

LATVIJAS JŪRAS AKADĒMIJA

9. starptautiskā konference

UDENS TRANSPORTS
UN INFRASTRUKTURA
2007

9th International Conference

MARITIME TRANSPORT
AND INFRASTRUCTURE
2007

RĪGA,
2007. GADA 19.-20. APRĪLIS

PROCESU IMITĀCIJU MODELĒŠANAS SISTĒMA TRANSPORTA MEZGLĀ

MODELING SYSTEM OF SIMULATION OF PROCESSES AT TRANSPORT JUNCTION

Fjodors Mihailovs

*RTU Dzelzceļa transporta institūts, Indriķa iela 8, LV-1004, Latvija,
E-pasts: Fjodors.Mihailovs@ldz.lv*

Anotācija

Referātā tika atspoguļota transporta mezgla intermodālo procesu imitācijas modeļa struktūras izstrādāšana IDEF-modeļu veidā, kura ievēro transporta mezgla struktūras īpašības, veicot operācijas ar eksporta kravām. Tas ir nepieciešams transporta mezgla transportu plūsmu sadalījuma likumu noteikšanai apstākļos, kad izmainās ekonomiskās attiecības starp transporta pakalpojumu tirgus subjektiem. Piedāvāta metode imitācijas instrumentāriju izvēlei uz hierarhiju analīzes metodes pamata, kura ievēro intermodālo procesu modelēšanas specifiku transporta mezglos. Parādīts, ka optimizējošā algoritma lietošana kravu pievadīšanai pieostas stacijām ļauj samazināt vagona dīkstāvi. Tika izpētīta izstrādātā automatizācijas algoritma efektivitāte un tika noteikts, ka dotais multiagentu optimizācijas algoritms sniedz maksimālo efektu gadījumā, kad osta bez pārtraukumiem veic darbus.

Annotation

The article explains the development of simulation models' structure of intermodal processes using IDEF-models, which takes into consideration the properties of transport junction structure handling export shipment operations. This procedure is necessary for notifying the distribution laws of transport flow at transport junctions when economical affairs between market subjects have been changed. Method of choosing the simulation tools has been offered based on hierarchy analysis method basis, which follows the specifications of modeling of intermodal transport at transport junction. The usage of optimization algorithm for freight flow delivery by railway to seaport stations is able to reduce wagons' downtime. The effectiveness of produced algorithm of automatization has been explored and founded out that algorithm of multiagent optimization gets the maximum effect in case when sea ports work without interruptions.

Ievads

Transporta mezgls, kurš nodrošina intermodālo pārvadājumu procesus un dažādu transporta veidu mijiedarbību, ir sarežģīta sistēma un tāpēc nav pamatojuma veikt tikai analītisko pieeju, risinot nozīmētos uzdevumus. Transporta mezglā eksporta-importa kravu piegādes sistēmas funkcionēšanas kvalitātes novērtēšanai ir nepieciešams izstrādāt imitācijas modelēšanas sistēmu.

1. Imitācijas modelēšanas metodoloģija

Modeļa analogijas pakāpe attiecībā pret reālo objektu raksturojas ar:

- attiecību izomorfismu (vienādība pēc formas) modelī un modelēšanas objektā;
- homomorfismu – doto attiecību daļējo atbilstību.

Formāli, reāla S_p sistēma raksturojas ar mainīgajiem n un ar parametriem: $X(t) = \{x_1(t), x_2(t), \dots, x_n(t)\}$ un attiecībām r starp tiem, tas nozīmē, ka dotajai sistēmai ir brīvības pakāpes $(n-r)$. Tādas sistēmas modelis S_m – ir abstraktā konstrukcija ar mainīgajiem n' un parametriem un r' ($r' < r$). Izomorfisma pakāpi nosaka pēc brīvības pakāpju skaita S_p un S_m starpības. $X(t)$ un $X_m(t)$ laika periodā dažās trajektorijās. Doto trajektoriju starpība rāda modeļa reālo tuvinājumu un nosaka modeļa kvalitāti.

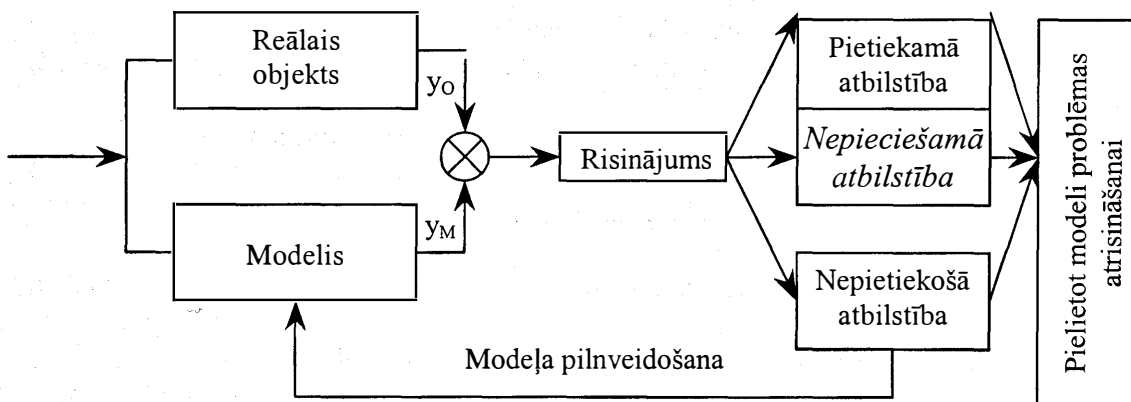
Veicot transporta mezgla imitācijas modeļa izstrādāšanu, tiek nozīmēti sekojošie uzdevumi:

1. Modelēšanas līdzekļa izvēle no alternatīvu daudzuma;
2. Transporta mezgla struktūras modelēšana;
3. Elementu funkcionēšanas matemātiskie modeļi;
4. Transporta mezgla ieejas plūsmu pamataraksturlīkņu modelēšana.

Imitācijas modeļa izstrādāšanas mērķis – izveidot eksperimentālu ierīci, kura pēc pamatraksturlīknēm atkārtō (imitē) reālas sistēmas uzvedību.

Transporta mezgla imitācijas modeļus var klasificēt pēc trim aspektiem:

- **Dinamiskais.** Dotā sistēma mainās laikā, sastāvi pienāk un aiziet transporta mezglā, kuģi aizņem kā ostas akvatoriju, tā arī ostas piestātnes, noliktavas var uzkrāt kravu, kad nav iespējams veikt pārkraušanu "tiešajā variantā";
- **Stohastiskais.** Imitācijas modelis ievēro dažas ieejošās gadījuma plūsmas. Stohastiskie imitācijas modeļi dod rezultātu, kurš pats par sevi ir gadījuma rezultāts, un tāpēc to var izskatīt kā modeļa īsto raksturlīkņu novērtējumu;
- **Diskrētais.** Izstrādātais transporta mezgla modelis ir diskrēts, jo izskatāmie procesi pētīšanā arī ir diskrēti.



1.att. Modeļa kvalitātes novērtējuma shēma

Doto imitācijas modeļu klasi nosauc par diskrēti-notikušo imitācijas modeļiem.

Diskrēti-notikušā modelēšana tiek pielietota, lai izveidotu modeli, kurš atspoguļo sistēmas attīstību laika periodā, kad mainīgo stāvoklis ir momentāns konkrētajos laika momentos.

Diskrēti-notikušo imitācijas modeļu dinamiskais raksturs prasa mehānismu, kurš ļauj novērot imitācijas laika tekošos novērtējumus. Pēc imitācijas modeļa funkcionēšanas mēra modeļa laika pulksteņus. Eksistē divas pamatpieejas modeļa laika virzīšanai:

- laika virzīšana no notikuma līdz notikumam;
- laika virzīšana ar fiksēto intervālu.

Ciktāl pirmā pieeja izmanto visas pamatimitācijas programmas, un ņemot vērā to, ka otrā pieeja ir pirmās pieejas paveids, diskrēti-notikušajos modeļos, lieto laika virzīšanas no notikuma līdz notikumam metodi.

2. Imitācijas modeļa struktūra

Daudzi zinātniskie raksti un darbi līdz šim tika veltīti dažu transporta veidu mijiedarbības efektivitātes paaugstināšanai un jauno metožu izstrādāšanas problēmām. Pārsvārā dotie darbi tika izpildīti, balstoties uz plānu-saimnieciskajām attiecībām ar stabiliem kravu plūsmu apjomiem. Plānu-saimniecisko attiecību laikos pārvadājumu procesu plānošana un nodrošināšana bija centralizēta.

Tirgus ekonomikas apstākļos ievērojami izmainījās kravu apgrozības dinamika, transporta pakalpojumu tirgū parādījās subjektu daudzumi, kuri ietekmē pārvadājumu kvalitāti. Par tādu subjektu piemēriem var uzskatīt ekspeditoru firmas un jūras ostas aģentus.

Daudzi mūsdienu zinātnieki jau iepriekš ir mēģinājuši veidot intermodālo pārvadājumu procesu optimizāciju un vadīšanas objekta aprakstus. Intermodālo procesu formālais modelis transporta mezglā var būt attēlots sekojošā veidā:

$$S = \{T, P, e, E, K, F\},$$

kur: $T = \{t_i\}$, $t_i \in R_{\geq 0}$ - diskrētais laika modelis;

P – procesu klašu daudzums (tehnoloģiskās operācijas ar kravām pieostas stacijā un ostā);

e – notikumu klašu daudzums (transporta līdzekļa pienākšana, tehnoloģiskās operācijas beigas u. t.t.);

E – notikumu klašu algoritmu daudzums (sagatavošanas diskrētās rīcības, pārejot pie sistēmas jaunās uzvedības);

$K = \{\langle t_i, e_i \rangle, L\}$ - notikumu plānošanas kalendārs, kurā tiek veiktas piezīmes par atsevišķu objektu notikumiem un ar kura palīdzību tiek aprakstīta sistēmas dinamika. Notikuma plānošana domāta pienākšanas momenta tiešai uzdošanai vai tā pienākšanas L nosacījuma uzdošanai, izmantojot predikātu (notikuma plānošana pēc nosacījumiem);

F – vienādojumu saraksts, kurš raksturo procesu lokālu uzvedību laika intervālos starp notikumiem.

Procesa struktūru un uzvedību apraksta sekojošais matemātiskais modelis:

$$P = \{X, Y, V_s, V_d, B, R\},$$

kur: X – izejošo iespaidu vērtību daudzums (izejošās kravas plūsmas kvalitāte un daudzums);

Y – izejošo lielumu vērtību daudzums (apstrādātās plūsmas raksturojumi);

V_s – procesa statistisko mainīgo daudzums, kuri uzdoti ar algebriskajiem izteicieniem un kuri var mainīties tikai pēc notikumu algoritmu izpildīšanās;

V_d – "mainīgo-funkciju" vai dinamisko mainīgo daudzums, kuri uzdoti ar izteicieniem no daudzuma F ;

B – procesa ķermenis, kurš satur mainīgo visvarbūtējākās uzvedības;

$R = \{r_1\}$ – resursu daudzums, kas nepieciešams procesa veicināšanai.

Pamatprasību vidū, kuras tiek pieprasītas no dažu transporta veidu mijiedarbības loģistikas procesu imitācijas modeļiem, var noteikt:

- modeļa atbilstību;
- aprakstīšanas kompaktumu;
- aprakstīšanas interpretējumu ar nespeciālistu;
- sistēmas diskrēto stāvokļu vesela daudzuma attēlošanas iespējas;

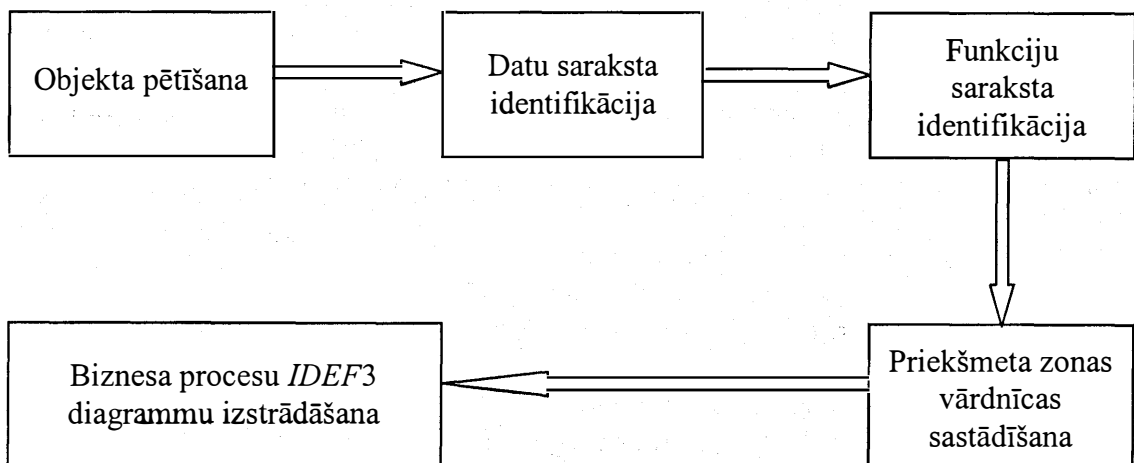
- mērogošanu;
- izvēršamību;
- algoritmu maksimālo tuvinājumu objektu programmēšanas metodoloģijai.

Petri tīklu pielietojums imitācijas modelēšanā kā universāla un bieži sagaidīta imitācijas modeļu formalizācijas metode ir bieži ierobežots ar nesarežģīto ciklisko modeļu uzbūvi ar nelielu daudzumu sistēmu stāvokļu.

Modelis tiek būvēts konkrētā mērķa sasniegšanai un tā atbilstība vai pamatotība vērtēta šo ceļu termiņos. Ir nepieciešams izveidot modeli tādā veidā, lai tai būtu raksturīpašības, kuras ir tuvu pētāmās reālās sistēmas raksturīpašībām. Novērtēt kvalitāti nozīmē novērtēt drošuma līmeni tā, lai ar modeļa palīdzību izdarītie secinājumi būtu pielietojami reālajā sistēmā. Tādas aprēķinu metodes ir ārkārtīgi lietderīgas, veicot vadības lēmumu pieņemšanu transporta nozarē: dārga un dažkārt pat neveicama eksperimenta vietā nodrošināta iespēja veikt eksperimentus ar ESM, modelējot darba organizācijas vai dažus tehnisko līdzekļu izmantošanas variantus.

Sistēmas robežu noteikšanas etaps un modeļa formulēšana ir viena no grūtākajām un atbildīgajām sastāvdaļām jebkurā imitācijas pētīšanā. Panākumus un neveiksmes nākamajos etapos zināmā mērā noteic tas, cik labi izdevies noteikt uzdevumu, tā pētīšanas mērķus, sistēmas robežas, būtiskās komponentes un mainīgos, izvēlēties hipotēzes un abstrakcijas, kuras noved pie savstarpējās sakarības starp sistēmas komponentēm un mainīgajiem, novērtēt eksistējošo parametru lielumus.

Objekta analīzes procesā noteikts, ka izskatīt kopumā to kā sistēmu, praktiski nav iespējams tā sarežģītības dēļ. Tāpēc ir nepieciešams sadalīt objektu uz apakšsistēmu galīgo daudzumu, ievērojot savstarpējās sakarības starp apakšsistēmām, kuras raksturo to mijiedarbība. Apakšsistēmu sadalīšanas procedūru ir nepieciešams turpināt līdz tādu apakšsistēmu iegūšanai, kuras būs pietiekami vienkāršas un ērtas dotā uzdevuma robežās. Tādas apakšsistēmas, kuras tālāk nav dalāmas, ir sarežģītās sistēmas elementi. Kopumā sarežģīta sistēma tiek attēlota kā daudzlīmeņu konstrukcija no savstarpēji iedarbojušajiem elementiem, kurus apvieno dažu līmeņu apakšsistēmas.



2. att. Sistēmas funkcionēšanas mehānisms

Jūras un dzelzceļa transporta mijiedarbības loģistikās sistēmas struktūranalīzes etapā tika izmantoti IDEF3 modeļi. Starp imitācijas un IDEF3 modeļiem ir pietiekami ciešs savstarpējs sakars: IDEF3 modeļus ar nelielām izmaiņām var lietot kā imitācijas modeļa pamatu. IDEF3 modeļa veidošana objekta analīzes un projektēšanas etapā kopumā ievērojami uzlabo sistēmas funkcionēšanas mehānisma izpratni (2. att.). IDEF3 modeļu izstrādāšanas vieta var būt noteikta kā starpstāvoklis starp reālo objektu un veidojamo imitācijas modeli.

3. Transporta mezglu intermodālo procesu imitācijas modelēšanas instrumentārija izvēles metodika

Imitācijas modelēšana ir viena no visjaudīgākajiem sarežģīto sistēmu uzvedības modelēšanas līdzekļiem nenoteiktības apstākļos. Zinātnes un imitācijas modelēšanas (IM) prakses attīstības procesā tika saformētas divas pamatpieejas imitācijas modeļu izveidošanas procesam atkarībā no apsekojamā objekta īpašībām.

Pirmā pamatpieēja domāta kā modelēšanas sistēmas attēlošana mainīgo notikumu nepārtrauktās ķēdes veidā. Dotajās sistēmās izmantoti laika intervālu fiksēto pieaugšanu mehānismi. Ar to palīdzību tiek aprakstītas sistēmas, kurās ir nepārtrauktas modelējamās plūsmas un elementi nav vienīgie, bet agregētie. Piemēram, starpreģionu finanšu plūsmas vai apkārtējās vides piesārņojuma ar kaitīgām vielām ekoloģiskais modelis.

Otrās pamatpieejas modeļi tiek lietoti, kad sistēmā veic atsevišķu elementu uzvedības pētījumus. Līdzīgie modeļi ir diskreti vai ar stāvokļu diskrētām izmaiņām. Tajos lieto laika atskaites metodi līdz nākamajam notikumam. Par doto sistēmu piemēriem var uzskatīt masu apkalpošanas sistēmu modeļus (MAS).

IM pasaules programmatūras tirgū ir pārstāvēta ar vairāk nekā 60 mūsdienīgiem paņēmieniem. Katrs no tiem ir izstrādāts noteiktas klases uzdevumu risināšanai un ir orientēts uz vienu no augstāk minētajām pieejām, - tas ir diskrets vai nepārtraukts. Daži produkti realizē abas paradigmas, bet līdz ar to tiek saglabāta prioritāte vienai no tām. Izejot no tā, ka līdzīgo produktu maksas cena ir pietiekami liela, kā arī imitācijas modeļu izveidošana ir lielbudžeta process, ir nepieciešams izstrādāt paņēmieni izvēles metodiku, kura ir adekvāta nozīmētajam uzdevumam.

Var atzīmēt transporta mezglu intermodālo procesu modelēšanas sekojošas atslēgīpašības:

- pieteikumi ienāk sistēmā no vairāk nekā viena avota (piemēram, no dzelzeļa puses, no jūras ostas, no automobiļu termināla);
- nepieciešams noteikt precīzu robežu sistēmā starp apkalpošajām ierīcēm un starp tehnoloģisko operāciju nepieciešamajiem resursiem;
- noteiktā ārējā sistēma ietekmē sistēmas funkcionēšanas rādītājus (piemēram, sistēma, kura nodarbojas ar laika apstākļu imitēšanu).

Transporta mezgla imitācijas modeļa efektīvākai izveidošanai ir nepieciešama imitācijas modelēšanas datorsistēma (IMS). Ar šo nolūku tika noteikti sekojoši uzdevumi:

- saformēt kritēriju vektoru, pēc kuriem tiks atlasīti programmu līdzekļi;
- noteikt vērtējamo IMS sarakstu;
- novērtēt IMS un izvēlēties no tām vislabāko.

Efektīvā lēmuma pieņemšanai attiecībā uz imitācijas modelēšanas līdzekļa izvēles daudzu alternatīvu un kritēriju apstākļos tiek piedāvāta hierarhiju analīzes metode (HAM). Metode pamatā ir problēmas sadalīšana vairākās vienkāršās daļās. Persona pieņem lēmumus (PPL), spriedumu secības tālākajai apstrādei pēc pāru salīdzinājumiem. HAM iekļauj sevī daudzu spriedumu sintēzes, kritēriju prioritāšu iegūšanas un alternatīvo risinājumu atrašanās procedūras.

Hierarhiju koks tradicionāli sastāv no sekojošiem apakšlīmeņiem: mērķis (fokuss), atlases kritēriji, alternatīvu kritēriji. Viens no būtiskajiem HAM apakšuzdevumiem ir izsmeļoša kritēriju saraksta noteikšana, pēc kuriem tiks veikta atlase.

Pirmajā etapā tiek sastādīta matrica kritēriju relatīvā svarīguma salīdzināšanai attiecībā pret kopējo mērķi. Kritēriju prioritāti nosaka ar modelēšanas objekta īpašībām un uzdevuma saturošo vidi. Transporta mezglu intermodālo procesu modelēšanai par visbūtiskāko kritēriju tiek pieņemta modeļu iebūvēto modelēšanas līdzekļu kvalitāte un esība, kā arī modeļu paplašinājums (piemēram, augstākā līmeņa attīstītās valodas).

Otrajā etapā katram kritērijam tiek sastādīta alternatīvu pāru salīdzinājumu matrica (A), un ir noteikti svāra koeficienti, kuri veido prioritāšu vektoru.

Nākamajā etapā nosaka saskaņotības pakāpi katram matricas salīdzinājumam. Saskaņotības indekss (SI) sniedz informāciju par skaitliskās (kardinālās, $a_{ij}a_{jk} = a_{ik}$) un tranzitīvās (kārtības) saskaņotības pakāpi. Saskaņotības indeksa noteikšanai lieto formulu (1):

$$SI = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1}, \quad (1)$$

kur: n – salīdzināmo parametru skaits.

Lai iegūtu parametru α_{\max} , nepieciešams summēt katru spriedumu stabiņu, pēc tam pirmā stabiņa summu reizināt ar normalizētā prioritātes vektora pirmās komponentes lielumu, otrā stabiņa summu – ar otru komponenti utt. Pēc tam ir jāsummē iegūtie lielumi.

$$A \cdot w = \lambda_{\max} \cdot w \quad (2)$$

Nepietiekamas saskaņotības gadījumā nepieciešams pārskatīt datus, kurus izmantoja skalas izveidošanai. Par cik pilnveidotās saskaņotības sasniegšana praksē ir maz iespējama, tad ir nepieciešams saskaņotības etalona līmenis, pie kura risinājumu var skaitīt kā pietiekami drošu un statistiski nozīmīgu. Tāpēc tiek lietots saskaņotības attiecinājums (SA), kuru nosaka pēc formulas (3):

$$SA = \frac{SI}{VS}, \quad (3)$$

kur: VS – vidējā saskaņotība gadījuma matricām ar dažādu kārtu, kuras nosakac pēc tabulas.

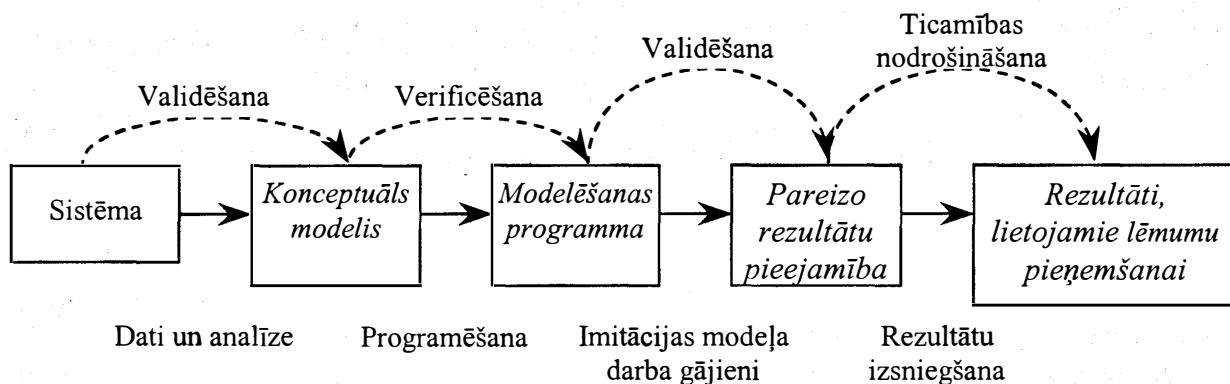
Ja $SA \leq 0,1$, tad saskaņotības līmenis ir pieejams. Pretējā gadījumā salīdzinājuma matricas A nesaskaņotības līmenis ir augsts un personai, kura pieņem lēmumu, ir ieteicams pārbaudīt matricas A pāru salīdzinājuma elementus a_{ij} ar nolūku iegūt saskaņotāko matricu.

IMS efektivitātes novērtēšanai transporta mezgla modeļa izstrādāšanas procesā tika saformēts sekojošs būtiskāko kritēriju saraksts, pēc kuriem bija veikta izvēle:

- produkta vērtība;
- dokumentācijas kvalitāte;
- adaptācijas pakāpe pie nepārtraukto modeļu izveidošanas;
- adaptācijas pakāpe pie diskrēto modeļu izveidošanas;
- vizualizēšanas un animācijas modeļu izveidošanas līdzekļi;
- modeļa paplašināšanas līdzekļi, izmantojot augstākā līmeņa iebūvēto valodu (ALV);
- produkta viegla apgūšana;
- modelēšanas sistēmas efektivitāte ar sagatavošanas, programmēšanas, sarīkošanas, kompilācijas un gājiena kopējā laika uzskaiti;
- modelēšanas rezultātu izejošās formas;
- rezultātu analīžu atbalsts.

4. Modeļa ticamības un atbilstības pārbaude

Datorizētā imitācijas modeļa ticamības pārbaude tika veikta pēc shēmas (3. att.):



3. att. Modeļa validēšanas, verificēšanas, ticamības nodrošinājuma koordinēšanas un sadarbības shēma

Modeļa verificēšanas process ļauj noteikt vai konceptuālais imitācijas modelis ir pareizi pārveidots uz programmatūras vidi.

Modeļa ticamības pārbaudes laikā tika pildīti sekojoši etapi:

- programmēšana pa blokiem un programmatūras izveidošana;
- interaktīvā kļūdu meklētāja izmantošana ar nolūku noteikt katras tehnoloģiskās ķēdes pareizību programmatūrā;
- modeļa izejošo rezultātu ticamības pārbaude;
- modeļa rezultātu statistikas salīdzinājums vērtībām, kuras ģenerētas no varbūtību izejošā sadalījuma, ar rezultātu statistikas reālajiem datiem.

Modeļa validēšanas etapā tika veikta pārbaude, ar kuras palīdzību var noteikt vai imitācijas modelis ir precīzs priekšstats, kas attēlo sistēmas konkrēto pētīšanas mērķu veikšanu.

Imitācijas modeļa atbilstība tika pārbaudīta, lai noteiktu, cik precīzi modelis attēlo reālo sistēmu. Modeļa atbilstības pārbaudei tika veiktas sekojošas procedūras:

- visas modeļu pielaišanas tika pārskatītas un saskaņotas ar pieostas stacijas darbiniekiem, kuri koordinē transporta veidu mijiedarbību transporta mezglā;
- ar metožu palīdzību tika pārbaudīta tehnoloģisko operāciju pildīšanas laika varbūtību sadalījumu izvēles pareizība.

Kopsavilkums

1. Izstrādāta transporta mezgla intermodālo procesu imitācijas modeļa struktūra *IDEF*-modeļu veidā, kura ievēro transporta mezgla struktūras īpašības, veicot operācijas ar eksporta kravām;
2. Piedāvāta metode imitācijas instrumentāriju izvēlei uz hierarhiju analīzes metodes pamata, kura ievēro intermodālo procesu modelēšanas specifiku transporta mezglos;
3. Piedāvāts eksperiments un veikta vagona dīkstāves rādītāju rezultātu analīze transporta mezglā, veicot intermodālos pārvadājumus un ievērojot iekšējo faktoru mainīšanos; Parādīts, ka optimizējošā algoritma kravu pievadīšanai pieostas stacijas lietošana ļauj samazināt vagona dīkstāvi;

4. Izpētīta izstrādātā automatizācijas algoritma efektivitāte un noteikts, ka dotais multiaģentu optimizācijas algoritms sniedz maksimālo efektu gadījumā, kad osta bez pārtraukumiem veic darbus. Efekta trūkums parādās ostas ilgstošas slēgšanas gadījumā (vairāk par trim diennaktīm).

Literatūra

1. **Н.В. Правдин, В.Я. Негрей.** Взаимодействие различных видов транспорта в узлах. «Высшая школа», 1977, 296 lpp;
2. **И. Б. Сотников.** Взаимодействие станций и участков железных дорог. М.: Транспорт, 1976. – 272 с;
3. **А. А. Абрамов.** Математическое моделирование транспортных процессов. РГОТУПС Москва, 2002. – 128 с;