



**ТЕХНИЧЕСКИ УНИВЕРСИТЕТ – СОФИЯ**  
**Инженерно-Педагогически Факултет - Сливен**  
**Катедра „Механика, машиностроене и топлотехника“**

**маг. инж. Ангел Христов Кръстев**

**ЕКСПЕРИМЕНТАЛНО ИЗСЛЕДВАНЕ НА ВРЕМЕТО ЗА  
РЕАКЦИЯ НА ВОДАЧА НА МПС И ВЛИЯНИЕТО МУ  
ВЪРХУ ОПАСНАТА ЗОНА ЗА СПИРАНЕ**

**А В Т О Р Е Ф Е Р А Т**

на дисертация за придобиване на образователна и научна степен  
**"ДОКТОР"**

Област: 5. Технически науки  
*(шифър и наименование)*

Професионално направление: 5.5 Транспорт, корабоплаване и авиация

Научна специалност: Автомобили, трактори и кари

**Научен ръководител: Проф. д.т.н. инж. Станимир Михайлов Карапетков**

СОФИЯ, 2024 г.

Дисертационният труд е обсъден и насочен за защита от Катедрения съвет на катедра „Механика, машиностроене и топлотехника“ към Инженерно-Педагогически Факултет - Сливен на ТУ-София на редовно заседание, проведено на 10.07.2024 г.

Публичната защита на дисертационния труд ще се състои на 04.11.2024 г. от 15:00 часа в зала 1204, Инженерно-Педагогически Факултет - Сливен на ТУ-София на открито заседание на научното жури, определено със заповед № ОЖ-5.5-09 / 17.07.2024 г. на Ректора на ТУ-София в състав:

1. Доц. д-р инж. Дурхан Салиев – председател
2. Доц. д-р инж. Илиян Дамянов – научен секретар
3. Проф. д-р инж. Здравко Иванов
4. Проф. д-р инж. Велизара Пенчева
5. Проф. д-р инж. Емил Иванов

Рецензенти:

1. Доц. д-р инж. Дурхан Салиев
2. Проф. д-р инж. Велизара Пенчева

Материалите по защитата са на разположение на интересуващите се в Учебен отдел на Инженерно-Педагогически Факултет - Сливен на ТУ-София.

Дисертантът е в самостоятелна форма на обучение към катедра „Механика, машиностроене и топлотехника“ към Инженерно-Педагогически Факултет - Сливен на ТУ-София. Изследванията по дисертационната разработка са направени от автора.

Автор: маг. инж. Ангел Кръстев

Заглавие: Експериментално изследване на времето за реакция на водача на МПС и влиянието му върху опасната зона за спиране

Тираж: 30 броя

Отпечатано в ИПК на Технически университет – София

# **I. ОБЩА ХАРАКТЕРИСТИКА НА ДИСЕРТАЦИОННИЯ ТРУД**

---

## **Актуалност на проблема**

Безопасността на движението по пътищата е от изключително значение за обществото, тъй като пътнотранспортните произшествия водят до значителни загуби на човешки живот, наранявания и материални щети. С нарастването на броя на автомобилите и увеличаването на интензивността на трафика, въпросът за подобряване на безопасността на пътищата става все по-актуален. В този контекст, времето за реакция на водачите на моторни превозни средства (МПС) и динамиката на автомобила при спиране са от решаващо значение за предотвратяване на инциденти и минимизиране на рисковете.

Изследванията в тази област имат съществено значение за автотехническата експертиза, която играе важна роля в разследването на пътнотранспортни произшествия. Данните за времето за реакция на водачите и динамиката на автомобила позволяват на експертите да правят по-точни симулации на произшествията, чрез които да се определят причините за произшествията и да се оцени поведението на участниците в тях. Това е от съществено значение за правосъдието и за вземането на справедливи решения в съдебните дела, свързани с пътнотранспортни инциденти.

Исторически, изучаването на времето за реакция на водачите и поведението на автомобилите при спиране започва с нарастването на популярността на моторните превозни средства в началото на 20-ти век. Първоначалните изследвания са фокусирани върху основни аспекти като скорост, време за реакция и спирачен път. С развитието на технологиите и нарастването на комплексността на пътнотранспортната система, тези изследвания стават все по-подробни и обхващат широк спектър от фактори, които влияят върху безопасността на движението. Съвременните изследвания в областта разглеждат подробно времето за реакция, като време за възприятие, време за вземане на решение и време за действие. Освен това, те обхващат различни сценарии и условия на движение, като например различни скорости, състояние на пътната настилка и психофизиологични състояния на водачите.

Изследването на времето за реакция на водача и динамиката на автомобила е от изключително значение по няколко причини. Бързата и адекватна реакция на водача може да бъде решаваща при избягване на сблъсък или други опасни ситуации на пътя. Информацията за времето за реакция и факторите, които му влияят, могат да бъдат използвани за създаване на по-ефективни обучителни програми за водачи. Новите и опитните водачи могат да се възползват от обновените методи за подобряване на техните реакции и умения за управление.

Настоящата дисертация цели да предостави изследване на времето за реакция на водачите в реални условия и влиянието му върху опасната зона за спиране, като се базира на експериментални данни и математични модели. Този подход ще позволи да се извърши по – качествен анализ на процесите и ще допринесе за разработването на практически решения за подобряване на безопасността на движението по пътищата.

## **Цел на дисертационния труд, основни задачи и методи за изследване**

Да се извърши експериментално изследване за определяне на времето за реакция на водач на моторно превозно средство в реални условия и неговото влияние върху пълния спирачен път (опасната зона за спиране).

За реализиране на поставената цел трябва да бъдат решени следните задачи:

1. Да се създаде експериментална система за измерване на времето за реакция на водач на МПС;
2. Да се разработи методика на провеждане на експеримента;

3. Определяне на времето за реакция на водача при различни видове предварителни движения на автомобила;
4. Определяне на времето за реакция на водача при четири различни стойности ТТС;
5. Създаване на методика за числени експерименти при аварийно спиране;
6. Да се създаде програмно компютърно осигуряване на създадените методики.

### **Научна новост**

Създадена е методика с експериментална установка за определяне на време за реакция при следните предварителни движения на автомобила: Предварително закъснително движение със задействана спирачна система; Предварително закъснително движение без задействана спирачна система; Предварително ускорително движение, като е доказана и зависимост между времето за реакция и времето до сблъсък до обекта създаващ опасност.

### **Практическа приложимост**

Получените резултати от разработката, могат успешно да се използват от експертите на ПТП във съдебната практика, както и в учебния процес.

### **Апробация**

Резултатите са презентирани на следните конференции:

- Дните на механиката във Варна се провеждат в рамките на „Дни на науката“ на ТУ – София, 2023;
- 24-та Национална конференция с международно участие „Инженерни и природни науки – 2023“ – Каварна.

### **Публикации**

Основни постижения и резултати от дисертационния труд са публикувани в три научни статии , от които една самостоятелна и две в съавторство с научния ръководител, публикувани в български списания включени в Националният референтен списък.

1. Кръстев А. (2024). Методи за анализ и инструменти за събиране на данни за поведението на водачи при управление на превозни средства в реална среда – литературен обзор. Известия на ТУ-Сливен 4, 44-53.

2. Карапетков, С. & Кръстев А. (2024). Определяне на пълния спирачен път при аварийно спиране с различни предварителни движения на МПС преди поява на опасността. Механика на машините, 2, 60-65.

3. Карапетков, С. & Кръстев А. (2022). Експериментално определяне на времето за реакция на водач на МПС в аварийна ситуация. Известия на Съюза на учените Сливен, 37 (2), 131-135.

### **Структура и обем на дисертационния труд**

Дисертационният труд е в обем от **145** страници, като включва увод, 4 глави за решаване на формулираните основни задачи, списък на основните приноси, списък на публикациите по дисертацията и използвана литература. Цитирани са общо **126** литературни източници, като **114** са на латиница и **12** на кирилица. Работата включва общо **30** фигури и **18** таблици. Номерата на фигурите и таблиците в автореферата съответстват на тези в дисертационния труд.

## II. СЪДЪРЖАНИЕ НА ДИСЕРТАЦИОННИЯ ТРУД

---

### ГЛАВА 1. ОБЗОР ПО ПРОБЛЕМА

В литературния обзор са разгледани използваните методи за анализ на поведението на водачи на превозни средства и устройства за събиране на данни. Изследванията на поведението на водача при управление в реална среда са фокусирани върху наблюдението в техните естествени условия на работа, без да се налага експериментален контрол, който да влияе върху поведението на водача.

За разлика от изследванията в симулатор извършвани в контролирана среда, изследването в реална среда дават по-точни резултати (Choudhary & Velaga (2017a), Choudhary & Velaga (2017b)). При този метод, поведението на водача се анализира по време на ежедневни пътувания, като се използват ненаатрапчиви устройства за събиране на данни като GPS устройства (Ellison et al., 2015), акселерометри (Wu & Jovanis, 2012), радарни сензори (Budhkar & Maurya, 2017); (Mahapatra & Maurya, 2013a), бордова диагностика (OBD), видеокамери, устройства за проследяване на очите (Wege et al., 2013) и др. Тези устройства непрекъснато записват поведението на водача, измервайки параметри като скорост, ускорение, аварийно спиране, разположение в пътната лента, местоположение, както и страничното и надлъжното разстояние между превозните средства. Този вид изследвания се класифицират в две основни категории: индивидуални изследвания на водача и изследвания на място. При индивидуалните изследвания на водача превозните средства са оборудвани със сензори за събиране на данни относно поведението му. В същото време, при изследванията на място данните при управлението, включително траекторията на движението на пътния трафик, се събират на конкретни места с помощта на статични видеокамери, инсталирани близо до пътното съоръжение.

В множество проучвания са използвани различни устройства и методи за събиране на данни, които събират голям обем от информация за водача, превозното средство и околната среда, с цел да наблюдават цялостното поведение на водача. Някои от основните методи и устройства, използвани в такива изследвания, включват:

- Глобална система за позициониране (GPS);
- Вграден регистратор;
- Акселерометър;
- Видеокамери;
- Сензори;
- Анализатор на отработени газове;
- Устройства за проследяване на очите.

Поведението на водачите има непосредствено въздействие върху безопасността на движението, като често се установява, че грешките, които допускат са основна причина за пътнотранспортни произшествия. За да се разкрият по-детайлно различните страни на поведението на водачите на моторни превозни средства (МПС), е от съществено значение да се разширят и задълбочат изследванията в тази област. От литературата е видно, че изследванията, провеждани в реални условия, предоставят по-достовърни резултати, в сравнение с тези, базирани на методи като анкетиране или използване на симулатори. Същевременно, съществуващите технологии и уреди за събиране на данни предлагат разнообразни възможности за събиране на обемни и качествени данни. В този контекст, изследването на времето за реакция на водачите, провеждано в реални условия с използването на специализирани уреди и технологии, може да даде ценна информация. Тази информация може да послужи като основа за предприемане на конкретни мерки за подобряване на безопасността на движението. В тази връзка, в България липсват изследвания, насочени върху времето за реакция на водачите в реални условия, което

подчертава необходимостта от провеждане на подобни научни изследвания в национален контекст.

## ГЛАВА 2. АВАРИЙНО СПИРАНЕ ПРИ РАЗЛИЧНИ ВИДОВЕ ПРЕДВАРИТЕЛНИ ДВИЖЕНИЯ НА АВТОМОБИЛА

В работата на Буюклиев (1989), Иларионов и сътр. (1985), Карапетков, (2005), (2024) е разгледан процесът на аварийно спиране при предварително равномерно движение на МПС, където са дефинирани понятията "пълнен спирачен път" и „опасна зона“ - „Съгласно определението за аварийно спиране процесът на спиране на МПС съответства на спиране при непрекъснато максимално натиснат спирачен педал. Пълният спирачен път в съдебната практика се нарича още “опасна зона за спиране” на транспортното средство.

Опасната зона представлява сбор от изминатите разстояния за съответните времена.“

Опасната зона за спиране представлява сумата:

$$S_0 = S_p + S_{сп} + S_H + S_e, \quad (2.1)$$

в която се съдържат следните елементи:

$S_p$  – изминат от масовия център на ППС път за “времето на реакция на водача”  $t_p$ ;

$S_{сп}$  – изминат от ППС път за “времето за задействане на спирачната уредба”  $t_{сп}$ ;

$S_H$  – изминат от ППС път за “времето за нарастване на спирачното закъснение от нула до максималното”  $t_H$ ;

$S_e$  – “ефективен спирачен път” – изминатият от МПС път за времето  $t_s$  на движението му с максимално спирачно закъснение, при което остават спирачни следи.

В настоящата работа се предлага движение на МПС при аварийно спиране при:

- предварително закъснително движение със задействана спирачна уредба;
- предварително закъснително движение без задействана спирачна уредба;
- предварително ускорително движение.

*Определяне на параметри на спиране при предварително закъснително движение със задействана спирачна уредба*

При определяне на опасната зона в този случай не се отчита пътя за времето за задействане на спирачната уредба, тъй като тя вече е сработила предварително.

Тогава опасната зона за спиране представлява сумата:

$$S_0 = S_p + S_H + S_e, \quad (2.2)$$

Където:  $S_H$  е изминатия път за времето за нарастване на спирачното закъснение от предварителното  $j_1$  до максималното  $j_2$ .

При равнозакъснителното движение на МПС със предварително спирачно закъснение  $j_1$  при начална скорост  $V_0$  и време за реакция на водача  $t_p$  скоростта на МПС в края на времето на реакция се определя от зависимостта:

$$V_p = V_0 - t_p \cdot j_1. \quad (2.3)$$

В тази зависимост се отчита, че времето за реакция на водача  $t_p$  е по-малко от обичайното. То е намалено с времето за преместване на крака от педала на горивоподаването до спирачния педал  $t_{p,пр} \approx 0,2 \text{ s}$ .

Изминатият път за това време (времето за реакция на водача), се определя по закона на движение:

$$s_p = V_0 \cdot t_p - \frac{t_p^2}{2} \cdot j_1. \quad (2.4)$$

За определяне на изминатия път  $s_H$  за времето на нарастване на спирачното закъснение от предварителното  $j_1$  до максималното  $j_2$  е необходимо да се определи закона за изменение на ускорението  $j$ . Той се определя аналогично на зависимостта за изменение на ускорението на автомобила, представена в работата на Карапетков (2005), (2024).

$$j = \frac{(j_2 - j_1)}{t_H} \cdot t + j_1. \quad (2.5)$$

Изменението на скоростта за времето за нарастване на спирачното закъснение се получава от диференциалното уравнение:

$$\frac{dV}{dt} = a = -j = -\frac{(j_2 - j_1)}{t_H} \cdot t - j_1 \quad (2.6)$$

След разделяне на променливите, интегриране и математическа обработка се получава скоростта на автомобила в момента на достигане на максимално спирачно закъснение  $j_2$ , респ. в момента на блокиране на колелата:

$$V_{6л} = V(t_H) = V_0 - t_p \cdot j_1 - 0,5 \cdot t_H \cdot (j_1 + j_2) \quad (2.7)$$

Изминатият път за времето за нарастване на спирачното закъснение от предварителното  $j_1$  до максималното  $j_2$  се определя по аналогичен начин на скоростта и след заместване на  $t = t_H$  се получава зависимостта:

$$s_H = (V_0 - j_1 \cdot t_p) \cdot t_H - \frac{t_H^2}{3} \cdot j_1 - \frac{t_H^2}{6} \cdot j_2. \quad (2.8)$$

Ефективният спирачен път се изчислява от зависимостта:

$$s_e = \frac{V_{6л}^2}{2 \cdot j} = \frac{[V_0 - t_p \cdot j_1 - 0,5 \cdot t_H \cdot (j_1 + j_2)]^2}{2 \cdot j} \quad (2.9)$$

където  $j = j_2$ .

След заместване в уравнение (2.1) за опасната зона за спиране на автомобила с отчитане на предварителното намаляване на скоростта на МПС със задействана спирачна уредба се получава зависимостта:

$$s_o = \left\{ \begin{aligned} & (t_p + t_H) \cdot V_0 - \left[ \frac{t_p^2}{2} + \frac{t_H^2}{3} + t_p \cdot t_H \right] \cdot j_1 - \frac{t_H^2}{6} \cdot j_2 + \\ & + \frac{[V_0 - t_p \cdot j_1 - 0,5 \cdot t_H \cdot (j_1 + j_2)]^2}{2 \cdot j_2} \end{aligned} \right\}. \quad (2.10)$$

*Определяне на параметри на спиране при предварително закъснително движение без задействана спирачна уредба*

При това движение опасната зона се определя по зависимост (2.11).

Движението на автомобила при изходното ускорително движение се приема за равноускорително, т.е. положителното ускорение е постоянно по величина:

$$a_y = const,$$

което се явява предварително ускорение на автомобила.

Зависимостите за изменение на скоростта и изменението на положението на автомобила се определят от законите за равноускорително движение, т.е.

- законът за изменение на скоростта е:

$$V = V_0 + a_y \cdot t; \quad (2.19)$$

- законът за изменение на положението е:

$$S = V_0 \cdot t + a_y \cdot \frac{t^2}{2}. \quad (2.20)$$

В тези зависимости  $V_0$  е началната скорост на автомобила, респ. скоростта в момента на възприемане на опасността от водача, от който започва да тече времето за реакция.  $S$  е изминатия път за времето при ускорителното движение.

Скоростта към момента на началото на преместването на крака от педала на горивоподаването до спирачния педал се определя по формулата:

$$V_{max} = [V_0 + (t_p - t_{p,пр}) \cdot a_y] \quad (2.21)$$

Където:

$t_p$  е време за реакция на водача;

$t_{p,пр}$  – време за преместване на крака от педала на горивоподаването до спирачния педал.

До този момент движението е ускорително, след което за времето на преместване на крака от педала на горивоподаването до спирачния педал и за времето за задействане на спирачната уредба движението е близко до равномерното.



След заместване с времето за реакция до момента на преместване на крака от педала на горивоподаването до спирачния педал  $t = (t_p - t_{p,пр})$  в израза (2.20) и добавяне на изминатия път за времето на преместване на крака ( $V_{max} \cdot t_{p,пр}$ ) се получава изминатият път за времето на реакция на водача:

$$s_p = V_0 \cdot (t_p - t_{p,пр}) + a_y \cdot \frac{(t_p - t_{p,пр})^2}{2} + [V_0 + a_y \cdot (t_p - t_{p,пр})] \cdot t_{p,пр} \quad (2.22)$$

Изминатият път за времето за сработване на спирачната уредба е:

$$s_{сп} = V_0 \cdot t_{сп} \quad (2.23)$$

За времето за нарастване на спирачното закъснение от нула до максимално ускорението на автомобила се изменя по закона:

$$a = -\frac{j}{t_H} \cdot t, \quad (2.24)$$

където  $j$  – максимално спирачно закъснение на автомобила при ефективното спиране.

За периода на нарастване на спирачното закъснение скоростта се изменя по закона:

$$V = V_0 + a_y \cdot (t_p - t_{p,пр}) - \frac{j}{t_H} \cdot \frac{t^2}{2}. \quad (2.25)$$

Скоростта на автомобила в момента на достигане на максимално спирачно закъснение, респ. в момента на блокиране на колелата, има вида:

$$V_{бл} = V(t_H) = V_0 + (t_p - t_{p,пр}) \cdot a_y - 0,5 \cdot t_H \cdot j. \quad (2.26)$$

Изминатият път за времето за нарастване на спирачното закъснение от нула до максималното след полагане на  $t = t_H$  се получава:

$$s_H = [V_0 + (t_p - t_{p,пр}) \cdot a_y] \cdot t_H - j \cdot \frac{t_H^2}{6} \quad (2.27)$$

Ефективният спирачен път се изчислява при началната скорост за този участък, определена по формула (2.26) и има вида:

$$s_e = \frac{V_{6л}^2}{2 \cdot j} = \frac{[V_0 + (t_p - t_{p,пр}) \cdot a_y - 0,5 \cdot t_H \cdot j]^2}{2 \cdot j} \quad (2.28)$$

Опасната зона за спиране на автомобила при изходно ускорително движение се определя по формулата:

$$s_o = \left\{ \begin{array}{l} (t_p + t_{сп} + t_H) \cdot V_0 + \left[ (t_p - t_{p,пр}) \cdot (t_{p,пр} + t_H) + \frac{(t_p - t_{p,пр})^2}{2} \right] \cdot a_y - \\ -j \cdot \frac{t_H^2}{6} + \frac{[V_0 + (t_p - t_{p,пр}) \cdot a_y - 0,5 \cdot t_H \cdot j]^2}{2 \cdot j} \end{array} \right\}. \quad (2.29)$$

### ГЛАВА 3. ЕКСПЕРИМЕНТАЛНА СИСТЕМА И МЕТОДИКА ЗА ПРОВЕЖДАНЕ НА ЕКСПЕРИМЕНТА

#### *Измервателна апаратура и оборудване за определяне на времето за реакция на водачите на МПС*

Експерименталната установка (система) включва следните основни елементи:

- Куполна камера Dahua HDCVI HAC-T3A21-Z-2712 (фиг. 3.1а) с технически характеристики описани в таблица 3.1.
- Цифров видеорекодер Dahua XVR5104HS-4KL-I3 (фиг. 3.1б) с технически характеристики описани в таблица 3.2.
- Захранващ блок (фиг. 3.1в) Предназначен е да осигурява безпроблемна работа на видеорекодера, като гарантира постоянно захранване и елиминира смущенията по време на работа на двигателя.



а) Куполна камера



б) Видеорекодер



в) Захранващ блок

Фигура 3.1 Елементи от експериментална установка

Автомобилът, с който е проведен експеримента, е Фолксваген Пасат с инсталирана апаратура за определяне времето за реакция на водач. На фиг. 3.2 е показано разположението на компонентите от експерименталната система, а на фиг. 3.3 структурна схема на експерименталната система.



Фигура 3.2 Разположение на компонентите от експерименталната система



Фигура 3.3 Структурна схема на експерименталната система

За тестване на експерименталната система прилагаме следната методика за експериментално определяне на времето на реакция на водач на МПС, която е построена по зависимостта:

$$t_p = t_v + t_{пр} \quad (3.1)$$

където:

$t_v$  – времето за възприемане на сигнала за опасност и вземане на решение какви действия да се предприемат за предотвратяване на ПТП (умствена реакция);

$t_{пр}$  – времето за движение на водача до достигане на органите за управление на МПС (моторна реакция).

При експерименталните изследвания за определяне на времето на реакция на водача  $t_p$  са въведени и експериментално определени следните времена:

$t_{\text{екс}}$  – „експериментално време“ - времето от възникване на опасността до края на времето за движение на водача до достигане на органите за управление на МПС;

$t_{\text{заб}}$  – „закъснение с възприемането на опасността“ – времето от възникването до възприемането на опасността, което се определя със специализиран уред.

Експериментално е определено и времето  $t_{\text{пр}}$  от формула (3.1). От тук следва зависимостта:

$$t_{\text{екс}} = t_{\text{заб}} + t_{\text{в}} + t_{\text{пр}} \quad (3.2)$$

Тогава времето за реакция на водача се получава:

$$t_{\text{р}} = t_{\text{екс}} - t_{\text{заб}} \quad (3.3)$$

Зависимостта (3.2) позволява аналитично определяне и на времето за умствена реакция  $t_{\text{в}}$  (възприемане на сигнала за опасност и вземане на решение за предотвратяване на ПТП).

Проведен е тестов експеримент със системата в реална среда. В определен участък в реални условия възниква опасност, която се състои от внезапна поява на пешеходец на платното за движение от невидима за водача зона /крайпътно дърво/. Данните от експеримента се записват в записващото устройство. След приключване на експеримента данните от видеорекордера се прехвърлят на преносим диск. Анализът се извършва със софтуерен продукт „Wondershare Filmora“. Той позволява зареждане на файловете от трите камери наведнъж и наблюдаване на напълно синхронизираните записи едновременно. С голяма прецизност може да се определи началото на възникване на опасността и началото на моторната реакция на водача. Също, с голяма точност можем да се определи  $t_{\text{екс}}$  и времето за моторна реакция  $t_{\text{пр}}$ . По време на анализа на данните от експеримента, софтуера дава възможност да се регистрират времената  $t_{\text{екс}}$  и  $t_{\text{пр}}$ .

Проведени са два опита. Първият е при управление на автомобила в условия на **очаквана опасност**. Водачът предварително е информиран за възможна поява на опасност. Експериментът е проведен в населено място на участък с малка интензивност на движение. По продължението на тротоара има дървета разположени на около 10 – 15 м. едно от друго. Има условия на ограничена видимост. Водачът е на възраст 37 години и е с правоспособност за управление на МПС от 19 години.

Резултатите от експеримента са следните:  $t_{\text{екс}} = 0,32 \text{ s}$ ;  $t_{\text{пр}} = 0,20 \text{ s}$ .

Вторият опит е проведен при управление на автомобила в условия на **изненадваща опасност**. Водачът не е информиран за възможна поява на опасност. Експериментът е проведен в населено място на участък с малка интензивност на движение. По продължението на тротоара има дървета разположени на около 10 – 15 м. едно от друго. Има условия на ограничена видимост. Водачът е на възраст 38 години и е с правоспособност за управление на МПС от 20 години.

Резултатите от експеримента са следните:  $t_{\text{екс}} = 0,72 \text{ s}$ ;  $t_{\text{пр}} = 0,44 \text{ s}$ .

Резултатите от теста на системата отговарят на очакванията и изпълняват целите на експеримента. Експерименталната система е в състояние да записва данни за поведението на водача. Анализът на данните, който се осъществява със специализирания софтуер също отговаря на очакванията, тъй като той позволява извличането на важна информация за времето за реакция на водача.

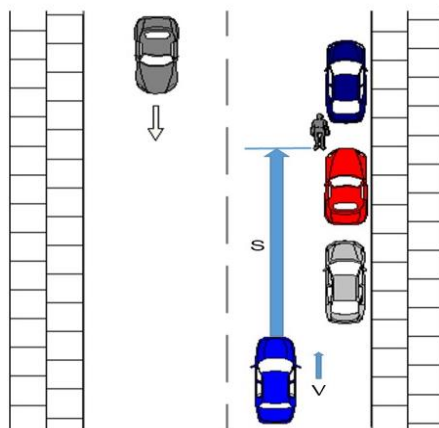
В тази връзка теста в реални условия на експерименталната система е успешен. Тя е способна да събира данни, които след анализ да получим точни резултати.

## **Методика за провеждане на експерименталните изследвания за определяне на времето за реакция на водачите на МПС**

Цел на експерименталните изследвания се явява получаване на данни за времето за реакция на водачи на МПС в реални условия. За целта са сформирани няколко групи водачи на МПС. Данните от експерименталните изследвания могат да се прилагат като изходни параметри при анализ на пътно-транспортни произшествия.

Изследванията са проведени в два етапа, описани по долу, с експериментална система от камери, внедрени в автомобил. Симулираната опасност се състои от внезапна поява на пешеходец от невидима за водача зона. Този вид опасност за движението приемаме за „изненадваща“ поради това, че не са налице обекти в ползрението на водача, които биха създали опасност.

Експеримента използва концепцията за „време до сблъсък“ (ТТС). Времето до сблъсък се определя като период от време, в началото, на който водача възприема препятствието до момента на възможен сблъсък с него.



Фигура 3.4 Време до сблъсък

Времето до възможен сблъсък, използвано от водача за извършване на защитни действия, се изчислява като съотношение на разстоянието на автомобила от препятствието в момента на възникване на риска от произшествие (фиг. 3.4) към неговата скорост.

Времето до сблъсък (ТТС) се изчислява по следния начин:

$$TTC = \frac{s}{v} \quad (3.4)$$

където:

$TTC$  – време до сблъсък, [ $s$ ];

$s$  – разстоянието до опасността, [ $m$ ];

$v$  - скорост на МПС към момента на възникване на опасността, [ $m/s$ ].

За целта на изследването са приложени следните параметри на времето за сблъсък:

$$(TTC): s = 20 \text{ m}; v = 11.11 \text{ m/s:}$$

$$TTC = \frac{20}{11.11} = 1,8 \text{ s.}$$

$$(TTC): s = 30 \text{ m}; v = 11.11 \text{ m/s:}$$

$$TTC = \frac{30}{11.11} = 2,7 \text{ s.}$$

$$(TTC): s = 40 \text{ m}; v = 11.11 \text{ m/s:}$$

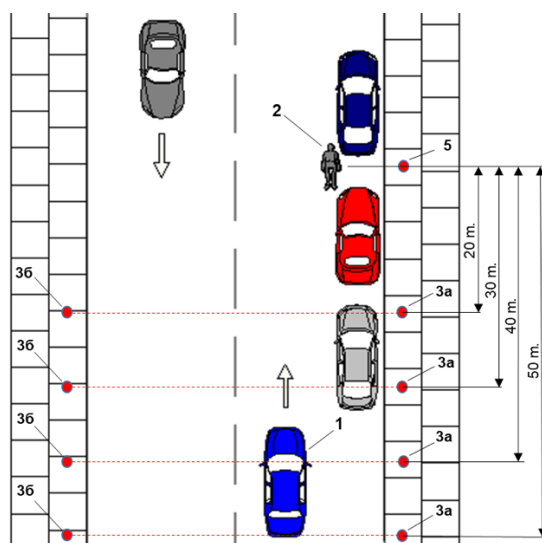
$$TTC = \frac{40}{11.11} = 3,6 \text{ s.}$$

$$(TTC): s = 50 \text{ m}; v = 11.11 \text{ m/s:}$$

$$TTC = \frac{50}{11.11} = 4,5 \text{ s.}$$

При преминаване на автомобил (1) през инфрачервена бариера се задейства звуков сигнал (5), в този момент специално обучен и инструктиран пешеходец (2) създава опасност, като навлиза в пътната лентата, по която се движи автомобил (1) (фиг. 3.5). Сензорите (3а и 3б) се разполагат на разстояние съответно 20, 30, 40 и 50 m от пешеходеца (2), които образуват инфрачервена бариера (фиг. 3.5). По този начин се създават условия за провеждане на експеримент с четири стойности на времето до сблъсък до обекта създаващ опасност. – за 1.8 s., 2.7 s., 3.6 s., 4,5 s.

При преминаване на автомобила между сензорите, се активира релейния изход на приемника, който от своя страна подава захранващо напрежение към звуковия сигнал (5) (фиг. 3.5).



Фигура 3.5 Ситуационно представяне на участъка от експеримента

Участниците в експеримента не са информирани за целта на изследването, в следствие, на което се очаква да бъдат постигнати резултати близки до реалните в такива ситуации.

Преди началото на изследването водачите попълват формуляр за съгласие и участие. На фиг. 3.7 са показани моментни снимки от проведените експерименти.



Фигура 3.7 Моментни снимки от експеримента

Теоретичната зависимост при определяне времето за реакция на водача на МПС  $t_p$  има вида:

$$t_p = t_b + t_{пр}, \quad (3.5)$$

където:

$t_b$  – време за умствена обработка. Времето, за което водачът възприема сигнала за опасност и решава какви ответни действия да предприеме за предотвратяване на ПТП (време за възприемане);

$t_{пр}$  – време за физическо действие на водача до достигане на органите за управление на МПС (спирачен педал, волан). Общото време за движение на крака от началото на отпускането на педала на горивоподаването до контакта му със спирачния педал или времето за завъртане на кормилното колело.

Експерименталната установка позволява определяне на времето за умствена обработка  $t_b$  (възприемане на сигнала за опасност и вземане на решение за предотвратяване на ПТП) и  $t_{пр}$  времето за движение на водача до достигане на органите за управление на МПС (моторна реакция). Внедрената в автомобила експериментална система позволява едновременно да се наблюдават действията на водача и момента на възникване на опасността. Данните от експеримента се записват в записващото устройство.

След приключване на експеримента, данните от видеорекордера се анализират с помощта на вградения софтуер в експерименталната система. Той позволява да се извърши детайлен анализ на видео материалите от трите камери наведнъж, като гарантира пълна синхронизация. С висока точност се определя  $t_p$  от началото на възникване на опасността до началото на моторната реакция на водача и времето за моторна реакция  $t_{пр}$ . По време на анализа, софтуера дава възможност да се регистрират времената  $t_p$ ,  $t_{пр}$ , а и  $t_v$  се изчислява.

## **Първи етап**

### ***Обекти на изследването***

Изследването е проведено с 72 правоспособни водачи разделени в четири групи по 18 човека.

I група: Определяне времето за реакция на водачите при предварително *закъснително движение със задействана спирачна уредба*

II група: Определяне времето за реакция на водач при предварително *закъснително движение без задействана спирачна уредба*.

III група: Определяне времето за реакция при предварително *ускорително движение*

IV група: Определяне времето за реакция на водачите при предварително *равномерно движение на МПС*.

- ***Определяне времето за реакция на водачите при предварително закъснително движение със задействана спирачна уредба в реални условия група I***

Участниците са инструктирани да управляват автомобила според правилата за движение залегнали в националното законодателство на Република България. В определен момент им се дават инструкции да извършат действия, чрез които да достигнат началните условия на движение преди възникването на симулираната опасност, необходими за коректното изпълнение на изследването. В този случай водачите трябва да извършат действията, след които автомобилът да е в процес на закъснително движение със задействана спирачна уредба.

- ***Определяне времето за реакция на водачите при предварително закъснително движение без задействана спирачна уредба в реални условия група II***

В определен момент на водачите се дават инструкции да извършат действия, чрез които да достигнат началните условия на движение преди възникването на симулираната опасност, необходими за коректното изпълнение на изследването. В този случай водачите трябваше да извършат действия, след които автомобилът да е в процес на закъснително движение без задействана спирачна уредба.

- ***Определяне времето за реакция на водачите при предварително ускорително движение без задействана спирачна уредба в реални условия група III***

В определен момент се дават инструкции участниците да извършат действия, чрез които да достигнат началните условия на движение преди възникването на симулираната опасност, необходими за коректното изпълнение на изследването. В този случай водачите трябваше да извършат действия, след които автомобилът да е в процес на ускорително движение.

- ***Определяне времето за реакция на водачите при предварително равномерно движение в реални условия група IV***

В определен момент на участниците получаваха инструкции да извършат действия, чрез които да достигнат началните условия на движение преди възникването на



симулираната опасност, необходими за коректното изпълнение на изследването. В този случай водачите управляваха превозното средство с постоянна скорост на движение.

Не са взети предвид опитите, които не са постигнали желаните начални условия на движение на автомобила.

## Втори етап

Вторият етап на експеримента е извършен с 72 водачи, разделени в четири групи.

Във всяка група има по 18 участника, различни от изследваните в първия етап. Проучването се провежда по представената методика, но с промяна на разстоянието до опасността, съответно и „времето до сблъсък“. За първа, втора, трета и четвърта група времето до сблъсък е съответно - 1.8 s; 2.7 s.;3.6 s. и 4,5 s, а разстоянието до опасността 20 m, 30 m, 40 m и 50 m. Целта на този етап е да се определи времето за реакция на участниците в четирите групи. Да се извърши сравнителен анализ на резултатите за да се установи дали времето до сблъсък влияе на времето за реакция на водача. Участниците управляват автомобила с постоянна скорост преди възникване на опасността.

## ГЛАВА 4. РЕЗУЛТАТИ И ОБСЪЖДАНЕ

В таблица 4.1 са представени средно аритметичните времена за възприемане на опасността, за преместване и за реакция на водачите от различните групи.

Таблица 4.1 Средно аритметични времена за възприемане на опасността, за преместване и за реакция на водачите от различните групи

Група	Средно аритметично време за възприемане на опасността $t_B$ , [s]	Средно аритметично време за преместване $t_{пр}$ , [s]	Средно аритметично време за реакция $t_p$ , [s]
I	0,482	-	0,482
II	0,496	0,106	0,602
III	0,508	0,288	0,796
IV	0,542	0,213	0,755

### **Група I - времето за реакция на водачите при предварително закъснително движение със задействана спирачна уредба**

При тези начални условия на движение на автомобила преди възникване на опасността (закъснително движение със задействана спирачна уредба) не се включва времето за моторна реакция ( $t_{пр}$ ) поради факта, че водачът вече е натиснал спирачния педал за да приведе автомобила в процес на закъснително движение. След възникване на опасността, водачите прилагат само допълнителен натиск върху спирачния педал за да отговорят на създадената ситуация. В този случай отчитаме само времето за умствена обработка ( $t_B$ ), което се явява и време за реакция ( $t_p$ ).

### **Група II - времето за реакция на водачите при предварително закъснително движение без задействана спирачна уредба**

При тези начални условия на движение на автомобила преди възникване на опасността (закъснително движение без задействана спирачна уредба) се включват всички времена,

които формират времето за реакция ( $t_p$ ), а именно ( $t_{пр}$ ) и ( $t_B$ ). Особеното в този случай е, че за да се приведе автомобила в процес на закъснително движение без задействана спирачна уредба, водачът е отпуснал педала на горивоподаването. Положението на десния крак е върху педала на газта, но без да го натиска. След възникване на опасността, участниците отговарят на създадената ситуация като натиснат спирачния педал

**Група III - времето за реакция на водачите при предварително ускорително движение**

При тези начални условия на движение на автомобила преди възникване на опасността (ускорително движение) се включват всички времена, които формират времето за реакция ( $t_p$ ), а именно ( $t_{пр}$ ) и ( $t_B$ ). Особеното в този случай е, че за да се приведе автомобила в процес на ускорително движение, водачът натиска педала на горивоподаването. След възникване на опасността, участниците отговарят на създадената ситуация като натискат спирачния педал

**Група IV - времето за реакция на водачите при предварително равномерно движение**

При тези начални условия на движение на автомобила преди възникване на опасността (ускорително движение) се включват всички времена, които формират времето за реакция ( $t_p$ ), а именно ( $t_{пр}$ ) и ( $t_B$ ). След възникване на опасността, участниците отговарят на създадената ситуация като натискат спирачния педал

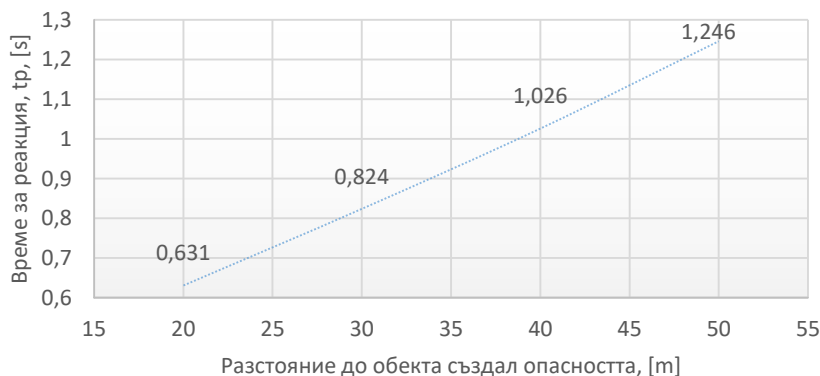
**Втори етап**

Резултатите за времето за реакция на участниците в експеримента от този етап са представени в таблица 4.2.

Таблица 4.2 Време за реакция от втори етап

Група	TTC [s]	Средно аритметично време за реакция $t_p$ , [s]
I	1,8	0,631
II	2,7	0,824
III	3,6	1,026
IV	4,5	1,246

Резултатите показват повишаване на времето за реакция с увеличаването на разстояние до обекта създава опасността. На фиг. 4.1 е представена диаграма, която показва нарастването на времето за реакция спрямо разстояние до обекта създава опасността.



Фигура 4.1 Диаграма на времето за реакция спрямо разстояние до обекта създава опасността

### Числени експерименти за определяне на параметрите при аварийно спиране на автомобила

От експеримента са определени времената за реакция на водачите при четирите различни начални условия на управление на МПС:

- при предварително закъснително движение със задействана спирачна уредба;
- при предварително закъснително движение без задействана спирачна уредба;
- при предварително ускорително движение.
- при предварително равномерно движение.

За четирите случая са съставени компютърни програми и са изчислени кинематичните параметри на всеки участък на движение с реалните експериментални данни:

#### При предварително закъснително движение със задействана спирачна уредба

Изходни данни:

$$V_0 = 40 \frac{km}{h} = 11,11 \frac{m}{s};$$

$$t_p = 0,482 \text{ s};$$

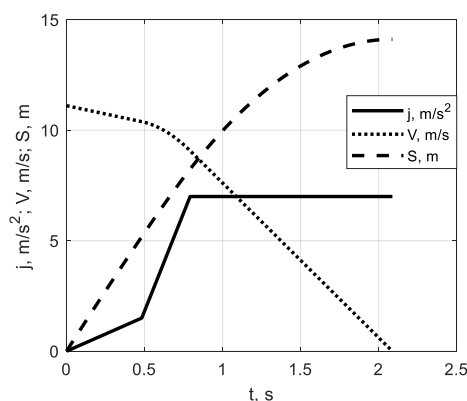
$$t_{\text{сп}} = 0;$$

$$t_H = 0,31 \text{ s};$$

$$j_1 = 1,5 \frac{m}{s^2};$$

$$j_2 = 7,0 \frac{m}{s^2}.$$

Получените резултати са показани на фиг. 4.3, а числените стойности в табл. 4.3.



Фигура 4.3 Изменение на ускорение, скорост и опасна зона при закъснително движение със задействана спирачна уредба

Таблица 4.3 Изменение на ускорение, скорост и опасна зона при закъснително движение със задействана спирачна уредба

<b>t, [s]</b>	0	0,482	0,792	2,088
---------------	---	-------	-------	-------

$j, \left[\frac{m}{s^2}\right]$	0	1,5	7	7
$V, \left[\frac{m}{s}\right]$	11,11	10,39	9,07	0
$S, [m]$	0	5,18	8,24	14,12

*При предварително закъснително движение без задействана спирачна уредба*

Изходни данни:

$$V_0 = 40 \frac{km}{h} = 11,11 \frac{m}{s};$$

$$t_p = 0,602 \text{ s};$$

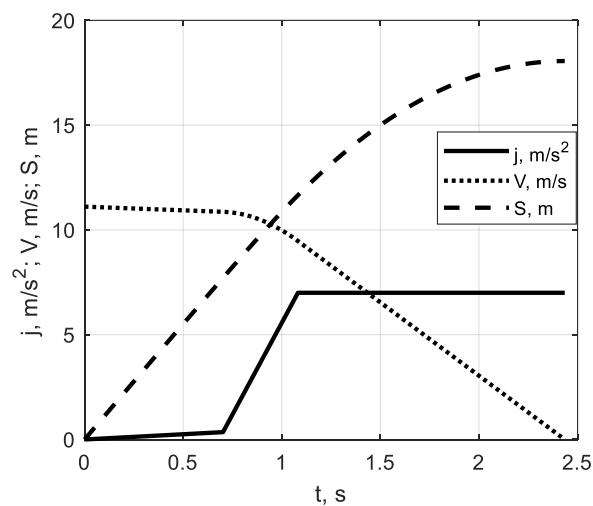
$$t_{сп} = 0,1 \text{ s};$$

$$t_H = 0,38 \text{ s};$$

$$j_1 = 0,35 \frac{m}{s^2};$$

$$j_2 = 7,0 \frac{m}{s^2}.$$

Резултатите са показани на фиг. 4.5 , а числените стойности в таблица 4.4.



Фигура 4.5 Изменение на ускорение, скорост и опасна зона при закъснително движение без задействана спирачна уредба

Таблица 4.4 Изменение на ускорение, скорост и опасна зона при закъснително движение без задействана спирачна уредба

$t, [s]$	0	0,602	0,702	1,082	2,435
$j, \left[\frac{m}{s^2}\right]$	0	0,30	0,35	7	7

$V, \left[\frac{m}{s}\right]$	11,11	10,90	10,86	9,47	0
$S, [m]$	0	6,62	7,71	11,66	18,06

*При предварително ускорително движение*

Исходни данни:

$$V_0 = 40 \frac{km}{h} = 11,11 \frac{m}{s};$$

$$a_y = 1,2 \frac{m}{s^2};$$

$$t_p = 0,796 s;$$

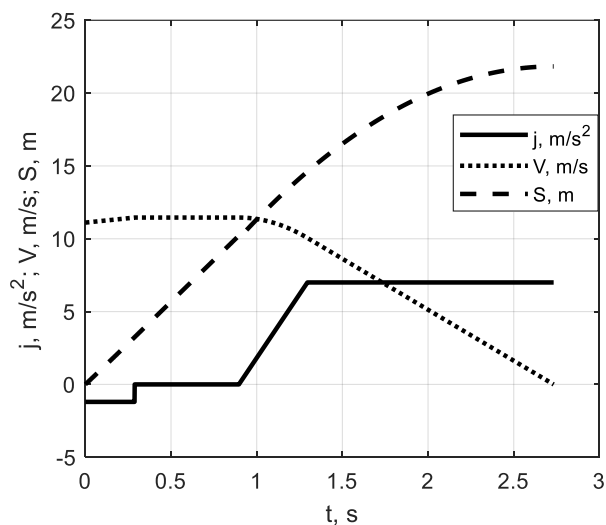
$$t_{p,pp} = 0,508 s;$$

$$t_{cп} = 0,1 s;$$

$$t_H = 0,4 s;$$

$$j = 7,0 \frac{m}{s^2}.$$

Резултатите са представени на фиг. 4.7, а числените стойности – в табл. 4.5.



Фигура 4.7 Изменение на ускорение, скорост и опасна зона при ускорително движение

Таблица 4.5 Изменение на ускорение, скорост и опасна зона при ускорително движение

$t, [s]$	0	0,287	0,288	0,796	0,896	1,296	2,733
$j, \left[\frac{m}{s^2}\right]$	-1,2	-1,2	0	0	0	7	7
$V, \left[\frac{m}{s}\right]$	11,11	11,45	11,46	11,46	11,46	10,06	0

<b>S, [m]</b>	0	3,24	3,25	9,07	10,22	14,61	21,83
---------------	---	------	------	------	-------	-------	-------

*При предварително равномерно движение*

Исходни данни:

$$V_0 = 40 \frac{km}{h} = 11,11 \frac{m}{s};$$

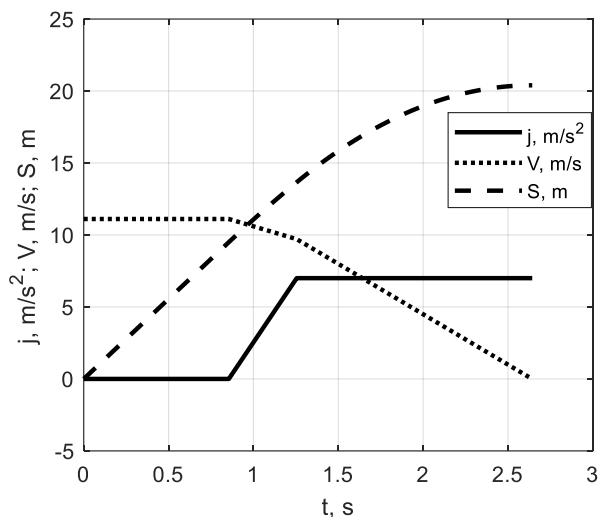
$$t_p = 0,755 s;$$

$$t_{сп} = 0,1 s;$$

$$t_H = 0,4 s;$$

$$j = 7,0 \frac{m}{s^2}.$$

Резултатите са показани на фиг. 4.9, а числените стойности в табл. 4.6.



Фигура 4.9 Изменение на ускорение, скорост и опасна зона при равномерно движение

Таблица 4.6 Изменение на ускорение, скорост и опасна зона при равномерно движение

<b>t, [s]</b>	0	0,755	0,855	1,255	2,643
<b>j, [<math>\frac{m}{s^2}</math>]</b>	0	0	0	7	7
<b>V, [<math>\frac{m}{s}</math>]</b>	11,11	11,11	11,11	9,71	0
<b>S, [m]</b>	0	8,39	9,50	13,76	20,40

С данните от експеримента е определена опасната зона за спиране за четирите случая с предварително движение на автомобила.

### Обобщени резултати за първи етап:

Таблица 4.7 Обобщени резултати от изчисленията получени за различните начални условия на движение на МПС преди появата на симулираната опасност

<i>Начални условия на движение преди появата на симулираната опасност</i>	<i>Време за реакция <math>t_p</math>, [s]</i>	<i>Опасна зона <math>S_o</math>, [m]</i>
<i>Предварително закъснително движение със задействана спирачна система</i>	0,482	14,12
<i>Предварително закъснително движение без задействана спирачна система</i>	0,602	18,06
<i>Предварително ускорително движение</i>	0,796	21,83
<i>Предварително равномерно движение</i>	0,755	20,40

### Обобщени резултати за втори етап:

В таблица 4.8 са представени данните за средното време за реакция на участниците в четирите групи в този етап от изследването.

Таблица 4.8 Средно време за реакция на участниците в изследването

<i>TTC, [s]</i>	<i>Разстояние до обекта създаващ опасността [m]</i>	<i>Средно време за реакция и стандартно отклонение <math>t_p</math>, [s]</i>
I група – 1.8	20	0,631 ± 0,034
II група – 2.7	30	0,824 ± 0,025
III група – 3.6	40	1,026 ± 0,095
IV група – 4.5	50	1,246 ± 0,080

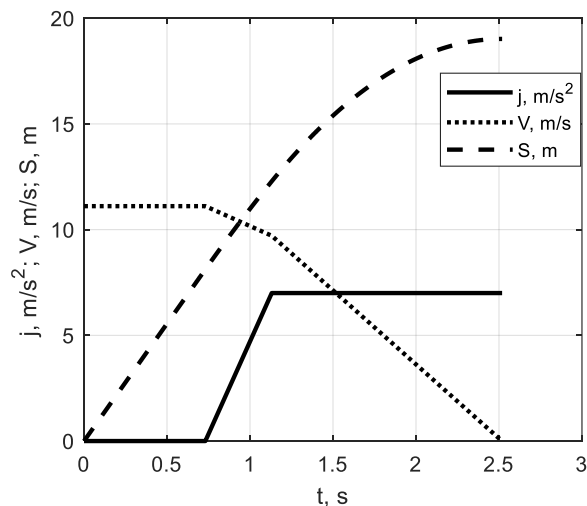
В MATLAB е създадена компютърна програма за изследване на ефекта от времето за реакция на водача върху общия спирачен път на автомобила. Резултатите се получават с помощта на данни, представени в таблицата. 4.9.

Таблица 4.9 Изходни данни за целите на програмирането в среда MATLAB

<b>ИЗХОДНИ ДАННИ:</b>			
<b>Група 1</b>	<b>Група 2</b>	<b>Група 3</b>	<b>Група 4</b>

$V_0 = 40 \text{ km/h}$ $= 11,11 \text{ m/s}$	$V_0 = 40 \text{ km/h}$ $= 11,11 \text{ m/s}$	$V_0 = 40 \text{ km/h}$ $= 11,11 \text{ m/s}$	$V_0 = 40 \text{ km/h}$ $= 11,11 \text{ m/s}$
$t_p = 0,631 \text{ s}$	$t_p = 0,824 \text{ s}$	$t_p = 1,026 \text{ s}$	$t_p = 1,246 \text{ s}$
$t_{\text{сн}} = 0,1 \text{ s}$	$t_{\text{сн}} = 0,1 \text{ s}$	$t_{\text{сн}} = 0,1 \text{ s}$	$t_{\text{сн}} = 0,1 \text{ s}$
$t_H = 0,4 \text{ s}$	$t_H = 0,4 \text{ s}$	$t_H = 0,4 \text{ s}$	$t_H = 0,4 \text{ s}$
$j = 7,0 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$	$j = 7,0 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$	$j = 7,0 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$	$j = 7,0 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$

На фиг. 4.10 и табл. 4.10 са представени резултатите от компютърната програма за първа група съответно в графичен и табличен вид. Те показват как отрицателното ускорение, скоростта на движение и изминатото разстояние варират по време на спиране.



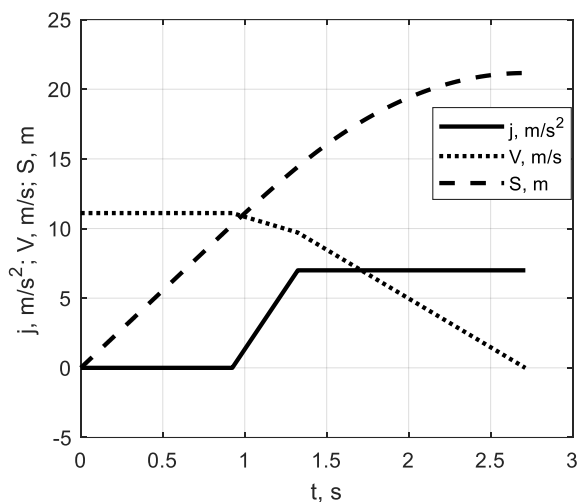
Фигура 4.10 Изменение на ускорението, скоростта и общия спирачен път при равномерно движение за I група

Таблица 4.10 Изменение на ускорение, скорост и опасна зона при равномерно движение за участниците от група I

$t, [s]$	0	0,631	0,731	1,131	2,519
$j, [\frac{m}{s^2}]$	0	0	0	7	7
$V, [\frac{m}{s}]$	11,11	11,11	11,11	9,71	0
$S, [m]$	0	7,01	8,12	12,38	19,02



Резултатите за изменението на ускорението, скоростта и опасната зона при равномерно движение на автомобила за участниците от втора група са представени на фиг. 4.11 и табл. 4.11.

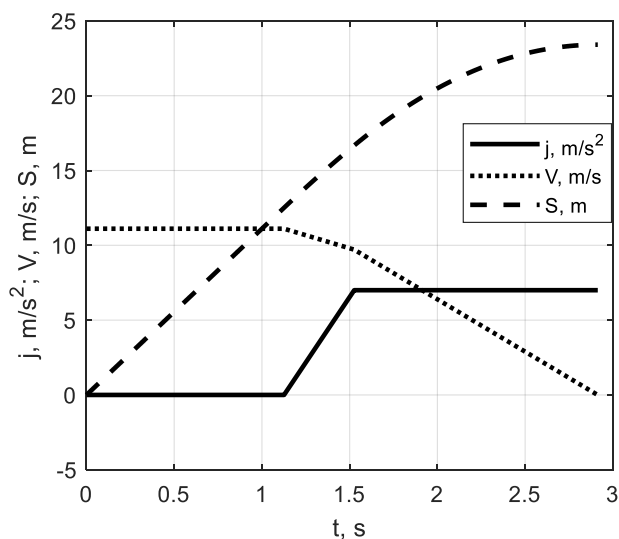


Фигура 4.11 Изменение на ускорението, скоростта и общия спирачен път при равномерно движение за II група

Таблица 4.11 Изменение на ускорение, скорост и опасна зона при равномерно движение за участниците от група II

$t, [s]$	0	0,824	0,924	1,324	2,712
$j, [\frac{m}{s^2}]$	0	0	0	7	7
$V, [\frac{m}{s}]$	11,11	11,11	11,11	9,71	0
$S, [m]$	0	9,15	10,27	14,43	21,16

Резултатите за изменението на ускорението, скоростта и опасната зона при равномерно движение на автомобила за участниците от трета група са представени на фиг. 4.12 и табл. 4.12.

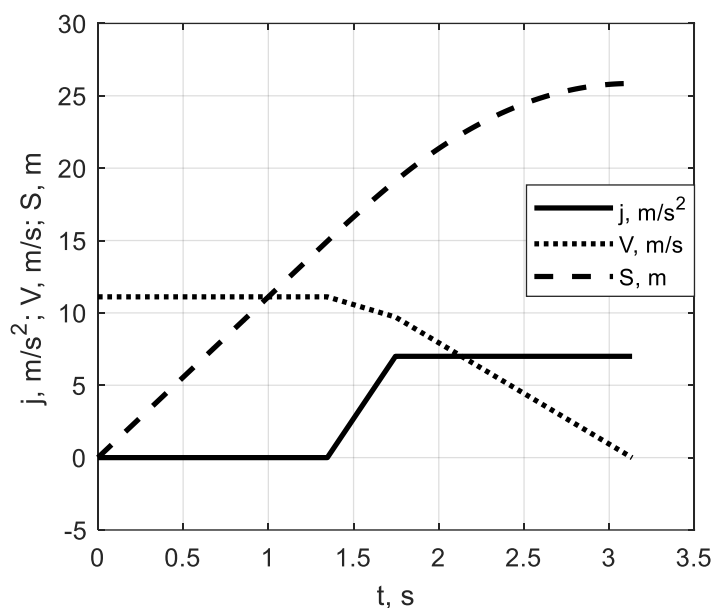


Фигура 4.12 Изменение на ускорението, скоростта и общия спирачен път при равномерно движение за III група

Таблица 4.12 Изменение на ускорение, скорост и опасна зона при равномерно движение за участниците от група III

$t, [s]$	0	1,026	1,126	1,526	2,914
$j, \left[\frac{m}{s^2}\right]$	0	0	0	7	7
$v, \left[\frac{m}{s}\right]$	11,11	11,11	11,11	9,71	0
$S, [m]$	0	11,40	12,51	16,67	23,41

Резултатите за изменението на ускорението, скоростта и опасната зона при равномерно движение на автомобила за участниците от четвърта група са представени на фиг. 4.13 и табл. 4.13.



Фигура 4.13 Изменение на ускорението, скоростта и общия спирачен път при равномерно движение за IV група

Таблица 4.13 Изменение на ускорение, скорост и опасна зона при равномерно движение за участниците от група IV

$t, [s]$	0	1,246	1,346	1,746	3,134
$j, \left[\frac{m}{s^2}\right]$	0	0	0	7	7
$v, \left[\frac{m}{s}\right]$	11,11	11,11	11,11	9,71	0

$S, [m]$	0	13,84	14,95	19,12	25,85
----------	---	-------	-------	-------	-------

В таблица 4.14 е представено времето за реакция на водачите и опасната зона за спиране спрямо разстоянието до обекта създаващ опасност.

Таблица 4.14 Обобщени данни на времето за реакция на водачите и опасната зона за спиране спрямо разстоянието до обекта създаващ опасност

<i>Разстояние до обекта създаващ опасност, [m]</i>	<i>Време за реакция <math>t_p, [s]</math></i>	<i>Опасна зона <math>S_o, [m]</math></i>
20	0,631	19,02
30	0,824	21,16
40	1,026	23,41
50	1,246	25,85

## НАУЧНО-ПРИЛОЖНИ И ПРИЛОЖНИ ПРИНОСИ

### НАУЧНО-ПРИЛОЖНИ ПРИНОСИ:

1. Разработена е методика за провеждане на експериментални изследвания с цел определяне на времето за реакция на водача на МПС при различни предварителни движения на автомобила преди възникване на опасността (закъснително движение със задействана спирачна система; закъснително движение без задействана спирачна система; ускорително движение; равномерно движение), която включва иновативен подход, базиран на метода за определяне на времето до сблъсък (ТТС).
2. Доказана е зависимост между времето за реакция и разстоянието от автомобила до обекта, създаващ опасността – с увеличаване на разстоянието времето за реакция нараства по линейна зависимост.
3. Разработен е алгоритъм за определяне на кинематичните параметри на всички участъци при „аварийно спиране“ (реакция на водача, задействане на спирачния механизъм, нарастване на спирачното закъснение и ефективно спиране) при различни предварителни движения на автомобила. Изведени са изрази за определяне на опасната зона за спиране при посочените по-горе предварителни движения на автомобила преди възникване на опасността.

### ПРИЛОЖНИ ПРИНОСИ:

1. Създадена е експериментална уредба, включваща куполни камери с моторизирани вариофокални обективи и цифров видеорекордер с вграден софтуер, който осигурява запис и възможност за последващ анализ на поведението на водачи на МПС в реални пътни условия.
2. Получени са данни за времето за реакция на водачите на МПС от експериментални изследвания в реални условия при следните предварителни движения на автомобила преди възникване на опасността:
  - Предварително закъснително движение със задействана спирачна система;
  - Предварително закъснително движение без задействана спирачна система;
  - Предварително ускорително движение;
  - Предварително равномерно движение.

3. Създадена е компютърна програма за определяне на параметрите на спирачната динамика на всички участъци при аварийно спиране на база на известни уравнения.

### **СПИСЪК НА ПУБЛИКАЦИИТЕ ПО ДИСЕРТАЦИОННИЯ ТРУД**

1. Кръстев А. (2024). Методи за анализ и инструменти за събиране на данни за поведението на водачи при управление на превозни средства в реална среда – литературен обзор. Известия на ТУ-Сливен 4, 44-53. ISSN - 1312-3920.

2. Карапетков, С. & Кръстев А. (2024). Определяне на пълния спирачен път при аварийно спиране с различни предварителни движения на МПС преди поява на опасността. Механика на машините, 2, 60-65. ISSN - 0861-9727.

3. Карапетков, С. & Кръстев А. (2022). Експериментално определяне на времето за реакция на водач на МПС в аварийна ситуация. Известия на Съюза на учените Сливен, 37 (2), 131-135. ISSN - 1311-2864.

## SUMMARY

### *An experimental study of motor vehicle driver's reaction time and its impact on the dangerous stopping zone*

*Angel Hristov Krastev, MSc. eng.*

The first part of this PhD thesis explores important topics such as: methods for analyzing driver behavior and data collection devices; reaction time; the process of stopping the vehicle; and emergency braking for various types of vehicles preliminary movements.

The aim of this doctoral thesis is to present an experimental study determining the reaction time of motor vehicle drivers in real conditions and its influence on the complete stopping distance (dangerous stopping zone).

To achieve the set goal, the following tasks were solved: development of an experimental system for measuring the reaction time of motor vehicle drivers; formulation of a methodology for conducting the experiment; determining the driver's reaction time for various types of initial vehicle movements; evaluation of the driver's reaction time at four different values of the distance to the object that creates the danger; development of a methodology for a numerical experiment for emergency braking; Implementation of computer programs to support these methodologies.

Significant differences in total stopping distance were observed under different initial driving conditions before encountering a simulated hazard. When comparing different groups of drivers, significant differences in mean reaction time were found. These differences are due to variations in the hazard distance values used in the experiment. The study revealed that as the distance to the object that creates the danger increases, so does the driver's reaction time. This shows a significant correlation between the driver's reaction time and the distance to the object creating the hazard.