



TRANSPORTA UN SAKARU INSTITŪTS

Aleksandrs BEREŽNOJS

**TRANSPORTA PLŪSMAS MODEĻU VADOŠO
PARAMETRU IETEKMES UZ PILSĒTAS CEĻU
KUSTĪBAS VADĪBAS EFEKTIVITĀTI IZPĒTE**

PROMOCIJAS DARBA KOPSAVILKUMS

RĪGA – 2008



TRANSPORTA UN SAKARU INSTITŪTS

Aleksandrs BEREŽNOJS

**TRANSPORTA PLŪSMAS MODEĻU VADOŠO
PARAMETRU IETEKMES UZ PILSĒTAS CEĻU
KUSTĪBAS VADĪBAS EFEKTIVITĀTI IZPĒTE**

PROMOCIJAS DARBA KOPSAVILKUMS

izvirzīts inženierzinātņu doktora zinātniskā grāda iegūšanai
(Dr.sc.ing.)

Zinātņu nozare "Transports un satiksme"
apakšnozare "Telemātika un loģistika"

Zinātniskie vadītāji:
Dr.habil.sc.ing., profesors
Igorš Kabaškins
Dr.sc.math., profesors
Šarifs Guseinovs

RĪGA – 2008

UDK 656
Be 518
Transporta un sakaru institūts

A.Berežnojs

Be 518 Transporta plūsmas modeļu vadošo parametru ietekmes uz pilsētas ceļu kustības vadības efektivitāti izpēte. Promocijas darba kopsavilkums. Rīga: Transporta un sakaru institūts, 2008. 36 lpp.

ISBN 978-9984-818-06-1 © Berežnojs A.V., 2008
© Transporta un sakaru institūts, 2008

**PROMOCIJAS DARBS IESNIEGTS TRANSPORTA UN
SAKARU INSTITŪTĀ INŽENIERZINĀTŅU DOKTORA
ZINĀTNISKĀ GRĀDA IEGŪŠANAI (Dr.Sc.Ing.)**

OFICIĀLIE OPONENTI:

Dr.habil.sc.ing., profesors Valerijs Kutevs
Elektronikas katedras vadītājs
Transporta un sakaru institūts, Latvija
Dr.habil.sc.ing., profesors Jurijs Šuņins
Prorektors, Informācijas sistēmu menedžmenta augstskola (ISMA), Latvija
Dr.sc.ing. Nikolajs Kobasko
Pētniecības, attīstības un tehnoloģiju direktors, "IQ Technologies Inc.",
Ohio, ASV

Promocijas darba aizstāvēšana notiks 07.10.2008, 16:00 Transporta un sakaru institūta promocijas padomē Lomonosova ielā 1, Rīga, Latvija, 4-130 aud., tālr. (+371) 67100594, fax: (+371) 67100535.

APLIECINĀJUMS

Apliecinu, ka izpildīju šo promocijas darbu, kurš iesniegts aizstāvēšanai Transporta un sakaru institūta promocijas padomē inženierzinātņu doktora grāda (Dr.Sc.Ing.) iegūšanai. Šis promocijas darbs agrāk netika iesniegts izskatīšanai citās promocijas padomēs.

2008.gada 04.jūlijā

A.Berežņojs

Promocijas darbs uzrakstīts angļu valodā un sastāv no ievada, 3 nodaļām, noslēguma un ietver 65 zīmējumus, 220 formulas, 12 tabulas, kopā 256 lappuses. Bibliogrāfijā iekļauti 122 literatūras avoti.

ANOTĀCIJA

Aleksandra Berežnoja promocijas darbs "Transporta plūsmas modeļu vadošo parametru ietekmes uz pilsētas ceļu kustības vadības efektivitāti izpēte" iesniegta inženierzinātņu doktora zinātniskā grāda iegūšanai transporta nozares telemātikas un loģistikas apakšnozarē. Darba zinātniskie vadītāji Dr.habil.sc.ing., profesors Igors Kabaškins, Dr.sc.math., profesors Šarifs Guseinovs.

Promocijas darbs veltīts autotransporta kustības procesu aprakstošo matemātisko modeļu izpētei. Darbā izstrādāti matemātiskie modeļi transporta plūsmas blīvuma raksturojuma noteikšanai. Viennozīmīga transporta plūsmas blīvuma noteikšana pētāmajos pilsētas transporta sistēmas objektos ļauj prognozēt ielu un ceļu tīkla noslodzes turpmāko veidošanos un attiecīgi mainīt vadošos transporta līdzekļu regulēšanas parametrus. Vadošo iedarbību īstenošanas rezultātā rodas iespēja mērķtiecīgi racionāli izmainīt transporta plūsmu intensitāti aplūkojamajos ceļu posmos, kas lielā mērā sekmē ceļu sastrēgumu problēmas risināšanu un ceļ transporta sistēmas vadāmības līmeni.

SATURS

1. DARBA AKTUALITĀTE.....	6
2. PĒTĪJUMA MĒRĶIS UN UZDEVUMI	7
3. PĒTĪJUMA NOZĀRE	8
4. PĒTĪJUMA METODOLOĢIJA UN METODEDES	9
5. DARBA ZINĀTNISKĀ NOVITĀTE	10
6. PRAKTISKĀ VĒRTĪBA UN REALIZĀCIJA.....	11
7. DARBA APROBĀCIJA	11
8. PUBLIKĀCIJAS.....	13
9. DARBA STRUKTŪRA.....	13
10. GALVĒNO PĒTĪJUMA REZULTĀTU APSKATS	15
NOSLĒGUMS	33
AUTORA PUBLIKĀCIJAS	35

1. DARBA AKTUALITĀTE

Mūsdienās lielākajā daļā pasaules pilsētu vērojama sarežģīta situācija ielu tīkla noslodzes jautājumos. Nepārtraukts transporta līdzekļu skaita pieaugums noved pie sastrēgumiem un, kā to sekas, transporta negadījumu skaita palielināšanās, kā arī ekonomiskām sekām, kuras izpaužas sabiedriskā transporta kustības grafiku neievērošanā, operatīvā transporta kavējumos, preču piegāžu un pasažieru plūsmu novirzēs loģistikas ķēdēs, ekoloģiskajās sekās, tādās kā apkārtējās vides piesārņošana un augsts trokšņu līmenis, dabas skatu bojāšana u.c. Visas minētās pilsētu transporta vides problēmas izpaužas kopējā izdevumu pieaugumā, kas saistīti ar transporta līdzekļu un transporta infrastruktūras uzturēšanu un ekspluatāciju.

Kā visasākās un aktuālākās problēmas visbiežāk tiek minētas: nepietiekamā ielu tīkla caurlaides spēja, kas netiek līdzī strauji augošajam satiksmes dalībnieku skaitam; ierobežotas autotransporta līdzekļu plūsmu regulēšanas iespējas, kas parasti aprobežotas "lokāli" un "statiski" augstas ceļu situācijas dinamikas apstākļos; vāja kustības dalībnieku rīcības pareģošana, kas izriet no tā, ka ceļu kustība savā būtībā ir sarežģīta tehnoloģiski sociālā sistēma.

Sekmīgai cīņai ar šīm problēmām eksistē liels skaits lēmumu, kuri balstīti uz dažādām ceļu transporta vadības metodēm. Lai atrastu efektīvas transporta plūsmu vadīšanas stratēģijas, jāņem vērā vesels spektrs transporta plūsmas raksturlielumu, ārējo un iekšējo faktoru ietekmes likumsakarības un dinamiskās īpašības. Tas viss praktiski nav iespējams bez iepriekšēja izmaiņu novērtējuma transporta tīkla topoloģijā, pilsētas maršrutu karte, jebkuru kustības organizācijas līdzekļu, piem., ceļa zīmju, luksoforu, informatīvo norāžu ieviešanas vai atcelšanas. Šīs klases jautājumu risinājums saistās ar zināmām grūtībām pilnvērtīgu pētījumu eksperimentu organizēšanu reālajā vidē, kas, savukārt, saistīts ar ļoti augstiem izdevumiem un tieši skar iedzīvotāju dzīves un darbības drošuma jomu. Tāpēc, lai prognozētu to vai citu lēmumu ieviešanas un projektu analīzes rezultātus, tiek tradicionāli izmantots ceļu kustības procesu modelēšanas matemātiskais aparāts. Par transporta kustības modelēšanas zinātnisko pamatu kalpo transporta plūsmu matemātiskā teorija.

Galvenais klasiskais transporta plūsmu teorijas jautājums, kas izsauc dzīvu interesi arī ceļu kustības praktiskās vadības mūsdienu aspektā, ir saistīts ar esošās mijiedarbības starp dažādiem transporta plūsmas raksturojumiem izpēti. Un vissvarīgākais šeit ir jautājums par precīzu un viennozīmīgu transporta plūsmas galveno raksturlielumu, t.sk. transporta plūsmu blīvuma noteikšanu. Šinī nolūkā parasti tiek izmantoti dažādi matemātiskie modeļi, ar kuru palīdzību tiek attēlota transporta plūsmas "uzvedība" dažādos apstākļos. Šāda transporta plūsmas blīvuma raksturojumu noteikšana ļauj celt ceļu kustības vadīšanas efektivitāti uz luksoforu regulējuma režīmu projektēšanas kvalitātes uzlabošanas rēķina.

Dotais darbs veltīts transporta plūsmas blīvuma kā funkcijai no telpiskām koordinātēm un laika izpētei. Ir labi zināmi dažādi hidro-, gāzveida, elektrodinamiskie modeļi, statistiskās fizikas un citi modeļi-analogi, kurus izmanto transporta plūsmas blīvuma noteikšanai atkarībā no situācijas. Vairumā gadījumā minēto modeļu tipi pēta viendimensijas transporta plūsmu virzību vienjoslu ceļos. Dotajā pētījumā tiek aplūkoti kā viendimensijas, tā arī divdimensiju matemātiskie modeļi, pie tam paredzēti izmantošanai daudzjoslu ceļos. Hidro-, gāzveida, elektrodinamisko transporta plūsmu modeļu un statistiskās fizikas modeļu pamatā atrodas attiecīgo zinātņu nozaru fundamentālie likumi. Adaptējot minētos modeļus transporta plūsmu kustības procesu aprakstam, attiecīgie fiziskie likumi jāidentificē ar saviem likumiem, kas raksturo transporta kustību. Nepieciešamā adaptācija, kā likums, paredz zināmas pielāides par funkcionālo atkarību esamību starp transporta plūsmu galvenajiem raksturojumiem, piemēram, funkcionālo atkarību starp ātrumu un blīvumu Uizema un Grīnšilda-Grīnberga modeļos, kas noved pie pretrunām, tādām kā ātruma un plūsmas blīvuma negatīvie rādītāji. Tāpēc makroskopiskā un/vai mikroskopiskā rakstura matemātisko modeļu, kā arī varbūtisko modeļu izveide "no nulles", kas balstās tikai uz transporta sistēmu modeļiem, ir aktuāla, tā kā "no nulles" veidotiem modeļiem minētās pielāides, kas radušās adoptācijas gaitā un spējīgas novest pie dažāda veida pretrunām, izpaliek. Šinī pētījumā matemātiskie modeļi tiek veidoti transporta plūsmas blīvuma raksturošanai, tieši vadoties no pētāmās autotransporta kustības parādības dabas.

2. PĒTĪJUMA MĒRĶIS UN UZDEVUMI

Darba mērķis ir transporta līdzekļu plūsmas blīvuma raksturojuma viennozīmīga noteikšana daudzjoslu ceļa patvaļīgi noteiktajā griezumā, patvaļīgajā laika posmā lēmumu pieņemšanas atbalstam pētāmā ceļa posma dinamiskās noslodzes stāvokļa prognozēšanai un luksoforu regulēšanas atbilstošo adaptīva vadošo ciklu laika parametru izvēlei.

Plūsmas blīvuma noteikšana interesējošajā vajadzīgā posma punktā patvaļīgajā laika posmā ļaus īstenot efektīvāku resursu taupošo transporta plūsmu vadīšanu. Pie tam viennozīmīga transporta plūsmas blīvuma noteikšana pētāmajos pilsētas transporta sistēmas posmos ļaus tādējādi mainīt transporta sistēmas vadīšanas parametrus, lai automobiļu sadalījums kā atsevišķos ceļu posmos, tā atsevišķu mikrorajonu un pilsētas mēroga kopumā būtu pieejams, t.i., plūsmu blīvums problemātiskajās "šaurajās vietās" sastrēgumstundās atrastos pieļaujamās robežās, kuru pārsniegšana noved pie dažāda veida negatīvām sekām, piem., pie tādām kā sastrēgumu rašanās.

Nospraustā mērķa īstenošanai tika izvirzīti un atrisināti šādi uzdevumi:

1. Tika veikts galveno esošo autotransporta kustības modeļu apskats, noskaidrotas to pielietojšanas jomas, galvenie ierobežojumi un trūkumi. Pamatota nepieciešamība izstrādāt matemātiskos modeļus "no nulles",

- lai tādējādi noteiktu transporta plūsmas blīvumu vienkāršotās – viendimensijas un reālistiskās – divdimensijas kustības gadījumā.
2. Izveidoti matemātiskie modeļi transporta plūsmu blīvuma raksturojuma noteikšanai, kā arī īstenota to lietošanas analīze un atklāti galvenie konstruēto matemātisko modeļu ierobežojumi un trūkumi.
 3. Atklāti izvirzīto matemātisko uzdevumu analītiskie risinājumi transporta plūsmas blīvuma noteikšanai un veikta iegūto risinājumu izpēte iespējamās inženiertehniskās realizācijas kontekstā.
 4. Veikti skaitliskie eksperimenti un īstenota transporta kustības plūsmas radīto matemātisko modeļu pārbaude uz to atbilstību uz reālo datu un imitācijas modelēšanas pamata.

3. PĒTĪJUMA NOZARE

Promocijas darbā aplūkoti zināmās modelēšanas metodes, kuras tiek plaši izmantotas autotransporta kustības pētījumos, un aprakstīti galvenie esošie modeļi, kuri fiksē transporta plūsmu kustības procesu. Mūsdienas izpētīts liels skaits transporta plūsmu kustības makroskopisko un mikroskopisko modeļu, un šis process turpinās, pie tam, galvenokārt, viendimensijas kustībai. Vispazīstamākie no tiem ir Grīberga, Grīnšilda, Laithilla-Uizema, Prigožina, Daganzo, Paines, Birgera, Veidliha-Hiligsa, Krēmera, Kunes, Papageorgiona, Kernerā-Konhauzera u.c. makroskopiskie modeļi. Roišela, Ņuvela, Kremera-Ludviga, Paipa, Hermana-Rotteri, Gazisa, Čandlera, Gipsa, Čou, Hellinga, Kometani-Sasaki, Kune-Kroena, Kune-Rodigera, Foksa-Hemana, Helbinga-Tilša, Nageļa-Šrekenberga, Māja-Kellera, Čanga-Laja, Tomera, Hakajamas, Hakaniši, Manštetema, Hefsa, Blaile, Klauza u.c. mikroskopiskie modeļi. Viesiem šiem modeļiem ir determinēts raksturs: sākotnējās plūsmas stāvoklis pilnīgi nosaka tās koordinātes jebkurā turpmākajā laika brīdī. Tanī pašā laikā starp augšminētajiem sastopami modeļi ar nedeterminētu raksturu.

Determinēto modeļu pamatā atrodas pieņēmums par funkcionālās atkarības pastāvēšanu starp atsevišķiem transporta plūsmas raksturojumiem, piem., funkcionālās atkarības starp kustības ātrumu un attālumu starp automobiļiem transporta līdzekļu plūsmā; funkcionālās atkarības transporta plūsmas kustības ātrumu un tās blīvumu u.c. Taču tieši prasība pēc savstarpēji viennozīmīgas funkcionālās atkarības esamību var novest pie vairāk pretrunām. Piem., intuitīvi pareizs pieņēmums par funkcionālās atkarības pastāvēšanu starp plūsmas ātrumu un blīvumu var novest pie negatīviem blīvuma vai ātruma raksturojumiem. Tas, savukārt, spiež izvirzīt pieņēmumu par *plūsmas līdzsvarota stāvokļa pastāvēšanu*. Tas ir – formējas prasība, kuras būtība slēpjas tanī apstākļi, ka transporta plūsmas vidējais ātrums katrā laika brīdī atbilst tās līdzsvarotai vērtībai dotā transporta līdzekļu blīvuma apstākļos. Minētie pieņēmumi liek pētniekiem sašaurināt uzbūvēto matemātisko modeļu

pielietošanas apgabalu, aprobežojoties ar transporta plūsmas procesa apskatīšanu tikai ceļos bez šķērsojumiem utt.

Tāpēc, vienlaikus ar determinētajiem modeļiem rodas nepieciešamība pēc transporta plūsmu kustības nedeterminēto modeļu veidošanas un to risināšanas metožu izstrādāšanas. Ir labi zināmas tādas transporta plūsmas galvenās īpašības kā nenoteiktība, galīgums, attāluma atkarība no laika u.c., kuru ignorēšana neļauj uzskatīt izveidotos matemātiskos modeļus par pilnvērtīgiem un pietiekami reāliem, lai tos varētu uztvert par īsteniem transporta kustības modeļiem.

Promocijas darbā ir aplūkoti nedeterminētie modeļi, kuros transporta līdzekļu plūsma tiek uzskatīta kā daļiņu plūsma pētāmajā vidē ar atļauju pārvietoties kā uz priekšu, tā arī pretējā virzienā. Pēc analogijas ar fiziskajām parādībām, automobiļu kustības aprakstīšanai transporta plūsma tika pielietots statistiskās fizikas matemātiskais aparāts, kurš pieļauj daļiņu nejaušu pārvietošanos nejaušu impulsu iedarbības rezultātā. Nedeterminētajos modeļos tikai ar zināmu varbūtību iespējams paredzēt katra atsevišķa transporta līdzekļa pārvietošanos. Taču, ja ir vērojams liels transporta līdzekļu skaits, kuri pārvietojas "nejauši" un "neatkarīgi" viens no otra, tad transporta sistēmas uzvedību kopumā var pietiekami precīzi paredzēt. Promocijas darbā tieši šis fakts galvenokārt tiek ņemts vērā transporta plūsmu izpētes procesā.

Kopumā dotajā problēmā esošo pētījumu analīze parādīja, ka universālie modeļi, kuri būtu vienlīdz labi piemērojami ceļu kustības attēlošanai dažādās situācijās un ņemtu vērā lielo skaitu faktoru, kuri darbojas šinī vidē, pašreizējā situācijā neeksistē. Vēl jo vairāk, dažos pašlaik esošajos galvenajos modeļos, bez zināmajiem ierobežojumiem, ir atzīmēti vairākas augšminētās pretrunas, par kuru rašanās iemeslu kalpo nepietiekamais no citām zinātnes nozarēm pārņemto likumu adoptācijas līmenis. Tāpēc tālākai esošo modeļu pilnveidošanai mūsu pētījumā vispirms tiek būvēti transporta plūsmas matemātiskie modeļi, tieši vadoties no ceļu kustības dabas, un tikai pēc tam tālākā modeļu attīstība risinās divdimensiju transporta kustības gadījuma konstruēšanas virzienā.

4. PĒTĪJUMA METODOLOĢIJA UN METODES

Izvirzīto uzdevumu atrisināšanai promocijas darbā izmantotas matemātiskās analīzes, daļēji atvasinājumu diferenciālo vienādojumu teorijas, aproksimācijas teorijas, atgriezenisko koeficientu uzdevumu teorijas metodes, kā arī skaitliskās metodes. Pie tam, izmantojot statistiskās fizikas un transporta plūsmu teorijas likumus, tika konstruēti viendimensijas un divdimensiju (pēc telpas mainīgajiem lielumiem) matemātiskie modeļi, kas apraksta automobiļu kustību plūsmā daudzjoslu ielās. Konstruētie modeļi apraksta kā diskrēto, tā arī nepārtraukto autotransporta kustību. Diskrētajos modeļos izmantots automobiļu skaita uzrādīšanas aparāts norādītajā fiksētajā ceļu posma punktā un uzdotajā laika brīdī kā automobiļu skaita starpība starp blakus esošajiem laika un

koordinātu diskrētā tīkla mezgliem. Konstruējot transporta plūsmu kustības nepārtrauktos modeļus, tika izmantotas parciālo atvasinājumu diferenciālo vienādojumu teoriju metodes.

Promocijas darbā izmantotas šādas matemātiskas analīzes un matemātiskās fizikas metodes:

- galējās pārejas metodes funkcionālajās un ciparu virknēs;
- bezgalīgi lielu un mazu virkņu salīdzināšanas metodes;
- funkciju izvirzījuma metode Teilora rindā;
- vektorālās un tenzonārās analīzes teorijas elementi;
- neviendabīgo diferenciālo vienādojumu pārveidošanas metodes viendabīgajos;
- interpolācijas metodes ar polinomu un splainu palīdzību;
- matemātiskās fizikas koeficienta atgriezenisko uzdevumu teorijas metodes;
- matemātisko uzstādījumu stabilitātes analīzes metodes iegūtajiem diferenciālajiem vienādojumiem un to risinājumiem;
- izvirzīto uzdevumu esamības un vienīguma pierādījumi;
- Tihonova nekorekti izvirzīto uzdevumu stabilās risinājuma metodes.

Darbā izmantota attiecīgās zinātnes nozares zinātniskā un mācību literatūra, periodisko izdevumu tematiskie materiāli, starptautisko konferenču rakstu krājumi u.c.

Konstruēto modeļu atbilstības pārbaudei tika īstenoti skaitliskie eksperimenti, zināmas to daļas realizācijai tika vākta un apstrādāta pilsētas transporta plūsmu statistika, radīta programmatūra, veikti aprēķini programmu paketē MathCAD un organizēta imitācijas modelēšana VISIM vidē.

5. DARBA ZINĀTNISKĀ NOVITĀTE

Jaunie darba zinātniskie rezultāti ir šādi:

1. Konstruēti ceļu kustības divdimensiju diskrētie un nepārtrauktie nedeterminētie modeļi viendimensijas un divdimensiju transporta plūsmas blīvuma raksturošanai.
2. Noteikts un interpretēts kompleksais vadības parametrs – jūtīguma koeficients, kura noteikšana ļauj īstenot ceļu kustības vadības efektivitātes novērtējumu.
3. Noskaidrotas transporta plūsmu vadīšanas prasības, kas ļauj nodrošināt tādu transporta līdzekļu plūsmas kustību, pie kuras ceļa pētāmajā posmā tiek nodrošināts vislabākais plūsmas caurlaides režīms, kā rezultātā tiek izslēgti sastrēgumi.
4. Noformulētas inženiertehniskās prasības transporta plūsmu reģistrācijas mērīšanas sistēmas datu devēju daudzumam un

izvietojumam. Pierādīta prasību invariantāte attiecībā pret vadības sistēmu jautājumā par sākotnējās mērīšanas informācijas datu devēju izvietojumu.

5. Ieteikta transporta plūsmas raksturojumu kvantitatīvo izmaiņu noteikšanas un prognozēšanas metodika dotajā laikā brīdī brīvi izvēlētajā pētāmā ceļa posma punktā.

6. PRAKTISKĀ VĒRTĪBA UN REALIZĀCIJA

Promocijas darbā ieteikta transporta plūsmas blīvuma raksturojumu noteikšanas metodika daudzjoslu ceļa izvēlētajā šķērsgriezumā patvaļīgajā laikā brīdī. Plūsmas blīvuma noteikšana izvēlētajā posma vajadzīgajā punktā patvaļīgajā laikā brīdī ļauj īstenot transporta plūsmu adaptīvo vadīšanu. Šinī nolūkā darbā ieteikta zinātniska pieeja luksoforu regulējuma laika parametru izvēlei zināmajai transporta plūsmas blīvuma funkcijai.

Bez tam viennozīmīga transporta plūsmas blīvuma noteikšana pētāmajos pilsētas transporta sistēmas iecirkņos ļauj izmainīt transporta sistēmas vadības parametrus tādējādi, lai automobiļu sadalījums kā atsevišķi ņemtajos ceļu posmos, tā arī atsevišķu mikrorajonu un pilsētas kopumā ietvaros būtu pieļaujams, t.i., intensitāte problēmu "šaurajās vietās" sastrēguma stundās atrastos pieļaujamās robežās, kuru pārsniegšana ved pie dažāda veida negatīvām sekām, tādām kā sastrēgumu izveidošanās.

Darbā dotas praktiskas rekomendācijas izejas datu par transporta plūsmu savākšanas formu un mērīšanas sistēmu datu devēju atrašanās vietu izvēli. Formulēti un pamatoti noteikumi, kuri ļauj izmantot tikai vienu papildu datu devēju, neskaitot jau izvietotos intervāla sākumā un beigās jebkura garuma ceļa intervālā.

Ieteikts izmantot jau esošo konstruētajos modeļos jūtīguma koeficientu, kuru var aplūkot kā autotransporta plūsma integrēto raksturojumu, kā transporta sistēmas dinamisko raksturojumu novērtējuma galveno parametru ceļu kustības organizācijas procesu efektivitātes analīzes gadījumā.

Darba veikto pētījumu rezultāti var tikt izmantoti ceļu kustības operatīvai organizēšanai pilsētas mērogā. Konstruētos modeļus var tāpat izmantot pilsētas attīstības perspektīvās plānošanas uzdevumu risināšanā, jaunu kvartālu un ielu projektēšanā, iespējamās transporta slodzes noteikšanai dzīvojamajos rajonos.

7. DARBA APROBĀCIJA

Promocijas darba rezultāti tika aprobēti šādās konferencēs un semināros:

- Starptautiskā konference "Nordic-Baltic Transport Research Conference" (Rīga, 2000.);
- Starptautiskā konference (TransBaltica 2002) VII International Conference "Transport. Communications. Logistics" (Rīga, 2002.);

- Starptautiskā konference (RelStat'03) "Reliability and Statistics in Transportation and Communication" (Rīga, 2003.);
- Starptautiskā konference "Lietuva bez zinātnes – Lietuva bez nakotnes" (Vilnius, 2004.);
- ICRAAT 2004 – 1st International Conference on Research in Air Transportation (Zilina, 2004.);
- Starptautiskā konference (RelStat'05) "Reliability and Statistics in Transportation and Communication" (Rīga, 2005.);
- Zinātniski praktiskā un mācību metodiskā konference "Zinātne un tehnoloģija – solis nākotnē" (Rīga, 2006.);
- Starptautiskā konference 6th International Conference on Applied Infrastructure Research (INFRADAY'07) "Sustainability and Reliability of European Infrastructure – Investment, Innovation and Regulation" (Berlīne, 2007.);
- Starptautiskā konference (RelStat'07) "Reliability and Statistics in Transportation and Communication" (Rīga, 2007.);
- TSI elektronikas katedras paplašinātais seminārs "Ceļu kustības vadīšanas modeļu izpēte ar telemātikas sistēmu izmantošanu un to pielietojums pilsētas transporta sistēmas efektivitātes celšanai" (Rīga, 2007.);
- Starptautiskā konference First International Conference on Soft Computing Technologies in Economy (Baku, 2007.);
- Datortīklu un matemātisko metožu katedru apvienotais starpkatedru seminārs "Par transporta plūsmu blīvuma noteikšanas problēmām un plūsmu vadīšanas jautājumiem" (Rīga, 2007.);
- Pētnieciskā un akadēmiskā konference "Research and Technology – Step to the Future". (Rīga, 2008.).
- Starptautiskā konference (MBITS'08) "Modelling of Business, Industrial and Transport Systems" (Rīga, 2008.).

Pētījumu rezultāti promocijas darba tematikā izmantoti zemāk minēto projektu īstenošanas procesā, kuri izpildīti pēc Rīgas Domes pasūtījuma un finansēti no Eiropas fondu līdzekļiem, kā arī no Latvijas Zinātnes padomes grantiem:

- European COST Action 355 "Changing behaviour towards a more sustainable transport demand" (2004-2008);
- Intelektuālā rajona tīkla un tā realizācijas pilotprojekta funkcionēšanas koncepcijas un nacionālā modeļa izstrāde uz Daugavpils Akadēmiskā parka bāzes, 2006.-2009. LZP sadarbības projekts Nr. 06.0027 (2006-2009);
- Multimodālā koridora Eiropa-Āzija intelektuālās transporta sistēmas modeļu izstrāde starpvalstu loģistikās ķēdes "Latvija-Baltkrievija"

optimizācijai (TransLab). Latvijas izglītības un zinātnes ministrija (2007-2009).

- Stabīlo analītisko un skaitlisko metožu izveide tiešo un atgriezenisko, determinēto un varbūtisko uzdevumu risināšanai. Latvijas izglītības un zinātnes ministrijas grants Nr. IZM/08 (2008);
- Transporta sastrēgumu monitoringa metodoloģijas izstrāde plūsmu uzlabošanai pilsētā. Rīgas dome. (2007);
- Transporta intelektuālo sistēmu attīstība Latvijā. LZP sadarbības projekts Nr. 02.0001. (2001-2005);
- Innovative Vocational Education and Training in Transport Area (IVETTA). EU Leonardo da Vinci Programme Nr. 2004 – 1818 / 001-001 LE2 74SUB. (2004-2005);
- Latvijas Transporta sistēmas optimizācija. LZP sadarbības projekts Nr. 02.0001. (1999-2001).

8. PUBLIKĀCIJAS

Pētījumu rezultāti promocijas darba tēmā tika publicēti 22 zinātniskajos darbos, starp kuriem 16 raksti publicēti dažādos zinātniskajos žurnālos un rakstu krājumos, kā arī 6 zinātnisko referātu tēzes ievietotas starptautisko konferenču materiālos. Publikācijās aplūkotas problēmas tika ziņotas starptautiskajās konferencēs Latvijā, Lietuvā, Azerbaidžānā, Slovākijā un Vācijā.

9. DARBA STRUKTŪRA

Disertācija sastāv no ievada, 3 nodaļām, noslēguma, izmantotās literatūras saraksta un 2 pielikumiem. Promocijas darba kopējais apjoms (bez pielikumiem) sastāda 256 lappuses, 65 zīmējumus, 12 tabulas. Literatūras sarakstā ir 122 darbu nosaukumi.

Darba pirmajā nodaļā "Pilsētas transporta sistēmas stāvokļa analīzes metožu apskats" dots pilsētas sistēmas galveno problēmu apskats kopumā un autotransporta kustības aspektā īpaši. Ieteikta esošo pieeju klasifikācija pilsētas transporta problēmu risināšanai. Veikta esošo determinēto un nedeterminēto matemātisko modeļu analīze un doti to salīdzinošie raksturojumi.

Otrā nodaļa "Transporta plūsmu viendimensijas nedeterminēta modeļa konstruēšana un analīze daudzjoslu ceļā" veltīta diskrēto un nepārtraukto matemātisko modeļu konstruēšanai "no nulles" transporta plūsmu blīvuma noteikšanai viendimensijas gadījumā. Aplūkoti konstruēto diskrēto un nepārtraukto modeļu pielietošanas apgabali, priekšrocības, trūkumi un

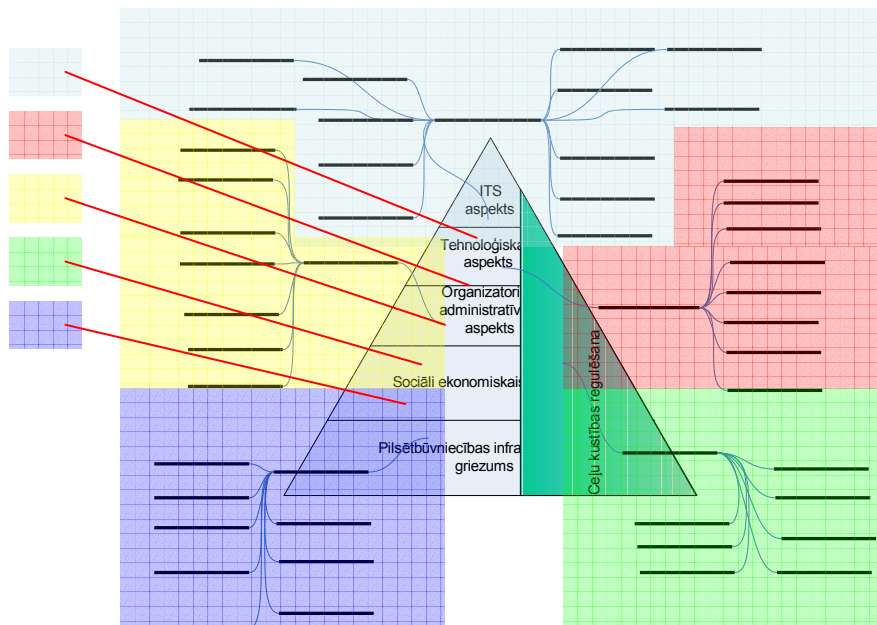
ierobežojumi. Dota varbūtiskā nodaļā izmantoto jēdzienu, iegūto formulu un secinājumu interpretācija.

Trešajā nodaļā "Transporta plūsmu kustības daudzjoslu ceļā divdimensiju nedeterminēta modeļa konstruēšana un analīze" radīti divdimensiju kustības diskrētais un nepārtrauktais matemātiskais modelis, nolūka noteikt transporta plūsmas divdimensiju skalāro blīvumu. Izanalizēti galvenie pieņēmumi, atklāti ierobežojumi un trūkumi, doti varbūtējā konstruēto modeļu interpretācija. Pārbaudīts iegūto modeļu adekvātums, veikts skaitliskais eksperiments un doti aprēķinu piemēri, kuri demonstrē iegūto teorētisko rezultātu praktisko pielietojumu.

10. GALVENO PĒTĪJUMA REZULTĀTU APSKATS

Pirmajā darba nodaļā veikta esošo pilsētas transporta sistēmas ekspresanalīze. Kā asas un pilsētas saimniecībai nesošas vislielāko kaitējumu problēmas atzīmēti sastrēgumi un ceļu-ielu tīkla (ICT) pārslodzes, kā arī ceļu kustības drošības un nodarītā ekoloģiskā kaitējuma problēmas. Dots galveno transporta sistēmas sastāvdaļu apskats. Sakarā ar to, ka transporta sistēma sastāv no ceļu un ielu tīkla, transporta infrastruktūras, transporta plūsmas un vadības tehniskajām sistēmām par dotās promocijas darba pētījuma objektu tiek aplūkota transporta plūsma. Darbā noteikti tā galvenie raksturojumi, īpašības un īpatnības, kā arī apskatīti tie faktori, kuri atstāj ietekmi uz transporta plūsmām.

Ieteikta esošo pieeju transporta problēmu risināšanai pilsētas mērogā klasifikācija (1.zīm.).



1.zīm. Ceļu kustības vadīšanas metožu klasifikācija

Saskaņā ar mūsu ieteikto klasifikāciju visi promocijas darbā aplūkoti uzdevumi tiek risināti tehnoloģisko vadīšanas metožu un intelektuālo transporta sistēmas ietvaros.

Darbā tika veikta Eiropas projektu salīdzinošā analīze, kas virzīti uz mūsdienu pilsētas ceļu kustības vadības tehnoloģisko metožu ieviešanu. Apskatīta automatizēto vadības sistēmu arhitektūra, transporta plūsmu vadīšanas tehniskās metodes un vadošās darbības īstenošanai nepieciešamās informācijas vākšanas metodes.

Promocijas darbā analizētas pieejas transporta kustības pilsētas mērogā vadības efektivitātes novērtējumam. Pilsētas transporta sistēmas mērāmo parametru piemēri no ceļu kustības efektivitātes novērtējuma pozīcijām var būt: regulējamo maģistrāļu izbraukšanas laiks, vidējais transporta līdzekļu kustības laiks, vidējās transporta aizkaves laiks krustojumos, transporta līdzekļu apstāšanās skaits uz aizliedzošo luksofora signālu, negadījumu skaits, tajā skaitā ceļu katastrofu skaits, augsnes, ūdens un gaisa piesārņojuma līmenis pilsētā, trokšņu līmenis tajā, zemju atsavināšana, dabas ainavu bojāšana u.c.

Ceļu kustības vadīšanas automatizētās sistēmas efektivitāte ir pārstāvēta funkcionāla veidā, kurš atkarīgs no servisu klāsta, kuri var tikt realizēti sistēmas ietvaros:

$$E = f(E_{S_i}),$$

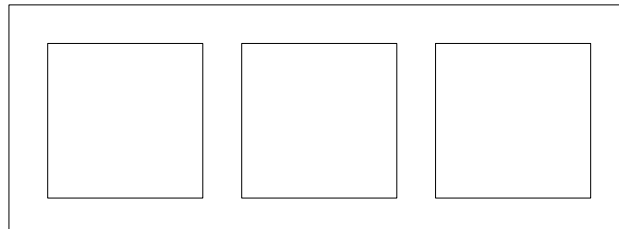
kur E – ceļu kustības vadīšanas automatizētās sistēmas (CKVAS) efektivitāte;
 S_i – i -is realizētais serviss CKVAS ietvaros.

i -servisa efektivitāte, uz transporta plūsmu automatizētās vadīšanas kontroles servisa piemēra, atkarīga no tādām sistēmas īpašībām kā drošums, izvirzīto uzdevumu risinājuma kvalitāte u.c., savukārt, piesaistītām realizējamajai arhitektūrai.

$$E_{S_{ACK}} = \prod_{i=1}^N e_i(a_j) \rightarrow \max | TCO \rightarrow \min,$$

kur e_i – i -sistēmas īpašība, kas atkarīga no sistēmas uzbūves arhitektūras a_j ,
 TCO (Total Cost of Ownership) – valdījuma kopējā vērtība, $j = 1, \dots, M$.

CKVAS kā vadības līdzekļa efektivitātes jēdziens veidojas ne tikai no izvirzīto uzdevumu risināšanas rādītāju indikatoru izmaiņas līmeņa novērtējuma, bet arī no sistēmas ekonomiskuma pēc patērētajiem resursiem (laika, darba, informatīvajiem, enerģētiskajiem u.c.) un arī centralizētās vadības sistēmas drošības līmeņa novērtējuma (2.zīm.).



2.zīm. Sistēmas kā vadības līdzekļa efektivitātes jēdziens

CKVAS efektivitātes novērtējums tiek realizēts uz vadības iedarbības ieviešanas ārējo rezultātu salīdzināšanas pamata ar iepriekšējo situāciju uz ceļiem.

Vispārējā veidā šādas klases sistēmas var novērtēt ar zaudējumu rādītāja palīdzību, kam piemīt šāda forma:

$$C = W_0 - W,$$

kur W – vidējais zaudējumu rādītājs, kuri rodas izmantojot centralizēto kontroles un vadības automatizēto sistēmu; W_0 – vidējais zaudējumu rādītājs, kad pilsētas ceļu kustības vadīšanu īsteno bez CKVAS iejaukšanās. Tādējādi, CKVAS efektivitātes novērtējums var tikt realizēts caur zaudējumu rādītāju:

$$E = 1 - \frac{W}{W_0} = -\frac{C}{W_0}.$$

Par galīgo vadības darbības ieviešanas efektivitātes novērtējuma kritēriju mūsu darbā tiek uzskatītas transporta plūsmas blīvuma izmaiņas pētāmajā ceļa posmā.

Promocijas darbā aplūkoti pazīstamās modelēšanas metodes, kas tiek izmantotas autotransporta kustības izpētes gadījumā. Izdarīts dažu galveno eksistējošo modeļu apskats, ar kuru palīdzību tiek aprakstīts transporta plūsmu kustības process un sistematizēti autotransporta kustības matemātiskie modeļi. Veikta salīdzinošā apskatīto modeļu darbības jomas analīze, noskaidrotas to galvenās priekšrocības, ierobežojumi un trūkumi.

Atzīmēts, ka visiem apskatītajiem modeļiem raksturīga prasība pēc savstarpējas funkcionālās atkarības. Taču dažos gadījumos šādas pielāides klātbūtne noved pie dažādām pretrunām. Piemēram, intuitīvi pareizā funkcionālās atkarības pielāide starp ātrumu un plūsmas blīvumu var novest pie negatīviem ātruma vai blīvuma lielumiem, kas spiež izvirzīt tēzi par plūsmas līdzvērtības stāvokli. Tas ir, tiek izvirzītas prasības par plūsmas vidējā ātruma katrā laika posmā atbilstību tās līdzvērtīgai nozīmei pie dotā automobiļu blīvuma. Minētās pielāides ievērojami sašaurina matemātisko modeļu izmantošanas iespējas, aprobežojoties tikai ar transporta plūsmas procesa izskatīšanu tikai ceļa posmos bez šķērsojumiem utt. Tāpēc tiek demonstrēts, ka līdzās ar determinētajiem modeļiem, rodas vajadzība pēc transporta plūsmas nedeterminētajiem modeļiem, kā arī to atrisināšanas metožu izstrādes. Promocijas darbā uzrādītas galvenās transporta plūsmas īpašības (nenoteiktība, galīgums, attāluma atkarība no laika ilguma u.c.), kuru ignorēšana neļauj uzskatīt konstruētos modeļus par pilnvērtīgiem un pietiekami reāliem, lai tos varētu uzskatīt par īstiem transporta kustības modeļiem.

Otrajā nodaļā saskaņā ar augšminētajiem iemesliem ieviests jēdziens "atjaunošana" (pašatjaunošanās), kas nozīmē automobiļu skaita atgriezeniski proporcionālo atkarību katrā pētāma ceļu iecirkņa punktā no vidēji aritmētiskā automobiļu skaita blakuspunktos. Balstoties uz mūsu ieviesto jēdzienu "transporta plūsmas atjaunošana", tika konstruēts diskrētais nedeterminētais modelis, kurš, izmantojot dažus izejas datus, ļauj noteikt meklējamo transporta līdzekļu skaitu plūsmā jebkurā pētāmā ceļa posmā un jebkurā laika brīdī:

$$U(m, n+1) \approx \frac{U(m-1, n) + U(m+1, n)}{2},$$

kur $U(m, n)$ – funkcija ($m = 0, \pm 1, \pm 2, \dots$; $n = 0, 1, 2, \dots$), kas uzrāda automobiļu daudzumu laika posmā $n \cdot \Delta t$, punktā ar koordinātēm $m \cdot \Delta x$. Tika konstruēts iegūtās rekurrentās formulas analogs transporta plūsmas intensitātes raksturojumam.

Izanalizētas arī konstruētā diskrētā modeļa īpatnības, īpašības, ierobežojumi, kā arī radītā diskrētā modeļa darbības zona. Parādīts, ka ieteiktais diskrētais modelis zaudē savu atbilstību transporta plūsmas dinamiskās robežas tuvumā, bet iekšējos punktos ņem vērā viendimensijas plūsmas ar apdzīšanas atļauju divvirzienu kustību.

Darbā matemātiski formulēti noteikumi, tikai kuru izpildes gadījumā iespējama galējā pāreja no diskrētā uz nepārtraukto modeli. Galējo pāreju rezultātā, pielietojot formulu ar $\Delta x \rightarrow 0$, $\Delta t \rightarrow 0$, iegūts nepārtrauktais modelis transporta plūsmas blīvuma raksturošanai:

$$\frac{\partial \rho(x, t)}{\partial t} = a^2(t) \cdot \frac{\partial^2 \rho(x, t)}{\partial x^2}, \quad 0 < x < l, \quad 0 < t \leq T,$$

kur

$$a^2 = \lim_{\substack{\Delta x \rightarrow 0 \\ \Delta t \rightarrow 0}} \left(\frac{\Delta x}{\sqrt{2 \cdot \Delta t}} \right)^2 > 0 \text{ – jūtīguma koeficients.}$$

Aprēķinātais nepārtrauktais modelis ļauj viennozīmīgi noteikt meklējamo transporta plūsmas blīvumu pie izvīzītajiem blīvuma sakuma un robežnoteikumiem:

sākuma noteikums

$$\rho(x, t)|_{t=0} = h(x), \quad 0 \leq x \leq l,$$

pirmās dzimtes robežnoteikumi (Dirihles noteikumi)

$$\rho(x, t)|_{x=0} = 0, \quad 0 \leq t \leq T,$$

$$\rho(x, t)|_{x=l} = 0, \quad 0 \leq t \leq T,$$

saskaņošanas noteikumi

$$\begin{cases} h(0+0) = h(l-0) = 0, \\ h''(0+0) = h''(l-0) = 0, \end{cases}$$

prasības

$$\begin{cases} a^2(t) \in C[0, T], \\ h(x) \in C^4[0, l]. \end{cases}$$

Iegūtais nepārtrauktais modelis pēc ārējā izskata pilnībā sakrīt ar masu vienādojumu (mass equation), kas ir plaši pazīstams no siltuma vadīšanas, difūzijas un filtrācijas teorijām. Tika matemātiski pamatots, ka nepārtrauktajā modelī esošais jūtīguma koeficients, masu vienādojuma interpretējamais kā masas pārvešanas koeficients, nav ne pastāvīgs, ne pazīstams, bet, vispārējā gadījumā, atkarīgs no telpiskajām un laika koordinātēm, plūsmas kustības intensitātes un ātruma un ir pakļauts noteikšanai.

Tieša uzdevuma atrisinājums, kuru sastāda transporta plūsmas blīvuma funkcijas atrašana, atrodama Grīna funkcijas veida apskatāmā uzdevuma gadījumā pie apriori zināmā jūtīguma koeficienta un uzdotajiem sākotnējam, robežu un atbilstošajiem saskaņošanas noteikumiem.

Veikts pētījums par jūtīguma koeficienta esamību un vienīgo definīciju, kurš transporta plūsmu teorijā nav apriori uzdotais. Šinī nolūkā tika formulēts jūtīguma koeficienta viennozīmīgas noteikšanas atgriezeniskais uzdevums.

$$\frac{\partial \rho(x, t)}{\partial t} = a^2(t) \cdot \frac{\partial^2 \rho(x, t)}{\partial x^2}, \quad 0 < x < l, \quad 0 < t \leq T,$$

sākuma noteikums

$$\rho(x, t)|_{t=0} = h(x), \quad 0 \leq x \leq l,$$

pirmās dzimtes robežnoteikumi (Dirihles noteikumi)

$$\rho(x, t)|_{x=0} = 0, \quad 0 \leq t \leq T,$$

$$\rho(x, t)|_{x=l} = 0, \quad 0 \leq t \leq T,$$

saskaņošanas noteikumi

$$\begin{cases} h(0+0) = h(l-0) = 0, \\ h''(0+0) = h''(l-0) = 0, \end{cases}$$

prasības

$$\begin{cases} a^2(t) \in C[0, T], \\ h(x) \in C^4[0, l]. \end{cases}$$

papildu noteikums

$$\rho(x, t)|_{x=\bar{x}} = \tilde{\rho}(t), \quad 0 \leq t \leq T,$$

kur $\tilde{\rho}(t)$ ir pazīstamā funkcija, bet punkts $\tilde{x} \in (0, l)$ – uzdotais punkts, kurā ieteicams izvietot telemetrisko mērsistēmu datu devējus transporta plūsmas blīvuma novērošanai un reģistrācijai.

Formulēta un pierādīta teorēma, kura nosaka nosacījumus meklējamā jūtīguma koeficienta viennozīmīgai noteikšanai.

Teorēma 1. *Lai tiek pildīti šādi divi papildu noteikumi, kas formulēti augstāk atgriezeniskajā uzdevumā:*

A. $\forall x \in (0, l) \quad h''(x) > 0 \text{ vai } h''(x) < 0,$

B. $0 < a^2(t) \in C^1[0, T].$

Tad jūtīguma koeficients $a^2(t)$ formulētajā atgriezeniskajā uzdevuma noteikts viennozīmīgi.

Šo pietiekamo noteikumu izpilde ierobežo transporta plūsmas blīvuma noteikšanas nepārtraukta modeļa piemērošanas sfēru. Parādīts, ka minētās teorēmas noteikumu izpilde ļauj prognozēt transporta sastrēguma rašanās situāciju pētāmajā posmā un pie tam ievērot vismazāko iespējamo transporta plūsmas blīvumu.

Iegūts nelineārais pirmā tipa vienādojums attiecībā pret nezināmo jūtīguma koeficientu:

$$Aa^2(t) = \tilde{\rho}(t),$$

kur

$$Aa^2(t) \stackrel{\text{def}}{=} \sum_{n=1}^{\infty} h_n \cdot \sin \frac{\pi \cdot n \cdot \tilde{x}}{l} \cdot e^{-\frac{\pi^2 \cdot n^2}{l^2} \int_0^t a^2(\tau) d\tau}.$$

Ir pierādīts, ka iegūtais vienādojums nav stabils, un tādējādi tiek demonstrēta nepieciešamība izmantot regulējošās metodes tā stabilām atrisinājumiem, piemēram, Tihonova regularizācijas metodi, kura ļauj atrast pietuvinātu stabili pētāmā atgriezeniskā uzdevuma risinājumu.

Veikta viendimensijas transporta kustības blīvuma noteikšanas konstruētā diskretā un iegūtā nepārtrauktā modeļa analīze. Pierādīts, ka noskaidrotie diskretā modeļa ierobežojumi saglabājas arī nepārtrauktajā modelī pēc galējās pārejas: pie transporta plūsmas dinamiskās robežas zūd nepārtrauktā modeļa atbilstība.

Veikta konstruēto modeļu varbūtiska interpretācija saskaņā ar kuru jūtīguma koeficientu var traktēt kā automobiļa koordinātu summārā pieauguma dispersijas pusi pie neatkarīgiem "lēcieniem" diskretā tīkla mezglos dotajā laika vienībā; transporta plūsmas raksturojums interpretēts kā "automobiļu masas"

matemātiskais gaidīšanas blīvums – atsevišķi ņemtā automobiļa kustības aplūkošanas gadījumā, bet blīvuma funkciju var saprast kā dotā automobiļa atrašanās vietas varbūtības sadalīšanas funkciju.

Tika formulētas rekomendācijas jūtīguma koeficienta noteikšanas pietiekamo apstākļu praktiskai pielietošanai un izpētīti rodošies šinī sakarā sarežģījumi.

1. Noteikums $\rho(x, t)|_{t=0} = h(x), 0 \leq x \leq l$ nozīmē, ka pētāmā ceļa posma sākummomentā $[0, l]$ jānoņem transporta plūsmas blīvuma sadalījums.
2. Noteikums $\rho(x, t)|_{x=0} = \varphi_1(t), 0 \leq t \leq T$ praktiskai īstenošanai nozīmē, ka fiksētajā laika intervālā $[0, T]$ jāiegūst plūsmas blīvuma sadalīšanas funkcija laika ziņā labējā mazajā pētāmā ceļa posma apkārtņē, t.i. segmentā $[0, +\varepsilon], \varepsilon \ll l$ (par ε tiek pieņemta vērtība, kas līdzinās 1,5-2 vidēja izmēra transporta līdzekļa garumiem, ņemot vērā pieļaujamo intervālu starp tiem pētītā kustības vidējā ātrumā).
3. Noteikums $\rho(x, t)|_{x=l} = \varphi_2(t), 0 \leq t \leq T$ nozīmē, ka fiksētajā laika intervālā $[0, T]$ jāiegūst pētāmā ceļa posma mazās kreisās apkārtnes plūsmas blīvumu, t.i., segmentā $[l - \varepsilon, l], \varepsilon \ll l$.
4. Noteikums $\rho(x, t)|_{x=\tilde{x}} = \tilde{\rho}(t), 0 \leq t \leq T; \forall \tilde{x} \in (0, l)$ praktiskai īstenošanai nozīmē, ka fiksētā laika intervālā $[0, T]$ jānoskaidro plūsmas blīvums pētāmā ceļa posma patvaļīgi izvēlētajā iekšējā punktā mazajā apkārtņē.

Augšminēto parametru vienlaicīga mērīšana pie fiksētajiem vērtībām T un l pētījamajā ceļa posmā ļauj iegūt visus nepieciešamos izejas datus formulētā atgriezeniskā koeficienta uzdevuma atrisināšanai.

Tā kā nepārtrauktā modeļa pielietošanai nepieciešams lai izejas dati būtu uzdoti nepārtraukti un nepārtraukti diferencējamo funkciju veidā, tika veikta salīdzinošā to interpolācijas metožu analīze, kuru izmantošana ir nepieciešama diskrēto izejas datu pārveidošanai nepārtrauktajos. Parādīts, ka izvirzītā uzdevuma atrisināšanai nepieciešams izmantot tikai kubisko splinefunkciju interpolāciju.

Skaitļošanas eksperimenti darbā realizēti kā nolūkā pētīt iegūto modeļu uzvedību dažādos sākuma un robežapstākļos, tā arī nolūkā tos praktiski piemērot attiecībā uz atsevišķiem pilsētas ielu un ceļu tīkla posmiem.

Izstrādāta programmatūra viendimensijas plūsmas autotransporta kustības ieteiktā diskrētā modeļa realizācijai.

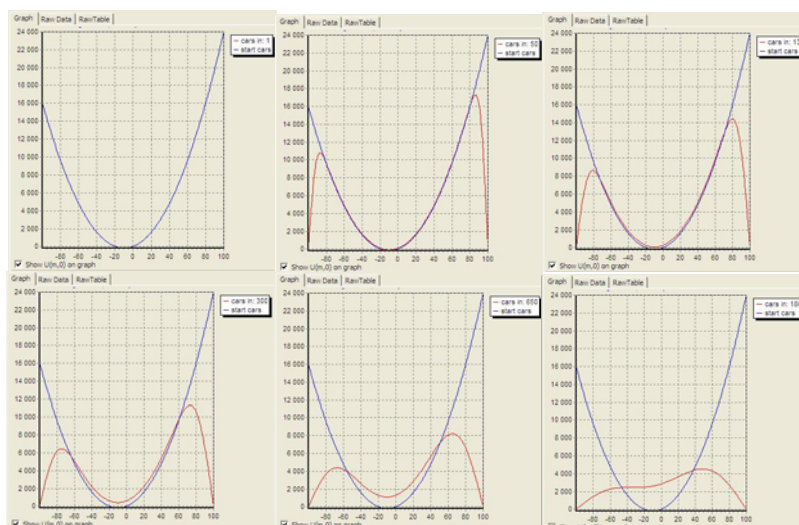
Iegūtas nestacionārā jūtīguma koeficienta un meklētā automobiļu skaita viendimensijas transporta plūsmā vērtības pie dažādiem sākuma un robežlielumiem.

1.tabula

Diskrētā modeļa skaitlisko eksperimentu veikšanas struktūra

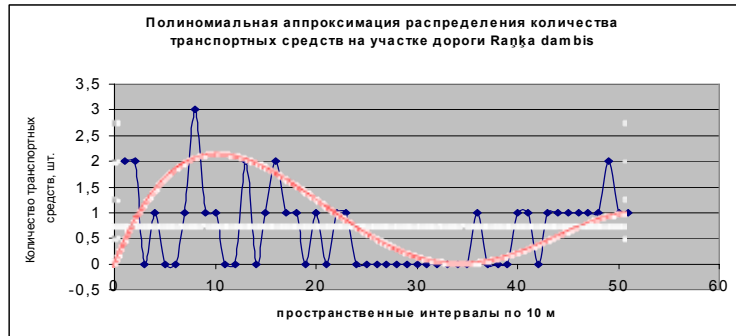
		Viendimensijas diskrētais modelis	
		Mākslīgie sākotnējie nosacījumi	Adaptētie sākotnējie nosacījumi
Slēgtā sistēma		+	+
Atklātā sistēma	bez avotiem	+	+
	ar avotiem	-	-

Par transporta līdzekļu daudzuma sākotnējā sadalījuma pamatu pētāmajā ceļa posmā tika ņemti dažādu līmeņa funkciju pārstāvji un dati, kuros automobiļu sākotnējie sadalījumi tika adaptēti uz skaitliskās ass OX (aprosimrēti) kā automobiļu reālā sadalījuma funkcijas apskatāmajā ceļa posmā.



3.zīm. Automobiļu daudzuma kvadrātiskās funkcijas $U(m,0) = 2 \cdot m^2 + 40 \cdot m + 5$ evolūcija laika gaitā gar ceļa posmu

Par aproksimācijas izejas datiem tika pieņemti transporta līdzekļu uzskaites rezultāti transporta plūsmas videonovērojumos Raņķa dambī rīta sastrēgumstundās.



4.зīm. Automobiļu sākotnējā sadalījuma funkcija gar ceļa posmu Raņķа дамбис

Visos īstenotajos skaitliskajos eksperimentos tika atzīmēts, ka automobiļu daudzuma izmaiņas ceļa posmā pēc noteiktā laika intervāla noved pie plūsmas blīvuma izlīdzināšanās līdz zināmam lielumam, kas atbilst starpībai starp dotajā ceļa posmā iebraukušo un no tā izbraukušo transporta līdzekļu skaitu abās šī posma robežās. Šāds plūsmas uzvedības raksturs ir skaidrojams ar modelī sastopamo transporta plūsmas atjaunošanās īpašību. Tādejādi, jebkurš automobiļu daudzuma sadalījums ceļa posmā tieksies uz lineāro veidu, pie tam izlīdzināšanās procesa ātrumu noteiks ceļa ģeometriskie raksturlielumi un blīvuma funkcijas uz dotā posma robežām.

Tāpat tika veikti skaitliskie eksperimenti nepārtrauktajam modelim, kuros tika aplūkoti kā slēgtās transporta sistēmas (ar nulles robežnoteikumiem), tā arī atklātās transporta sistēmas (ar ne-nulles robežnoteikumiem) piemēri.

2.tabula

Skaitlisko eksperimentu veikšanas struktūra nepārtrauktajam modelim

		Viendimensijas nepārtrauktais modelis	
		Mākslīgie sākotnejie nosacījumi	Adaptētie sākotnejie nosacījumi
Slēgtā sistēma		+	+
Atklātā sistēma	bez avotiem	+	+
	ar avotiem	-	-

Izmantojot standarta programmu paketi MathCAD, tika realizēts viendimensijas transporta plūsmas nepārtrauktais modelis tās blīvuma noteikšanai. Tika pārbaudīts ieteikto matemātisko modeļu adekvātums. Pētot nepārtrauktā modeļa uzvedības raksturu nolūkā savākt tipiskos gadījumus, kā mainīgie parametri tika skatītas sākotnējo apstākļu funkcijas, robežnoteikumu funkcijas un jūtīguma nestacionārais koeficients. Vairums eksperimentu tika veikts, ievērojot šādus priekšnosacījumus:

- a) par vienādu kustības joslu skaitu katrā virzienā;

- b) par plūsmu simetriskumu, kuras kustās pretējos virzienos;
- c) jūtīguma koeficients tika rēķināts tikai vienu reizi un saglabājās nemainīgs visu eksperimenta laiku.

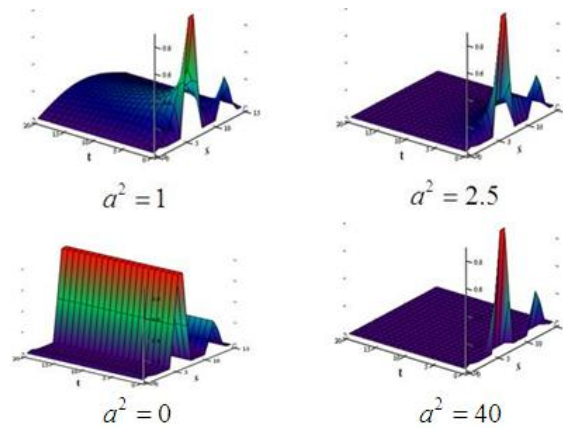
Lai veiktu skaitliskos aprēķinus pētot transporta kustības nepārtrauktā modeļa raksturu, tika izmantotas sešas dažādas transporta plūsmas blīvuma sākotnēja sadalījuma funkcijas, kuras atbilst izskatāmā uzdevuma atbilstošiem sākotnējiem apstākļiem nolūkā demonstrēt dažas pētāmā modeļa īpašības.

3.tabula

Tiešā uzdevuma noteikumu sākotnējās funkcijas

1. $p0wave(x) := \left(\sin\left(\frac{\pi \cdot x}{1}\right) + \frac{\cos(x \cdot 3)^2}{1} \right)$	4. $p0scw(x) := \begin{cases} f \leftarrow \left[\sin\left(\frac{\pi \cdot x}{1}\right) \cdot \left \cos\left(\frac{\pi \cdot x}{1}\right) \right + \left \frac{(\cos(x \cdot 4))^2}{1} \right \right] \\ f \leftarrow 0 \text{ if } f < 0 \end{cases}$
2. $p0sin(x) := \sin\left(\frac{\pi \cdot x}{1}\right) \cdot 1$	5. $p0sc(x) := \sin\left(\frac{\pi \cdot x}{1}\right) \cdot \left \cos\left(\frac{\pi \cdot x}{1}\right) \right $
3. $p0wave2(x) := \begin{cases} f \leftarrow \left(\left(\sin\left(\frac{\pi \cdot x}{1}\right) \right)^2 \cdot \cos \right) \\ f \leftarrow 0 \text{ if } f < 0 \end{cases}$	6. $p0asimectic(x) := \sin\left(\frac{\pi \cdot x}{1}\right) \cdot \cos(x) $

Katrai no izvēlētajām sākotnējo nosacījumu funkcijām tika iegūtas blīvuma sadalījuma funkcijas. Nepieciešamie risinājumi tika iegūti pie dažādām jūtīguma koeficienta a^2 vērtībām. Lai izpētītu jūtīguma koeficienta ietekmi uz transporta plūsmas blīvuma funkcijas uzvedību, tika aprēķinātas šādas jūtīguma koeficienta a^2 vērtības: 0, 1, 2.5, 5, 40.



5.zīm. Transporta plūsmas blīvuma virsma pie dažādām jūtīguma koeficienta vērtībām

Kā redzams no blīvuma funkcijas grafikiem, galvenā jūtīguma koeficienta ietekme izpaužas izlīdzināšanas efektā, pie tam, jo lielāka ir jūtīguma koeficienta vērtība, jo notiek krasāka pāreja uz robežvērtībām. Un galu galā zināmā laika posmā sākotnējais transporta plūsmas blīvuma sadalījums pāriet lineārās formas sadalījumā ar vērtībām, kuras līdzinās robežnoteikumu vērtībām pētāmā ceļa posma sākumā un beigās. Iegūtie aprēķinu rezultāti uzrādīti 1.pielikumā.

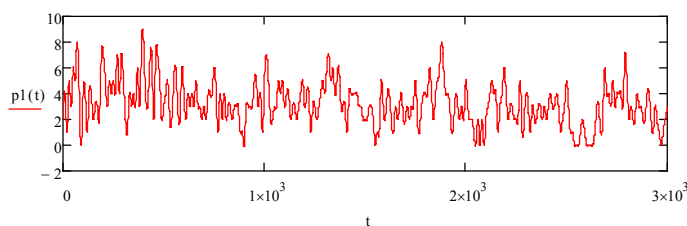
Tāpat tika izpētīts izvirzītā uzdevuma risinājums uz adaptēto datu pamata, kas tika iegūti transporta plūsmu mērīšanas rezultātā izvēlētajos Rīgas pilsētas ielu-ceļu tīkla posmos.

Metodikas aprobācijas un radīto modeļu adekvāritātes pārbaudes nolūkā darbā tika organizēta Rīgas pilsētas ielu-ceļu tīkla videofotografēšana. Transporta līdzekļu daudzuma aprēķinu un modeļa adekvāritātes pārbaudes nolūkā darbā uz video datu pamata tika izmantots imitacionālais modelis (6.zīm.).



6.zīm. Transporta plūsmas videouzņēmumi un imitacionālās modelēšanas rezultātu attēlojums Raiņa dambī

Piemērojot kubisko splain-interpolāciju, tika iegūtas sākotnējo un robežnoteikumu gala funkcijas.



7.zīm. Robežnoteikumu funkcijas interpolācijas rezultātu grafiskais attēlojums Raņķa dambja pētāma posma sākumā visā laika intervālā

Par atsevišķu praktisku uzdevumu tika izvirzīta jūtīguma koeficienta izmaiņas rakstura izpēte. Tā kā situācija pilsētās ielu-ceļu tīklā mainās laika gaitā milzīga skaitā faktoru ietekmē, vienlaikus ar ceļu situācijas dinamiskajām izmaiņām notiek arī jūtīguma koeficienta rādītāja izmaiņas. No zinātnes viedokļa interese izsauc jūtīguma koeficienta ietekmes izpēti uz transporta plūsmas blīvumu, bet no praktiskajām pozīcijām jūtīguma koeficienta apzināšana dod iespēju īstenot ceļa posmu salīdzinošo novērtējumu, ņemot vērā dinamiskos faktorus un tādejādi īstenot transporta plūsmu vadīšanu.

No laika perioda atkarīga vienzīmīga jūtīguma koeficienta funkcijas noteikšana ir atgriezeniskā uzdevuma risinājuma rezultāts. Jūtīguma koeficienta funkcijas noteikšanai tika atrisināts transcendentais vienādojums. Risinājums tika atrasts slēgtajai sistēmai, t.i. nulles robežapstākļiem. Eksperimenta mērķis bija atgriezeniskā uzdevuma iegūto funkciju rakstura noteikšana atkarībā no modeļa parametru izmaiņām. Par mainīgajiem parametriem tika izmantotas sākotnējo notikumu funkcija, papildu noteikuma funkcija, pētāmā posma garums un laika intervāls.

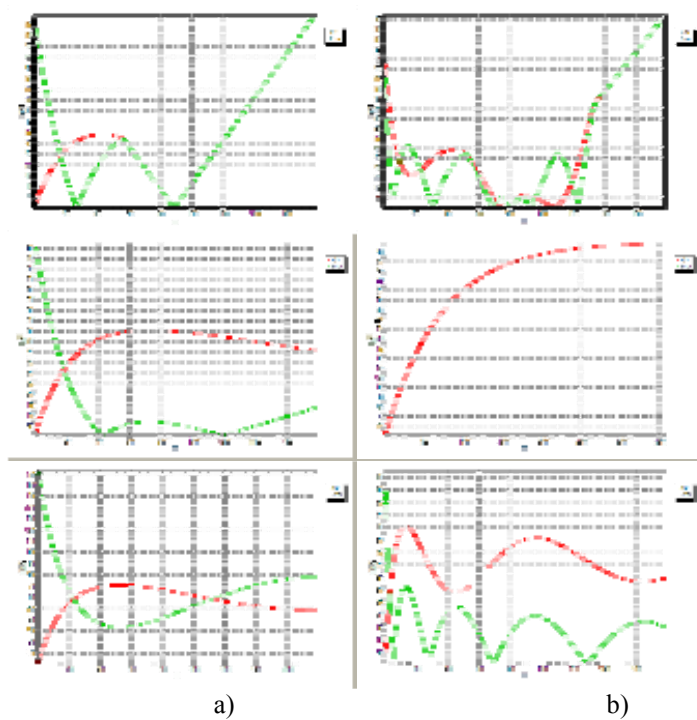
Eksperimentā tika uzdotas šādas sākotnējo noteikumu funkcijas: pastāvīgais lielums un uzpūstā funkcija. Papildu noteikumu pārstāvēja lineārā

$$f(t) = T - t, \quad \text{intensīvi} \quad f(t) = \left[\exp\left(x \cdot \frac{1}{0.2 \cdot T}\right) \right]^{-1} \cdot L \quad \text{un} \quad \text{pakāpeniski}$$

$$\text{dilstošās} \quad f(t) = \frac{(1 - x^2)}{T} + T \quad \text{funkcijas.}$$

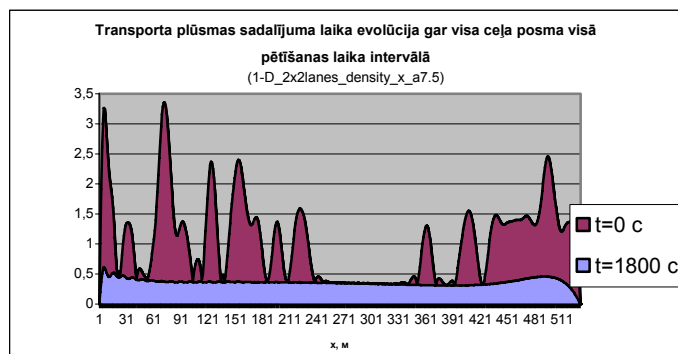
Izmantojot risinājuma iteracionālās metodes, par lēmuma pieņemšanas kritēriju tika noteikts vismazākais kļūdu integrētais lielums visos posma garumos, grafiku forma paliek nemainīga, bet notiek tikai laika mēroga izmaiņas. Par piemēru tika doti 6 eksperimentu rezultāti, kuri tika sagrupēti pēc sākumnoteikumu funkcijas (8.zīm.). Kolonnā a) izvietoti sākotnējo noteikumu funkcijas pastāvīgo lielumu risinājumi, bet b)

kolonnā sākotnējo noteikumu izliktās funkcijas risinājumi. Šinī gadījumā tika izvirzīts mērķis demonstrēt sākotnējo noteikumu izmaiņu ietekmi uz atgriezeniskā uzdevuma risināšanas funkciju.



8.zīm. Jūtīguma koeficienta funkcijas laika atkarība šādos eksperimentos:
a) 6 (augšējais), 33 (vidējais), 24 (apakšējais); b) 15 (augšējais), 42 (vidējais), 51 (apakšējais)

Skaitlisko eksperimentu veikšanas rezultātā tika iegūtas transporta plūsmas blīvuma funkcijas pētāmajā ceļa posmā dažādiem jutīguma koeficienta lielumiem dažādos laika posmos.



9.zīm. Transporta plūsmas blīvuma aprēķinātais sadalījums gar Raņķa dambja posmu dažādos laika brīžos jutīguma koeficienta 7,5 fiksētajam lielumam

Pētījums parādīja, ka visnenozīmīgākais faktors ir novērojumu ilguma parametrs. Tika ievērots, ka nelielos pētāmā ceļa garuma posmos lēmuma funkcijām ir augsts nestacionaritātes līmenis. Tādējādi, neliela garuma posmu izpēte nav ieteicama sakarā ar iegūto rezultātu zemo informētības līmeni. Nestacionārā jutīguma koeficienta funkcijas aprēķinu rezultāti, pie citiem uzdotiem mainīgo parametru rādītājiem, saskaņā ar eksperimentu norises plānu, doti 2.pielikumā.

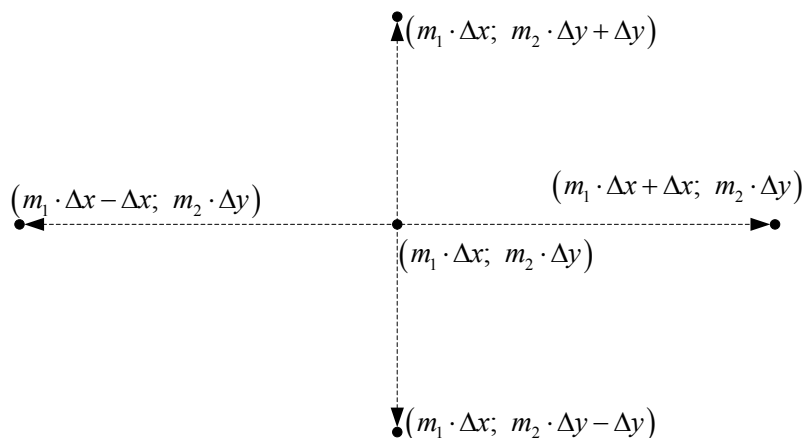
Trešajā darba nodaļā analogi kā viendimensijas kustības gadījumā, ieviests termiņš transporta plūsmas "atjaunošana" (pašatjaunošanās) divdimensiju transporta plūsmai, kas atrodas transporta kustības diskretā modeļa konstruēšanas pamatā un nozīmē priekšstatu par to, ka ja kādā punktā automobiļu skaits kļūst mazāks, salīdzinot ar vidējo aritmētisko skaitu blakus punktos (katram šādam plakana apgabala punktam līdzās ir tieši četri punkti, izņemot "izplūstošās automobiļu plūsmas" malu punktus), tad šis skaits palielinās un otrādi.

Sekojojot loģiskajiem spriedumiem viendimensijas kustības gadījumā tika konstruēts diskrētais modelis automobiļu skaita noteikšanai jebkurā transporta plūsmas punktā jebkurā laika brīdī divdimensiju transporta plūsmas gadījumam.

$$U(m_1, m_2; n+1) \approx \frac{U(m_1 - 1, m_2; n) + U(m_1 + 1, m_2; n)}{4} + \frac{U(m_1, m_2 - 1; n) + U(m_1, m_2 + 1; n)}{4}.$$

Dotā izteiksme nozīmē, ka sekojošajā laika brīdī katrā apskatāmās diskrētās jomas punktā pienāks precīzi $\frac{1}{4}$ daļa to automobiļu, kuri iepriekšējā

laika brīdī atrādās blakus punktā "pa horizontāli pa kreisi" , tieši $\frac{1}{4}$ automobiļu atrodas iepriekšējā brīdī "pa horizontāli pa labi" , tieši $\frac{1}{4}$ – "pa vertikāli augstāk" (t.i. priekšā) un $\frac{1}{4}$ automobiļu iepriekšējā brīdī atrodas blakus punkta "pa vertikāli apakšā" (10.zīm.).



10.zīm. iespējamie transporta līdzekļu pārvietošanās punkti diskrētajā tīklā

Darbā tika formulēti noteikumi, kurus izpildot notiek loģiskā pāreja no diskrētā uz nepārtraukto modeli lai noteiktu automobiļu divdimensiju skalāro blīvumu transporta plūsmā. Divos dažādos paņēmienos, veicot galējās pārejas $\Delta x \rightarrow 0$, $\Delta y \rightarrow 0$, $\Delta t \rightarrow 0$, konstruēts nepārtrauktais modelis transporta plūsmas blīvuma noteikšanai divdimensiju kustības gadījumā.

$$\frac{\partial \rho(x, y, t)}{\partial t} = a^2 \cdot \left[\frac{\partial^2(x, y, t)}{\partial x^2} + \frac{\partial^2(x, y, t)}{\partial y^2} \right],$$

kur

$$a^2 = \lim_{\substack{\Delta x \rightarrow 0 \\ \Delta y \rightarrow 0 \\ \Delta t \rightarrow 0}} \frac{\frac{1}{2} \cdot (\Delta x)^2 + \frac{1}{2} \cdot (\Delta y)^2}{4 \cdot \Delta t} > 0 \quad - \text{ nepārtrauktā divdimensiju modeļa}$$

jūtīguma koeficients.

Formulēts tiešs uzdevums transporta plūsmas blīvuma viennozīmīgai noteikšanai dažādiem robežsituāciju tipiem. Zemāk dots tiešā uzdevuma uzstādījums Dirihle robežnoteikumiem.

$$\frac{\partial \rho(x, y, t)}{\partial t} = a^2(t) \cdot \left[\frac{\partial^2 \rho(x, y, t)}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \rho(x, y, t)}{\partial y^2} \right],$$

$$0 < x < l_1, \quad 0 < y < l_2, \quad 0 < t \leq T$$

sākotnējs nosacījums

$$\rho(x, y, t)|_{t=0} = \rho_0(x, y), \quad 0 \leq x \leq l_1, \quad 0 \leq y \leq l_2,$$

1. tipa robežnoteikumi

$$\rho(x, y, t)|_{x=0} = \rho_1(y, t), \quad 0 \leq y \leq l_2, \quad 0 \leq t \leq T,$$

$$\rho(x, y, t)|_{y=0} = \rho_2(x, t), \quad 0 \leq x \leq l_1, \quad 0 \leq t \leq T,$$

$$\rho(x, y, t)|_{x=l_1} = \rho_3(y, t), \quad 0 \leq y \leq l_2, \quad 0 \leq t \leq T,$$

$$\rho(x, y, t)|_{y=l_2} = \rho_4(x, t), \quad 0 \leq x \leq l_1, \quad 0 \leq t \leq T,$$

un atbilstošie saskaņošanas noteikumi.

Izvirzītā transporta plūsmas meklētā skalārā blīvuma noteikšanas uzdevuma risinājums atrodams šādā veidā:

$$\begin{aligned} \rho(x, y, t) = & \int_0^t d\xi \int_0^{l_2} G(x, y, \xi, \eta; t, \tau) \Big|_{\tau=0} \cdot \rho_0(\xi, \eta) d\eta + \\ & + \int_0^t a^2(\tau) d\tau \int_0^{l_2} \frac{\partial G(x, y, \xi, \eta; t, \tau)}{\partial \xi} \Big|_{\xi=0+0} \cdot \rho_1(\eta, \tau) d\eta + \\ & + \int_0^t a^2(\tau) d\tau \int_0^{l_1} \frac{\partial G(x, y, \xi, \eta; t, \tau)}{\partial \eta} \Big|_{\eta=0+0} \cdot \rho_2(\xi, \tau) d\xi - \\ & - \int_0^t a^2(\tau) d\tau \int_0^{l_2} \frac{\partial G(x, y, \xi, \eta; t, \tau)}{\partial \xi} \Big|_{\xi=l_1-0} \cdot \rho_3(\eta, \tau) d\eta - \\ & - \int_0^t a^2(\tau) d\tau \int_0^{l_1} \frac{\partial G(x, y, \xi, \eta; t, \tau)}{\partial \eta} \Big|_{\eta=l_2-0} \cdot \rho_4(\xi, \tau) d\xi, \end{aligned}$$

kur ar $G(x, y, \xi, \eta; t, \tau)$ apzīmēta izvirzītā uzdevuma Grīna funkcija, kuru raksturo šāds veids:

$$G(x, y, \xi, \eta; t, \tau) \stackrel{def}{=} \frac{4}{l_1 \cdot l_2} \cdot \sum_{n=1}^{\infty} \sum_{m=1}^{\infty} \left\{ \sin \frac{\pi \cdot n \cdot x}{l_1} \cdot \sin \frac{\pi \cdot n \cdot \xi}{l_1} \times \right. \\ \left. \times \sin \frac{\pi \cdot m \cdot y}{l_2} \cdot \sin \frac{\pi \cdot m \cdot \eta}{l_2} \cdot e^{-\pi^2 \cdot \left\{ \left(\frac{n}{l_1} \right)^2 + \left(\frac{m}{l_2} \right)^2 \right\} \cdot \int_0^{t-\tau} a^2(\tau_1) d\tau_1} \right\}.$$

Darbā tāpat uzstādīti un atrisināti Neimana, Ņjutona un pirmā un otrā tipa jaukto robežnoteikumu uzdevumi. Dotais robežnoteikumu klāsts ir standartveida šādu statistiskās fizikas uzdevumu pētījumos. Attiecībā uz transporta plūsmām dažādi robežnoteikumu uzdevumi nozīmē dažādus informācijas veidus, kas iegūti no datu iegūšanas sistēmām uz pētāmā iecirkņa robežām. Vairumam minēto robežnoteikumu eksistē pielietojamā praktiskā interpretācija pēc iegūstamo datu tipiem. Ņjutona noteikumiem šāda interpretācija pagaidām nav atrasta, tāpēc mūsu darbā atbilstoša uzdevuma risinājums tiek norādīts pētāmo robežuzdevumu pilnīga "komplekta" iegūšanai.

Darbā parādīts, ka neskatoties uz ārējo iegūtā nepārtrauktā modeļa līdzību ar masveida pārnese (mass equation) vienādojumu, ir arī būtiskas atšķirības, proti, tanī laikā, kad masveida pārnese koeficients uzskatāms par zināmu pastāvīgu lielumu, transporta plūsmas jūtīguma koeficients ir nezināms un tas ir jānosaka, vēl jo vairāk, minētais koeficients kalpo par telpas un laika argumentu funkciju, kā arī ir atkarīgs no transporta plūsmas ātruma un intensitātes.

Tika formulēti arī kvantitatīvā un kvalitatīvā rakstura papildu noteikumi, ievērojot kurus divdimensiju transporta plūsmas meklējamā jūtīguma koeficienta viennozīmīgas noteikšanas koeficientam ir vienīgs risinājums.

Pierādīts, ka meklējamā jūtīguma koeficienta noteikšanas meklējamā atgriezeniskā uzdevuma būtība pie formulētajiem papildu prasībām ir pirmā tipa vienādojuma ar nelineāro operatoru risinājums. Parādīts, ka iegūtais uzdevums ir nestabils, un, dabiski, ka arī risinājums ir nestabils attiecībā pret izejas datu mazajiem ierosinājumiem.

Darbā parādīts, ka ja funkcijas līdzīguma prasība no papildu nosacījumiem tiks ignorēta, tad meklējamā jūtīguma koeficienta noteikšanas uzdevums vispār var būt bez risinājuma, t.i. minētā prasība ir atgriezeniskā uzdevuma risināšanas nepieciešams noteikums. Apskatīts alternatīvs regularizācijas algoritms, kas atšķiras no 2. nodaļā aplūkotā Tihonova algoritma, kurš ļauj iegūtajā nelineārajā uzdevumā viennozīmīgi un cik vien nepieciešams precīzi noteikt meklējamo jūtīguma koeficientu.

Pierādīts, ka formulētais kvalitatīvā rakstura papildu noteikums ļauj aprobežoties tikai ar vienu sākotnējas informācijas iegūšanas mērīšanas sistēmu

papildu datu devēju izdevīgā kā no tehniskā, tā no ekonomiskā viedokļa ceļa iekšējā punktā. Tātad aplūkojamā matemātiskā modeļa ietvaros atkrīt nepieciešamība pēc transporta plūsmas blīvumu reģistrējošas papildu ierīču uzstādīšanas, jo jebkuri papildu mērīšanas dati par blīvumu kļūst lieki jūtīguma koeficienta noteikšanas procesā un nespēj ietekmēt transporta plūsmas blīvuma vienādojuma uzdevuma risinājumu.

Atklāti arī ieteikto divdimensiju diskreto un nepārtraukto modeļu galvenie trūkumi. Tajā skaitā, parādīts, ka plaši pielietotais transporta plūsmas masas pārnese vienādojums, kas aizgūts no statistiskas fizikas, "izplūstošās" plūsmas malās pārstāj būt adekvāts modelis transporta plūsmas blīvuma noteikšanai. Dota jūtīguma koeficienta varbūtīga interpretācija, kas ir svarīgs transporta plūsmas vadāmais parametrs. Bez tam darbā dots varbūtīgs traktējums galējai pārejai no ieteiktā diskretā modeļa uz nepārtraukto modeli. Parādīts, ka transporta plūsmas divdimensiju skalārais blīvums no varbūtiska traktējuma viedokļa ir "automobiļu masas" matemātiskā sagaidāmā blīvums, bet gadījuma, kad tiek pētīta tikai viena automobiļa "nejauša kustība" (t.i. plūsma kā tāda neeksistē), tad divdimensiju skalārā funkcija nozīmē varbūtības blīvumu, t.i. to var interpretēt kā dotā "vienīga" automobiļa varbūtēja sadalījuma atrašanās funkciju.

Veicot skaitliskos eksperimentus, nedeterminētā divdimensiju modeļa gadījumā tika risināts to pašu izejas funkciju, kas uzdotas ar diskreto paņēmieni tabulu veidu, risināšanas uzdevums. Attiecībā uz transporta kustības divdimensiju modeli tika ieteikta transporta plūsmas blīvuma noteikšanas metodika, kas balstīta uz satelītu vai videonovērošanas izejas datu izmantošanu un blīvuma vadīšanu ar luksoforu regulējuma palīdzību.

Par nožēlu, skaitlisko eksperimentu veikšanas ļoti lielais ilgums skaitļošanas vidē (nestacionārā blīvuma funkcijas virsmas uzbūvēšana jūtīguma koeficienta pastāvīgajam lielumam ar lielu diskretības soli modernajā mūsdienu datorā aizņem daudz vairāk par mēnesi laika) neļāva mums pašreizējā posmā veikt pilnvērtīgus skaitliskos aprēķinus un pilnā apjomā pārbaudīt izveidotā divdimensiju modeļa adekvātīti skaitliskajā veidā.

NOSLĒGUMS

1. Promocijas darbā ir ieteikta zinātniska pieeja pilsētas transporta plūsmu vadīšanai, kuras būtību sastāda transporta plūsmas blīvuma raksturojuma viennozīmīga noteikšana kā telpisko koordinātu un laika funkcijas jebkurā brīvi noteiktajā daudzjoslu ceļa posmā, jebkurā nākamajā laika brīdī, attiecībā pret pētāmo laiku, pēc izejas datu klāsta kas iegūti no sākotnējiem informācijas ieguves līdzekļiem saskaņā ar sākotnējo, robežu un papildu noteikumu prasībām, kas izvirzītas izstrādātajos ceļu kustības procesa

matemātiskajos modeļos. Šī pieeja ļauj celt transporta kustības vadīšanas efektivitāti, tieši sekmē sastrēgumu samazināšanos ielu tīklā un nodrošina šinī promocijas darbā izvirzīta mērķa sasniegšanu.

2. Tika konstruēts nedeterminēts diskrēts modelis, kurš matemātiski apraksta transporta plūsmas kustību un ļauj noteikt meklēto transporta līdzekļu skaitu plūsmā jebkurā pētāmā ceļa posma griezumā jebkurā laika posmā viendimensijas kustības vienkāršotā gadījumā un divdimensiju kustības reālistiskajā gadījumā.
3. Tika iegūts autotransporta kustības nepārtraukts modelis, kas ļauj viennozīmīgi noteikt transporta plūsmas blīvumu pie dotajam sākuma un robežnoteikumiem kā viendimensijas, tā arī daudzdimensiju gadījumā. Viendimensijas gadījumā iegūtais nepārtrauktais modelis ārēji pilnībā sakrīt ar masu vienādojumu (mass equation), kurš pazīstams no siltumvādāmības, difūzijas un filtrācijas teorijas.
4. Tika matemātiski pamatots, ka nepārtrauktajā modelī sastopamais jūtīguma koeficients, kas būtībā ir transporta kustības procesa galvenais integrālais raksturlielums un masu vienādojumā interpretētais kā masas pārvešanas koeficients, nav ne pastāvīgs, ne pazīstams, bet vispārējā gadījumā ir atkarīgs no telpiskajām un laika koordinātēm, no kustības intensitātes un ātruma un ir noteicams.
5. Darbā ir formulēti kvantitatīva un kvalitatīva rakstura papildnoteikumi, kuru izpildīšanas gadījumā viendimensijas un daudzdimensiju transporta plūsmas meklējamā jūtīguma koeficienta noteikšana uzdevumam ir viens vienīgs risinājums. Šinī nolūka tika formulēta vienīguma teorēma, kuras noteikumu izpilde ļauj prognozēt transporta sastrēgumu rašanās situāciju pētāmajā posmā un pie tam uzturēt vismazāko iespējamo ceļu kustības blīvumu.
6. Izanalizētas ieteikto analītisko modeļu īpašības, īpatnības, ierobežojumi, darbības jomas un veikta šo modeļu varbūtiskā interpretācija. Formulētas rekomendācijas jūtīguma koeficienta noteikšanas pietiekošo noteikumu praktiskai pielietošanai un izpētīti rodošies šinī procesā sarežģījumi.
7. Pierādīts, ka formulētais kvalitātes rakstura papildnoteikums ļauj aprobežoties tikai ar viena mērsistēmu sākotnējās informācijas iegūšanas papildu datu devēja izmantošanu ērtā kā no tehniskā, tā arī no ekonomiskā

vedokļa pētāmā ceļa posma punktā. Tātad, darba ieteikto matemātisko modeļu ietvaros atkrīt nepieciešamība pēc papildu transporta plūsmas blīvuma reģistrācijas datu devēju uzstādīšanas, jo iegūtie teorētiskie rezultāti rada, ka jebkuri papildu mērījumu dati par plūsmu blīvumu ir lieki viennozīmīga jutīguma koeficienta noteikšanas gadījumā un neatstāj kaut cik nozīmīgu iespaidu uz transporta plūsmu blīvuma pārvaldīšanu.

8. Izstrādāta programmatūra viendimensijas transporta plūsmas ieteiktā diskrēta modeļa realizācijai. Izstrādātais programmas līdzeklis ļauj iegūt vajadzīgo automobiļu skaitu viendimensijas transporta plūsmā dažādiem sākuma un robežapstākļiem jebkurā diskrētā tīkla punktā un jebkurā diskrētajā laika brīdī. Ar programmas līdzekļa MathCAD palīdzību tika realizēts viendimensijas transporta plūsmas nepārtrauktais modelis tās blīvuma noteikšanai. Tika pārbaudīts ieteikto matemātisko modeļu atbilstība.
9. Tika īstenota iegūto teorētisko rezultātu aprobācija, lai noteiktu transporta plūsmas jutīguma nestacionāro koeficientu un divdimensiju skalāro blīvumu atsevišķos Rīgas ielu tīkla posmos.

AUTORA PUBLIKĀCIJAS

Raksti

1. Berezhnoy, A., Chudinov, K. The approach to construction of simulation model for urban traffic flows routing on the basis of the computer networks dynamic routing protocol OSPF (2008). In: *Proceedings of the 8th International Conference "Reliability and Statistics in Transportation and Communication – 2008" (RelStat'08). October 15-18, 2008. TSI, Latvia.* Riga, 2008, (Accepted for publication).
2. Berezhnoy, A., Levshina, J. Investigation of functional availability for the network access points infrastructure (2008). In: *Proceedings of the 8th International Conference "Reliability and Statistics in Transportation and Communication – 2008" (RelStat'08). October 15-18, 2008. TSI, Latvia.* Riga, 2008, (Accepted for publication).
3. Berezhnoy, A.V., Guseynov, Sh.E., Rimshans, J.S. Modelling of Non-Deterministic 2-D Traffic Flow (2008). In: *Proceedings of International Conference Modelling of Business, Industrial and Transport Systems, (MBITS'2008) 7-10 May 2008.* Riga, Latvia, 2008. pp. 77-86.
4. Guseynov, Sh.E., Berezhnoy, A.V., Rimshans, J.S. Determination of Time-Dependent Sensitivity Coefficient of Non-Deterministic 2-D Traffic Flow (2008). In: *Proceedings of International Conference Modelling of Business,*

- Industrial and Transport Systems, (MBITS'2008) 7-10 May 2008. Riga, Latvia, 2008. pp. 87-96.*
5. Berezhnoy, A., Chudinov, K. Approach for Use of Intelligent Transport Systems for Urban Trip Choice, *Transport and Telecommunication 2007*, Vol. 8, No 1, 2007, pp. 24-29. ISSN 1407-6160.
 6. Guseynov, Sh.E., Rimshans, J.S., Yatskiv, I.V., Kaupuzs, J., Berezhnoy, A.V. Coefficient inverse problem for determination of the sensitivity coefficient in traffic flow density model. In: *Proceedings of the First International Conference on Soft Computing Technologies in Economy, November 19-21, 2007. Baku, Azerbaijan, 2007, pp. 78-86.*
 7. Rimshans, J.S., Guseynov, Sh.E., Yatskiv, I.V., Kaupuzs, J., Berezhnoy, A.V. Mathematical modelling of non-determination traffic flow for flux density. In: *Proceedings of the First International Conference on Soft Computing Technologies in Economy, November 19-21, 2007. Baku, Azerbaijan, 2007, pp. 159-169.*
 8. Nikolsky, V., Berezhnoy, A. Construction and Estimation of the Normalized Model Parameters for Traffic Flows Customs Operation System in a Border Control Transit Zone. In: *Proceedings of the 7th International Conference "Reliability and Statistics in Transportation and Communication – 2007" (RelStat'07). October 24-27, 2007. TSI, Latvia. Riga, 2007, pp. 37-43.*
 9. Guseynov, Sh.E., Berezhnoy, A.V. On One Inverse Problem for Traffic Flow on the Multilane Road. In: *Proceedings of the 6th International Conference on Applied Infrastructure Research (INFRADAY'07) "Sustainability and Reliability of European Infrastructure – Investment, Innovation, and Regulation". October 5-6, 2007. TU Berlin. Berlin, 2007, pp. 307-311.*
 10. Berezhnoy, A., Grakovsky, A., Nesterov, A. The "Green Wave" Mode Production on the Two-Lane Highways during the Construction Works Time Period, *TRANSPORT*, 2007, No 4, 2007. (Vilnius)
 11. Berezhnoy, A., Smirnov, I. Road Traffic Automated Control Systems Effectiveness Evaluation Indexes Choice and Analysis. In: *Proceedings Part3 of the 5th International Conference Reliability and Statistics in Transportation and Communication (RelStat'05). October 13-14, 2005. Riga, 2006, pp.484-495.*
 12. Berezhnoy, A. Urban Environment Monitoring and Control Model Development by Means of Mobile Airborne Multipurpose Center Application. In: *Proceedings of the 1st International Conference on Research in Air Transportation (ICRAT 2004). November 22-24, 2004. Zilina, Slovak Republic: University of Zilina, FPEDAS, 2004, pp. 365-371.*
 13. Berezhnoy, A. Computer Networks Quality Service Model QoS Application Possibility Analysis for the Needs of Urban Transport System Control Tasks. In: *Proceedings of the International Conference "Lithuania*

- without Science – Lithuania without Future". April 29, 2004. Vilnius, Lithuania. Vilnius: Technika, 2004, pp. 120-129.*
14. Berezhnoy, A. Measurement and Monitoring Mean Selection Task in the Automated Centralized Transport Control Systems. In: *Proceedings of the International Conference "Reliability and Statistics in Transportation and Communication" (RelStat'03), Vol. 5, No1, October 16-17, 2003. Riga, Latvia. Riga: Transport and Telecommunication Institute, 2003, pp. 74-80.*
 15. Berezhnoy, A. City Traffic Control System. In: *VII International Conference Materials "Transport. Communications. Logistics" (TransBaltica 2002). June 14-15, 2002. Riga: RMS Forum, 2002, pp. 235-239.*
 16. Berezhnoy, A. Identification and Obtaining Statistical Information on the Traffic Flow with Radar Measuring System. Case Study: Latvia. In: *Proceedings of the International Conference "Nordic-Baltic Transport Research Conference", Vol. 2, No 4, April 13-14, 2000. Riga, 2000.*

Tēzes

17. Yakimov, K., Berezhnoy, A., Guseinov, Sh. Исследование недетерминированных дискретной и непрерывной моделей движения одномерного транспортного потока в городе. In: *Proceedings of the Research and Academic Conference "Research and Technology – Step to the Future". April 24-25, 2008. Riga, Latvia 2008.*
18. Berezhnoy, A. Исследование возможностей повышения эффективности управления дорожным движением с использованием интеллектуальных транспортных систем. In: *Proceedings of the Research and Academic Conference "Research and Technology – Step to the Future". December 15-16, 2006. Riga, Latvia 2006.*
19. Berezhnoy, A., Smirnov, I. Selection and Analysis of Quality Indices for the Automated Urban Traffic Management and Control System Efficiency Estimation. In: *Proceedings of the International Conference "Reliability and Statistics in Transportation and Communication" (RelStat'05). October 13-14, 2005. Riga, Latvia 2005.*
20. Kabashkin, I., Berezhnoy, A., Guseinov, Sh. The Approach for Analysis and Modelling of City Road Traffic Control with the Intelligent Transport Systems. In: *Proceedings of the International Conference "Sustainability Indicators and Intelligent Decisions". October 9-11, 2003. Vilnius, Lithuania 2003.*
21. Berezhnoy, A. Urban Traffic Flow Measurement in the Automated Centralized Transport Control Systems. In: *Proceedings of the International Conference "Reliability and Statistics in Transportation and Communication" (RelStat'03)". October 16-17, 2003. Riga, Latvia 2003.*
22. Berezhnoy, A. Information Aspect in Parking Policy Development, *Computer Modelling and New Technologies*, Vol. 4, No 2, 2000, pp. 97-98.

