

SIMULIACINĖS PROGRAMOS „CARSIM“ PANAUDOJIMO GALIMYBĖS AUTOMOBILIŲ SKERSINĖS DINAMIKOS TYRIMUOSE

USES OF SIMULATION SOFTWARE "CARSIM" IN AUTOMOTIVE TRANSVERSAL DYNAMICS RESEARCH

¹⁾Vidas Žuraulis, ²⁾Artūras Žukas

^{1),2)}VGTU Transporto inžinerijos fakultetas, Automobilių transporto katedra
El. paštas: ¹⁾vidas.zuraulis@vgtu.lt, ²⁾arturas.zukas@vgtu.lt

Gauta 2012-04-30, pateikta spaudai 2012-09-07

Automobilių dinamikos simuliacinio programos „CarSim“ suteikia galimybę vertinti pilną automobilio netiesinį dinaminį modelį, kaip visumą sistemų, įtakančių jo judėjimo dėsninumus. Viena iš automobilių analizės sričių yra skersinė dinamika, kurios tyrimams pasitelkiami įvairūs analizės metodai. Pagrindinis dėmesys skiriamas padangų savybėms, pakabos standumo ir slopinimo charakteristikoms bei geometrijai ir vairavimo sistemos kinematikai. Modelyje nelieka neįvertintas automobilio tiesiškai judančių ir besisukančių masių inertiškumas. Padangos dinamines charakteristikas programoje galima modeliuoti pagal vadinamąjį „Magic formula“ modelį, keičiant jo įvesties parametrus. Šiame straipsnyje apžvelgiamos programos galimybės analizuojant automobilio judėjimą posūkyje pateikiant tam pritaikomus programos įrankius ir naudojamus analizės metodus.

Siekiant konkrečiau atskleisti programos siūlomas galimybes straipsnyje pateikiama programa sudarytas skirtingais greičiais apskritimine trajektorija judančio automobilio modelis. Pristatoma pasirinktieji modelio parametrai, važiavimo režimų nustatymo metodika ir standartiškai modeliui priskiriamos charakteristikos. Atlikus modelio skaičiavimus pateikiami automobilių veikiančių jėgų, pasisukimo kampų apie vertikalią ir išilginę ašis kitimas ir ratų sąveikos su keliu rezultatai grafiniu pavidalu. Atliktas palyginamasis tyrimas leidžia įvertinti programos suteikiamą galimybę stebėti pageidaujamo dinaminio modelio parametrų kitimą bei sudaryto modelio tikslumą. Taip pat straipsnyje aptariamos specifinės programos galimybės minėtoje automobilių inžinerijos srityje kitų modeliavimo metodų kontekste – ADAMS, Matlab/Simulink, LabView.

„CarSim“, skersinė dinamika, skersinis pagreitis, slydimo kampas.

Įvadas

Tarp didelės gausos kompiuterinių programų, suteikiančių galimybę virtualiai modeliuoti automobilio dinamiką, specializuota programa „CarSim“ (Mechanical Simulation Corporation) užima išskirtinę poziciją dėl patogios vartotojo sąsajos užduodant modeliavimo parametrus, pasirenkant simuliuojamus procesus bei dėl gautų rezultatų pateikimo grafine, skaitine ar 3D animuota forma.

„CarSim“ yra viena iš siūlomos programų grupės, kurią dar sudaro „TruckSim“, „BikeSim“ ir „SuspensionSim“ programos, leidžiančios modeliuoti atitinkamai sunkvežimių, motociklų ir pakabų konstrukcijų dinamiką. „CarSim“ programos pagalba galima vertinti visą automobilio netiesinį dinaminį modelį, kaip visumą sistemų, įtakančių jo judėjimo dėsninumus. Programos aplinkoje atskiriems automobilio elementams ir sistemoms galima suteikti norimas charakteristikas, įvedant parametrų reikšmes arba tam tikras jų priklausomybes, todėl yra galimas įvairaus pobūdžio modeliavimas. Viena iš automobilių analizės sričių yra skersinė dinamika, kurioje, bendru atveju, reikia atsižvelgti į visų automobilio sistemų veikimą, tačiau išskirtinis dėmesys skiriamas padangų savybėms, pakabos standumo ir slopinimo charakteristikoms, jų geometrijai ir vairavimo sistemos kinematikai. Padangos dinamines charakteristikas galima modeliuoti pagal Pacejkos vadinamąjį „Magic formula“ modelį, keičiant jo įvesties parametrus. Programoje yra galimybė įvesti įvairius kelio parametrus, parenkamos važiavimo trajektorijos, įvertinama kelio dangos sukibimo koeficientas, paviršiaus nelygumas ir kt. Skersinės dinamikos analizė taikoma diegiant ir tobulinant automobilių saugos sistemas, gerinant valdymo savybes ar siekiant išsiaiškinti automobilio elgseną kelyje ir jos priklausomybę nuo veikiančių faktorių. Programa „CarSim“ yra tinkama, matematiniais modeliais paremta simuliacinė priemonė vykdant tiek mokslinę tiriamąją, tiek taikomąją veiklą. Šią programą jau įvertino nemažai pasaulio mokslininkų. Ji vis dažniau naudojama, kaip įrankis, pagal užduotus reikalavimus simuliuojantis norimą važiavimo bandymą, gaunant realius rezultatus neatliekant eksperimento, kurie vėliau būtų lyginami su sukurtų ar patobulintų skaičiavimo modelių rezultatais. Šiame straipsnyje apžvelgiamos programos galimybės analizuojant automobilio judėjimą posūkyje pateikiant tam pritaikomus programos įrankius ir naudojamus analizės metodus. Programos siūlomų galimybių įvairovė atrenkama pritaikant skersinės dinamikos tyrimams bei panaudojant kitus kompiuterinio modeliavimo įrankius – ADAMS, MATLAB/Simulink, LabView.

Literatūros apžvalga

Nemaža dalis pasaulio mokslininkų programą „CarSim“ jau įpratę naudoti kaip patikimą įrankį automobilio judėjimo parametrų patikrinti. Dažnai programos išvesties rezultatai yra lyginami su grynai teorinėmis prielaidomis pagrįstais skaičiavimo rezultatais siekiant įsitikinti naujų modelių tikslumu. Kitaip tariant, dinaminio modeliavimo programa „CarSim“ atstoja natūrinius eksperimentinius bandymus, kuriems reikalingas papildomas pasiruošimas, laikas, brangi įranga, bandymų erdvė su išlaikytomis reikiamomis sąlygomis ir neišvengiamas vėlesnis duomenų apdorojimas. Mokslininkai tokią metodiką taiko tyrimuose, susijusiuose su išilginio ir skersinio greičio įtaka padangos sukibimo savybėms, skersinio rato slydimo atvejais [3, 9].

Grupė virtualių važiavimo bandymų „CarSim“ pagalba buvo atlikta siekiant išsiaiškinti ir nustatyti sąveiką tarp automobilio elgsenos ir elektrinio vairo stiprintuvo veikimo [4]. Kompiuterinis modeliavimas suteikė galimybę tiksliai

įvertinti vairo pasukimo kampą ir automobilio važiavimo greitį, tuo tarpu atliekant realius bandomuosius važiavimus yra neišvengiamos papildomos paklaidos dėl žmogiškojo faktoriaus kiekvieną kartą valdant automobilį.

Grupė mokslininkų tarptautinės Automobilių inžinierių sąjungos (SAE) užsakymu dar 2006 metais atlikinėjo tyrimus siekiant kuo objektyviau nustatyti automobiliuose sumontuotų aktyviųjų saugos sistemų, koreguojančių automobilio elgseną kritiniais važiavimo atvejais, veikimo efektyvumą [2]. Šiam tyrimui natūrinių bandymų rezultatai buvo lyginami su rezultatais, gautais tuos pačius manevrus atkartojant važiavimo sąlygas modeliuojant virtualiai. Pastarasis modeliavimas atliktas apjungus tris programinius paketus: „CarSim“, „AmeSim“ ir „MATLAB/Simulink“. „CarSim“ aplinkoje buvo sudarytas automobilio modelis jam suteikiant realiame bandyme naudoto automobilio savybes. Kiti virtualūs įrankiai panaudoti analizuojamų saugos sistemų modeliavimui (jutiklis–procesorius–valdiklis) bei sudarytų algoritmų apjungimui į vieną sistemą. Šiame tyrime žmogiškasis faktorius taip pat buvo įvertintas. Realių bandymų metu papildoma įranga nustatytos paklaidos dėl žmogaus reakcijos ir judesių nesutapimo buvo įtrauktos į kompiuterinį modelį. Kvalifikuotiems modeliavimo specialistams pavyko gauti praktiniams bandymams labai artimas charakteristikas – rezultatų nukrypimas siekė vos 2–5 %. Visa tai dar kartą liudija apie pažangiomis programomis suteikiamą modelio tikslumą, panaudojimo lankstumą ir pasaulio tyrėjų pasitikėjimą atliekant mokslinius eksperimentus.

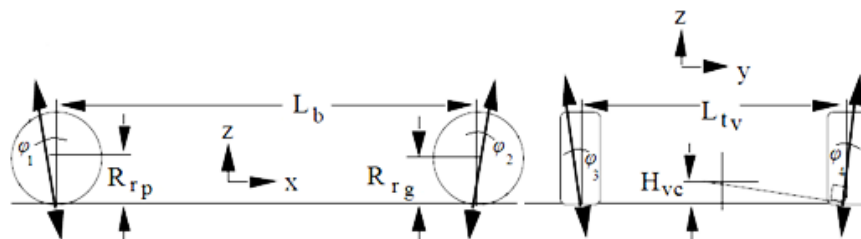
„MATLAB/Simulink“ paketas „CarSim“ aplinkoje naudojamas kaip priemonė skaitiniam modeliavimui. Grafinio programavimo produktas „LabView“ taip pat turi galimybę dirbti kartu su „CarSim“. Šiuo atveju virtualus modelis tampa empiriniu, nes prie realaus objekto (automobilio ar tam tikro jo agregato) jungiami jutikliai ir valdikliai, kuriuos kontroliuoja „LabView“ [6].

„CarSim“, kaip realaus laiko kompiuterinė simuliacijos programa, yra gretinama su pasauliniu įvairaus tipo sistemų simuliacijos paketu „ADAMS“ [7]. Modeliuojant automobilio judėjimą šia universalia programa automobilis sudaromas kaip atskirų sistemų junginys. Kuo daugiau ir tiksliau bus aprašyta šių sistemų, tuo modelis veiks tiksliau. Todėl neįgudusiam vartotojui yra sudėtinga susikurti reikiamą modelį universalio ir labai plačias panaudojimo galimybes turinčia programa.

Automobilio parametrų įvesties galimybės

Tinkamam ir realius bandymus kuo tiksliau atitinkančiam virtualiam automobilio judėjimo modeliavimui programos „CarSim“ aplinkoje reikia įvesti parametrus, atitinkančius pageidaujamo automobilio, kaip pagrindinio modeliavimo objekto, charakteristikas. Automobilio parametrų įvesties lange pirmiausiai parenkamas kėbulo tipas ir suvedami geometriniai parametrai bei svorio centro padėties matmenys, kuriuos programa gali ir apskaičiuoti suvedus atramines reakcijas į visus ratus. Įvedant amortizuojamas ir neamortizuojamas mases suteikiama galimybė modelyje vertinti ir jų inertiškumą visų trijų ašių

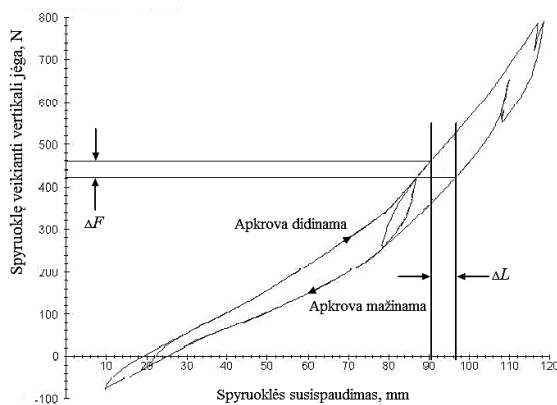
atžvilgiu. Automobilio kėbului, kaip amortizuojamai masei, programoje suteikta 6 laisvės laipsniai ir jis laikomas kaip nesideformuojantis kūnas. Kiekvienas ratas turi jam suteiktą judėjimo eigą, kurią lemia pakabos standumas ir galimi kampai φ_i . Pagal 1 paveikslą, keičiantis automobilio vertikaliajam apkrovimui, t. y. susispaudus nepriklausomos pakabos elementams, tiek automobilio bazė L_b , tiek tarpvėžė L_{tv} padidėja. Įvertinant šiuos veiksnius CarSim programoje nėra numatytas virtimo centro parametras, tačiau yra rato išvirtimo kampo aukščio dedamoji H_{vc} [1].



1 pav. Ratų judėjimo kryptys ir eiga

Fig. 1. Movement directions and course of wheels

Automobilio pakabos nustatymai gali reikšmingai įtakoti atliekamo bandymo rezultatus, todėl svarbu juos tinkamai parinkti. Programos lange ties pakabos nustatymais turi būti įvedama ratų geometrijos parametrai, sukimosi ašies (šerdeso) išilginis ir skersinis pasvirimo kampai bei spyruoklių ir amortizatorių standumo ir slopinimo charakteristikos. Šias charakteristikas programa numato pasirinkti tiesiškai arba netiesiškai kintamas. Standumai gali būti užduodami ir rato išilginiam bei skersiniams poslinkiams, kas yra svarbu automobiliui judant posūkyje. Pakabos charakteristikoms nustatyti programoje yra numatytas ir priklausomybių įvedimas tarp: kėbulo pasvirimo kampo ir virtimo momento, vertikalios rato eigos ir apkrovos, spyruoklės susispaudimo ir veikiančios jėgos (priklausomybė vaizduojama 2 paveiksle).

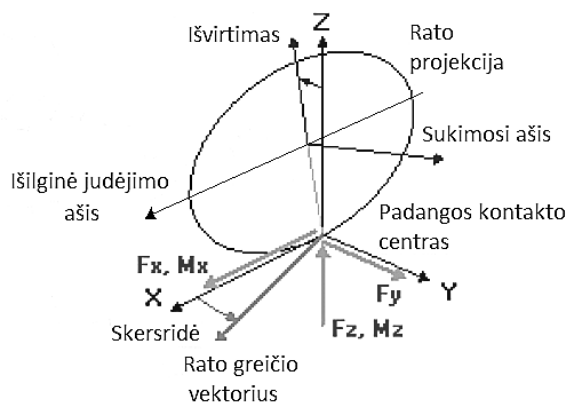


2 pav. Pakabos spyruoklės suspaudimo priklausomybė nuo veikiančios jėgos

Fig. 2. Suspension spring's compression dependence on the applied force

Pakabos standumo charakteristikoms, kaip parodyta ir 2 paveiksle, yra būdinga histerezė. Pavyzdžiui, esant tokiam pat spyruoklės suspaudimui, veikianti vertikali jėga apkrovos didinimo ir mažinimo režimais bus skirtinga.

Labai reikšmingas elementas yra padanga. Automobilių skersinės dinamikos tyrimuose svarbu ne tik padangos sukibimo su kelio danga savybės, bet ir jos deformavimasis, veikiant papildomoms šoninėms jėgoms. „CarSim“ programoje padangos modeliams yra skiriamas ypatingai didelis dėmesys. Jungtinių Amerikos Valstijų Mičigano universiteto mokslininkai ir automobilių gamintojo „Ford“ atstovai, tiriant padangos šoninio standumo savybes, „CarSim“ programa pasinaudojo kartu su dviračio automobilio dinaminio modelio analize ir gavo pakankamai duomenų tolesniems tyrimams [8]. Buvo pastebėtas ženklėsnis rezultatų nesutapimas esant mažesniai nei 0,6 g šoniniams pagreičiams. Dėl to, tęsiant tyrimus, buvo pasitelkti papildomi modeliavimo metodai. Standartiniame „CarSim“ programos padangos parametrų lange turi būti suvesti riedėjimo ir laisvasis spinduliai, amortizavimo greitis, bei didžiausia leidžiama apkrova. Tada pasirenkamas vienas iš siūlomų padangos modelių. 3 paveiksle vaizduojamas „CarSim“ programos aplinkoje naudojamas rato vaizdas su būdingais pagrindiniais parametrais.



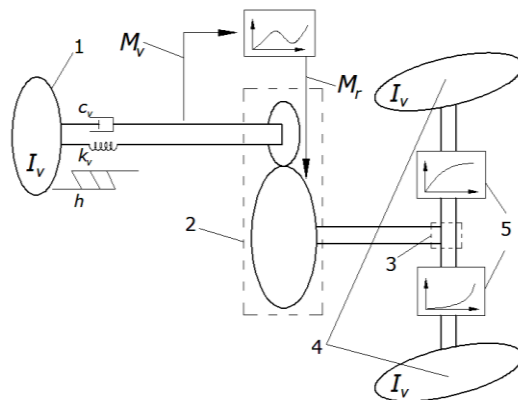
3 pav. Rato parametrai „CarSim“ programos aplinkoje
Fig. 3. Wheel parameters in "CarSim" software

Be šių padangos bei jos sąveikos su keliu charakteristikų, programa apdoroja ir padangos inertiškumą, deformacijos atstatymą trukmę, bei grąžinamąjį momentą dėl rato išvirtimo.

Modeliuojant važiavimą posūkyje nekintamu greičiu arba išlaikant nuolatinį ratų pasukimo kampą, tinkamas programoje siūlomas naudoti vadinamasis Pacejko padangos modelis. Olandų mokslininko suformuluotas modelis, kaip pagrindinius parametrus, įvertina slydimo greitį, skersridės ir rato išvirtimo kampus bei vertikalią apkrovą. Šie ir kiti papildomi parametrai nustatomi eksperimentiškai, o kartais naudojamas kompiuterinis modelis [5].

Bandymo atlikimo ir kelio sąlygų parametrų įvesties galimybės

Suvedus automobilio charakteristikas, programoje būtina nustatyti pageidaujamo bandymo atlikimo sąlygas ir parametrus. Visų pirma užsidedamas važiavimo režimas: bus palaikomas pastovus greitis, greitėjimas, stabdymas ar kombinuotas važiavimas. Variklio traukos ir transmisijos bei stabdžių sistemos parametrų galimybės programoje yra taip pat plačios, tačiau automobilio skersinei dinamikai tirti tai nėra aktualu. Vairavimo parametrų ir trajektorijų pasirinkimas yra svarbiausia. Galima nustatyti, kad būtų optimizuojamas automobilio valdymas pagal užsidedusias važiavimo trajektorijas ir pagal fiksuojamus važiavimo parametrus stabėti, kaip tiksliai yra įveikiama trajektorija. Kitas variantas – numatyti automobilio valdymą. Posūkio įveikimo analizei, tai padaroma nustatant kuriuo važiavimo metu ar kokioje padėtyje bus pasuktas vairas. Vairo pasukimui naudojami linijiniai, interpoliavimo ir ekstrapoliavimo principai, todėl vairaratis gali būti sukamas tolygiai, staiga arba pagal numatytą intensyvumą. 4 paveiksle schematiškai vaizduojama vairavimo sistema. Nuo vairaračio 1 su tam tikru inercijos momentu, pavaros slopinimu c_v , standumu k_v , sukimo momentas M_v per stiprintuvą ir reduktorių 2 perduodamas ratams valdyti (sukimo momentas M_r). Įvertinus bendrą vairo pavaros, trapecinio mechanizmo veikimo netolygumą 3 pasukami vairuojamieji ratai 4, kurie turi savo inerciją sukimuisi apie skersinę ir vertikalią ašį. Vairavimo sistemos kinematinės charakteristikos 4 paveiksle pažymėtos 5 numeriu.



4 pav. Vairavimo sistemos schema ir parametrai

Fig. 4. Steering system diagram and parameters

Kelio parametrai programoje nustatomi įvedant dangos kibumo savybes, skersinį ir išilginį nuolydžius, bandymų trasos arba aikštelės geometriją. Kad animuotame vaizde būtų lengviau orientuotis, numatytose vietose statomos gairės, galima trasos prieigose atvaizduoti medžius ar krūmus. Užsideduotais koeficientais galima įvertinti kelio dangos mikro ir makro nelygumus, pasipriešinimą riedėjimui.

Tyrimo tikslas, uždaviniai ir metodika

Realiam „CarSim“ programos įvertinimui išsikeltas tikslas – sudaryti apskritimine judėjimo trajektorija skirtingais greičiais judančio automobilio modelį, išanalizuoti charakteringus įvesties parametrus bei gautas judėjimo charakteristikas.

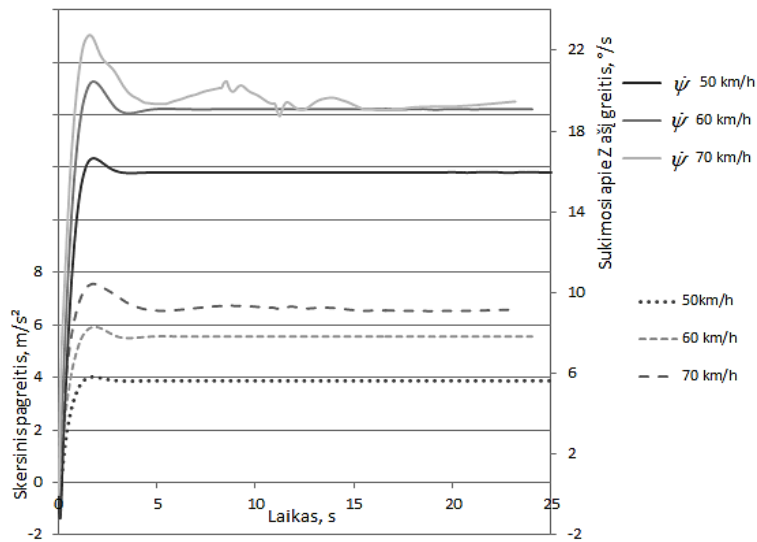
Tiksliui pasiekti išsikeltas uždavinys – nustatyti automobilį veikiančius pagreičius, vairuojamųjų ratų pasukimo kampų pokyčius, slydimą, sukimosi važiuojant 50, 60 ir 70 km/h greičiais 50 metrų spindulio apskritimine trajektorija. Šie greičiai pasirinkti, kad lyginant gautus judėjimo parametrus išsiskirtų tie atvejai, kai judama be ratų šoninio slydimo, veikiant tik skersridei, esant slydimo pradžiai ir pilnam ratų slydimui, neįveikiant užsiduotos važiavimo trajektorijos.

Be jau aptartų simuliacinio modelio parametrų, sudarant virtualų bandymą pasirinkta lygi sauso asfalto danga (sukibimo koeficientas 0,8) ir lengvasis, priekiniais varančiaisiais ir vairuojamaisiais ratais automobilis. Automobilio pakabos, padangų ir traukos charakteristikos pritaikytos pagal programoje siūlomą pradinį, vidutinį C klasės automobilio modelį, kurio svorio centras yra 0,54 metro aukštyje.

Tyrimo rezultatai

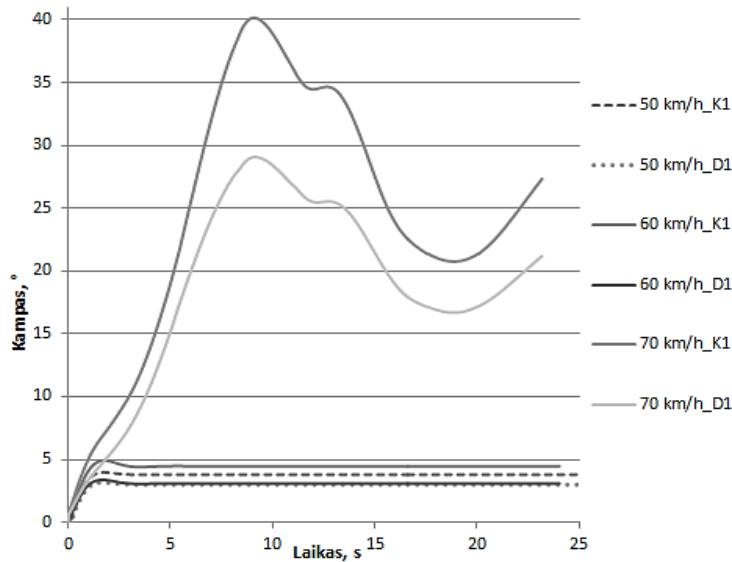
Pagal užduotą komandą programai atlikus modelio skaičiavimus, vizualiai bandymo sąlygas galima pasitikrinti animuotame lange. Nurodyti automobilio matuojami parametrai stebimi pasirinkus diagramų peržiūrą. Numatytam tyrimui svarbiausieji parametrai pasirinkti skersinėje automobilių dinamikoje dažniausiai analizuojami: veikiantis skersinis pagreitis, sukimosi apie vertikalią ašį Z greitis, vairuojamųjų ratų pasukimo ir slydimo kampai. Vairuojamųjų ratų sukimas suteikia galimybę įvertinti simuliacinės programos vairavimo kontrolę. Pagal kreivalinijinę trajektorija skirtingais greičiais judantį automobilį gauti grafikai vaizduojami 5, 6 ir 7 paveiksluose.

Pirmajame grafike (5 pav.) bendroje laiko skalėje vaizduojami skersiniai pagreičiai ir sukimosi apie vertikalią ašį greičiai, nes šie du parametrai turi panašią charakteristiką. Sukimosi greitis tarp 60 ir 70 km/h važiavimo greičio svyruoja apie 18–19 %/s. Esant didesniai greičiui automobilio sukimasis labai nesiskiria, tik tampa netolygus. Tą galima paaiškinti tuo, kad važiuojant 70 km/h greičiu numatyta 50 metrų spindulio kreive automobilis slysta ir stengiantis išlaikyti numatytą trajektoriją, keičiamas vairuojamųjų ratų pasukimo kampas, kuris taip pat yra nepastovus (6 pav.). Esant pastoviam 50 ir 60 km/h greičiui, automobilis nepraranda sukibimo su kelio danga, todėl tiek pagreičių, tiek sukimosi greičių ir vairavimo bei slydimo kampų reikšmės yra nusistovėjusios. Vairuojamųjų ratų slydimo kampai neviršija 2,5 laipsnio (7 pav.), taigi realiai ratas neslysta, o dėl padangos šoninės deformacijos atsiranda skersridė.



5 pav. Automobilį veikiantis skersinis pagreitis ir sukimosi apie vertikalią ašį greitis $\dot{\psi}$

Fig. 5. Lateral acceleration acting on the car and yaw rate $\dot{\psi}$

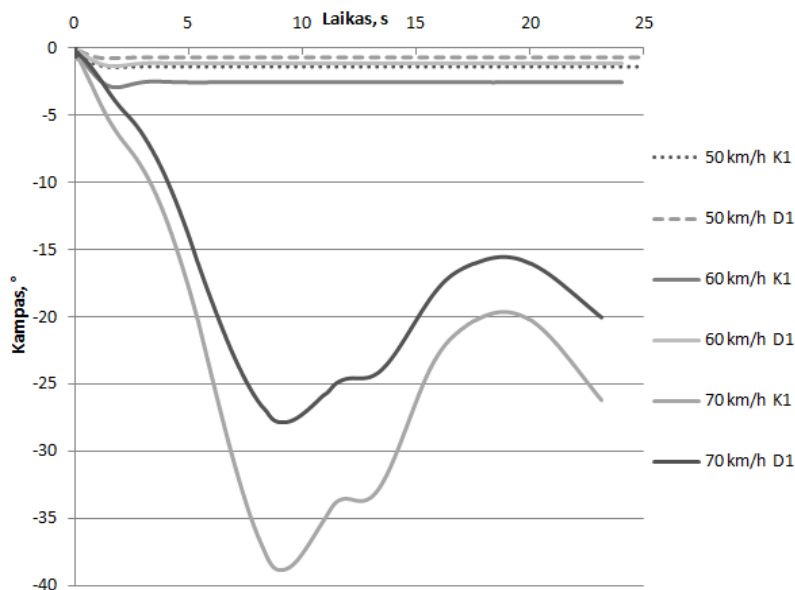


6 pav. Automobilio vairuojamųjų ratų (K1 – priekinis kairys, D1 – priekinis dešinys) pasukimo kampai

Fig. 6. Vehicle steering wheel angle (K1 – front left, D1 – front right)

Slydimo atveju (70 km/h greitis) vairuojamųjų ratų pasukimo kampai beveiki iki maždaug 10-tos važiavimo sekundės yra didinami ir pasiekia net 40 laipsnių (ratas vidinėje posūkio dalyje). Slydimo kampas taip pat didėja, todėl net ir nestebint

animuoto tyrimo vaizdo galima teigti, kad pasireiškia nepakankamo pasukamumo atvejis – automobilis, praradus sukibimą su kelio dangą, yra linkęs didinti važiavimo spindulį. Užduodant važiavimo režimą, šiuo atveju programoje buvo nurodyta laikytis numatytos važiavimo trajektorijos, todėl ratai buvo sukami siekiant sugrąžinti automobilį į reikiamą trajektoriją. Po 10-tos važiavimo sekundės perteklinis pasukamumas ėmė mažėti, nes ratai pradeda tiesinti, o slydimo kampas mažėja. Čia prasideda automobilio aktyvus kontroliavimas, 12–13 sekundę vairaratis trumpam nesukamas, po to ratai toliau tiesinami. Automobilis šiuo momentu sukasi netolygiai (5 pav. ψ 70 km/h). 18–19 sekundę automobilio priekinė ašis vėl pradeda labiau slysti ir ratų pasukimo kampas vėl didinamas į posūkio pusę.



7 pav. Automobilio vairuojamųjų ratų slydimo kampai

Fig. 7. Vehicle steering wheels slip angles

Taigi imituojant tam tikras pastovias važiavimo sąlygas (nekinta greitis, sukibimas, spindulys) galima stebėti, kaip funkcionuoja programos algoritmas. Šiuo atveju automobiliui reikia išlaikyti numatytą važiavimo trajektoriją. Pagal netolygiai kintamą vairuojamųjų ratų pasukimą ir charakteristikos sutapimą su slydimo kampais (6 ir 7 pav.), galima įvertinti tinkamą sudaryto simuliacinio modelio veikimą.

Išvados

1. Siekiant sudaryti kuo tikslesnį automobilio dinaminį modelį, susiduriama su problema – automobilio parametrų įvedimas. Masių inertiškumas, pakabos standumo ir slopinimo charakteristikos, padangų savybės ir kiti dydžiai reikalauja papildomų tyrimų arba skaičiavimų.

2. Dėl gausios parametų įvesties apimties, programa „CarSim“ yra plačias taikymo automobilių dinamikos tyrimuose galimybes turintis įrankis, kuris gali atstoti realų eksperimentą.
3. Išsamiose automobilių skersinės dinamikos tyrimuose būtina išanalizuoti programoje naudojamą vairavimo sistemą ir automobilio valdymo galimybes bei užduoties atlikimo algoritmą.
4. Programai atlikus modelio skaičiavimą, pagal gautas reikiamų parametų diagramas galima vertinti bandymo rezultatus ir atlikimo eigą bei metodikos tinkamumą.
5. Sudarytas skirtingais greičiais 50 metrų spindulio posūkiu judančio automobilio modelis parodė, kad, esant 0,8 sukibimo koeficientui su kelio dangą, lengvasis automobilis iš užsидуotos trajektorijos išslysta esant 70 km/h greičiui.

Literatūra

1. CarSim Educational User Manual, Version 4.5. 2000. Mechanical Simulation Corporation. 336 p.
2. D’Silva, S.; Sundaram, P.; D’Ambrosio, J. G. 2006. Co-Simulation Platform for Diagnostic Development of a Controlled Chassis System. Detroit, Michigan: SAE International. 12 p.
3. Hu, D.; Zong, Ch.; Na, H. 2009. Research on Information Fusion Algorithm for Vehicle Speed Information and Road Adhesion Property Estimation, *Mechatronics and Automation*: 3229–3234.
4. Hu, T.; Yeh, Ch.; Ho, S.; Hsu, T.; Lin, M. 2008. Design of Control Logic and Compensation Strategy for Electronic Power Steering Systems, *Vehicle Power and Propulsion Conference*: 1–6.
5. Maclaurin, B. 2011. A Skid Steering model Using the Magic Formula. *Journal of Terramechanics* 48(2011): 247–263.
6. Sayers, M. 2007. Extending and Customizing CarSim Math Models at Runtime, *The Latest CarSim Vehicle Dynamics Expo, Mechanical Simulation Corporation*, 25 p.
7. Sayers, M. W. 1999. Vehicle Models for RTS Applications, *Vehicle System Dynamics: International Journal of Vehicle Mechanics and Mobility* 32(4–5): 421–438.
8. Sierra, C.; Tseng, E.; Jain, A.; Peng, H. 2006. Cornering Stiffness Estimation Based on Vehicle Lateral Dynamics, *Vehicle System Dynamics: International Journal of Vehicle Mechanics and Mobility* 44(1): 24–38.
9. Tianjun, Z.; Changfu, Z. 2009. The Road Friction Coefficient Estimation Based on Extended Kalman Filter, *Intelligent Systems and Applications*: 1–4.

USES OF SIMULATION SOFTWARE "CARSIM" IN AUTOMOTIVE TRANSVERSAL DYNAMICS RESEARCH

Abstract

Vehicle dynamics simulation software "CarSim" enables to evaluate full nonlinear vehicle dynamic model and its dependencies related to many movement parameters. Lateral dynamics is one of the main fields of vehicle dynamics and there are many various methods for research of this field. Main attention is given for tire characteristics, suspension stiffness and its damping characteristics, geometry and kinematics of steering components. This model evaluates inertia moments of linear and rotational moving components. Tire dynamic characteristics can be modeled using so called "Magic formula" model by changing its input parameters. This paper analyzes program capabilities by modeling vehicle movement in the turn using specific tools and analysis methods of this software.

To reveal particular possibilities of this software different speeds and circular trajectory moving vehicle model is shown in this paper. There is also presented optional parameters which can be set before computer experiment, methodic of drive modes and characteristic which are set on model. After car experiment simulation there is given graphic charts of forces on car, angles of car turn according to vertical and longitudinal axis, tire reactions to road. This comparisational research lets to evaluate ability of program to study parameters variation and accuracy of designed model. Also specific program capabilities in automotive engineering field compared to other programs like ADAMS, Matlab/Simulink and LabView are mentioned.

„CarSim“, lateral dynamics, lateral acceleration, slip angle.

Видас Жураулис, Артурас Жукас

ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПРОГРАММНОГО ПАКЕТА "CARSIM" ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ПОПЕРЕЧНОЙ ДИНАМИКИ АВТОМОБИЛЯ

Резюме

Программа "CarSim" для моделирования динамики автомобиля, позволяет оценить полный нелинейный модель автомобиля и его зависимость со многими параметрами движения транспортного средства. Одним из основных направлений транспортных средств является боковая динамика, для её исследования есть много различных методов. Основное внимание сосредоточено на характеристиках шин, жесткости и демпфирующих характеристиках подвески, геометрии подвески и кинематики рулевого управления. Этот модель оценивает моменты инерции движущихся

компонентов линейного и вращательного движения. Характеристики шин могут быть смоделированы с помощью модели "Magic formula", путем изменения его входных параметров. В статье анализируются возможности программы по моделированию движения автомобиля в повороте с использованием разных программных средств и аналитических методов.

В этой статье показаны возможности программы по моделированию автомобиля, который движется по круговой траектории на разных скоростях. Там также представлены дополнительные параметры, методика настройки режимов вождения, которые устанавливаются на модели. После расчёта модели, представлены данные сил действующих на автомобиле в виде графических карт, углы вращения автомобиля вокруг вертикальной и продольной осей, реакции шин на дороге. Это исследование позволяет оценить способность программы для изучения изменения параметров и точность созданной модели. Кроме того, в статье упоминается конкретные возможности программы в автомобильной инженерии и в контексте других программ, таких как ADAMS, Matlab/Simulink, LabView.

„CarSim“, боковая динамика, боковое ускорение, угол скольжения.