

## АПСТРАКТ

Сообраќајните незгоди претставуваат негативна појава којашто е резултат на дисфункцијата на сложениот однос меѓу човечки, технички и природни фактори во еден сообраќаен систем. Безбедноста во сообраќајот датира уште од самиот почеток на автомобилската индустрија. Над 50% од сите сообраќајни незгоди се настанати како последица на судари на возило со возило, додека останатите претставуваат налет на возила врз пешаци, односно удари на возила во некоја цврста препрека, превртување и сл. Од сударите меѓу возила, најчести се челните ексцентрични судари и сударите во цврста препрека, потоа доаѓаат бочните (страничните) судари, челните централни судари, додека најмалку се застапени сударите одзади.

Во сообраќајна незгода, каде возило налетало во цврста неподвижна препрека, покрај кинематските параметри на возилото, од интерес за експертизата е однесувањето на телото на возачот. При фронтален судар на возило во цврста препрека, во зависност од ударниот пулс на возилото, настануваат повреди во пределот на градите на возачот. Затоа, забрзувањето и отклонот на градите на возачот може да се искористат како мерка за проценка на интензитетот на повредите со коишто се здобил возачот. При судар на возило во цврста неподвижна препрека, честопати се поставува прашањето „дали возачот во моментот на судар бил врзан со безбедносен ремен“. На ова прашање треба да одговори експертот кој работи на техничката анализа на незгодата.

Сударот на возило во неподвижна препрека претставува сложен проблем, кој физички и математички е многу тешко, односно практично не е можно да се изведе и опишати. За да се добијат податоци за одредени параметри на судари (забрзувањето кое дејствува врз возачот, поместувањето што го прави телото на возачот, забрзувањето и однесувањето на возилото при судар), денес се изведуваат тестови на судар. Тестовите на судар на возила претставуваат доста комплексни, комплицирани и скапи експерименти, од причина што се потребни соодветни објекти: уреди за мерење, процес за собирање на податоци, квалификуван кадар и возила.

Затоа, оправдано е да се проектира математички и симулациски модел на судар на возило за анализа на судар, место да се врши реален експеримент.

Истражувањето во оваа докторска дисертација ја опфаќа пасивната безбедност на системот возило-возач. Се фокусира само на кинематските параметри што се однесуваат на градниот кош - забрзувањето и отклонот на градите на возачот при



## АПСТРАКТ

Сообраќајните незгоди претставуваат негативна појава којашто е резултат на дисфункцијата на сложениот однос меѓу човечки, технички и природни фактори во еден сообраќаен систем. Безбедноста во сообраќајот датира уште од самиот почеток на автомобилската индустрија. Над 50% од сите сообраќајни незгоди се настанати како последица на судари на возило со возило, додека останатите претставуваат налет на возила врз пешаци, односно удари на возила во некоја цврста препрека, превртување и сл. Од сударите меѓу возила, најчести се челните ексцентрични судари и сударите во цврста препрека, потоа доаѓаат бочните (страничните) судари, челните централни судари, додека најмалку се застапени сударите одзади.

Во сообраќајна незгода, каде возило налетало во цврста неподвижна препрека, покрај кинематските параметри на возилото, од интерес за експертизата е однесувањето на телото на возачот. При фронтален судар на возило во цврста препрека, во зависност од ударниот пулс на возилото, настануваат повреди во пределот на градите на возачот. Затоа, забрзувањето и отклонот на градите на возачот може да се искористат како мерка за проценка на интензитетот на повредите со коишто се здобил возачот. При судар на возило во цврста неподвижна препрека, честопати се поставува прашањето „дали возачот во моментот на судар бил врзан со безбедносен ремен“. На ова прашање треба да одговори експертот кој работи на техничката анализа на незгодата.

Сударот на возило во неподвижна препрека претставува сложен проблем, кој физички и математички е многу тешко, односно практично не е можно да се изведе и опишати. За да се добијат податоци за одредени параметри на судари (забрзувањето кое дејствува врз возачот, поместувањето што го прави телото на возачот, забрзувањето и однесувањето на возилото при судар), денес се изведуваат тестови на судар. Тестовите на судар на возила претставуваат доста комплексни, комплицирани и скапи експерименти, од причина што се потребни соодветни објекти: уреди за мерење, процес за собирање на податоци, квалификуван кадар и возила.

Затоа, оправдано е да се проектира математички и симулациски модел на судар на возило за анализа на судар, место да се врши реален експеримент.

Истражувањето во оваа докторска дисертација ја опфаќа пасивната безбедност на системот возило-возач. Се фокусира само на кинематските параметри што се однесуваат на градниот кош - забрзувањето и отклонот на градите на возачот при



фронтален судар на возило. Се смета дека овие два параметри се од интерес на техничка и форензичка анализа на сообраќајната незгода.

Се работи за научно темелно истражување - развој на симулациски модел на фронтален судар на возило во неподвижна препрека, врз основа на којшто ќе може да се изврши проценка на влезните кинематски параметри на возилото и возачот во текот на техничката и форензичката анализа на сообраќајните незгоди.

ПРЕДМЕТ на оваа докторска дисертација е да се истражат возилата како динамички систем и да се анализира нивното однесување при судар.

ОСНОВНА ЦЕЛ на докторската дисертација е проектирање и развој на математички и симулациски модел на судар на возило и возач при фронтален судар во неподвижна препрека. Презентираниот модел е соодветен за утврдување на главните параметри што го опишуваат сударот - забрзувањето и поместувањето на градите на возачот и забавувањето на возилото, без притоа да се врши каков било реален тест.

Од анализата на моделите на возило и возач при фронтален судар може да се заклучи дека оваа област е доста интересна и актуелна за проучување. Денес постои голем број модели за симулација на судар на возило. Но, во зависност од намената, пристапот во креирањето, начинот на моделирање и сл., овие модели меѓусебно се разликуваат.

Податоците за забрзувањето и отклонот на градите на возачот може да помогнат при проучувањето на степенот на тежина на повредите на возачот коишто настануваат при судар на возило во цврста препрека. Познавајќи ги овие параметри, експертот за техничка анализа на сообраќајна незгода има можност да го утврди начинот на којшто настанале овие повреди.

Моделот што го развиле W.Pawlus и соработниците овозможува надградба со модел, кој ќе овозможи проценка на кинематските параметри на возачот (однесувањето на возачот, кое се карактеризира со забрзување и отклон на градите), и на возилото (забрзувањето).

Симулацискиот модел е развиен во програмскиот пакет Матлаб/Симулинк за што се користи линеарен математички модел во којшто фигурираат маси, пружини и придушувачи, чии вредности ја карактеризираат динамиката на возилото и возачот. За да се постигне целта, најпрво е развиен структурен модел на возило и нумерички модел на градите од возач за време на судар. Станува збор за Келвин модел каде што пружината и придушувачот се паралелно поврзани. Овој модел може да се искористи за да се симулира судар на возило со возило, судар на возило во неподвижна пречка,



како и за моделирање на влијанието на компонентите. Параметрите во моделот се идентификувани со помош на резултатите што се добиени во истражувањето на W.Pawlus и соработниците.

Откако успешно се идентификувани структурните параметри во моделот коишто се однесуваат на возачот, извршена е анализа на излезните податоци од моделот - забрзувањето и поместувањето на градите на возачот и забрзувањето на возилото, преку промена на брзината со која возилото удира во неподвижната препрека. Симулациите се однесуваат за ударни брзини од 14,0 m/s до 23,0 m/s како брзини коишто се најчесто репрезенти во реални сообраќајни незгоди. Врз основа на добиените одзиви за забрзувањето и поместувањето на градите, утврден е комбинираниот индекс за градниот кош CTI (Combined Thorax Index), односно, одредени се критичните ударни брзини во цврста неподвижна препрека при кои со сигурност настапуваат повреди во пределот на градниот кош кај возачот.

Натамошните истражувања треба да се одвиваат во следните насоки:

- фронталните коси судари меѓу две возила во практиката се најчести судари и истражувањето и креирањето на модел за ваков тип на судари се наметнува како интересна област
- прикажаниот модел во ова истражување многу лесно може да се прилагоди и за симулација на сударите одзади судари. За таа цел потребно е да се изведе реален експеримент на ваков тип на судар, кој би овозможил идентификација на структурните параметри коишто се однесуваат на возилото и возачот
- моделот овозможува негова надградба со повеќе Келвин и Максвел елементи. Ударот на возило во цврста неподвижна препрека се состои од низа континуирани делумни судари, кои не може целосно да се опфатат само со еден Келвин елемент. Затоа, потребно е да се размислува Келвин моделот што се однесува на возилото да се прошири со повеќе Максвел елементи. На овој начин, би се добиле попрецизни излезни резултати за кинематските параметри коишто се однесуваат на возилото
- може да се размислува во насока на креирање на модел кој би ги опфатил останатите делови од телото на возачот, како што се главата, вратот, рацете и сл.
- бидејќи параметрите во предложениот модел се идентификувани врз основа на реален експеримент во кој учествува само еден тип на возило со конкретна маса и карактеристики, потребни се дополнителни истражувања за анализа на други типови на возила со различни маси и карактеристики



- бидејќи распоредот на масите во возилото битно влијае на динамиката на возилото при судар, постои можност за анализа на влијанието на распоредот на масите во возилото врз однесувањето на возилото при судар.



## ABSTRACT

Traffic accidents represent a negative phenomenon resulting from the disfunctional complex relation between human, technical and natural factors within a transport system. Traffic safety dates as far back as the very beginning of car industry. Over 50% of all traffic accidents are due to vehicle-to-vehicle collision, whereas the rest are due to vehicle-to-pedestrian collision, or vehicle impact to solid barrier, roll-off etc. Among vehicle collisions the most frequently happening are head-on offset collisions and solid barrier impacts, then come the side collisions, right-on collisions, whereas the least frequent are the rear-end collisions.

In an accident where a car runs into a solid barrier, beside the kinetic parameters of the vehicle, it is of great interest to the expertise to consider the driver's body behavior. In cases of frontal impact to solid barrier, depending on the impact pulse of the vehicle, the injuries are located in the thorax area of the driver. Hence, the acceleration and the thorax displacement of the driver can be used to measure the severity of the injury suffered by the driver. In such cases it is usual to wonder whether 'the driver, at the moment of collision wore a safety belt'. The answer to this question is to be provided by the expert witness.

Vehicle impact to solid barriers represents a rather complex issue, which is very difficult, better say, almost practically non-feasible to express in mathematical and physical terms. In order to obtain data related to certain accident parameters (the acceleration that affects the driver, the displacement of the driver's body, the acceleration and the overall 'behavior' of the vehicle during the impact), crash tests are being carried out these days. The crash tests are actually a rather complex, complicated and expensive experiments due to the need for respective objects: measurement devices, data collection process, qualified staff and vehicles. Therefore it is almost always justifiable to create mathematical and simulation models of car crash in order to analyze the crash rather than doing a real experiment.

The research in this doctoral thesis takes into account the passive safety of the vehicle-driver system. It is focused only on kinetic parameters of the thorax – the acceleration and the displacement of driver's thorax in a frontal crash. These two parameters are considered of interest during the technical and the forensic analysis of the crash. It is about a scientifically founded research – developing a simulation model of a frontal crash of a vehicle running into a solid barrier, to serve as a basis for estimating the vehicle and driver's input kinetic parameters in the course of a technical and forensic crash analysis.



The ISSUE of this thesis is to research the vehicles as dynamic systems and to analyze their 'behavior' in a situation of crash. The MAIN OBJECTIVE of the thesis is to design and develop mathematical and simulation models of a frontal car crash into a solid barrier. The presented model is appropriate for determination of main parameters that describe the crash – the acceleration and the displacement of the driver's thorax as well as the vehicle deceleration, not performing any kind of a real test.

The analysis of vehicle and driver models in cases of frontal crash leads to the conclusion that this area is pretty interesting and very up-to-date. Nowadays, there are a rather large number of models simulating the crash. But, depending on the purpose, on the approach to design, on the manner of modeling etc., all models are quite diverse. Data related to acceleration and driver's thorax displacement can facilitate the study of the severity rate of driver's injury appearing in the course of car crash into a solid barrier. Starting with these parameters, the expert witness of the accident is given the opportunity to determine the way the injury happened.

The model developed by W. Pawlus et al. provides an upgrade with yet another model that will make possible the estimation of kinetic parameters of the driver (the driver's 'behavior' characterized by acceleration and thorax displacement) and those of the vehicle (the acceleration). Hence, a simulation model has been developed within the Matlab/Simulink program package using a linear mathematical model with masses, absorbers and dampers, whose values characterize the vehicle dynamics and the driver. In order to reach the goal, a structure model of the vehicle and a numerical model of the driver's thorax during the crash have been developed. This is about the so-called Kelvin model, according to which, the absorber and the damper are connected in parallel. This model can be used to simulate a vehicle-to-vehicle frontal collision, a crash into a solid barrier, as well as for modeling the impact of the components. The parameters of the model are identified on the basis of the results obtained in the course of the researches performed by W. Pawlus et al.

After the successful identification of structure parameters within the model that pertain to the driver, an analysis of the output data of the model – the acceleration and the displacement of driver's thorax and the acceleration of the car, through speed variance with which the car hits the solid barrier, is carried out. The simulations are relative to impact speeds of the range between 14,0 m/s and 23,0 m/s, as the most often present in real accidents. Based upon the obtained responses to acceleration and displacement, a Combined Thorax Index (CTI) is calculated. It means that the critical impact speeds of running into a solid barrier, with injuries located in the thorax area of the driver, have been determined.



The directions for further research should be the following:

- Vehicle-to-vehicle frontal angle collisions in practice, are the most frequent ones and the research and model design for this type of accidents is emphasized as an area of particular interest
- The model described in this research can be easily adapted to simulations of rear-end collisions. For this purpose, it is necessary to conduct a real experiment of such a crash, which will provide identification of structural parameters pertaining to the vehicle and to the driver
- The model can be easily upgraded by involving further Kelvin and Maxwell elements. As the vehicle impact to solid barrier is composed of a series of continuous partial impacts, they cannot be completely covered by a single Kelvin element. Therefore, it is advisable to think about extending the Kelvin model by introducing more Maxwell elements. Thus, more precise output results regarding kinetic parameters relative to the car can be obtained
- Allows for a possibility to consider of designing a model to cover the rest of the driver's body, such as the head, the neck, the arms etc.
- As the parameters in the suggested model are identified on the basis of a real experiment involving a single car type with a given mass and characteristics, additional research for analyzing other car types with different masses and characteristics needs to be done
- As mass distribution of a car significantly influences the vehicle impact dynamics, there is an opportunity for analyzing the impact of mass distribution upon the vehicle 'behavior' during the actual collision.