

**ARSA – НОВ МОДЕЛ ЗА АНАЛИЗ И ОЦЕНКА НА ПЪТНАТА БЕЗОПАСНОСТ
НА КРЪСТОВИЩА В ГРАДСКА СРЕДА**

Иван Кацаров¹

Катедра „Пътища и транспортни съоръжения“, Университет по архитектура
строителство и геодезия, София

***Резюме:** Целта на дисертацията е да проучи възможностите и да развие подход за анализ на безопасността на отделни елементи от транспортната среда въз основа на съществуващо положение и/или изготвен проект, още преди настъпване на ПТП, като предвиди евентуалното ниво на аварийност предварително, което да помогне за отстраняване на проблемните елементи в най-ранен етап. Създаването на подобен модел за оценка на безопасността би представлявало един нов инструмент за нас като транспортни инженери, който би допринесъл за предотвратяване настъпването на ПТП, което в реалния живот не се характеризира с брой за една година, а с отделни личности, човешки трагедии, загуби не само за близките, но и за държавата..*

***Ключови думи:** ARSA, Aerial Road Safety Assesment, пътна безопасност, оценка, прогноза, ТТС, кръстовища, градска среда*

1. ВЪВЕДЕНИЕ

Целта на работата е да проучи възможностите и да развие подход за анализ на безопасността на базата на конфликтните ситуации, които възникват на отделни кръстовища, за които данните за ПТП са оскъдни или изцяло липсват, както и за такива, които са новоизградени и има нужда от оценка на безопасността, а информацията за произшествия все още не е натрупана в исторически план.

За основа на изследванията ще послужи съществуващо положение, още преди настъпване на ПТП, като целта е да се предвиди евентуалното ниво на аварийност предварително, което да помогне за отстраняване на проблемните елементи в най-ранен етап. Създаването на подобен модел за оценка на безопасността би представлявало един нов инструмент за нас като транспортни инженери, който би допринесъл за предотвратяване настъпването на ПТП, което в реалния живот не се характеризира с брой за една година, а с отделни личности, човешки трагедии, загуби.

Настоящата дисертация се отнася до изследването на взаимодействието между водачите на МПС и конфликтните ситуации, възникващи между тях, които са дефинирани и развити числово от крайни условия. Взаимодействията между водачите на превозни средства се разглеждат във връзка с въвеждането на числова граница за конфликт, база за по нататъшни изследвания. Работата не се ограничава от вида кръстовище по форма и по вид - сигнализирано или не. Изследванията показват, че това

¹ Иван Кацаров, д-р инж., i.katsarov@yahoo.com

разделение в случая е нецелесъобразно и това детайлно е описано и обосновано в съответната част на разработката.

Пътната безопасност е изследвана по отношение на различните типове сигнализиранни кръстовища, които съществуват в градската среда и в частност – на територията на община София. Оценката на безопасността в случая не е разглеждана за цял пътен участък с определена дължина, като това предстои да се изследва и провери в бъдеще. Опитите показват, че изследването на цяла отсечка е напълно реалистично.

3. МЕТОДИ ЗА КРАТКОСРОЧНА ОЦЕНКА НА ПЪТНАТА БЕЗОПАСНОСТ

Пътната безопасност по пътищата най-често се измерва от гледна точка на броя на пътнотранспортните произшествия и последствията от произшествията по отношение на смъртни случаи и наранявания с различна тежест. Това обикновено се разглежда като реактивен, а не като проактивен подход, тъй като се основава на събирането и анализа на данните за произшествия от страна на полицията и други органи, след като действително са настъпили произшествията. Освен проблемите, свързани с обхвата, качеството и полезността на събраните данни, този подход също е много ограничен за целите на краткосрочните проучвания на движението, които имат за цел да оценят ефектите от взетите мерки за подобряване на безопасността.

За краткосрочни проучвания, които имат за цел да оценят относителните промени в нивата на безопасност, е необходимо да се използват косвени (или заместващи, косвени) показатели за безопасност. Тези „показатели за безопасност“ обикновено се определят като индикатори на движението, които статистически корелират с броя на пътнотранспортни произшествия. Тези стойности се основават на времевата и пространствената близост на пътниците по време на критични за безопасността събития. Свенсон [1], твърди, че за да бъдат косвени показатели за безопасност трябва:

- Да има пълнота в данните за ПТП и самите показатели да бъдат по-чести от произшествията
- Да има статистическа и причинно-следствена връзка с произшествията
- Да имат характеристиките на „почти-ПТП“ в йерархията, която описва всички нива на взаимодействие между пътя и ползвателите при ПТП на най-високото ниво, както и при безопасно преминаване с минимално взаимодействие на най-ниското ниво в йерархията.

Подходът на показателите за безопасност обикновено е за предпочитане пред използването на исторически данни за краткосрочни проучвания „преди и след“, тъй като това позволява степента на безопасност да се оценява сравнително бързо и с минимална лекота на място. Този подход може също така да осигури средство за последователно подобряване и замяна на по-традиционните модели за прогнозиране на ПТП въз основа на исторически данни. Изследванията показват, че някои модели, които използват показатели за безопасност, могат да предвидят ПТП с по-голяма статистическа точност, отколкото историческите данни за произшествия.

3.1. Време до сблъсък (Time-to-collision)

Съществуват и алтернативни „обективни“ методи, които включват времева близост и степента на сериозност, въпреки че самите на-чини за събиране на данни и последващия им анализ, обикновено са по-голямата пречка за използването им и поради това включват използването на видео-анализ. Доскорошното състояние на най-съвременния видеоанализ в най-добрия случай е било само полу-автоматизирано и

поради това е изисквал голямо количество човешка (т.е. „субективна“) обработка. Един от най-известните кос-вени показатели за безопасност е „време до сблъсък“ (ТТС), което обикновено се дължи на работата на Хейуърд в началото на 70-те години. Събитието ТТС е описано като

„... времето, което остава, докато не се стигне до сблъсък между две превозни средства, ако се запази курсът на сблъсъка и разликата в скоростта“.

Когато има евентуален сблъсък, стойността на ТТС става крайна и намалява с течение на времето. Критичната мярка, използвана за оценка на тежестта на конфликта, е минималният ТТС, който се записва по време на цялото събитие на конфликта. Може би поради трудностите, свързани със събирането и анализа на данните, мярката ТТС и много от нейните производни остават сравнително пренебрегвани в литературата по отношение на косвените показател-тели за безопасност. Стойностите от време до сблъсък се изчисля-ват, като се използва следното уравнение:

$$(1) \quad \square \square \square = (\square \square_{-1}(\square) - \square \square(\square) - \square \square) / (\square \square(\square) - \square \square_{-1}(\square)), \text{ където } \square \square(\square) > \square \square_{-1}(\square)$$

3.2. Удължено време до сблъсък (ТЕТ, ТИТ)

Холандските изследователи Minderhoud & Vovv, [2] предлагат два нови показателя за безопасност, основаващи се на класическия показател ТТС, служещи за сравнителни анализи на безопасност-та на пътното движение. Първият от тях „Time Exposed ТТС“ (ТЕТ) измерва продължителността на времето, през което всички превозни средства, участващи в конфликти, са под определеният минимален ТТС. Вторият показател „Time Integrated ТТС“ (ТИТ) се основава на сумиране на интеграл на профила от ТТС и осигурява по-качествено измерение за безопасността за периода на проучването. Minderhoud & Vovv [2] предполагат, че тези стойности могат да се използват за извличане на средните стойности на превозно средство и вероятността за критични ситуации на безопасност за единица време. Тези мерки също се считат за много подходящи за използване при симулационни проучвания.

4. МОДЕЛ НА ИЗСЛЕДВАНЕТО



Фигура 1: Последователност на изпитвания, заложи в методиката на модела ARSA

4.1. Видеозаснемане с дрон

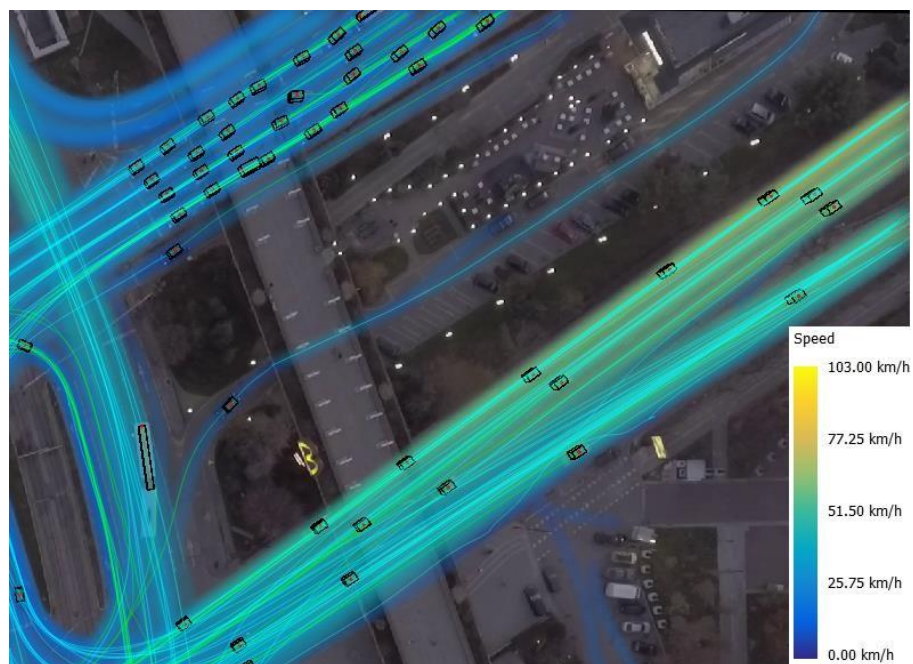
Досега данните за определянето на нивото на пътната безопасност по косвените показатели, като масова практика, се е основавало на данни, получени от обучени за целта наблюдатели (както по-рано беше описано при шведската методика на конфликтните ситуации). Има също така опити за видеозаснемания с камери, закачвани на сгради с добра видимост към кръстовищата, на стълбове за осветление и др. Опитът показва, че практиката за оценка на безопасността от обучени наблюдатели има много недостатъци, поради ограниченият ъгъл на зрение разбира се – субективността

на методиката. От друга страна заснемането на видео от сгради, стълбове и други обекти е комплицирано поради нуждата от изискване на разрешение и сложността на монтажа на оборудването.

Заснемането се извършва в пиков час и в делничен ден, с цел на това да има максимална интензивност на транспортните потоци и в добри метеорологични условия. Дронът се издига над дадено кръстовище на височина между 60 и 180 метра (в зависимост от заснеманата площ), на разстояние встрани от него, с оглед обезпечаване на безопасността на преминаващите. След това преминава над самото кръстовище и заснемането започва. Камерата му прави непрекъснато видеозаснемане между 7 и 10 минути. Времето за заснемане е ограничено от гледна точка на натрупване на необходими данни и на оптималната издръжливост на батерията.

4.2. Данни за движението

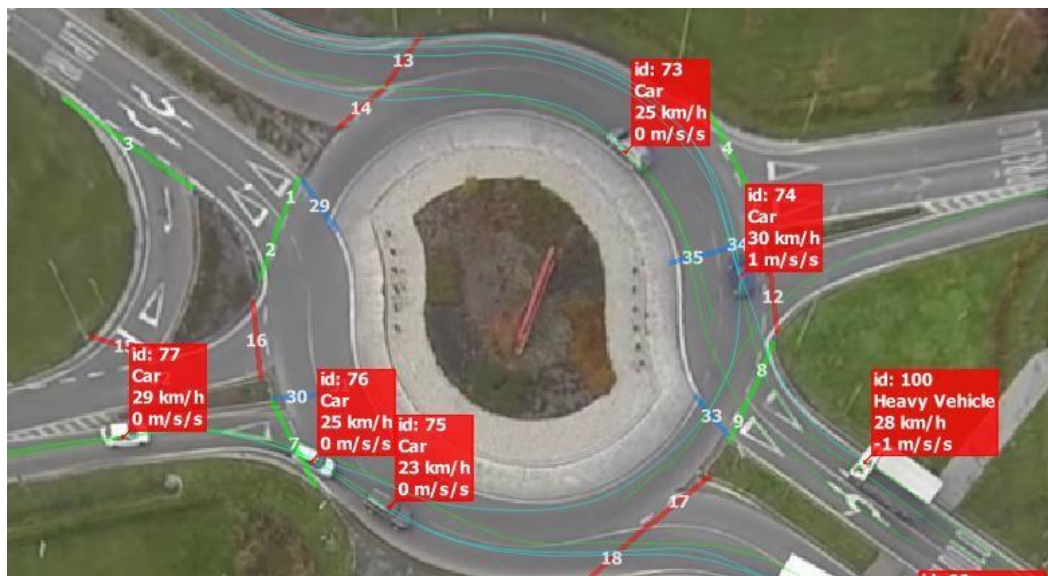
Платформата, върху която се базира ARSA, е разработена в колаборация и в частност от чешката Data From Sky и е оптимизирана с цел удовлетворяването нуждите на транспортния инженер. Данните за движението, които могат да бъдат придобити са особено важни при наблюдението и оценката на дадени транспортни участъци/кръстовища и търсенето на индикации за проблемните точки при тях. Тя е една много добър инструмент, който цели визуализирането на отделите показатели на участниците в движението, с цел максимално детайлен анализ на много нива.



Фигура 2 Карта на скоростите - пример от кръстовището на бул. България и бул. Черни връх (Мост на влюбените)

Скорости и карта на скоростите – След обработката е възможно визуализирането в реално време скоростта на всеки един от участниците в движението. На база на натрупването на стойностите на скоростта на отделните превозни средства и изменението ѝ във областта на кръстовището е възможно визуализирането ѝ върху карта на скоростта. Идеята за въвеждането на картата е в потребителския интерфейс на платформата и с цел да се осигури възможност за анализ и нагледно представяне на

зоните, характерни с по-висока скорост на преминаване. Това е един изключително полезен инструмент, позволяващ на транспортния инженер да локализира проблемните зони, даващи предпоставка за по-високи скорости на преминаване и в зависимост от стойностите им и локацията на критичните зони, да бъдат предприети мерки за успокояването на движението. В случая, примерът на **Фигура** е от кръстовището на бул. България и бул. Черни връх (Моста на влюбените), където се вижда ясно как преливащите цветове от картата на скоростите показват зоните, характерни с по-високи стойности. В експерименталната част на тезата може да се види обстоен анализ на транспортната ситуация на различни кръстовища.



Фигура 3: Визуализация на транспортен участък след видео-обработка

Интензивност и броене в реално време на индивидуално зададени характерни точки – Платформата позволява определянето на параметрите на транспортните потоци и по отношение на интензивността. Определя автоматично броя на преминалите превозни средства за периода на заснемането и е възможно динамично задаване на „портали“ (gates), при които биват броени само преминалите през тях превозни средства. В случая това дава възможно за динамично определяне на броя преминавания само за определени зони, без използването на субективни методи като обучен наблюдател.

На **Error! Reference source not found.** е изобразен пример, при който са зададени портали за преброяване на входните и изходни точки на кръгово кръстовище.

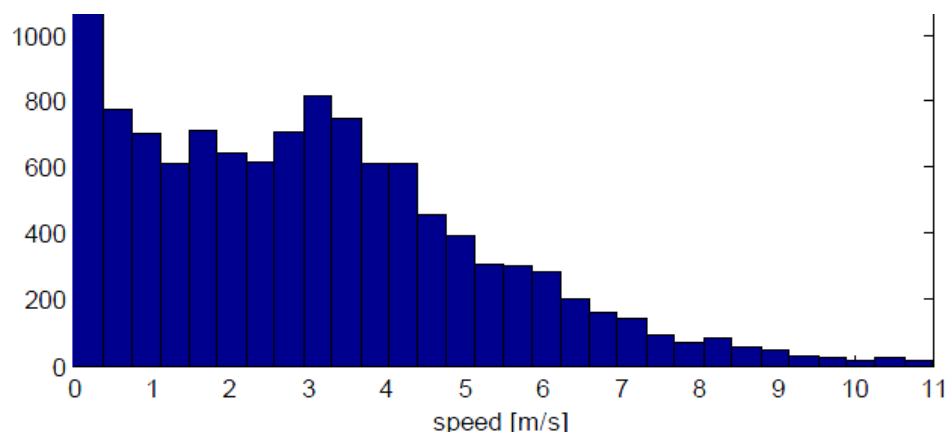
Класификация на ППС - Всеки един от участниците в движението освен със своята траектория на движение, има идентификационен номер и е класифициран по вид.

Размери на ППС – Зададени са стандартни размери за различните по вид ППС, като е дадена възможност на потребителя да може да задава индивидуални размери на отделните превозни средства при необходимост. Визуализацията на размерите и възприемането ѝ от софтуера става въз основа на така наречените „кутийки“ (bounding boxes), които дават стандартна и индивидуална ширина, дължина и височина на превозните средства.

Траектории на движение – След видео-обработката е възможно визуализирането на отделните траектории на движение на всеки един от участниците в движението. Тези траектории служат за следващия етап от работата, в която те биват анализирани във времето и пространството. Визуализацията на траекториите става с натрупването им във формата на линии върху заснетата ситуация. Траекторията на всяко ППС е синя, а с преминаването му по протежението ѝ, тя се оцветява в зелен цвят.

Идеята за натрупването на траекториите на движение върху ситуацията е на инж. Иван Кацаров и е необходима функция, която е въведена във софтуера на платформата, с цел да се даде яснота на използването на транспортното пространство. Това е необходимо при ситуации на взимане на проектни решения по отношение на проекта на транспортни елементи от градската среда, помагащо за определяне на ефективността на използването на транспортното пространство. Тази функция, въведена в софтуера, е особено полезна при сравнителни анализи от типа „преди и след“, които анализират транспортната обстановка и използването на транспортното или обществено пространство и неговата ефективност. Дава се яснота дали има „мъртви“ зони, които не се използват за преминаване, а са определени като част от транспортната среда и се определят като неефективни.

Разпределение на скоростите – Въведена е функция за изобразяване във графичен вид на разпределението на скоростите в зависимост от интензивността. Графиката на разпределението на скоростта е важна за транспортния инженер, защото има за цел да покаже минималната, средната и максималната скорост на пътуване на брой участници в движението според вида им, преминали през дадено кръстовище. Тя може да бъде основа за това да се предприемат определени мерки за успокояване на движението.



Фигура 4 Графика за разпределение на скоростите

Исходни файлове – Софтуера генерира изходен файл във формат `*.trj`, който е универсален и разпознаваем от други софтуери, използвани за анализиране на трафика. Исходният файл съдържа в себе си данни за всяко едно превозно средство относно неговите размери и изменението на траекторията му на движение във времето и пространството. Това позволява в следващия етап на модела ARSA, „3.Error! Reference source not found.“, той да бъде използван за анализирането им.

4.3. Определяне на конфликтите

Анализът започва, като първо се въвеждат данни за взаимодействие (файл с траектории) от видеозаснемане.

Потребителят започва с дефинирането на нов случай на анализ на конфликти, като използва Менютата, за да създаде нов файл на казуса (или алтернативно да отвори съществуващ файл на случая). Потребителският интерфейс осигурява списък с дървовиден изглед на всички проведени до момента анализи. Софтуерът използва две гранични стойности за косвени (заместващи) показатели за безопасност, за да очертае кои взаимодействия от тип „превозно средство до превозно средство“ и да се класифицират като конфликти. Граничните стойности се прилагат към показателите на:

- Време до сблъсък (ТТС).
- Време след заразяването (РЕТ).

Софтуерът използва гранични стойности по подразбиране за отделните показатели, като анализиращият може изборително да ги замени с предпочитаните от него алтернативни стойности. SSAM използва стойност по подразбиране ТТС от 1,5 секунди, както е предложено в предишни изследвания. Използването на гранични стойности на РЕТ се основава на изследването на Хайдн [3].

След като бъдат определени граничните стойности на показателите за идентифициране на конфликт, потребителят натиска бутона за анализ и данните за движението от фала с траекториите се обработват, за да се идентифицират взаимодействията между превозните средства и ситуацията, които отговарят на критериите за класифициране като конфликт.

Всеки конфликт, идентифициран по време на анализа, е посочен в таблица (таблицата с конфликти) в раздела „Конфликти“. Таблицата показва всички подробности за конфликтите, включително времето, местоположението и стойностите на всички косвени (заместващи) показатели за безопасност за този конфликт.

5. РЕЗУЛТАТИ

В Таблица 1 по-долу са представени обобщени резултатите от заснеманията за различните кръстовища. Целта е да се онагледят количеството извършена експериментална работа, като с това се дефинират и получените от анализа на безопасността брой конфликтни ситуации. Основна цел след това е да се изведе зависимост между косвените показатели за пътната безопасност, в случая като основна величина е използван ТТС като елемент за сравнение на броя конфликти за час и броя произшествия за година.

Получената зависимост, използвайки регресионен анализ е един от основните формиранни приноси от работата и е последен елемент (стъпка) от оценката на безопасността, съгласно изработената методика за краткосрочна оценка и превенция на пътната безопасност ARSA.

След прилагането на линеен регресионен анализ по отношение на взаимовръзката между получените резултати от обективната софтуерна оценка на конфликтите ситуации и броя ПТП по данни от кат се получава следната зависимост:

$$(2) \quad \frac{\square \text{ конфликти}}{\text{час}} = 1.44 * \frac{\square \text{ ПТП}}{\text{година}} + 18.022$$

Таблица 1: Резултати

**НАЦИОНАЛНА КОНФЕРЕНЦИЯ ПО ТРАНСПОРТНА ИНФРАСТРУКТУРА
С МЕЖДУНАРОДНО УЧАСТИЕ, 2019**

**NATIONAL TRANSPORT INFRASTRUCTURE CONFERENCE
WITH INTERNATIONAL PARTICIPATION, 2019**

Кръстовище	2013	2014	2015	ОБЩО	Средно	СТАТУС	Времетрае на видео (мин)	Конфликти	Конфликти за 1 час
1 Бул. Симеоновско шосе и ул. Околовръстен път	52	74	69	195	65	ЗАСНЕТО	4	6	90
3 Бул. Никола Петков и бул. Цар Борис III	36	42	37	115	38	ЗАСНЕТО	9	9	60
4 Бул. Черни връх и бул. България	41	39	29	109	36	ЗАСНЕТО	7.5	8	64
5 Бул. Черни връх и бул. България (2-ро)	41	39	29	109	36	ЗАСНЕТО	7.5	8	64
6 Бул. Константин Величков и бул. Тодор Александров	29	30	23	82	27	ЗАСНЕТО	7.5	6	48
7 Бул. Константин Величков и бул. Тодор Александров (2-ро)	29	30	23	82	27	ЗАСНЕТО	7.5	6	48
8 Бул. Д-р Петър Дертлиев и бул. Царица Йоанна	28	32	22	82	27	ЗАСНЕТО	8	7	53
9 Бул. Сливница и бул. Опълченска	21	19	41	81	27	ЗАСНЕТО	9	7	47
10 Бул. Симеоновско шосе и ул. Проф. д-р Иван Странски	28	29	22	79	26	ЗАСНЕТО	7.5	6	48
11 Бул. Симеоновско шосе и ул. Проф. д-р Иван Странски (2-ро)	28	29	22	79	26	ЗАСНЕТО	7.5	6	48
12 Бул. Ал. Пушкин и бул. Никола Петков	34	20	24	78	26	ЗАСНЕТО	9	7	47
13 Бул. Вардар и бул. Възкресение	22	29	27	78	26	ЗАСНЕТО	9	8	53
14 Бул. А. Стамболийски и бул. К. Величков	25	20	22	67	22	ЗАСНЕТО	9	6	40
15 Бул. А. Стамболийски и бул. К. Величков (2-ро заснемане)	25	20	22	67	22	ЗАСНЕТО	9	6	40

5. ИЗВОДИ И ЗАКЛЮЧЕНИЯ

Стойността на отклонението при използваните резултати от анализа на безопасността и регресията в следствие с цел извеждане на зависимост конфликт/час → ПТП/година е $R^2=0.947$, което само по себе си е доста висока стойност, показваща ясно изразена линейна зависимост между косвения показател за безопасност ТТС и ПТП на годишна база.

Същата зависимост може да се прилага с пълна сила при оценка на безопасността при недостатъчни данни за ПТП или напълно отсъстващи такива.

Целта в случая за краткосрочно определяне на безопасността и съответната прогноза на броя на ПТП за година на основа на по-горе изведената зависимост е напълно удовлетворена. Научната разработка има следните основни приноси и възможни приложения:

1. Представяне на нов „обективен“ модел за анализ на транспортните конфликти (обективен е, защото досегашните основно разчитат на човешка оценка за това дали дадена ситуация е конфликт или не, която е субективна), като тук става дума за автоматизирано събиране на данни за конфликти, които са обективни и не са плод на „преценка“.

2. Създаването на първия до момента по рода си модел за прогноза и оценка на безопасността, въз основа на данни за трафика, събирани от въздуха, за което се използва дрон.

3. Извеждане на зависимост между конфликти за час и ПТП за година, което не е правено в реални условия на движение до момента и резултата до момента не е ясен. Прилагайки моделът, могат да се избегнат човешки и материални загуби, чрез определяне на проблемните елементи и тяхното отстраняване още преди да са се случили събитията, на база на прогноза и превенция.

4. Представяне на моделът ARSA, който може да бъде предмет на допълнителна работа, като предоставя възможност за разширяване на обсега си на приложение. Той би могъл да бъде прилаган за оценка на безопасността не само на кръстовища, а и на пътни отсечки, пътни възли, както и на зони със смесено движение – споделено пространство.

ЛИТЕРАТУРА

[1] Свенсон, А. (1998). A method for analysing the traffic process in a safety perspective. Bulletin 166.

[2] Minderhoud, M. M., & Bovy, P. H. (2001). Extended Time-to-Collision Measures for Road Traffic Safety Assessment. Accident Analysis and Prevention.

[3] Хайдн, К. (1987). The development of a method for traffic safety evaluation: The Swedish Traffic Conflicts Technique. Lund: Lund Institute of Technology.