



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

**Маг. инж. Атанас Петров Иванов**

**ДИНАМИКА НА РЕЛАТИВНОТО ДВИЖЕНИЕ НА ПЪТНИК**  
**СЛЕД ЗАГУБА НА НАПРЕЧНАТА УСТОЙЧИВОСТ НА**  
**АВТОМОБИЛ**

**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: 5.1. МАШИННО ИНЖЕНЕРСТВО  
Научна специалност: ПРИЛОЖНА МЕХАНИКА  
*(наименование на научната специалност)*

**Научни ръководители:** **Проф. д.т.н. инж. Станимир Карапетков**  
**Доц. д-р инж. Христо Узунов**

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 16.12.2024г.

Публичната защита на дисертационния труд ще се състои на 15.05.2025г. от 15,00 часа в зала № 1204 на Технически университет – София, ИПФ – Сливен на открито заседание на научното жури, определено със заповед № ОЖ-5.1-09/ 21.01.2025г. на Ректора на ТУ-София в състав:

1. проф. д.т.н. инж.Станимир Михайлов Карапетков – председател
2. доц. д-р инж. Мария Василева Граменова - Ангелова
3. проф. д-р инж. Иван Христов Белоев
4. доц. д-р инж. Димитър Иванов Грозев
5. доц. д-р инж. Тончо Гецов Балбузанов

Рецензенти:

1. доц. д-р инж. Мария Василева Граменова - Ангелова
2. доц. д-р инж. Димитър Иванов Грозев

Материалите по защитата са на разположение на интересуващите се в учебен отдел на Инженерно педагогически Факултет-Сливен на ТУ-София, кабинет № 200.

Дисертантът е задочен докторант към катедра „Механика, Машиностроене и Топлотехника“ на Инженерно педагогически Факултет-Сливен. Изследванията по дисертационната разработка са направени от автора.

Автор: маг. инж. Атанас Иванов

Заглавие: Динамика на релативното движение на пътник след загуба на напречната устойчивост на автомобил

Тираж: 30 броя

Отпечатано в печатница „Секос“ ЕООД, гр. Ямбол.

# **I. ОБЩА ХАРАКТЕРИСТИКА НА ДИСЕРТАЦИОННИЯ ТРУД <sup>1</sup>**

---

## **Актуалност на проблема**

Съвременните условия на урбанизация и повишаването на изискванията към системите за обществен транспорт, комфортът и безопасността на пътуващите е от съществено значение. Поради повишаването на гъстотата на градските транспортни мрежи, пътуващите с обществен транспорт все повече са изложени на внезапни ускорения, резки спирания и завои, които оказват негативно влияние върху комфорта на пътуване. Влияние оказват и територията, която е специфична по отношение на нейните географски и екологични характеристики – като стръмни склонове на релефа или екстремни климатични условия. Решаването на всички тези проблеми изисква задълбочено познаване на взаимовръзката на динамиката на превозното средство с поведението и комфорта на пътниците при различни условия на пътуване. Съвременното ниво на развитие на науката и техниката в областта на обществения транспорт, позволява внедряване на системи иновативни системи от тип „асистент на водача“. Чрез такива системи сравнително лесно се оптимизират моделите на шофиране, така че да се намали дискомфорта при пътуване. По подобен начин изследването на динамиката на пътниците по време на пътуване и при възникване на инциденти, води до създаване на подобрени протоколи за безопасност и дизайн на превозни средства, които минимизират рисковете от нараняване. Справянето с тези предизвикателства би позволило на фирмите за обществен транспорт да осигурят удовлетворение на потребителите, по-широко използване на обществения транспорт и по този начин да допринесат за устойчива и ефективна градска мобилност.

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

**Основна цел.** Създаване на критерии и реализиращи ги технически средства за осигуряване комфорта на пътуване чрез изследване динамиката на релативно движение на пътник в превозно средство за обществен транспорт, загубил напречна устойчивост.

За постигане на тази цел е необходимо да се решат следните **основни задачи**: **1.** Дефиниране на рамка и критерии за осигуряване комфорт на пътуване в условията на обществен транспорт с отчитане особеностите на географския регион на пътуване. **2.** Анализ на въздействието на ускорението върху пътниците – синтез на индикатори за комфорт при пътуване. **3.** Създаване и изследване на модел на система „асистент на водача“, подпомагаща осигуряването на комфорта на пътуване на пътниците. **4.** Изследване на динамиката на релативно движение на пътник след загуба на устойчивост на автомобил.

**Методите на изследване** включват анкетно проучване, измерване с електрически сензори, приложение на методи за получаване, обработка и анализ на опитни данни. Проектиране на устройство.

## **Научна новост**

Адаптирани са алгоритми и процедури, подходящи за автоматизирана, експресна оценка на комфорта на пътуване, чрез който се показва нивото на комфорт визуално на водача, като го подпомага при коригиране на стила на шофиране и осигуряване на комфорт на пътниците. Предложени са регресионни предсказващи модели за оценка на дискомфорта на пътуване по данни от акселерометър. Създаден е модел на динамиката на превозното средство и пътника за оценка на безопасността и комфорта на пътуване при линейно и ротационно движение и спиране. Чрез този модел се оценява поведението на водача при шофиране, комфорта на пътниците и предотвратяването на пътни инциденти.

---

<sup>1</sup> Информацията по тази част е с препоръчителен обем 2-3 страници

## **Практическа приложимост**

Предложена е методика, при която се използва разработена система „асистент на водача“ в практическото обучение на водачи с цел оценка и подобряване на стила им на шофиране. Получените резултати могат да бъдат използвани за подобряване параметрите на транспортния процес, което покрива интереса на превозвачите, свързан с ефективното използване на превозните средства и от там подобряване на комфорта на пътуване, намаляване консумацията на гориво и вредните за околната среда емисии.

## **Апробация**

Резултатите от дисертационния труд са апробирани на три научни конференции: 1. International Conference on Technics, Technologies and Education (ICTTE), Faculty of Technics and Technologies, Trakia University, October 18-19th, 2018, Ямбол, България; 2. Национална конференция с международно участие, Сливен 2019, 9 май - 10 май 2019г., гр. Сливен, хотелски комплекс "Национал", България; 3. The 14th International Conference on Virtual Learning ICVL 2019, Romania (Реферирана в Web of Science; реферирана в Scopus)

## **Публикации**

Основни постижения и резултати от дисертационния труд са публикувани в 4 научни статии, от които 3 са самостоятелни, представени на научни конференции и отпечатани в пълен текст в научни списания.

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

Дисертационният труд е в обем от **180** страници, като включва увод, пет глави за решаване на формулираните основни задачи, списък на основните приноси, списък на публикациите по дисертацията и използвана литература. Цитирани са общо **133** литературни източници, като **111** са на латиница и **22** на кирилица, а останалите са **29** интернет адреси. Работата включва общо **74** фигури и **20** таблици. Номерата на фигурите и таблиците в автореферата съответстват на тези в дисертационния труд.

## **II. СЪДЪРЖАНИЕ НА ДИСЕРТАЦИОННИЯ ТРУД**

---

### **ГЛАВА 1. ПРЕГЛЕД НА МЕТОДИТЕ И ИНСТРУМЕНТАРИУМА ЗА АНАЛИЗ, ОЦЕНКА И ОСИГУРЯВАНЕ КОМФОРТА НА ПЪТУВАНЕ НА ПЪТНИЦИ**

В първа глава е направен преглед на състоянието на проблема с осигуряване комфорт на пътуване. Анализирани са нормативните документи, свързани с предметната област. Проучени са изследвания в предметната област. На база обобщение на резултатите от текущи изследвания са дефинирани целта и задачите на дисертационния труд.

#### **1.7. Обобщения и изводи**

Формулирани са основните етапи при разработването на симулационна система за анализ на комфорта при пътуване.

В резултат от направените проучвания се установи, че използването на системи тип „Асистент на водача“, в научни изследвания, свързани с измерване на ускорения е възможно и оправдано, защото тези системи спомагат за подобряване на комфорта на пътуване и непряко оказват влияние върху намаляване на вредните емисии от пътните транспортни средства.

Съществуващите системи от тип Driver Assistant Systems (DAS), се враждат в превозните средства от производителите на автомобили. Също така те се реализират и като програмни приложения за мобилни телефони. При тези системи се отчита влиянието на стила на шофиране

върху емисиите на вредните газове, икономията на гориво. Общ недостатък на тези системи е, че при тях не се отчита влиянието на стила на шофиране при използването им в превозни средства за обществен транспорт, както и не се отчита комфорта на пътниците. Необходимо е да се направят изследвания, свързани с приложението на такива системи в обществения автомобилен транспорт, което да го направи атрактивен, достъпен, комфортен, безопасен, екологично чист, високоскоростен за пътуващите. Както при вградените системи, така и при мобилните приложения не е достъпна оценка на влиянието на стила на шофиране върху атрактивността, достъпността, комфорта, безопасността на пътуващите в обществен транспорт.

Ефективно средство за получаване на изходни данни за комфорта на пътуване са сензори като акселерометър, жирокоп, компас, GPS, видеокамери. От изброените сензори акселерометрите са основен източник на данни за оценка на комфорта на пътуване. Нивото на комфорт на пътниците е важен фактор за измерване във всякаква форма на обществен транспорт, включително при използване на автономни превозни средства.

Необходимо е получаваните от сензорите за ускорение данни да бъдат обвързани с такива от анкетно проучване, в което пътуващите да отразят усещането си за дискомфорт. Също така е необходимо да се дефинират граници на степента на дискомфорт у пътуващите, чрез подходящи математически зависимости да бъдат използвани, както за вградени в превозните средства системи от тип DAS, така и за приложения на мобилни телефони.

Необходимо е да се направят още изследвания върху приложението на системите „Асистент на водача“, свързани основно с комфорта на пътуване. Разработването на такива системи започва с дефиниране на функционалните изисквания по отношение на желаните функции, комфорта на водача и пътниците, както и наличните ограничения. Освен това те са критични за безопасността системи, които изискват висока степен на надеждност, което включва надеждност, безопасност и отказоустойчивост. Затова се извършват анализи на опасностите и рисковете, за да се идентифицират източниците на възможни откази в тези системи.

Задачите в това изследване са свързани с разработване на методика, модели и анализи за подобряване на комфорта и безопасността на пътуващите в обществения транспорт, като се вземат предвид условията на движение и динамичното поведение на превозното средство.

## **ГЛАВА 2. МЕТОДИ И ИНСТРУМЕНТАРИУМ ИЗПОЛЗВАНИ В ИЗСЛЕДВАНЕТО**

Във втора глава е направен анализ на пътуването в обществен транспорт. Представена е използваната опитна постановка и използвания метод на анкетно проучване. Основните методи на работа, използвани при решаването на поставените задачи са методи за обработка на данни, като клъстерен анализ, анализ на съответствията, корелационен анализ, регресионен анализ. Настоящата работа е базирана на теоретичен анализ, моделиране, симулационни и експериментални изследвания.

От направените предварителни проучвания при пътуване в обществен транспорт може да се посочат някои недостатъци при воденето на превозното средство, без да се пренебрегва факта, че някои от причините за неприятно усещане при пътуване се дължат на необходимостта от съобразяване с пътната обстановка от страна на водача.

Програмни и апаратни средства, използвани в изследването:

- ✓ Автобус марка „Ивеко“ ,модел „Покер“ производство на FIAT Spa;
- ✓ Мобилен телефон марка „HUAWEI“, модел „Y5i“ производство на „HUAWEI“ Китай;
- ✓ Програмно приложение „Sensor kinetics Pro, Version 3.1.2. Inovations, Inc.2011;
- ✓ Радар марка “Bushnell” , производител“Bushnell” Inc. 9200 Cody Overland Park, KS.

При планиране на анкетното проучване са следните типове въпроси: въпроси, съдържащи описание на конкретна реакция, описваща степента на комфорт; числена оценка на реакцията, във вид на точкова оценка. Избрана е 5-бална скала за оценка, която може директно да бъде свързана с

измерените стойности на ускорението в различните оси на движение, както на автомобила, така и на пътниците. Получените от анкетното проучване данни са групирани по възраст на респондентите, тъй като по този критерий се получава статистически значима разлика (при ниво на значимост  $\alpha=0,05$ ) между отговорите им. Тези данни са използвани при съставяне на регресионен модел и корелационен анализ с данни от сензори за ускорение (акселерометри).

Използваните методи за обработка и анализ на опитни данни включват:

- ✓ Клъстерен анализ;
- ✓ Анализ на съответствията;
- ✓ Корелационен анализ;
- ✓ Регресионен метод;
- ✓ Дискриминантен анализ.

### **ГЛАВА 3. АНАЛИЗ НА ВЪЗДЕЙСТВИЕТО НА УСКОРЕНИЕТО ВЪРХУ ПЪТНИЦИТЕ – СИНТЕЗ НА ИНДИКАТОРИ ЗА КОМФОРТ ПРИ ПЪТУВАНЕ**

В трета глава са представени резултати от два основни опита. При първият опит е направен предварителен анализ на възможностите на измервателните средства и транспортното средство. Вторият опит е направен с цел определяне степента на дискомфорт у пътуващите, в зависимост от тяхната възраст. Получени са корелационни зависимости между степента на дискомфорт, линейно и ъглово ускорение. Изведен е модел, описващ връзката между степента на дискомфорт и ускорението на превозното средство.

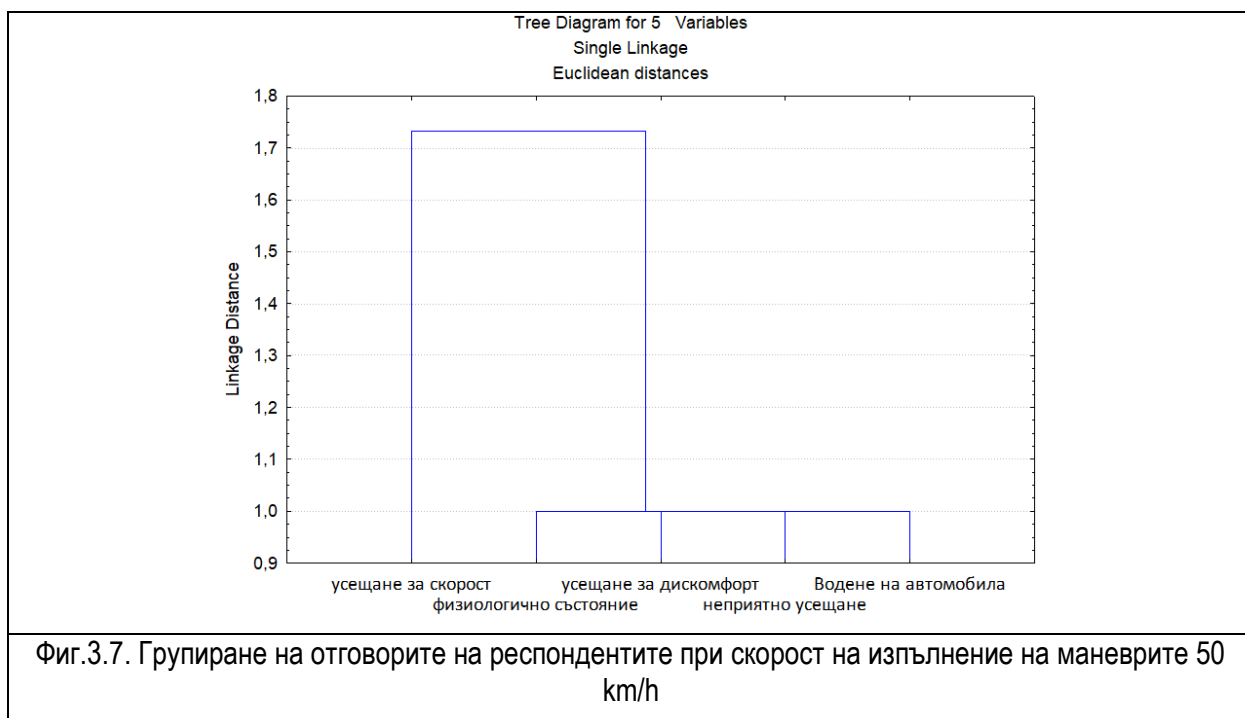
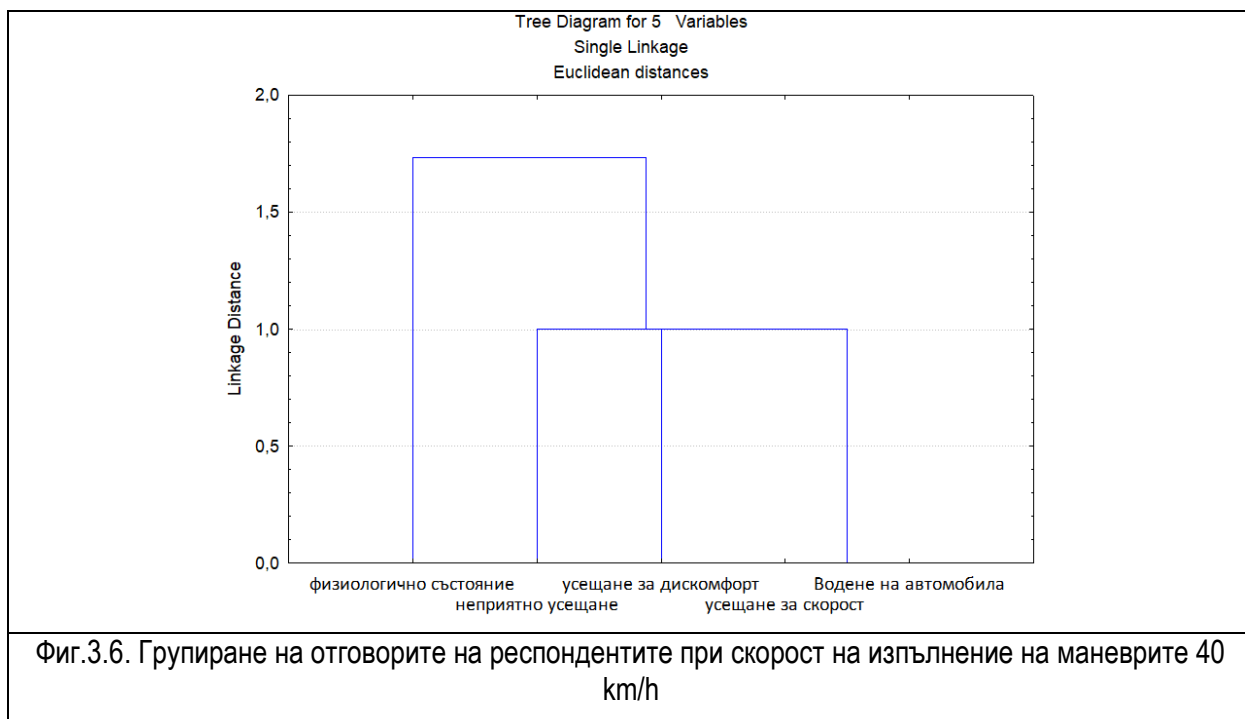
#### **3.2.Резултати от втори опит включващ измерване на ускорение и анкетно проучване на респонденти**

Измерени са ускоренията до водача, на масовия център на превозното средство и на респонденти в три възрастови групи – малко дете, млад човек и възрастен. Четири от маневрите са изпълнени при три различни скорости на движение на превозното средство 40, 50 и 60 km/h. При всеки от опитите е направено анкетно проучване сред респондентите, свързано с усещането им за дискомфорт. Резултатите от измерване на ускорение, при различни маневри и от анкетното проучване са обработени с методи за анализ на данни, включващи дескриптивна статистика, корелационен и регресионен анализ.

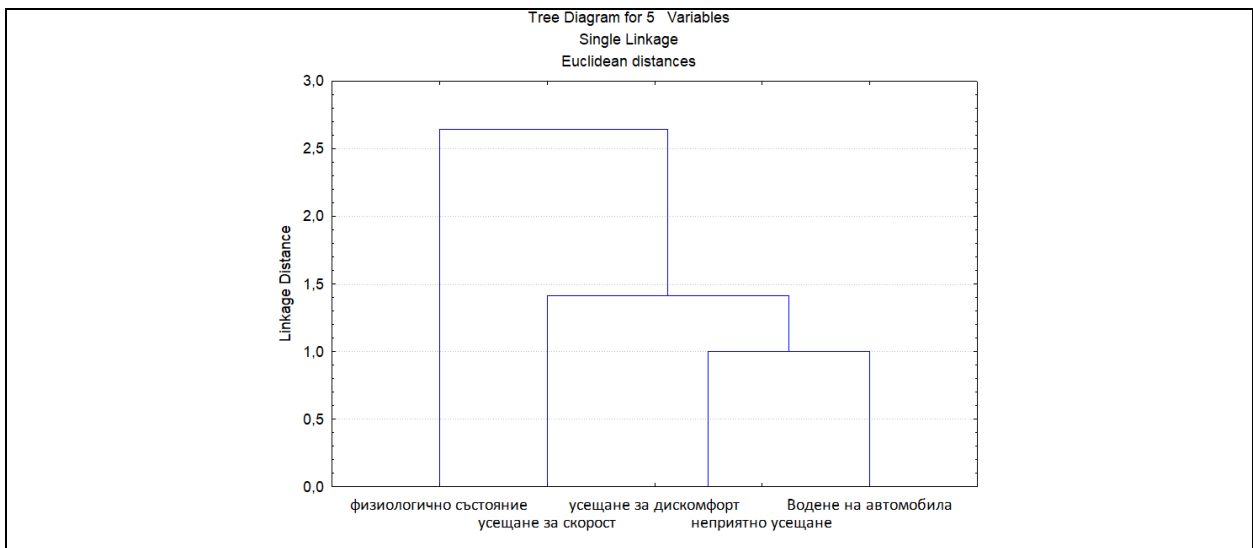
Направен е клъстерен анализ с цел оценка на групирането на посочените от респондентите отговори в зависимост от скоростта, с която са изпълнявани отделните маневри.

На фиг. 3.6 са показани резултати от групиране на отговорите на респондентите при скорост на изпълнение на маневрите 40 km/h. вижда се, че при тази скорост се отделят два големи клъстера – в първия е физиологичното състояние, което според отговорите на респондентите е повлияно от ниската скорост на движение и създава усещане за дискомфорт. Всички останали фактори, влияещи върху дискомфорта се групират във втори по-голям клъстер.

На фиг. 3.7 са показани резултати от групиране на отговорите на респондентите при скорост на изпълнение на маневрите 50 km/h. тук в по-голям клъстер се групира усещането за скорост. В този случай по-голямата скорост оказва влияние върху усещането за дискомфорт у респондентите. Ясно се вижда, че във втория клъстер основно място заема отново физиологичното състояние на респондентите. Възможно е преминаването към по-висока скорост на движение на превозното средство да оказва влияние върху реакциите на респондентите. Необходимо е в бъдещи изследвания този фактор да бъде изследван по-задълбочено.



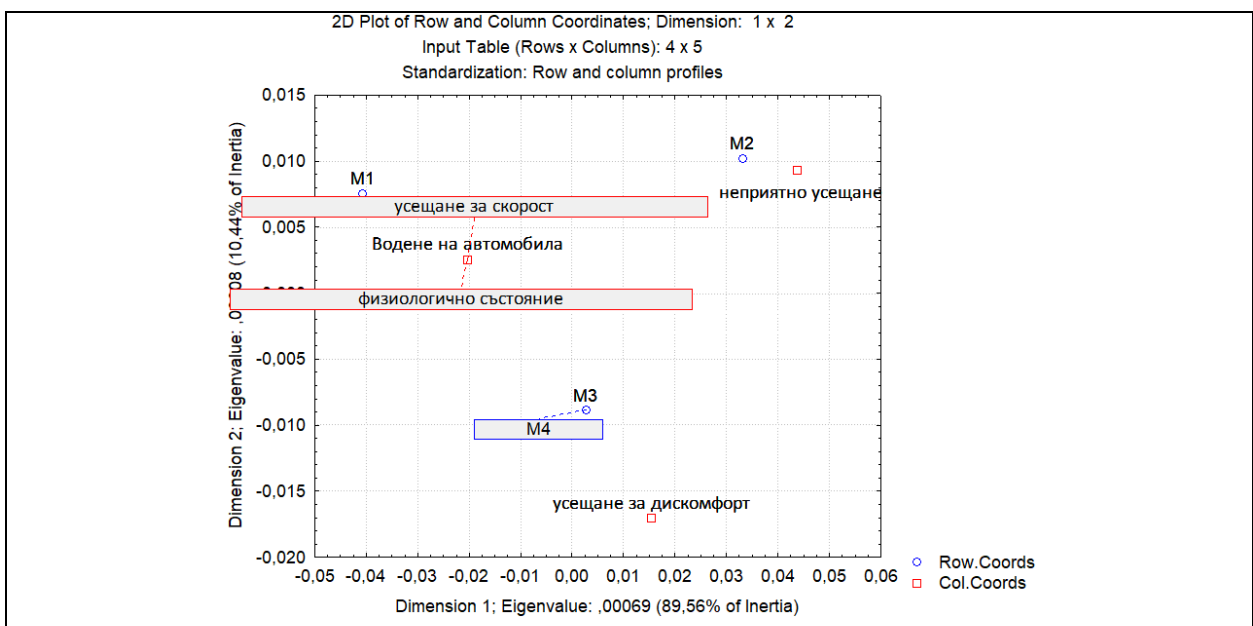
На фиг. 3.8 са показани резултати от групиране на отговорите на респондентите при скорост на изпълнение на маневрите 60 km/h. високата скорост на движение при маневрите оказва значително влияние върху физиологичното състояние на респондентите. Това се вижда и от графиката за групиране на отговорите. Това е очакван резултат, защото при тази сравнително висока скорост на маневриране, особено при маневри с криволинейно движение на превозното средство респондентите се затрудняваха да запазват тяхната неподвижна позиция, накланяха се в страни и напред.



Фиг.3.8. Групиране на отговорите на респондентите при скорост на изпълнение на маневрите 60 km/h

Изследването върху влиянието на скоростта върху групирането на отговорите на респондентите не е единствен и еднозначен критерий, което е и недостатък на клъстерния анализ. Необходимо е да се направи проверка за влиянието на типа на маневрата върху отговорите на респондентите. За целта е използван метод „Анализ на съответствията“.

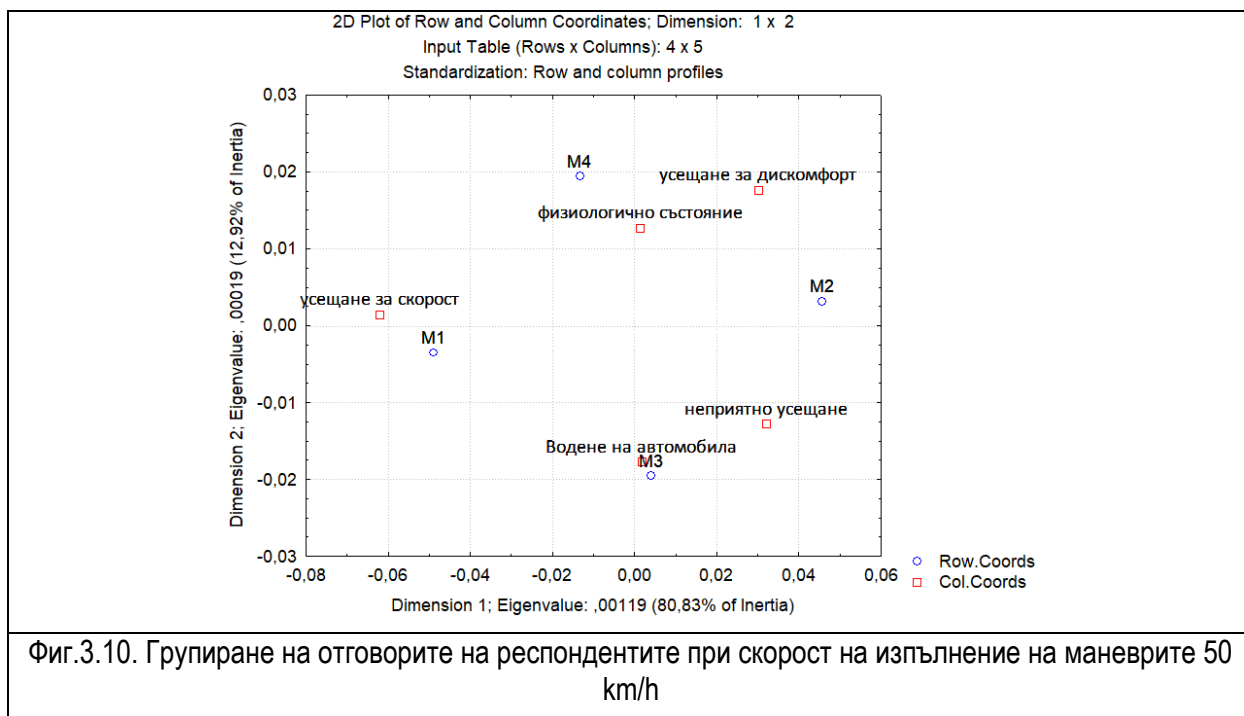
На фиг. 3.9 са показани резултати от групиране на отговорите на респондентите при скорост на изпълнение на маневрите 40 km/h, с използване на метод „Анализ на съответствията“. вижда се, че маневра 1, представляваща равномерно ускорително праволинейно движение оказва влияние върху усещането за скорост и физиологичното състояние на респондентите. Бавното движение на превозното средство оказва негативно влияние върху пътуващите. При равно-закъснителното движение в маневра 2, респондентите посочват, че имат неприятно усещане. Маневрите 3 и 4 с криволинейно движение оказват най-голямо влияние върху степента на дискомфорт.



Фиг.3.9. Групиране на отговорите на респондентите при скорост на изпълнение на маневрите 40 km/h

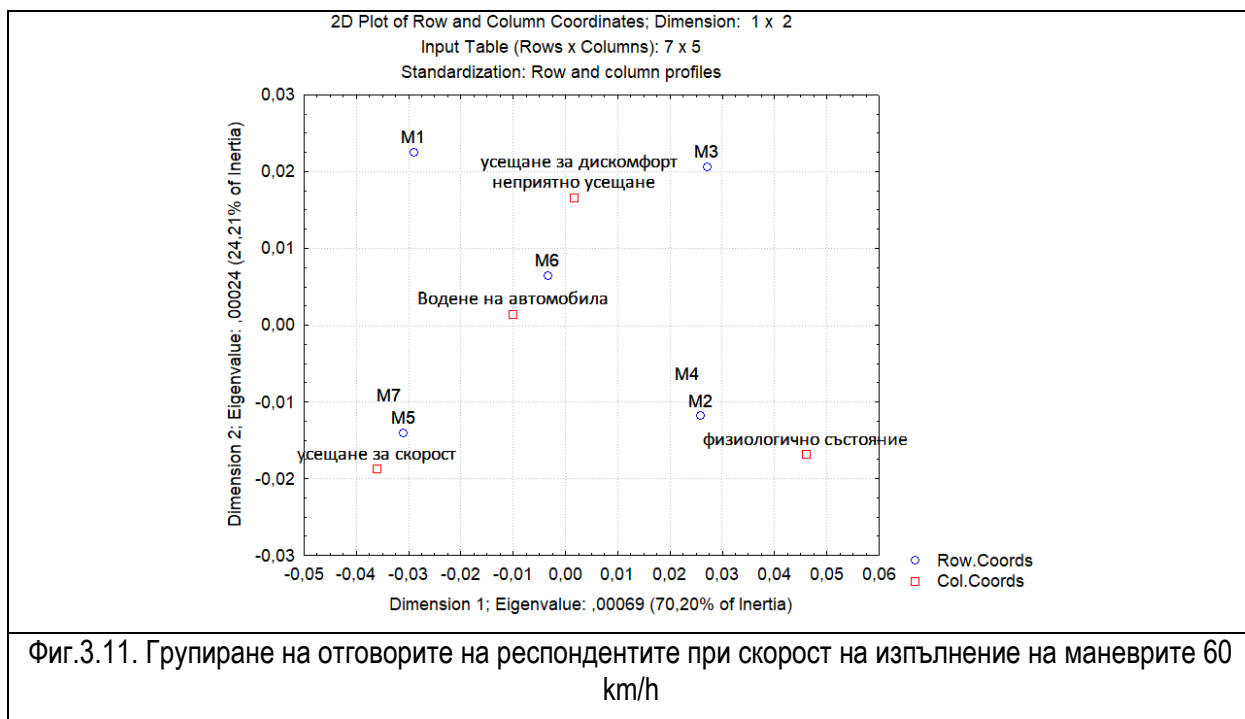


На фиг. 3.10 са показани резултати от групиране на отговорите на респондентите при скорост на изпълнение на маневрите 50 km/h. При тази скорост на движение върху неприятното усещане за скорост основно влияние оказва маневър 1, както беше установено при клъстерния анализ този фактор оказва значимо влияние в зависимост от скоростта на движение и ще бъде обект на бъдещи изследвания. Тук маневри 3 и 4, които са при криволинейно движение на превозното средство имат значително влияние върху степента на дискомфорт у респондентите.



На фиг. 3.11 са показани резултати от групиране на отговорите на респондентите при скорост на изпълнение на маневрите 60 km/h. В този случай неприятно усещане за дискомфорт предизвикват маневрите 1 и 3. Закъснителното движение на превозното средство оказва негативно влияние върху физиологичното състояние на респондентите. При криволинейните маневри 5 и 7 респондентите основно посочват неприятно усещане за висока скорост. Както се вижда от графиката при всички маневри респондентите посочват по-ниски оценки за воденето на автомобила. Както беше посочено в предходната глава, опита и стила на шофиране на водача също са фактори, които влияят върху комфорта на пътуване на пътниците в обществен транспорт. При анализите в настоящата работа ще се търсят методи и модели при които се минимизира влиянието на водача при определяне степента на комфорт с цел създаване на възможно по-универсален модел на система, подпомагаща водача при осигуряване на комфортно пътуване на пътниците.

При направения анализ на съответствията е установено влиянието на отделните маневри върху степента на дискомфорт при анкетираните респонденти. Чрез този метод са допълнени резултатите от клъстерния анализ, при който не се получи еднозначен отговор за влиянието на отделните маневри, при различна скорост на движение на превозното средство. Този недостатък беше отстранен с метода анализ на съответствията. Получените до тук резултати са достатъчно основание да се търси модел, описващ степента на дискомфорт у пътуващите в обществен транспорт. Върху комфорта на пътуване влияят множество фактори като стил на шофиране, скорост, ускорение, ъглови измествания на пътуващите при различните маневри и много други. Затова при съставянето на модела описващ дискомфорта на пътуване, той трябва да включва най-значимите от тези фактори.



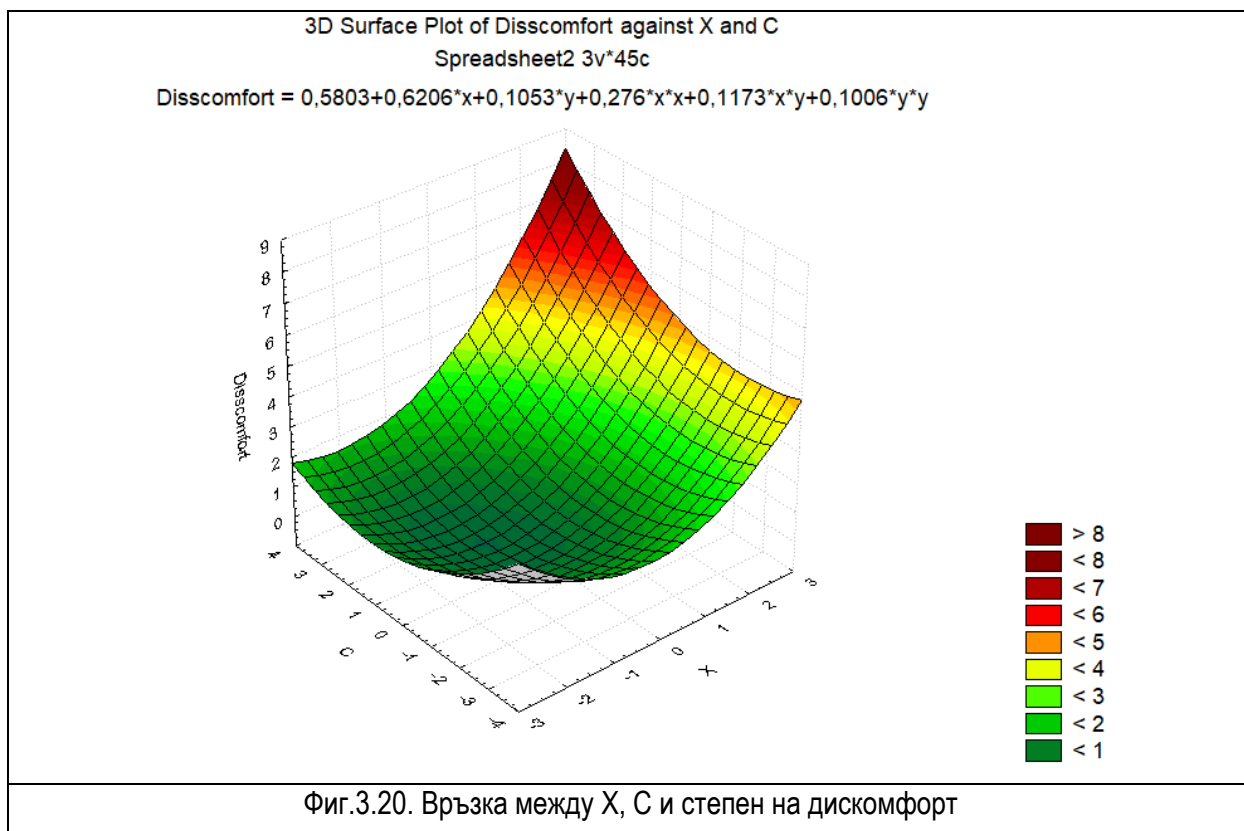
### 3.4. Съставяне на модел за определяне на дискомфорт при пътуване в обществен транспорт

В таблица 3.7 са показани корелационните зависимости между степента на дискомфорт и измерваните параметри скорост, ускорение и ъглово преместване.

Таблица 3.7. Корелационни зависимости между измервани параметри и степен на дискомфорт

	<i>Диском форт</i>	<i>Скорост, km/h</i>	<i>X</i>	<i>Y</i>	<i>Z</i>	<i>A</i>	<i>B</i>	<i>C</i>
<b>Скорост, km/h</b>	0,56	1						
<b>X</b>	-0,14	0,14	1					
<b>Y</b>	0,02	0,05	0,20	1				
<b>Z</b>	-0,27	0,02	0,25	0,52	1			
<b>A</b>	0,05	-0,02	0,12	0,85	0,25	1		
<b>B</b>	-0,08	0,11	0,84	0,07	0,06	0,11	1	
<b>C</b>	-0,14	-0,05	0,34	0,66	0,25	0,79	0,32	1

На фиг. 3.20 е показан полученият регресионен модел, описващ връзката между трите параметъра ускорение по ос X, ротационно движение около ос Z и степента на дискомфорт.



Вижда се, че връзката между изследваните параметри е нелинейна и може да бъде описана с модел от вида:

$$D = 0,1006C^2 + 0,1173XC + 0,276X^2 + 0,1053C + 0,6206X + 0,5803$$

където D е степен на дискомфорт; X ( $a_x$ ,  $m/s^2$ ) – ускорение по ос X; C,  $rad/s$  – ротационно движение около ос Z.

### 3.5.Изводи

В резултат от направените експериментални измервания се установи, че използването на сензори от мобилни устройства в научни изследвания касаещи измерване на ускорения е възможно и оправдано. При практическото използване на сензора за ускорение е необходимо телефона да се позиционира правилно, поне в първоначалната позиция при започване на измерванията, за бъде измерването достоверно.

Редно би било преди да се използва за такива цели, телефоните независимо от марката и модела, да се направят такива натурни измервания и сравнения за да бъдат обективни резултатите и изводите в научните разработки.

Направеният анализ на комфорта на пътуване по данни от акселерометър и анкетно проучване показва, че степента на дискомфорт може да бъде прогнозирана с достатъчна точност по данни от акселерометър за ос X – ускорение по посока на движението на пътното превозно средство и по ротационната ос C около вертикалната ос Z на акселерометъра. Движението по ротационната ос може да бъде директно измерена с жирокоп или изчислена по косвен път. Недостатък на използването на жирокоп е, че при него се получава т.нар. „дрейф“, водещ до увеличаване на грешката при измерване на отклонението по ротационните оси на движение. При използване на жирокоп е необходимо да се използват корекционни изчисления от данните на акселерометъра.

Получените резултати допълват и отчасти подобряват тези от достъпната литература с модел, който използва само една линейна и една ротационна ос, по които с достатъчна точност се описва дискомфорта у пътуващите.

Полученият модел е подходяща основа за изграждане на система за подпомагане на водача при осигуряване на комфорт на пътниците в обществен автомобилен транспорт.

## ГЛАВА 4. СЪЗДАВАНЕ И ИЗСЛЕДВАНЕ НА МОДЕЛ НА СИСТЕМА „АСИСТЕНТ НА ВОДАЧА“, ПОДПОМАГАЩА КОМФОРТА НА ПЪТУВАНЕ НА ПЪТНИЦИТЕ

(следващ етап в разработката, като теоретичните постижения се преобразуват в приложни обекти – програмна система, модел, проектиране на устройство и пр.)

Главата е обобщение на третираните в предходните глави теоретични въпроси в посока на приложението им в реално действаща система от тип „Асистент на водача“. Описани са програмно-техническото и организационно-методическото осигуряване на системата. Изграден е графичен потребителски интерфейс, улесняващ потребителя при работа с тази система. Посочени са възможностите за приложение на разработената система в реални условия на пътуване. С примери е представено приложението на изградената система в лабораторни условия и като средство за практическо обучение.

### 4.2.Използване на светофарна система за индикация на комфорта на пътуване

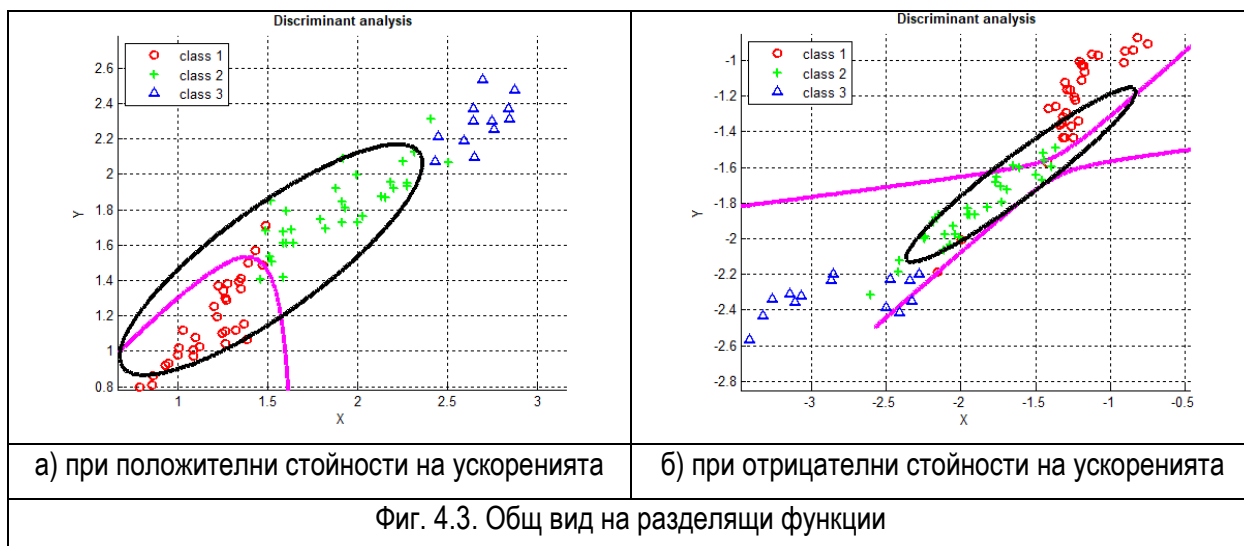
В настоящата работа е предложено използването на светофарна система за индициране на степента на дискомфорт на пътуващите в превозно средство за обществен транспорт. В таблица 4.1 са посочени трите цвята и тяхното значение за комфорта на пътуване. На тази база е съставен елемент от графичен потребителски интерфейс към апаратна и програмна система от тип асистент на водача, чрез който той да бъде насочван към подобряване комфорта на пътуване.

Таблица 4.1. Приложение на светофарна система за индикация на комфорта на пътуване

Цвят	Значение	Описание
Зелен	Комфортно	Пътуването е приятно за пътника
Жълт	Некомфортно	Необходимо е да се намали влиянието на факторите, влияещи върху комфорта при изпълнение на маневри от водача
Червен	Изключително некомфортно	Необходимо е водача да предприеме действия, които да подобрят комфорта на пътуване, тъй като причинява силен дискомфорт у пътуващите

### 4.3.Дефиниране на разделящи функции при определяне степента на дискомфорт при пътуване

Дефинирани са разделящи функции с използване на квадратичен дискриминантен анализ. На фиг. 4.3 са показани в общ вид двете функции. С class 1 е означена висока степен на комфорт; class 2 – леко дискомфортно; class 3 – висока степен на дискомфорт, съобразно резултатите от измерванията и анкетното проучване. Както се вижда от фигурата има слабо припокриване между класовете. Чрез получените разделящи функции могат да бъдат разграничавани трите степени на комфорт с обща грешка до 5%, при положителни стойности на ускоренията и до 7% при отрицателни.



При положителни стойности на ускоренията, между клас 1 и 2, получената разделяща функция има вида:

$$\delta_{c1-c2}(x, y) = -12,88 + 24,05 \cdot v + v' \cdot 14,57 \cdot v \quad (4.1)$$

Между клас 2 и 3, получената разделяща функция има вида:

$$\delta_{c2-c3}(x, y) = -12,02 - 3,29 \cdot v + v' \cdot (-22,52) \cdot v \quad (4.2)$$

При отрицателни стойности на ускоренията, между клас 1 и 2, получената разделяща функция има вида:

$$\delta_{c1-c2}(x, y) = -56,01 + 74,74 \cdot v + v' \cdot (-43,22) \cdot v \quad (4.3)$$

Между клас 2 и 3, получената разделяща функция има вида:

$$\delta_{c2-c3}(x, y) = -56,07 - 143,59 \cdot v + v' \cdot 64,72 \cdot v \quad (4.4)$$

На фиг. 4.4 е представен алгоритъм за приложение на получените разделящи функции при адаптирането им в система от тип асистент на водача. На първи етап се прави проверка дали стойностите на ускоренията по направления  $x$  и  $y$  са положителни или отрицателни. Тази проверка служи за разклоняване на алгоритъма на две части. В тези две части се изчислява към кой клас принадлежи стойността на ускорението по съответната ос, спрямо разделящата функция. Следващата стъпка е да се вземе решение и резултата да се изведе към индикацията на графичния интерфейс. При него се използва предложената тук светофарна система, чрез която се визуализира степента на дискомфорт.

Степените на дискомфорт по ос  $z$  са съобразени със стандарта (ISO 2631-5:2018). В зелената зона е „Комфортно“ ( $<0,3 \text{ m/s}^2$ ), в жълтата зона е „Некомфортно“ (до  $1,6 \text{ m/s}^2$ ), в червената зона е „Изключително некомфортно“ ( $>1,6$  и над  $2 \text{ m/s}^2$ ).



Програмната част е изградена на модулен принцип, което улеснява разчитането и модифицирането на управляващата програма.

Графичният потребителски интерфейс се състои от: главно меню; екран за показване комфорта на пътуване; екран с графично и числово представяне на данни; помощна информация за потребителя на системата.

При разработването и изграждането на тази система са използвани принципите на V-диаграмата и препоръките в кодекса на добрите практики при създаване на системи за асистиране на водача.

#### 4.4.1. Апаратна конфигурация на системата

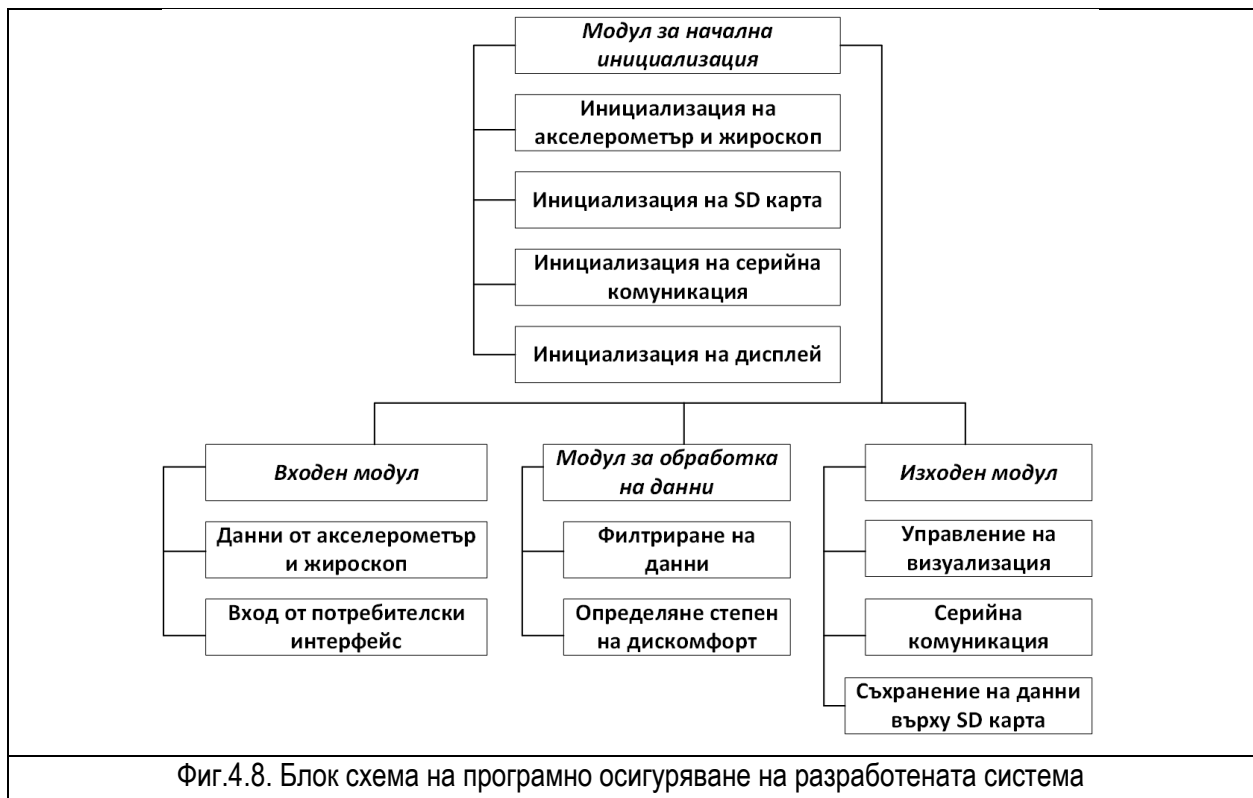
На фиг. 4.6 е показана блокова схема за свързване на използваните устройства. Едноплатновият микрокомпютър управлява паралелно програмируемият дисплей, модулът за SD карта и цифровият сензор за ускорение и ъглово преместване. Системата се захранва автономно с акумулаторна батерия от тип Power bank.



#### 4.4.2. Програмно осигуряване на системата

Програмното осигуряване на системата е изцяло реализирано в едноплатковия микрокомпютър. То е изградено на модулен принцип с три модула: настройка; начална инициализация и основна програма. Използвани са средствата на езика C и системна програма Arduino IDE за програмиране на Arduino и съвместими микропроцесорни устройства.

На фиг. 4.8 е представена блок схема на програмното осигуряване на разработената система. Програмното осигуряване се състои от четири основни модула: модул за начална инициализация; входен модул; модул за обработка на данни; изходен модул. Освен тези модули е въведен и модул за настройка, който може да се разглежда като елемент на модула за начална инициализация.



#### 4.4.3.Графичен потребителски интерфейс на системата

Графичният потребителски интерфейс на система „Асистент на водача“ се състои от главно меню, меню „Асистент“, меню „Графики“ и меню „Помощна информация“. Преминването между менютата се осъществява посредством бутони, активирани чрез функциите на чувствителния на допир екран.

На фиг. 4.15 е показана организацията на графичния потребителски интерфейс. Той се състои от главно меню и три, които служат за визуализация и управление на системата.



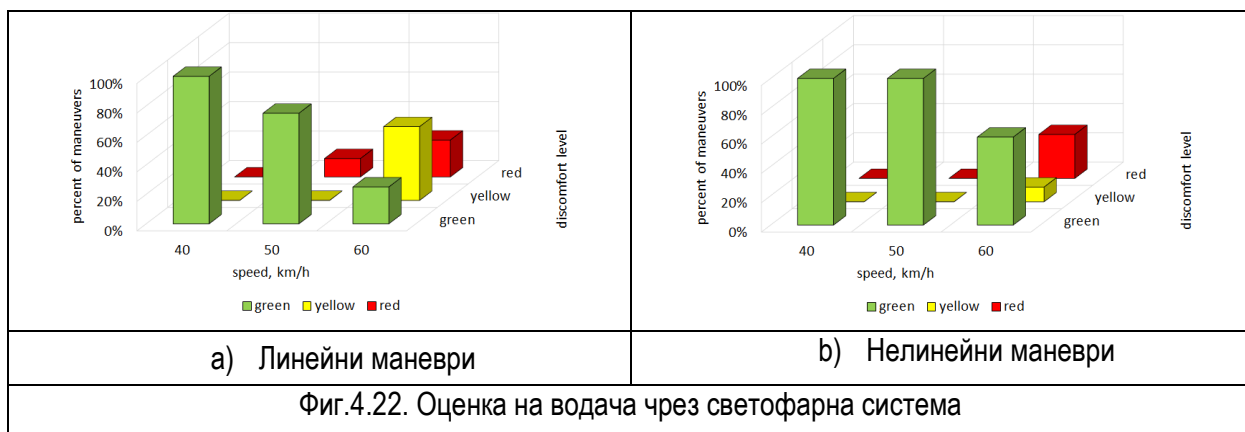
#### 4.6.Приложение на разработената система в теоретичното и практическо обучение в професионално направление 5.1. – Машинно инженерство

Направен е анализ на възможността за приложение на **светофарна система** за оценка на водача при изпълнение на маневри с линейно и нелинейно движение на пътното превозно средство.



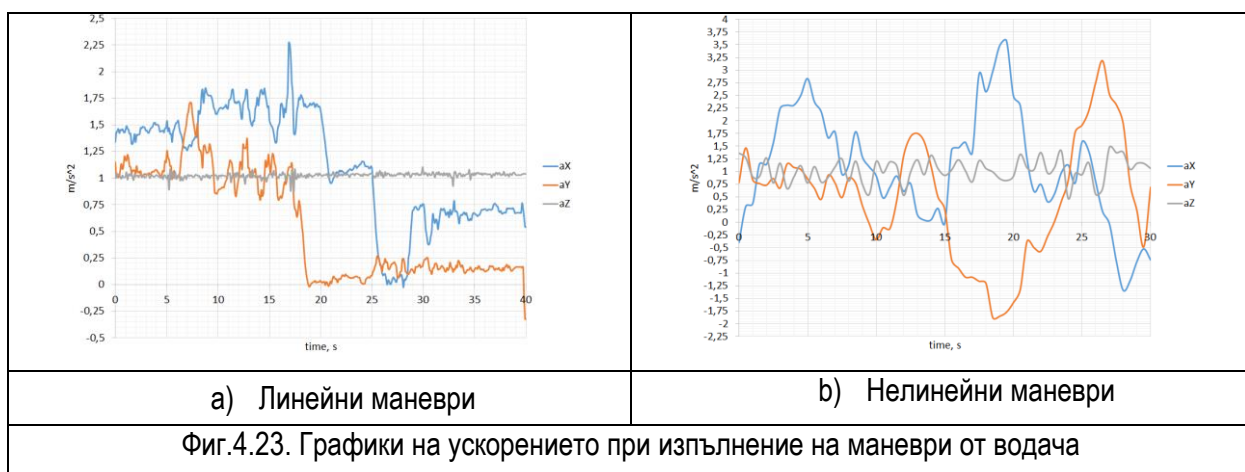
Анализът включва показания за воденето на превозното средство при различни скорости на движение и степента на дискомфорт. Тези резултати могат да бъдат използвани за подобряване на стила на шофиране и като допълнителна полза намаляване на вредните емисии в следствие на ефективното използване на автомобила.

На фиг. 4.22 са показани резултати от оценка на водача при изпълнение на линейни и нелинейни маневри с пътното превозно средство. Вижда се, че при маневрите с линейно движение на автомобила с 40km/h е получена най-ниска степен на дискомфорт. При тези маневри, изпълнени с 60km/h са получени показания, основно в жълтата зона. Най-голям дял на високи нива на дискомфорт са получени при изпълнение на маневри с праволинейно движение с 60km/h. Изпълнението на маневри с нелинейно движение показва, че най-голям процент от тях са с ниска степен на дискомфорт за пътуващите. Както и при маневрите с линейно движение на превозното средство, така и при изпълнение на такива с нелинейно движение, изпълнението им при най-висока скорост от 60km/h води до повишаване на дискомфорта при пътуващите.



Основната система позволява запис на изменението на ускорението по осите X, Y и Z на SD карта. Чрез този запис може да бъде направен анализ на промяната на ускорението при изпълнението на различни маневри.

На фиг. 4.23 са показани графики на ускорението, измерено чрез сензора за ускорение, на устройството асистент на водача, при скорости от 60km/h. Вижда се, че при изпълнение на маневрите ускорението е над  $1\text{m/s}^2$ , което, както е видно от предходната фигура води до увеличаване на дискомфорта у пътуващите.



#### 4.7.Изводи

Разработен е модел на микропроцесорна система от тип „Асистент на водача, изградена на база направени проучвания. Съставена е последователност за настройката на тази система.

Адаптиран е алгоритъм за комплексна, експресна, автоматизирана оценка на комфорта на пътуване, подходящ за приложение на „светофарна система“ за оценка на комфорта на пътуване.

Той включва модули за изследване, анализ и категоризация на степента на дискомфорт при пътуващите в превозни средства за обществен транспорт. Алгоритъмът може да бъде използван при управление на модул към графичен потребителски интерфейс на програмна система, който може да се приложи за подпомагане на водача при осигуряване комфорт на пътуване. Той е подходящ при създаване на програмно осигуряване на системи от тип Асистент на водача, както за мобилни устройства, така и във вградени от производителя на автомобила системи от този тип.

Направен е анализ на възможните приложения на разработените програмни и апаратни средства в реални условия на пътуване и за целите на обучението.

Даден пример за използване на тази система като учебно-техническо средство, подходящо за визуализация на учебното съдържание, подпомагане на преподаващия и същевременно възможност за използване като инструмент за реализиране на лабораторни и практически упражнения в областта инженерното обучение.

Изграден е графичен потребителски интерфейс на модулен принцип, състоящ се от четири модула. Функционално потребителският интерфейс позволява извършване на измервания на ускорение. В разработения интерфейс са вградени функции за предварителна обработка на получаваните измервателни данни. Програмното средство позволява добавяне на допълнителна функционалност и помощна информация за добавяните модули.

В настоящата работа, е направен анализ на възможността за използване на светофарна система при обучението на водачи на превозни средства за обществен транспорт. Получените резултати показват, че разработеният графичен интерфейс към апаратна и програмна система от тип асистент на водача, могат да бъдат използвани за оценка и насоки към него с цел подобряване стила му на шофиране. Получените резултати водят до подобряване параметрите на транспортния процес, което покрива интереса на превозвача, свързан с ефективното използване на превозните средства и от там намаляване консумацията на гориво и вредните за околната среда емисии.

## **ГЛАВА 5. ДИНАМИКА НА РЕЛАТИВНО ДВИЖЕНИЕ НА ПЪТНИК СЛЕД ЗАГУБА НА УСТОЙЧИВОСТ НА АВТОМОБИЛ**

В пета глава е направен анализ на динамичното поведение на превозно средство при движение. Изследвано е поведението на пътник в превозно средство при движението на това средство. Оценено е влиянието на загубата на напречна устойчивост при високи скорости и/или резки завои. Изготвен е модел на поведение на пътник под действие на инерционната сила при линейно, ъглово движение и спиране на превозното средство чрез програмен продукт Matlab.

В основата на изследването е пространствен динамичен модел на движението на автомобил по наклонена равнина, създаден от проф. Карапетков. Използват се диференциалните уравнения на движение в пространството с 6 обобщени координати, четири от завъртането на колелата и две от управлението на автомобила.

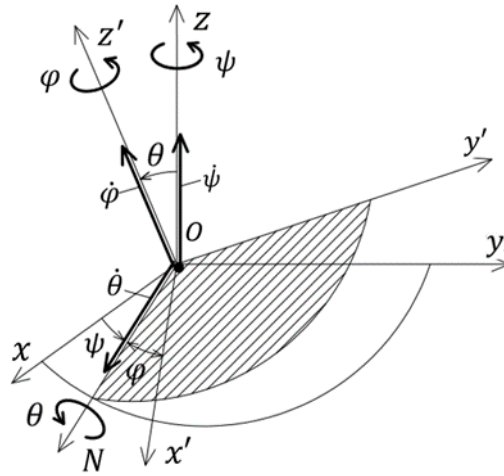
Създаденият модел на човек в автобус е в изправено положение, като са приети три обобщени координати от завъртането на човека или завъртането на трите неизменно свързани с човека оси спрямо координатна система, успоредна на собствената координатна система на автобуса. Завъртанията са представени като трите Ойлерови ъгли  $\psi, \theta, \varphi$  /пси, тита и фи/. Приема се, че в резултат на действието на инерционните сили тялото на се придвижва, а се завърта или модел на завъртане на тяло около една неподвижна точка.

Получено е положението на масовия център тялото, като е въведено положението на неподвижната точка К. Масовият център на тялото е означен с точка М.

Спрямо така представената координатна система е налице векторното уравнение:

$$\overline{OK} = \overline{OC} + \overline{CK}$$

$$\begin{cases} x_k = x_c + a'_{11}x'_k + a'_{12}y'_k + a'_{13}z'_k \\ y_k = y_c + a'_{21}x'_k + a'_{22}y'_k + a'_{23}z'_k \\ z_k = z_c + a'_{31}x'_k + a'_{32}y'_k + a'_{33}z'_k \end{cases}$$



Фиг. 5.2

Спрямо въведената собствена координатна система на пътника е налице векторното уравнение:

$$\vec{OP} = \vec{OK} + \vec{PK}$$

$$\begin{cases} x_p = x_k + a''_{11}x'_p + a''_{12}y'_p + a''_{13}z'_p \\ y_p = y_k + a''_{21}x'_p + a''_{22}y'_p + a''_{23}z'_p \\ z_p = z_k + a''_{31}x'_p + a''_{32}y'_p + a''_{33}z'_p \end{cases}$$

На база на уравнението

$$\frac{d'\vec{K}_c^r}{dt} + \vec{\omega} \times \vec{K}_c^r = \vec{M}_c$$

са получени уравненията от лявата част съответно

$$(1) \quad \begin{aligned} I_{x'} \frac{\omega_{x'}}{dt} + (I_{z'} - I_{y'}) \omega_{y'} \omega_{z'} = \\ = I_{x'} \ddot{\psi} \sin \theta \sin \varphi + I_{x'} \ddot{\theta} \cos \varphi + \dot{\psi} \dot{\theta} [I_{x'} \cos \theta \sin \varphi - (I_{z'} - I_{y'}) \sin \varphi \cos \theta] \\ + \dot{\psi} \dot{\varphi} [I_{x'} \sin \theta \cos \varphi + (I_{z'} - I_{y'}) \sin \theta \cos \varphi] + \dot{\varphi} \dot{\theta} [-I_{x'} \sin \varphi \\ - (I_{z'} - I_{y'}) \sin \varphi] + \dot{\psi}^2 [(I_{z'} - I_{y'}) \sin \theta \cos \theta \cos \varphi] \end{aligned}$$

$$(2) \quad \begin{aligned} I_{y'} \frac{\omega_{y'}}{dt} + (I_{x'} - I_{z'}) \omega_{z'} \omega_{x'} = \\ = I_{y'} \ddot{\psi} \sin \theta \cos \varphi - I_{y'} \ddot{\theta} \sin \varphi + \dot{\psi} \dot{\theta} [I_{y'} \cos \theta \cos \varphi + (I_{x'} - I_{z'}) (\cos \theta \cos \varphi)] + \\ + \dot{\psi} \dot{\varphi} [-I_{y'} \sin \theta \sin \varphi + (I_{x'} - I_{z'}) (\sin \theta \sin \varphi)] + \\ + \dot{\varphi} \dot{\theta} [-I_{y'} \cos \varphi + (I_{x'} - I_{z'}) \cos \varphi] + \dot{\psi}^2 [(I_{x'} - I_{z'}) \sin \theta \cos \theta \sin \varphi] \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 & I_{z'} \frac{\omega_{z'}}{dt} + (I_{y'} - I_{x'}) \omega_{x'} \omega_{y'} = \\
 (3) \quad & = \ddot{\psi} I_{z'} \cos \theta + \ddot{\varphi} + \dot{\psi} \dot{\theta} [-I_{z'} \sin \theta - (I_{y'} - I_{x'}) \sin \theta \sin^2 \varphi + \\
 & + (I_{y'} - I_{x'}) \sin \theta \cos^2 \varphi] + (I_{y'} - I_{x'}) (\dot{\psi}^2 \sin^2 \theta \sin \varphi \cos \varphi) - \\
 & - (I_{y'} - I_{x'}) (\dot{\theta}^2 \sin \varphi \cos \varphi)
 \end{aligned}$$

Главните моменти на силите спрямо неизменно свързаните с автомобила оси, участващи в израза, се определят от матричното равенство

$$\begin{aligned}
 M_{x'} &= M_{G_{x'}} + M_{N_{1x'}} + M_{N_{2x'}} + M_{\Phi_{x'}} \\
 M_{y'} &= M_{G_{y'}} + M_{N_{1y'}} + M_{N_{2y'}} + M_{\Phi_{y'}} \\
 M_{z'} &= M_{G_{z'}} + M_{N_{1z'}} + M_{N_{2z'}} + M_{\Phi_{z'}}
 \end{aligned}$$

където

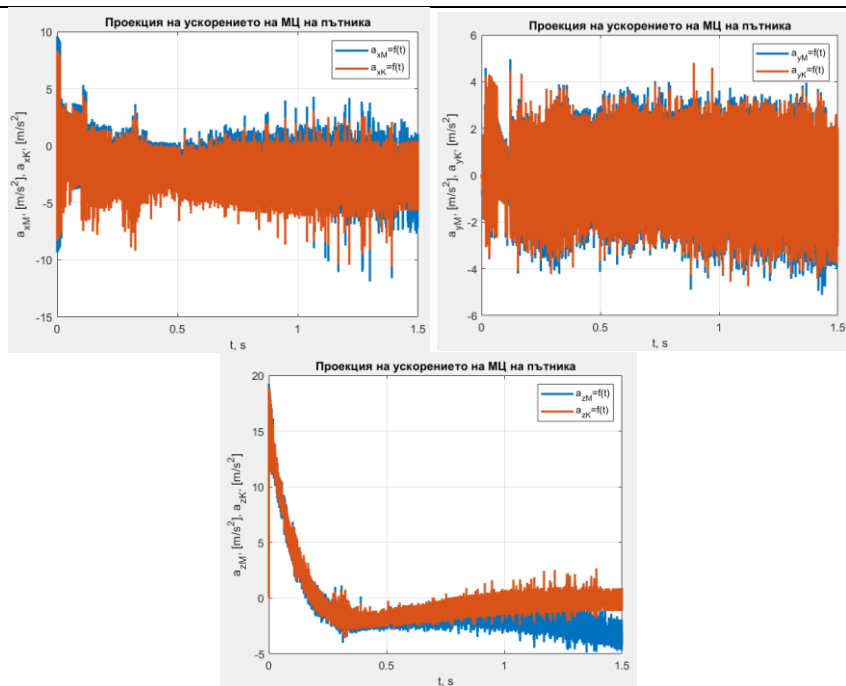
–  $[\vec{M}_G]$  - матрица-стълб от главните моменти на силите на тежестта спрямо транслационно движещите се координатни оси.

–  $[\vec{M}_{N_1}]$  - матрица-стълб от главните моменти на нормалната реакция на първото стъпало спрямо транслационно движещите се координатни оси.

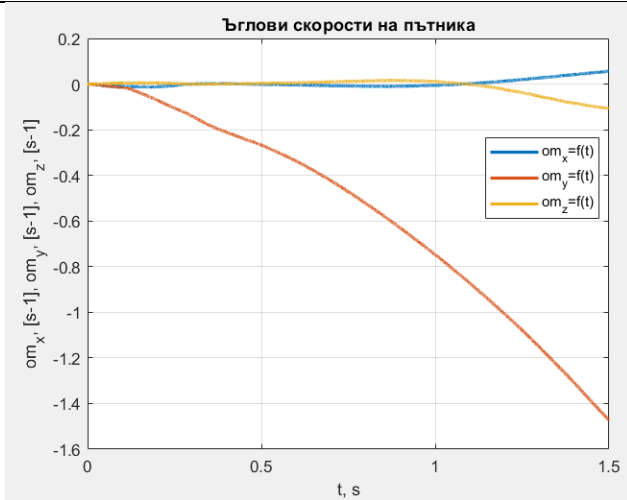
–  $[\vec{M}_{N_2}]$  - матрица-стълб от главните моменти на нормалната реакция на второто стъпало спрямо транслационно движещите се координатни оси.

–  $[\vec{M}_\Phi]$  - матрица-стълб от главните моменти на инерционната сила спрямо транслационно движещите се координатни оси.

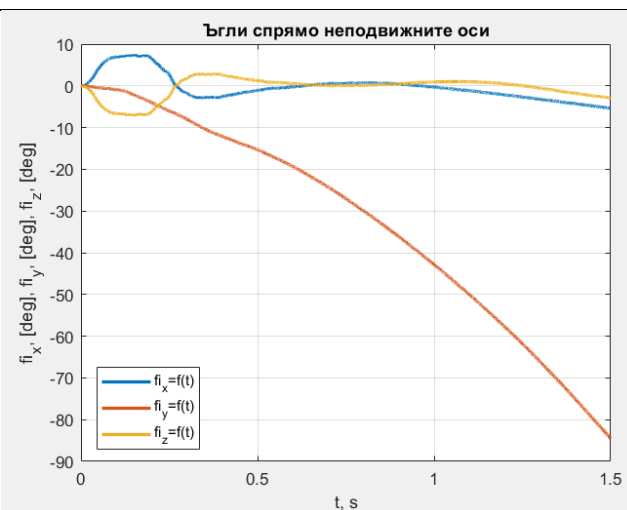
Уравненията са решени с помощта на Матлаб и създаден модел в Тулбокс Симулинк. Получени са графиките на изменение на ускорението и ъгълът на завъртане на тялото



Изменение на ускорението на точката „K“ и „P“



Изменение на ъгловата скорост на пътника



Изменение на ъглите на завъртане на тялото на пътника

## 5.4.Изводи

В настоящата глава е направен детайлен анализ на динамиката на превозното средство и релативното движение на пътниците при различни условия на водене на автомобила. Това включва промени в скоростта на движение, резки завои и спиране. Предложеният изчислителен модел в Matlab програмна среда е подходящ за симулация на условия на движение и взаимодействието пътник-превозно средство.

Създаденият модел на динамиката на превозното средство и релативното движение на пътника, отчита загубата на напречна и странична стабилност, под влияние на инерционните сили при условия с остри завои и сравнително висока скорост на придвижване. Тези условия са по-често срещан проблем, свързан със загуба на контрол от водача върху превозното средство. Това не само нарушава комфорта на пътуване, но е предпоставка за възникване на пътни инциденти.

Изведеният модел на релативното движение на пътник спрямо инерционните сили на превозното средство отчита реакциите на човека, свързани със скоростта и посоката на движение на автомобила. Чрез този модел могат да бъдат отчитани рисковете за пътуващите, причинени от влиянието на надлъжните и напречните сили и причините за дискомфорт.

Резултатите могат да бъдат използвани при проектирането на системи за осигуряване на безопасност и комфорт на пътуващите в превозните средства за обществено придвижване. Това може да се реализира чрез промени в дизайна на предпазните колани, позиционирането и ергономичността на седалките и ограничителите, вътрешното оформление на превозното средство и подобрене в спирачната му система.

## ОБЩИ ИЗВОДИ

1. В резултат от направените проучвания е установено, че системите тип „Асистент на водача“, прилагани с цел измерване на ускорения е обосновано, поради преките ефекти върху подобряване на комфорта на пътуване и косвени такива при намаляване на вредните емисии от пътните транспортни средства.

2. Установено е, че съществуващите системи от тип „асистент на водача“ намират широко приложение основно в две направления – като помощни системи вградени в превозните средства и програмни приложения създадени за мобилни телефони. При тези системи се отчита влиянието на стила на шофиране върху емисиите на вредните газове, икономията на гориво. Общ техен недостатък е невъзможността да се отчита комфорта на пътниците.

3. От направените експериментални измервания се установи, че използването на сензори от мобилни устройства, осигурява достатъчна точност на получаваните резултати. При практическото използване на акселерометъра на телефона, той трябва да се позиционира правилно, поне в първоначалната позиция при започване на измерванията, за бъде измерването достоверно.

4. Доказано е, че степента на дискомфорт на пътуващите в обществен транспорт може да бъде прогнозирана с достатъчна точност по данни от акселерометър за ос „X“ – ускорение по посока на движението на пътното превозно средство и по ротационната ос „C“ около вертикалната ос „Z“ на акселерометъра. Движението по ротационната ос може да бъде директно измерена с жирокоп или изчислена по косвен път.

5. Сравнителният анализ между изчисленията и експерименталните изследвания позволяват да се обобща, че получените резултати допълват и отчасти подобряват тези от достъпната литература с модел, който използва само една линейна и една ротационна ос, по които с достатъчна точност се описва дискомфорта на пътуващите.

6. Разработен е модел на микропроцесорна система от тип „Асистент на водача“, изградена на база направени проучвания. Съставена е последователност за настройката на тази система.

7. Адаптиран е алгоритъм за комплексна, експресна, автоматизирана оценка на комфорта на пътуване, подходящ за приложение на „светофарна система“. Той включва модули за изследване, анализ и категоризация на степента на комфорта при пътуващите в превозни средства за обществен транспорт.

8. Предложена е методика за използване на разработената система като учебно-техническо средство, подходящо за визуализация на учебното съдържание, подпомагане на преподаващия и същевременно възможност за използване като инструмент за реализиране на лабораторни и практически упражнения в областта на инженерното обучение.

9. Функционално, изградения потребителски интерфейс, позволява извършване на измервания на ускорение. В разработения интерфейс са вградени функции за предварителна обработка на получаваните измервателни данни. Програмното средство позволява добавяне на допълнителна функционалност и помощна информация за предлаганите модули.

10. Чрез сравнителен анализ е доказана възможността за използване на светофарна система при обучението на водачи на превозни средства за обществен транспорт. Получените резултати показват, че разработеният графичен интерфейс към апаратна и програмна система от тип „асистент на водача“, могат да бъдат използвани за оценка, насоки и подобряване стила на шофиране.

11. Предложен е модел на динамиката на превозното средство и релативното движение на пътника, чрез който се отчита загубата на напречна и странична стабилност, под влияние на инерционните сили, при условия с остри завои и сравнително висока скорост на придвижване. Тези условия са по-често срещан проблем, свързан със загуба на контрол от водача върху превозното средство. Това не само нарушава комфорта на пътуване, но е предпоставка за възникване на пътни инциденти.

## НАУЧНО-ПРИЛОЖНИ И ПРИЛОЖНИ ПРИНОСИ

1. Адаптиран е алгоритъм, подходящ за автоматизирана, експресна оценка на комфорта на пътуване, чрез който се показва нивото на комфорт визуално на водача, като го подпомага при коригиране на стила на шофиране и осигуряване на комфорт на пътниците.
2. Предложен е регресионен модел за оценка на дискомфорта на пътуване по данни от акселерометър. Установено е, че по данни за линейното движение по оста „Х“ и ротационна ос „С“, може да бъде правена оценка на дискомфорта на пътниците в реално време, в превозните средства за обществен транспорт.
3. Предложена е методика, при която се използва разработена система „асистент на водача“ в практическото обучение на водачи с цел оценка и подобряване на стила им на шофиране. Създаден е модул потребителски интерфейс на устройство за подпомагане на водача, който позволява допълнителни персонализации и разширения.
4. Създаден е модел на динамиката на превозното средство и пътника за оценка на безопасността и комфорта на пътуване при линейно и ротационно движение и спиране. Чрез този модел се оценява поведението на водача при шофиране, комфорта на пътниците и предотвратяването на пътни инциденти.

## СПИСЪК НА ПУБЛИКАЦИИТЕ ПО ДИСЕРТАЦИОННИЯ ТРУД

1. **Ivanov A.**, Overview of methods and tools for analysis, evaluation and providing travel comfort in public transport, Innovation and entrepreneurship, vol. 7, No. 2, 2019, ISSN 1314-9253, pp.92-108 (реферирана в Erih Plus)
2. **Ivanov A.**, Acceleration measurement of road vehicles by mobile phone, Applied Researches in Technics, Technologies and Education (ARTTE), vol. 7, No. 2, ISSN 1314-8796, pp.85-90 (реферирана в Erih Plus)

3. **Ivanov A.**, Application of A Traffic Light System for Public Transport Vehicle Drivers Training, The 14th International Conference on Virtual Learning ICVL 2019, ISSN 1844-8933, pp.159-162 (Реферирана в Web of Science, реферирана в Scopus)
4. **Ivanov A.**, Z. Zlatev, Development and Research of Information System Elements for Passengers Drive Comfort Improvement, Cybernetics and information technologies vol. 19, no. 4, 2019, ISSN 1314-4081, pp.101-115 (Индексирана в Web of Science IF=0,3 Q4; Индексирана в Scopus SJR=0,21 Q4)

## SUMMARY

The PhD thesis, entitled "Dynamics of the relative motion of a passenger after loss of transverse stability of a car" and authored by Eng. Atanas Ivanov, consists of an introduction, five chapters, general conclusions, a conclusion, contributions, and four appendices.

The first chapter provides an overview of the state of the problem of ensuring travel comfort. The regulatory documents related to the subject area are analyzed. Research in the subject area is studied. Based on a summary of the results of current research, the goal and objectives of the dissertation work are defined.

The second chapter provides an analysis of travel in public transport. The experimental setup and the survey method used are presented. The main working methods used in solving the tasks are data processing methods, such as cluster analysis, correspondence analysis, correlation analysis, and regression analysis. The present work is based on theoretical analysis, modeling, simulation, and experimental research.

The third chapter presents results from two main experiments. In the first experiment, a preliminary analysis of the capabilities of the measuring devices and the vehicle was made. The second experiment was made to determine the degree of discomfort in travelers, depending on their age. Correlations were obtained between the degree of discomfort and linear and angular acceleration. A model was derived describing the relationship between the degree of discomfort and the acceleration of the vehicle.

The fourth chapter is a summary of the theoretical issues treated in the previous chapters in the direction of their application in a real-life "Driver Assistant" type system. The program-technical and organizational-methodological support of the system are described. A graphical user interface has been built, facilitating the user in working with this system. The possibilities for applying the developed system in real travel conditions are indicated. The application of the built system in laboratory conditions and as a means of practical training is presented with examples.

In the fifth chapter, an analysis of the dynamic behavior of a vehicle during movement is made. The behavior of a passenger in a vehicle during the movement of this vehicle is studied. The influence of the loss of lateral stability at high speeds and/or sharp turns has been assessed. A model of passenger behavior under the influence of inertial force during linear and angular movement and braking of the vehicle has been developed using the Matlab software product.

Algorithms and procedures suitable for automated, express assessment of travel comfort have been adapted, through which the level of comfort is displayed visually to the driver, assisting him in correcting the driving style and ensuring passenger comfort. Regression predictive models have been proposed for assessing travel discomfort using accelerometer data. A model of vehicle and passenger dynamics has been created to assess the safety and comfort of travel during linear and rotational movement and braking. This model assesses the driver's behavior when driving, passenger comfort, and the prevention of road accidents.

A methodology has been proposed in which a developed "driver assistant" system is used in the practical training of drivers in order to assess and improve their driving style. The results obtained can be used to



improve the parameters of the transport process, which covers the interest of carriers related to the efficient use of vehicles and thereby improving travel comfort, reducing fuel consumption, and reducing environmentally harmful emissions.

*Забележка. Обемът на дисертационния труд е от 130 до 150 стандартни печатни страници, а на автореферата до 32 стандартни печатни страници.*