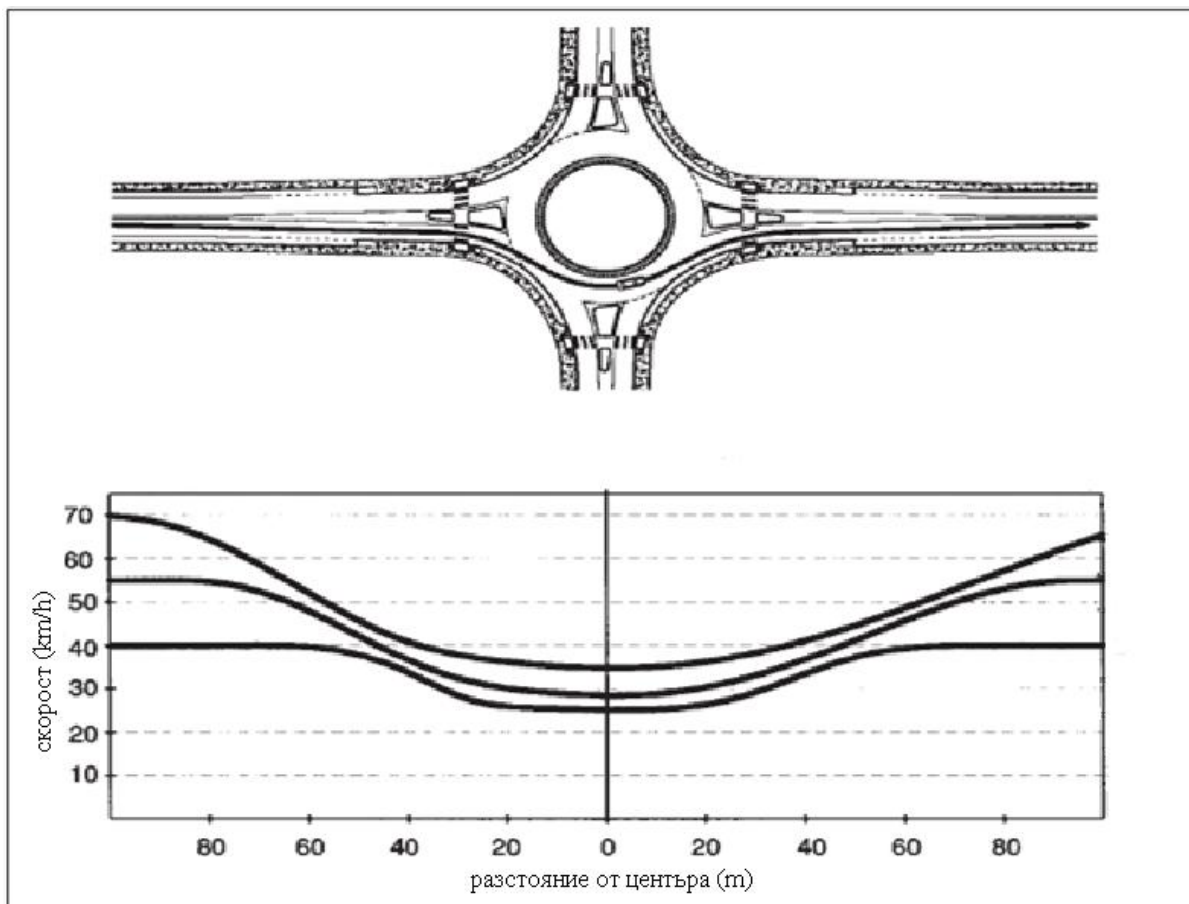


Схема 2

Проектна скорост

Международни изследвания са доказали, че при еднолентови кръстовища, с увеличаване на кривината на кръга, т.е. намаляване на централния остров, скоростта на циркулиращия поток намалява значително. Това от своя страна води до агресивно поведение на водачите от входовете и броя и тежестта на пътно-транспортните произшествия (ПТП) се увеличават. При многолентови кръгови кръстовища с увеличаване на кривината се създава приближаване на циркулиращите потоци. Водачите навлизат в съседното платно за движение, което е причина за възникване на странични сблъсъци. Затова проектната скорост трябва да е подбрана, така че да се минимизират произшествията. Връзката между скорост на движение и хоризонталната крива е документирана от AASHTO в норми за проектиране на магистрали и улици, известна като „зелената книга”. [1] Формулата, която може да бъде използвана за изчисление на скоростта е:

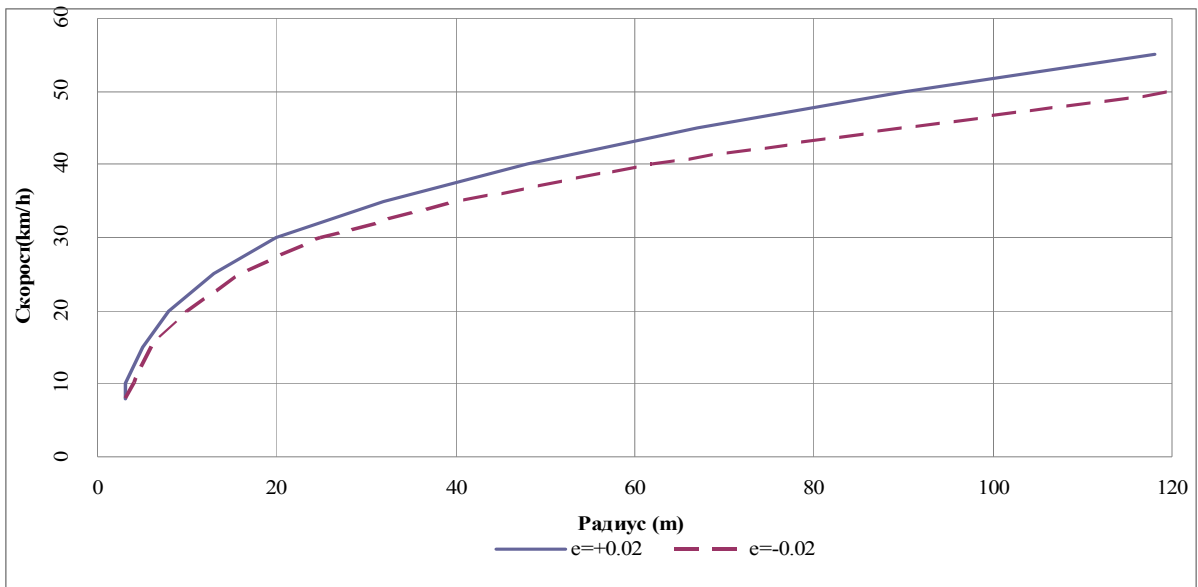
$$(1) \quad V = \sqrt{127 \cdot R \cdot (e + f)}$$

където V-проектна скорост[km/h]; R-радиус[m]; e-страничен наклон[±0.02‰]; f-коэф. на триене

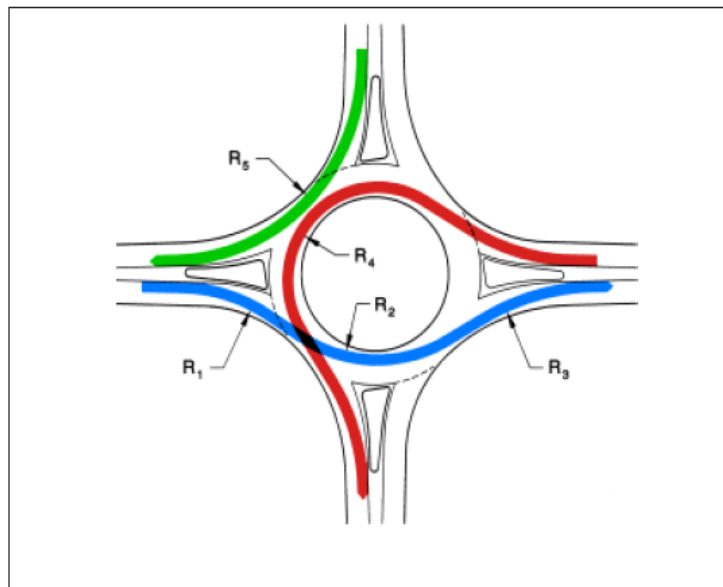
А можем да използваме и диаграма 1 и фиг.1. На фиг.1 са изобразени маневрите със съответните радиуси:

- ❖ R₁, R₂, R₃ – синя линия – движение направо;
- ❖ R₄ – червена линия – ляв завой;
- ❖ R₅ – зелена линия – десен завой

Скоростите трябва да се определят за всеки вход (право, ляво, дясно). Обратна „U” маневра се смята като „удължен” ляв завой.



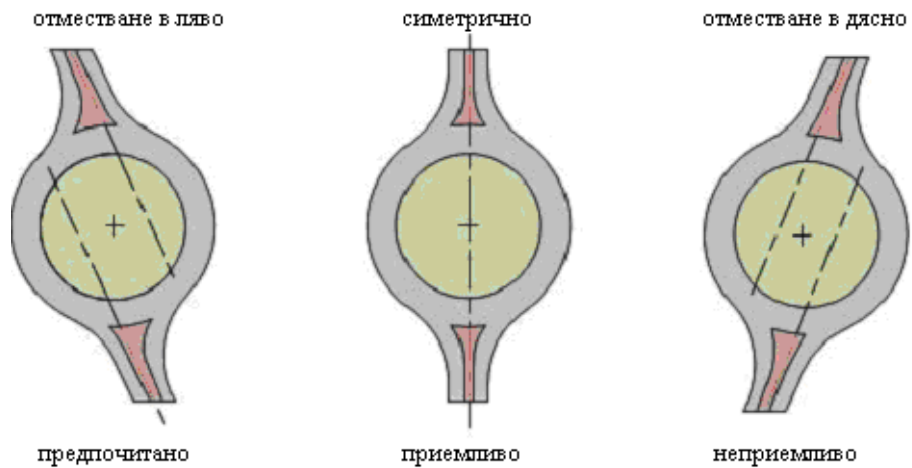
Диаграма1



фиг.1

Геометрия на входовете

Възможните подходи към кръгово кръстовище са:[2],[3]



фиг.2

Табл. 1

	Отместване на ляво (предпочитани при незначителни пешеходни потоци)	Симетрично	Отместване на дясно
Предимства	- намалява скоростта на входа; - подобрена видимост при навлизане; - благоприятни за вписване на дълги превозни средства; - намалява броя на инциденти тип „удар от дясно“.	- радиуса на изхода дисциплинира водачите да поддържат ниска скорост; - намалява корекциите на входа.	- въпреки, че не се прилага може да има някои предимства като: минимизиране на сблъсъци, подобряване на ъгъла на видимост и др.
Недостатъци	- при излизане скоростта се увеличава; - повишена конфликтност с пешеходци и велосипедисти на излизане от кръга.	- може да изисква по-голям радиус на централния остров; - големите радиуси на входа/ изхода намаляват контрола в/у водачите т.е. скоростта се увеличава	- трудно се постига контрол в/у скоростта; - намалява скоростта на изхода

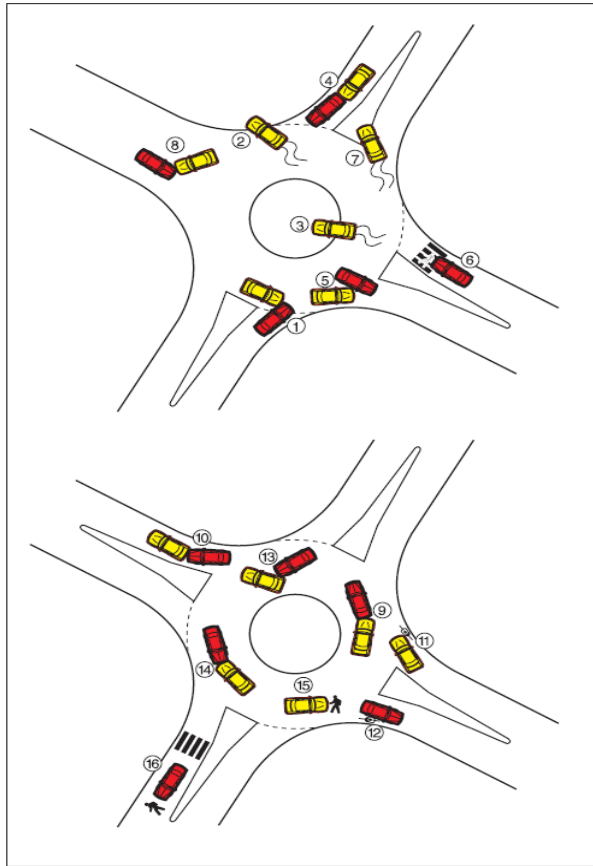
Безопасност

При проектиране на кръгово кръстовище е необходимо да знаем, къде и какви ПТП възникват. Когато има изградени модели за безопасност, това подпомага както планирането и проектирането, така и оптимизира придвижването на автомобилни, пешеходни и велосипедни потоци. Установено е че кръговите кръстовища подобряват общото ниво на безопасност.

Изследване направено във Франция за периода 1984-1988г. е установило 202 ПТП възникнали на 179 кръгови кръстовища[1],[2]. Разпределението на стълкновенията е следното:

Вид на сблъсък	Процент
1 Отнемане на предимство при включване в кръга	36,6%
2 Загуба на контрол в кръга	16,3%
3 Загуба на контрол при навлизане	11,4%
4 Удар от зад при навлизане	7,4%
5 Неправилно излизане на циркулиращ автомобил	5,9%
6 Отнемане на предимство на пешеходец	5,9%
7 Загуба на контрол при излизане	2,5%
8 Загуба на контрол на циркулиращ и удар във входящ автомобил	2,5%
9 Удар от зад при движение в кръга	0,5%
10 Удар от зад при излизане	1,0%
11 Удар на велосипедист при навлизане	1,0%
12 Удар на велосипедист или пешеходец при излизане	1,0%
13 Страничен удар в циркулиращ автомобил	2,5%
14 Грешна посока в кръга	1,0%
15 Пешеходец неправилно навлязъл в циркулиращата лента	3,5%
16 Пешеходец пресичащ извън пешеходната пътека	1,0%

Тази статистика красноречиво говори, че кръговите кръстовища са най-безопасната форма на канализиране на движението.



фиг.3

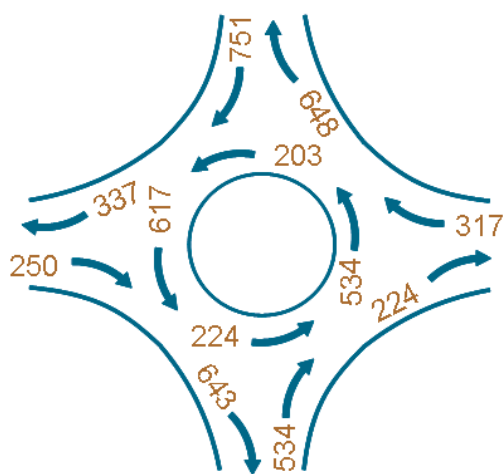
Приоритетите за повишеното ниво на безопасност са:

- не са необходими средства за поддържане на светофари, контролери и др. скъпа техника;
- не е необходимо ел. захранване за регулиране на движението;
- кръговите кръстовища имат по-малко конфликтни точки в сравнение с обикновени 4 клонни кръстовища;
- еднолентовите т.е. по-малките кръгови кръстовища са по-безопасни от многолентовите;
- зоните за пешеходци са сравнително къси;
- пешеходците пресичат само по една посока на движение по време на всеки подход;
- намаляването на скоростта на входовете осигурява на водачите повече време за реакция и предприемане на правилни маневри;
- намалява се тежестта на ПТП поради понижената скорост;
- при изградени велотрасета от една страна се увеличава ширината на полезната площ на кръстовището (по-лесно движение на дълги превозни средства), а от друга се намалява скоростта, което позволява и по-лесно и безопасно пресичане на пешеходците;
- малкият брой ПТП намалява загубите, които се пораждат от транспортни задръжки;
- намалените задръжки водят до намаляване на вредните емисии и др.

Пропускателна способност

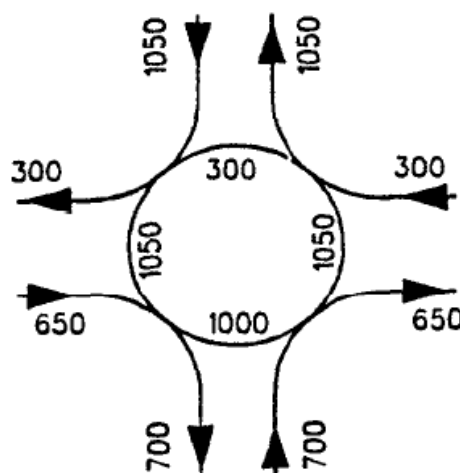
Пропускателната способност на кръгово кръстовище се определя от общата способност на пропускане на отделните участъци на преплитане. Тези участъци са

зоните от кръга в границите, на които транспортните средства от противоположните посоки на движение се пресичат или се сливат едни с други. За правилното определяне на този обем трябва да знаем абсолютните и относителните размери на преплитащите се потоци.



фиг.4

или



фиг.5

Сериозни изследвания в областта на установяването на влиянието на сумарния обем на смесващите се потоци и на пропускателната способност на участъци на смесване са направени през 1949г. в Ню Йорк. Тези резултати са публикувани от Шроуп през 1951г.[6]

$$(2) \quad W = V_1 + V_2$$

където W – сумарен обем на преплитане; V_1 – циркулиращ поток; V_2 – входящ поток

Също така е необходимо да се въведе и показателя R (коэф. на преплитане) който характеризира отношението между размерите на срещуположните потоци, които се преплитат помежду си.

През 1955г. Вардруп е направил експериментални изследвания за определяне максималната пропускателна способност на участък с преплитане. Достига до извода, че коефициента на преплитане е равен на: [6]

$$(3) \quad R = \frac{V_1}{V_2}$$

където R – коефициент на преплитане;

V_1 – по-мощният поток след зоната на преплитане;

V_2 - по-слабият поток след зоната на преплитане.

За да се случи това преплитане, трябва да има наличие на приемливи празни интервали от време, в които участниците от подходите да могат безпрепятствено и безконфликтно да се включат в циркулиращият поток.

Уебстър, Вардруп и Небви доказват, че пресичането на циркулиращия поток или смесването с него може да се приеме в границите на 2-3s. Само в отделни случаи на сложно по геометрия проектиране и други неблагоприятни условия, този параметър се увеличава. За определяне на приемливи интервали от време дават следната зависимост: [6]

$$(4) \quad t = \frac{T}{V_1} \cdot \ln(R + n)$$

където t – приемлив празен интервал от време (закръгля се на цяло число, например $t=2,15$ приемаме $t=3$)[s];

T – продължителност на събирането на данни[s];

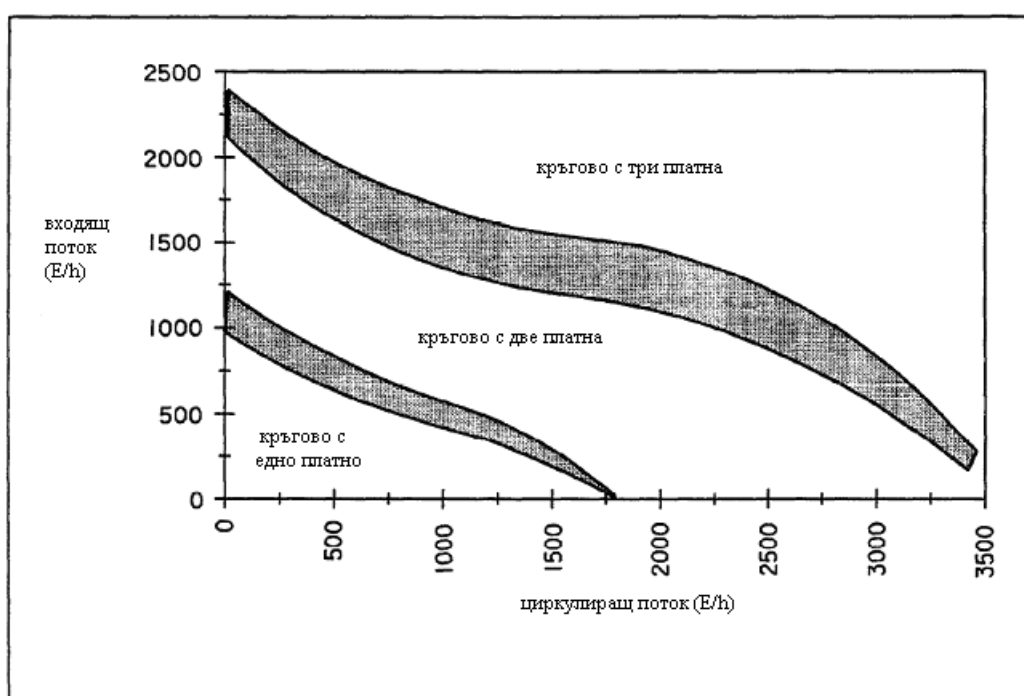
n – брой на лентите.

Полученият модел за определяне на максималната часова пропускателна способност C_{\max} съществително се различава от по-рано предложения. По-съвършен е защото отчита два важни параметъра, а именно коефициента на преплитане и минималния приемлив празен интервал. [6]

$$(5) \quad C_{\max} = \left(\frac{R+n}{R} \right) \cdot \frac{T}{t} \cdot (R+n)$$

Изследванията за определяне на пропускателната способност на кръгови кръстовища посочени по-горе са направени от английската пътна лаборатория (RRL) в периода 1950-1965г.

На база на тези изследвания и получените данни се изготвя диаграма, която се използва и до днес за определяне на транспортните характеристики на кръгови тип.



Диаграма 2

За правилният избор на броя ленти (циркулиращи, входящи и изходящи), в нормите за проектиране на пресичания от кръгов тип се дава следната зависимост:

0-1000 E/h – една лента е достатъчна

1000-1300 E/h – прави се анализ дали една лента е достатъчна

1300-1800 E/h – две ленти са достатъчни

Повече от 1800 E/h – две или повече ленти. Решение се взема след обстоен анализ.

В зашрихованите зони се проучва въпроса дали по-малкият брой ленти ще са достатъчни да поемат автомобилното натоварване. Например имаме циркулиращ поток $V_1 = 1000$ E/h и входящ $V_2 = 500$ E/h. Тогава попадаме в зашрихованата зона и правим изследване. Установяваме че 30% от V_2 са дясно завиващи. При наличие на свободно пространство, отделяме тези превозни средства в обособена лента за дясно завиване, която не навлиза в участък на преплитане. т.е. V_2 намалява на 350 E/h

Опитът е доказал че кръстовища с повече от три ленти за циркулиращия поток не повишават пропускателната способност. В такива случаи се повишава само конфликтността.

В българското законодателство този тип кръстовища не са разгледани обстойно, което води до ограниченото им строителство. В последните няколко години се прави опит те да бъдат популяризирани и у нас, но е желателно първо да обогатим нормативната си база. Световната практика показва че това са безопасни и предпочитани за изграждане кръстовища. Във Франция техният брой надхвърля 30,000, Англия \approx 20,000, Финландия \approx 12,000, U.S.A \approx 10,000 и техният брой продължава да се увеличава, което е доказателство, че те осигуряват оптимален баланс между разходи, функционалност и архитектурно оформление.

ЛИТЕРАТУРА:

- [1] FHWA, Roundabouts: An Informational Guide – Washington DC: U.S. Department of Transport, 2000, 284p.
- [2] NCHRP – Report 672, Roundabouts: An Informational Guide – second editions, AASHTO and FHA, 2010, 407p.
- [3] Roundabouts Geometric Design Guidance, California DOT, 2007, 85p.
- [4] Design Manual, WS DOT, 2013
- [5] Roundabouts Design Guidelines, Maryland DOT, 2009, 76p.
- [6] Анализ транспортных систем, М.Вол Б.Мартин, превод на руски език, „Транспорт”, 1981, 516с. (Traffic system analysis, 1967)

PLANNING AND DESIGN FLOW CAPACITY OF ROUNDABOUTS

Simeonov Dobroslav, Georgiev George
dss54@abv.bg, gezibg@yahoo.com

**Todor Kableshkov University of Transport,
158 Geo Milev Street, Sofia,
BULGARIA**

Key words: Roundabout, Speed profile, Design speed, Entry Geometry, Safety, Throughput

Abstract: The report examined traffic problems associated with intersections of circular type. Were tested standards, guidelines and practices of other countries in order to develop recommendations for building effective roundabouts here. Analyzed the speed of the vehicle merging and exit of a circular segment. An association between speed and horizontal curve. Presented are the geometric parameters of input and output flows with the corresponding advantages and disadvantages. Described are the most common types of accidents, highlighted the advantages of increasing the level of safety, a detailed examination of throughput and utilization roundabouts. Used are the latest methods for analysis of traffic flows based on a traffic count. Evaluated are: the summary volume of the mixture flows; blending ratio; acceptable empty intervals, required subordinate stream to include in the circulating; hour maximum throughput, etc. ...

The survey can help planners in deciding the type of intersection traffic flows and use of traffic engineers involved in the determination of the throughput of intersections of circular type. Can be used as a tool to support policy to promote and standardize this type of intersections.