

**RĪGAS TEHNISKA UNIVERSITĀTE**  
Datorzinātnes un Informācijas tehnoloģijas fakultāte  
Datorvadības, automātikas un datortehnikas institūts

**Egils STALIDZĀNS**  
RED 22 doktora programmas doktorands

**DATORVADĪBAS ALGORITMI  
DAUDZOBJEKTU BIOLOĢISKĀM  
SISTĒMĀM**

Promocijas darba kopsavilkums

Zinātniskais vadītājs  
Dr. habil. sc. ing., profesors  
**Z. MARKOVIČS**

RTU Izdevniecība  
Rīga 2005

## Vispārējs darba raksturojums

### Tēmas aktualitāte.

Pastāv bioloģiskas sistēmas, kuras tiek intensīvi pētītas un kuru darbību aprakstošā informācija mēdz būt pietiekoša to vadības sistēmu izstrādei. Šādu sistēmu piemēri ir cilvēks veselības aprūpes kontekstā vai citas intensīvi pētītas bioloģiskas sistēmas.

Pretstatā ir bioloģiskas sistēmas, kuru pētniecība dažādu, tajā skaitā ekonomisku un tehnisku, iemeslu dēļ nav detalizēti izvēsta un likumsakarīgs rezultāts tam ir neveiksmīgi bioloģisko sistēmu vadības gadījumi: pļavu pārpurvošanās neveiksmīgas meliorācijas dēļ, zivju skaita izmaiņas barības apstākļu izmaiņu dēļ, mežu masīvu vadības neprognozētas sekas, kaitēkļu apkarošanas pasākumi, bišu ziemināšanas rezultātu uzlabošana (pielietojuma piemērs šajā darbā) u.t.l.

Vienlaicīgi ir vērojams augošs pieprasījums pēc lietderīgām un racionālām bioloģisko sistēmu vadības sistēmām straujas datortehnoloģijas attīstības apstākļos. Tas īpaši attiecas uz tādām nozarēm kā lauksaimniecība, pārtikas pārstrāde, biotehnoloģija, farmācija u.c.

Darbā tiek analizēta daudzobjektu bioloģisko sistēmu datorvadības problemātika informācijas trūkuma apstākļos. Daudzobjektu bioloģiska sistēma ir daudzu vienas sugas bioloģisku objektu kopums, kas tiek aplūkots kā viena sistēma, nevis katrs indivīds atsevišķi.

Pēdējos gados ir formulēta jauna lauksaimniecības nozare - *Precīzā Lauksaimniecība* (PL) (Lauris, 2004, Vilde et al., 2004, Domeika un Kurlavicius, 2004), kas balstās uz lauksaimniecības procesu datorvadību, nonākot pat līdz dzīvnieku vai augu individuālai vadībai atkarībā no to stāvokļa un izvirzītajiem vadības mērķiem.

Neveiksmīgie bioloģisko sistēmu vadības piemēri, neraugoties uz datortehnoloģijas strauji augošajām iespējām norāda, ka par bioloģisko sistēmu datorvadības attīstības bremsējošo faktoru kļūst nepietiekama un nepilnīga datorvadības izstrādes metodika.

Pašā datorvadības izstrādē vājais posms ir nepietiekama metodiskā bāze bioloģisku sistēmu darbības izpratnē un modelēšanā. Īpaši izteikti tas ir daudzparametru vadības gadījumā ar nepietiekamu informāciju par objektu. Bioloģiskajā sistēmā notiekošo procesu nepilnīga izpratne noved pie nepiemērotas datorvadības izstrādes.

Bioloģiskas sistēmas modelēšana no sistēmu vadības viedokļa ietver vairākas problēmas, kuras nav raksturīgas tehniskajām sistēmām. Bioloģisko sistēmu gadījumā nav viennozīmīgas informācijas par sistēmas uzbūves principiem, cēloņu - seku sakarībām un mijiedarbību ar apkārtējo vidi, jo šī sistēma nav cilvēka konstruēta konkrētiem mērķiem ar cilvēka izvēlētu līdzekļu palīdzību. Tas ierobežo tehnisko sistēmu vadības izstrādes pielietojuma iespējas.

Bez tam tehnisko sistēmu vadības sistēmās plaši pielietotā stabilitātes analīze pārejas procesos līdz šim nav adaptēta bioloģisko sistēmu vadības īpatnībām. Vadīt bioloģisko sistēmu nozīmē mainīt parametrus videi, kurā tā atrodas. Savukārt uz vides parametru novirzi bioloģiskā sistēma reaģē kā bioloģiska vadības sistēma, lai kompensētu notiekošās izmaiņas. Līdz ar to parādās divu vadības sistēmu salāgošanas uzdevums: viena vadības sistēma (parasti - vairāki savā starpā saistīti kontūri) ir bioloģiskajā

sistēmā esošā bioloģiskā vadības sistēma (BVS), bet otra vadības sistēma - mākslīgā vadības sistēma (MVS) - cilvēka veidotā, lai vadītu pirmo. Tātad, ir nepieciešama arī pārejas procesu analīze.

Darbs ir veltīts bioloģisku sistēmu datorvadības izstrādes metodikai.

### **Darba mērķis un uzdevumi**

**Darba mērķis** ir izstrādāt metodiku datorvadības sistēmas izveidošanai daudzobjektu bioloģisku sistēmu mērķtiecīgai vadībai nepilnīgas informācijas apstākļos par vadāmās sistēmas darbības likumsakarībām, ievērtējot vadības atbilstību lietderības un nekaitīguma kritērijiem.

Darba mērķis ir sasniedzams veicot šādus uzdevumus:

1. Izstrādāt daudzobjektu bioloģiskās sistēmas BVS statiska un dinamiska modeļa izveides metodiku un demonstrēt tās pielietojuma piemēru.
2. Izstrādāt daudzobjektu bioloģiskās sistēmas mērķtiecīgas datorvadības modeļa izveides metodiku iekļaujot pēc lietderības kritērijiem optimāla MVS kontūra īpatsvara noteikšanu. Demonstrēt metodikas pielietojuma piemēru.
3. Izstrādāt BVS un MVS (divu vadības kontūru sacensība) sadarbības nekaitīguma nodrošināšanas metodiku, ievērtējot pārejas procesu dinamiku un demonstrēt metodikas pielietojuma piemēru.
4. Izstrādāt ieteikumus bišu saimju racionālai ziemināšanai Latvijas apstākļos (pielietojuma piemērs).

### **Pētījumu metodika**

Daudzobjektu bioloģiskās sistēmas modelēšanai izmantotas topoloģiskās modelēšanas metodes.

Modeļa izveidei nepieciešamās informācijas iegūšanai un pārbaudei pielietota ekspertu aptauja un "prāta vētras" eksperimenti.

Bioloģiskās sistēmas dinamiskais modelis izveidots ar programmpaketes *Powersim Constructor 2.51* (POWERSIM, internet) palīdzību, datu apmaiņas nolūkā saistot to ar *Microsoft Excel* programmu.

Bioloģiskās sistēmas verifikācijai nepieciešamie dati iegūti lauka eksperimentos. Verifikācija veikta ar programmpaketi *Powersim Solver 2.0* (POVVERSIM, internet), kurā pielietoti ģenētiskie algoritmi.

Datorvadības lietderība izvērtēta pēc vairākiem lietderības kritērijiem, izmantojot "taisnīgā kompromisa" metodi.

Bioloģiskās sistēmas un datorvadības sadarbības nekaitīgums modelēts ar programmpaketes *Powersim Constructor 2.51* palīdzību.

### **Zinātniskā novitāte**

Metodika pirmo reizi apraksta lietderības un nekaitīguma kritērijiem atbilstošas daudzparametru datorvadības izstrāde daudzobjektu bioloģiskām sistēmām nepietiekamas informācijas apstākļos, iekļaujot pārejas procesu dinamikas analīzi.

- Metodiku aprakstošajos algoritmos pielietoti vairāki oriģināli risinājumi:
- BVS modeļa izstrādes un verifikācijas metodika un algoritms dinamikā,
  - MVS izstrādes un tās lietderības optimizācijas metodika un algoritms,
  - divu vadības kontūru - BVS un MVS - sadarbības nekaitīguma analīzes metodika un algoritms,
  - vienības attieksmju matricas un topoloģiskā modeļa kā informācijas attēlošanas veidu iteratīva pielietošana informācijas iegūšanas procesā no ekspertiem,
  - bioloģiskas sistēmas topoloģiskā modeļa pielietojums bioloģiskajās un tā homomorfa pārceļšana uz *Powersim Constructor 2.51* dinamiskās modelēšanas paketi,
  - bioloģiskās sistēmas daudzparametru dinamiskā modelēšana ar programmu *Powersim Constructor 2.51* un verifikācija ar *Powersim Solver 2.0* programmpaketi,
  - divu vadības kontūru - bioloģiskā un mākslīgā - sadarbības nekaitīguma analīze.

### **Galvenie rezultāti**

Izstrādāta un demonstrēta ar pielietojuma piemēru metodika datorvadības sistēmas izveidei daudzobjektu bioloģisku sistēmu mērķtiecīgai vadībai nepilnīgas informācijas apstākļos par vadāmās sistēmas darbības likumsakarībām, ievērtējot vadības atbilstību lietderības un nekaitīguma kritērijiem.

Izpildīti uzdevumi:

1. Izstrādāta daudzobjektu bioloģiskas sistēmas statiska un dinamiska modeļa veidošanas metodika un modelis kā pielietojuma piemērs.  
Modeļa struktūra ir attēlota topoloģiskā modeļa formā. Pēc funkcionālo sakarību ieviešanas bioloģiskās sistēmas modelis tiek verificēts dinamikā ar dabā veiktu eksperimentu palīdzību.
2. Izstrādāta daudzobjektu bioloģiskas sistēmas mērķtiecīgas datorvadības modeļa izveides metodika, iekļaujot pēc lietderības kritērijiem optimāla MVS kontūra īpatsvara noteikšanu.  
Metodika demonstrēta izstrādājot MVS modeli, kas realizē vadības mērķus un atbilst lietderības kritērijiem.
3. Izstrādāta BVS ,un MVS (divu vadības kontūru sacensība) sadarbības nekaitīguma nodrošināšanas metodika un BVS un MVS apvienotais modelis nekaitīguma analīzei kā pielietojuma piemērs.  
Pārejas procesu nekaitīgums dinamikā tiek testēts situācijās, kad parametri mainās ar vislielāko ātrumu un pārejas procesos radušās svārstības sasniedz maksimālo vērtību.
4. Izstrādāti ieteikumi bišu saimju racionālai ziemināšanai Latvijas apstākļos. Ir izstrādāts BVS un MVS modeļi.  
Latvijas apstākļos zieminot 100 bišu saimes ir lietderīgi to darīt aprīkojot ziemotavu ar regulējošu ventilācijas sistēmu (jauda - 1710 m<sup>3</sup>/h) un regulējošu sildīšanas sistēmu (jauda - 1000 W) ar nosacījumu, ka ziemotavas siltumpārvades koeficients  $C=50 \text{ W/}^\circ\text{C}$ . Tādā gadījumā vidējā peļņa ir gaidāma 634 Ls gadā salīdzinot ar ārā zieminātām saimēm. Aprēķini veikti amortizācijas periodam 5 gadi.

Izstrādātajiem modeļiem par bišu ziemināšanu šobrīd nav analoģu pasaulē. Tie ir izmantojami ne tikai praksē, bet arī mācību un pētnieciskajā procesā.

Simulācijas programma ļauj viegli mainīt vadības sistēmas un vides parametrus sistēmas simulācijai ar mainītiem ziemeņiem un klimatiskajiem parametriem.

### **Darba praktiskais pielietojums**

1. Izveidotā datorvadības izstrādes metodika bioloģiskām sistēmām ir plaši pielietojama praksē, jo tās pielietojuma sfēra pēc bioloģisko sistēmu tipiem ir plaša un metodikā veltīta īpaša uzmanība nepietiekošas informācijas apstākļiem, kas ir ļoti izplatīts gadījums praksē.
2. Aprakstītie bioloģiskās sistēmas modeļa izveides principi ir pielietojami praksē prognozes uzdevumu risināšanai arī bez vadības sistēmas ieviešanas.
3. Salīdzinoši zemās programmatūras izmaksas paaugstina metodikas pieejamību.
4. Darba rezultāti ir pielietojami studiju un pētniecības procesā datorvadības un dabaszinātņu studiju programmās.
5. Demonstrētais pielietojuma piemērs bišu ziemināšanas uzlabošanai Latvijas apstākļos ir pielietojams praksē, jo satur visu nepieciešamo informāciju vadības realizācijai praksē. Dati var tikt izmantoti arī bišu dravju struktūras optimizācijai visa gada ciklā.

### **Publikācijas**

#### **Darba rezultāti prezentēti un publicēti šādās starptautiskās zinātniskās konferencēs**

- 1.E. Stalidzans, A. Krauze, A. Berzonis. Modelling of energetical balance of honeybee wintering generation. In proceedings of 1-st European Scientific Apicultural conference, Pulawy, Poland, 2000. Psczelnicze zestyty naukowe 2000, No.2, 55-62.
- 2.E. Stalidzans, Z. Markovitch. Expert based model building using incidence matrix and topological model. 12-th European simulation Symposium 2000. Hamburg, Germany. 328-332.
- 3.A. Krauze, E. Stalidzans, A. Berzonis. Comparative Modelling of Bee Wintering under Latvian and Other Climatic Circumstances. In Proceedings of the scientific conference "Problems and Solutions for Rural Development", 2001, Latvia University of Agriculture, Jelgava, 367-373.
- 4.E. Stalidzans, Z. Markovitch, A. Krauze, A. Berzonis. Simulation of death dynamics of wintering generation of bees under different climatical conditions. 15-th European Simulation Multiconference 2001. June 6-9, 2001, Prague, Czech Republic, 1039-1043.
- 5.Z. Markovičs, E. Stalidzāns Mērķa funkcijas noteikšanas variants bioloģisku objektu vadībai. Rīgas Tehniskās universitātes raksti. 5. Sērija Datorzinātne. Datorvadības tehnoloģijas. 6. sējums, RTU, Rīga, 2001. 16-23 lpp.
- 6.Z. Markovičs, E. Stalidzāns, A. Bērzonis. Modelis bišu ziemeņiem efektivitātes noteikšanai dažādos klimatiskajos apstākļos. Rīgas Tehniskās universitātes raksti. 5. Sērija Datorzinātne. Datorvadības tehnoloģijas. 11. sējums, RTU, Rīga, 2002. 28-38 lpp.

7. Z. Markovičs, E. Stalidzāns, A. Bērzonis. Racionālas vadības noteikšana bišu ziemotavas temperatūras regulēšanai. Rīgas Tehniskās universitātes raksti. 5. Sērija Datorzinātne. Datorvadības tehnoloģijas. 11. sējums, RTU, Rīga, 2002. 39-44 lpp.
8. E. Stalidzans, Z. Markovičs, V. Bilinskis, A. Berzonis. Modelling of computer controlled bee wintering building profitability. Information Technologies and Telecommunications for Rural Development. Jelgava, May 6-7, 2004. 78-84 lpp.

#### Darba rezultāti publicēti šādos izdevumos

- 9.E. Stalidzans, A. Berzonis. Bišu krituma dinamika ziemojošas saimes. Latvijas Lauksaimnieks, Rīga, 1994 No. 7 13-15 un No. 8 29-31.
- 10.Ē. Kristapsons, E. Stalidzāns, A. Bērzonis, A. Kaķītis. Racionālas bišu saimju ziemotavas. Latvijas Lauksaimniecības Universitātes Raksti. Jelgava. (1996) 6, 94-101.
- 11.E. Stalidzans, V. Bilinskis, A. Berzonis. Hypothesis of modelling energetical balance of bee colonies and changes in the number of bees. 1999. Proceedings. Apimondia 99. 36-th Congress, Vancouver, Canada, 278.
- 12.E. Stalidzans, A. Berzonis. Analytical development model of bee colony. Environmental Simulation - Riga: Riga Technical University, 1999 (Boundary Field Problems and Computer Simulation; 41-st issue) 14-21.
- E. Stalidzans, V. Bilinskis, A. Berzonis. Determination of development periods of honeybee colony by temperature in hive in Latvia, year 2000. In Proceedings of the 37. International Apicultural Congress., 28 Oct-1 Nov 2001, Durban, South Africa. Paper No. 378 ISBN: 0-620-27768-8
- V. Bilinskis, E. Stalidzans, Z. Markowitch, A. Berzonis. Modelling of wintering building profitability depending on outside temperature and humidity. In Final Programme and book of abstracts of XXXVIIIth APIMONDIA International Apicultural Congress., August 24.-29., 2003, Ljubljana, Slovenia. Paper No. 97
- A. Krauze, V. Bilinskis, E. Stalidzans, A. Berzonis. Different states of bee colony in winter and spent power. In Final Programme and book of abstracts of XXXVIIIth APIMONDIA International Apicultural Congress., August 24.-29., 2003, Ljubljana, Slovenia. Paper No. 99.

Darba rezultāti ir apspriesti RTU studentu zinātniskajās konferencēs, Latvijas Biškopības Biedrības 2001. gada kongresā.

#### Darba struktūra un apjoms.

Promocijas darbs ir uzrakstīts latviešu valodā, satur ievadu, 3 nodaļas, slēdzienu, literatūras sarakstu, 4 pielikumus, 47 attēlus un 13 tabulas, kopā 159 lappuses. Literatūras sarakstā ir 77 nosaukumi.

## Darba saturs

**Pirmā nodala (Ievads).** Analizētas bioloģisko sistēmu īpatnības salīdzinot ar tehniskajām sistēmām no datorvadības izstrādes viedokļa.

Literatūrā sastopamās pieejas bioloģisko sistēmu modelēšanā ir diezgan specifiskas un orientētas konkrētos virzienos, jo modelēšanas jēdziens bioloģijā ir ļoti plašs (Modeli, 1966; Antamonov, 1977, Lisenkov, 1979; Renshaw, 1995). Literatūrā nav atrasti bioloģisku sistēmu modelēšanas vai pētniecības metodikas vai algoritmi no bioloģisko sistēmu vadības un pārejas procesu viedokļa.

Uzdevuma risināšana ir sadalīta trijās secīgi izpildāmās daļās:

- 1) BVS modeļa izveides metodika,
- 2) optimizētas MVS izveides metodika,
- 3) BVS un MVS darbības saskaņošanas metodika.

Kā metodikas pielietojuma piemērs izvirzīta bišu saimju ziemināšanas uzlabošana Latvijas klimatiskajos apstākļos.

**Otrā nodala. (Bioloģiskas vadības sistēmas (BVS) modeļa izveides metodika.)** Dabā esošas bioloģiskas sistēmas parametru kopas B darbību vides parametru kopas V apstākļos var aprakstīt modeļa formā

$$M_b = F_b(b_1, \dots, b_k, \dots, b_K; v_1, \dots, v_s, \dots, v_S; t), \quad (1)$$

$b_k \in B, v_s \in V, B \cap V = 0,$

kur  $b_1, \dots, b_k$  - bioloģisko sistēmu (iekšējo vadības kontūru) raksturojošie mainīgie, pieder bioloģiskās sistēmas parametru kopai B,  
 $v_1, \dots, v_s$  - vidi raksturojošie mainīgie, pieder vidi raksturojošo parametru kopai V,  
 $t$  - laiks.

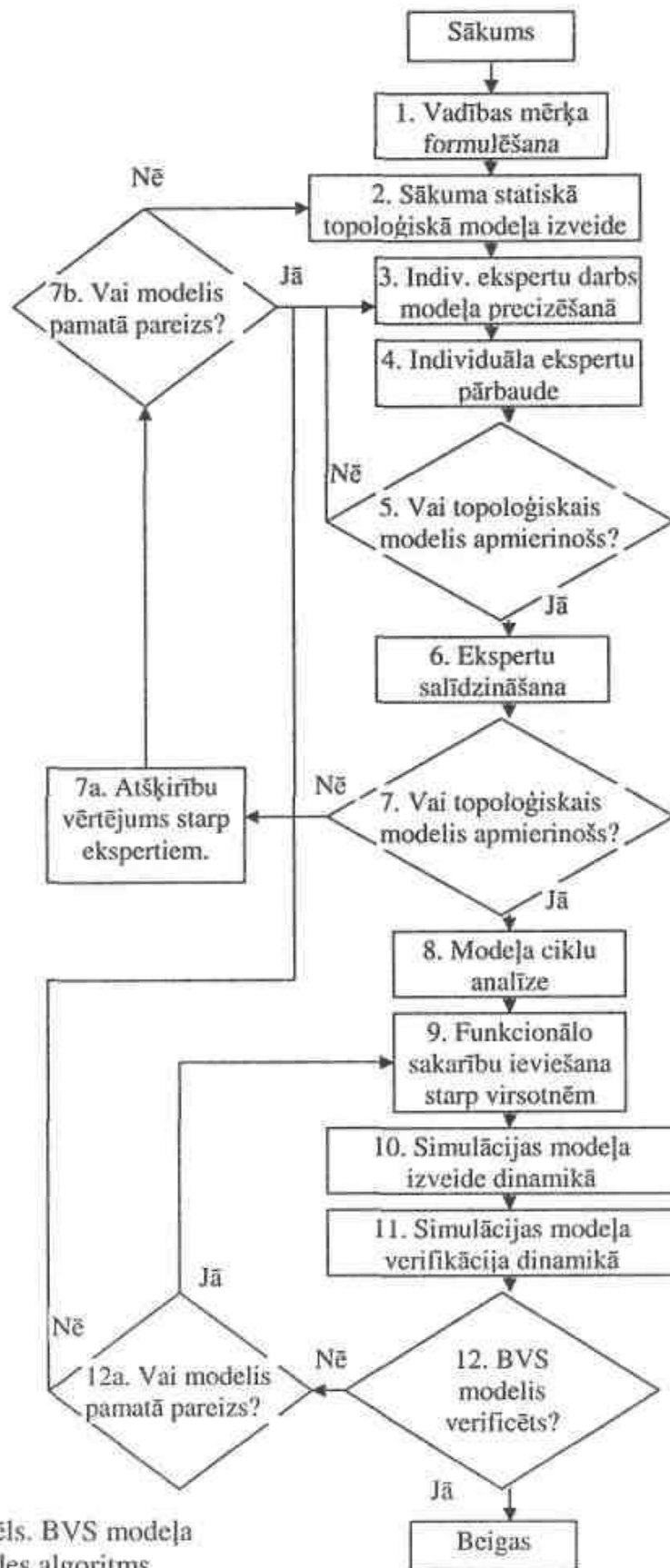
Visām bioloģiskajām sistēmām kopēja pazīme ir vairošanās un vielmaiņa. Šo procesu aprakstu var izmantot kā sākuma punktu modelēšanai, ja bioloģisko sistēmu apskata kopumā kā populāciju.

Ja aplūko kādu procesu bioloģiskajā sistēmā vai tās daļā, par sākotnējiem datiem var izmantot barības, enerģētisko, siltuma, laika vai citas bilances. Tās var apskatīt neatkarīgi vienu no otras vai saistīti.

Tā kā jāreķinās ar daudzām nezināmām funkcionālajām sakarībām, kas saista bioloģiskās sistēmas mainīgos  $b_1, \dots, b_K$  ar bioloģiskās sistēmas un vides mainīgajiem  $b_1, \dots, b_K$  un  $v_1, \dots, v_s$ , sākotnējais modelis tiek veidots ar topoloģiskās modelēšanas palīdzību. Šajā modeļa izveides stadijā jāsadarbjas bioloģiskās sistēmas ekspertiem un zināšanu inženieriem.

BVS modeļa  $M_b$  izveides algoritms parādīts attēlā 1. Algoritmā ietvertu darbību apraksts dots katram algoritma solim (**biezajā rakstā**).

**Vadības mērķu formulēšana** domāta modeļa specializācijai no vadības sistēmas izstrādes viedokļa.



1. attēls. BVS modeļa izveides algoritms



Vadības uzdevums tiek risināts, lai apmierinātu vadības mērķu kopu  $G\{g_1, \dots, g_4\}$   
 $G = Fg(b_k, v_s, t)$ , (2)  
 kur  $k=1, K$ ;  $s=1, S$ .

Vadības mērķi  $G$  var būt skaidri formulēti vadības uzdevuma nostādņē vai arī tie ir jāreducē uz konkrētiem sistēmu raksturojošiem parametriem, ja mērķi ir formulēti vispārīgi. Turpmākā detalizētā sistēmas izpēte būs veltīta tikai ar vadības mērķi saistītajiem procesiem, ļaujot samazināt modeļa apjomu līdz minimāli nepieciešamajam.

Modeļa izveide sākas ar topoloģiskās modelēšanas pielietojumu (Osis, 1967). Topoloģiskās modelēšanas pielietojumu nosaka metodes elastīgums attiecībā pret izmaiņām, kas ir īpaši svarīgi nepietiekošas informācijas apstākļos, kas pieprasa iespēju ātri un vienkārši mainīt modeļa struktūru.

**Sākuma statistiskā topoloģiskā modeļa izveide** ir topoloģiskā modeļa

$$M_t = F_t(b_1, \dots, b_k, \dots, b_K; v_1, \dots, v_s, \dots, v_S) \quad (3)$$

pirmā iterācija. Tas nepieciešams kā bāze turpmākajiem ekspertu izteikumiem ekspertu aptaujas stadijā. Sākuma modeli veido pēc literatūras datiem vai piedaloties daļai no vēlāk pieaicināmajiem ekspertiem.

Modeļa tālākā pilnveidošana notiek ekspertiem iteratīvi iestrādājot izmaiņas modelī  $M$ , (Stalidzāns un Markovičs, 2000). Vienības attieksmju matricas un topoloģiskais modelis kā informācijas attēlošanas veidi tiek iteratīvi pielietoti modeļa precizēšanā ar ekspertu palīdzību vispirms individuāli (cikls: **ekspertu individuāls darbs modeļa precizēšanā, ekspertu individuāla pārbaude, vai topoloģiskais modelis apmierinošs?**). Individuālam ekspertu darbam seko **ekspertu salīdzināšana**, lai noskaidrotu, **vai topoloģiskais modelis ir apmierinošs**. Ja tas nav apmierinošs un modelis pēc **atšķirību vērtējuma starp ekspertiem** neizrādās **pamatā pareizs**, sākuma statistiskais topoloģiskais modelis var tikt pārstrādāts.

Ekspertu sniegtās informācijas novērtēšanu pēc ekspertu saskaņas pakāpes veic atkarībā no aptaujas veida: tiešas vērtēšanas vai pāru salīdzinājuma.

Tiešās parametru vērtēšanas gadījumā ekspertu saskaņas pakāpe tiek novērtēta ar konkordācijas koeficienta  $W$ , (Kendall, 1955, Djakova un Krug, 1966) palīdzību pēc formulas

$$W_t = \frac{12 \sum_{i=1}^n \left\{ \sum_{j=1}^m r_{ij} - \frac{1}{2} m(n+1) \right\}^2}{m^2 (n^3 - n)} \quad (4)$$

kur  $n$  – grupā novērtējamo objektu skaits,  
 $m$  – ekspertu skaits  
 $r_{ij}$  –  $i$ -tā objekta rangs pēc  $j$ -tā eksperta viedokļa.

Pāru salīdzināšanas gadījumā ekspertu saskaņas pakāpe tiek noteikta ar konkordācijas koeficienta  $W_p$  palīdzību pēc formulas (Kendall, 1955, Djakova un Krug, 1966):

$$W_p = \frac{4\left(\sum \partial_{lk} - m \sum \partial_{lk} + C_m^2 C_s^2\right)}{m(m-1)s(s-1)} \quad (5)$$

kur  $\partial_{lk}$  - skaitļi pāru salīdzināšanas tabula;  
 $l=1, \dots, s$ ;  $k=1, \dots, s$  - salīdzināmo objektu indeksi;  
 $s$  - salīdzināmo objektu skaits;  
 $m$  - ekspertu skaits;  
 $C_m^2$  - saskaņu skaits no  $m$  pa 2;  
 $C_s^2$  - saskaņu skaits no  $s$  pa 2.

Konkordācijas koeficientu  $W_t$  un  $W_p$  vērtība mainās intervālā  $0 \leq W \leq 1$ , pie kam  $W=0$ , ja starp rangiem nav sakarību un 1, ja visi eksperti ir vienādi ranžējuši objektus. Par pietiekamu konkordācijas koeficienta vērtību pieņemam  $W \geq 0,5$ , kad tiek uzskatīts, ka ekspertu vienprātība ir pietiekoši augsta. Gadījumā, ja konkordācijas koeficienti ir apmierinoši, var izmantot iegūtās vidējās vērtības vai svaru koeficientus.

Ja ekspertu skaits  $m$  ir neliels, katra eksperta loma pieaug. Līdz ar to kāda eksperta vērtējuma neprecizitāte stipri izpaužas vidējā aritmētiskajā vērtībā. Šī efekta novēršanai tiek pielietota cita rezultējošo vērtējumu iegūšanas metodika. Ir zināms, ka ekspertu vērtēšanas būtība ir nezināmas skaitliskas vērtības kā gadījuma vērtības iegūšana, par kuras sadalījumu spriež pēc ekspertu individuālajiem vērtējumiem. Tātad ekspertu viedokļu sākuma datu masīvs jāapstrādā pēc nlatemātiskās statistikas koncepcijām. Maza ekspertu skaita gadījumā vidējā aritmētiskā vērtība nav labākais rezultējošo vērtējumu ieguves veids.

Tādēļ katra  $i$ -tā parametra novērtējumu jānosaka kā vidējās vērtības  $C$  matemātiskā cerība, kas tiek aprēķināta iteratīvi, kur formula  $q$ -tajai iterācijai ir (Voroņin, 1974):

$$C_q = \frac{\sum_{j=1}^m C_j \exp\left[-\frac{1}{2\delta^2} (C_{q-1} - C_j)^2\right]}{\sum_{j=1}^m \exp\left[-\frac{1}{2\delta^2} (C_{q-1} - C_j)^2\right]} \quad (6)$$

kur  $C_j$  - vērtējums, kuru piešķīris  $j$ -tais eksperts ( $i$ -tajam objektam),  
 $C_{q-1}$  - iepriekšējās iterācijas rezultāts,  
 $q=1, \dots, \mu$  - iterācijas,  
 $\delta$  - vidējā kvadrātiskā novirze,  
 $m$  - ekspertu skaits.

Pirmajā iterācijā tiek ieteikts kā pirmo tuvinājumu pielietot vidējo aritmētisko vērtību

$$C_1 = \frac{1}{m} \sum_{j=1}^m C_j \quad (7)$$

un pēc tam, saskaņā ar iterāciju procedūru, atrast vērtējuma precizēto vērtību. Iterāciju process beidzas, kad vērtības izmaiņas starp iterācijām ir mazākas par pieļaujamo kļūdu.

Pēc topoloģiskā modeļa izveidošanas veicama **modeļa ciklu analīze**, kas norāda uz BVS atsevišķiem vadības kontūriem pašā sistēmā.

Ja topoloģiskais modelis  $M$ , pēc ekspertu domām pietiekoši labi attēlo bioloģiskās sistēmas un vides parametru saistību, sistēmas pētniecība jāturpina dinamikā un ir nepieciešama **funkcionālo sakarību ieviešana starp virsotnēm**. Pielietojuma piemēram (ziemojošas bišu saimes mikroklimata regulēšanas modelis) izveidotais topoloģiskais modelis redzams 2. attēlā.

Statiskais topoloģiskais modelis  $M_t = F_t(b_1, \dots, b_K; v_1, \dots, v_S, \dots, v_S)$  tiek homomorfi pārveidots dinamiskā modelī  $M_b = F_b(b_1, \dots, b_K; v_1, \dots, v_S, \dots, v_S; t)$  pielietojot programmpaketi *Powersim Constructor 2.51*. Attēlos 3. un 4. redzami dinamiskā modeļa fragmenti attiecīgi diagrammu un vienādojumu formās. *Powersim Constructor 2.51* programmatūras piemērotību nosaka tās elastīgums attiecībā pret izmaiņām modelī, vienkāršā lietotāja saskarne un iespēja to savienot ar *Microsoft Excel* programmu datu apmaiņai.

Apstākļos, kad nav pieejama pietiekoša informācija par sakarībām starp virsotnēm, par modeļa vērtīgāko pamatinformāciju kļūst droši zināmie dati, kas izsakāmi vienādojumu formā. Tie var kļūt par nekvalitatīvo datu brāķēšanas instrumentu. Nezināmo sakarību vietā nākas sākotnēji ieviest ļoti aptuvenas funkcijas, kas modelēšanas laikā var tikt precizētas.

**Simulācijas modeļa izvide dinamikā** (modelis  $M_b$ ) ietver vienu no atbildīgākajiem darba posmiem - modeļa skaņošanu, no kuras ir atkarīga modeļa līdzības pakāpe ar modelējamajiem procesiem bioloģiskajā sistēmā.

**Simulācijas modeļa verifikācija dinamikā** veicama ar dabā novērotu un reģistrētu datu palīdzību.

Verifikācijas operācija domāta modeļa simulēto datu pareizības pārbaudei. Modeļa novirzes no lauka eksperimentos iegūtiem mērījumiem  $M_1 = F_1(b_1, \dots, b_K; v_1, \dots, v_S, \dots, v_S; t)$  ir nepieciešams minimizēt.

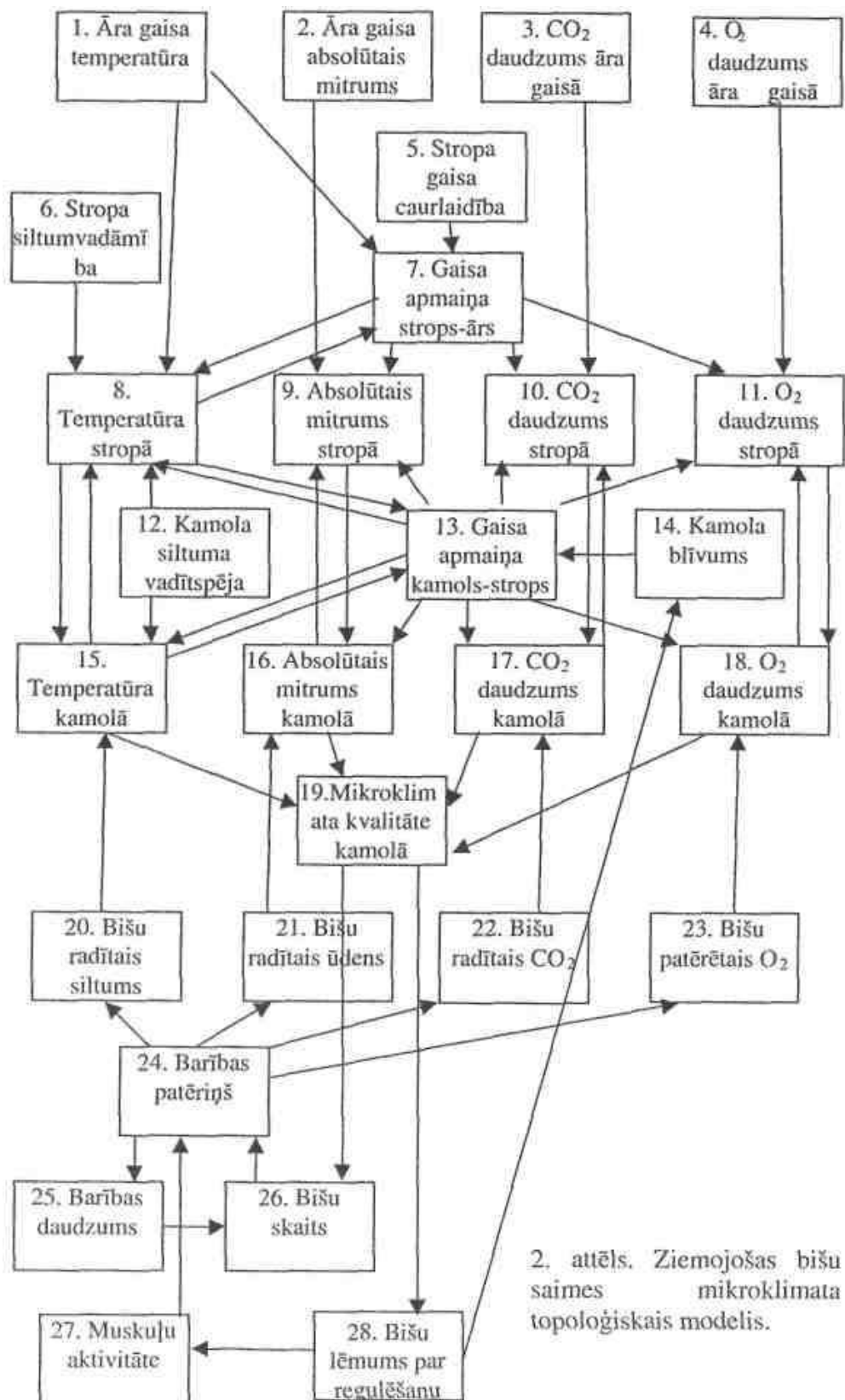
$$\Delta_{ver} \geq |M_b - M_1| = F_b(b_k, v_s, t) - F_1(b_k, v_s, t), \quad (8)$$

kur  $\Delta_{ver}$  - starpība starp lauka mērījumiem  $M_1$  un sistēmas modeli  $M_b$ ,

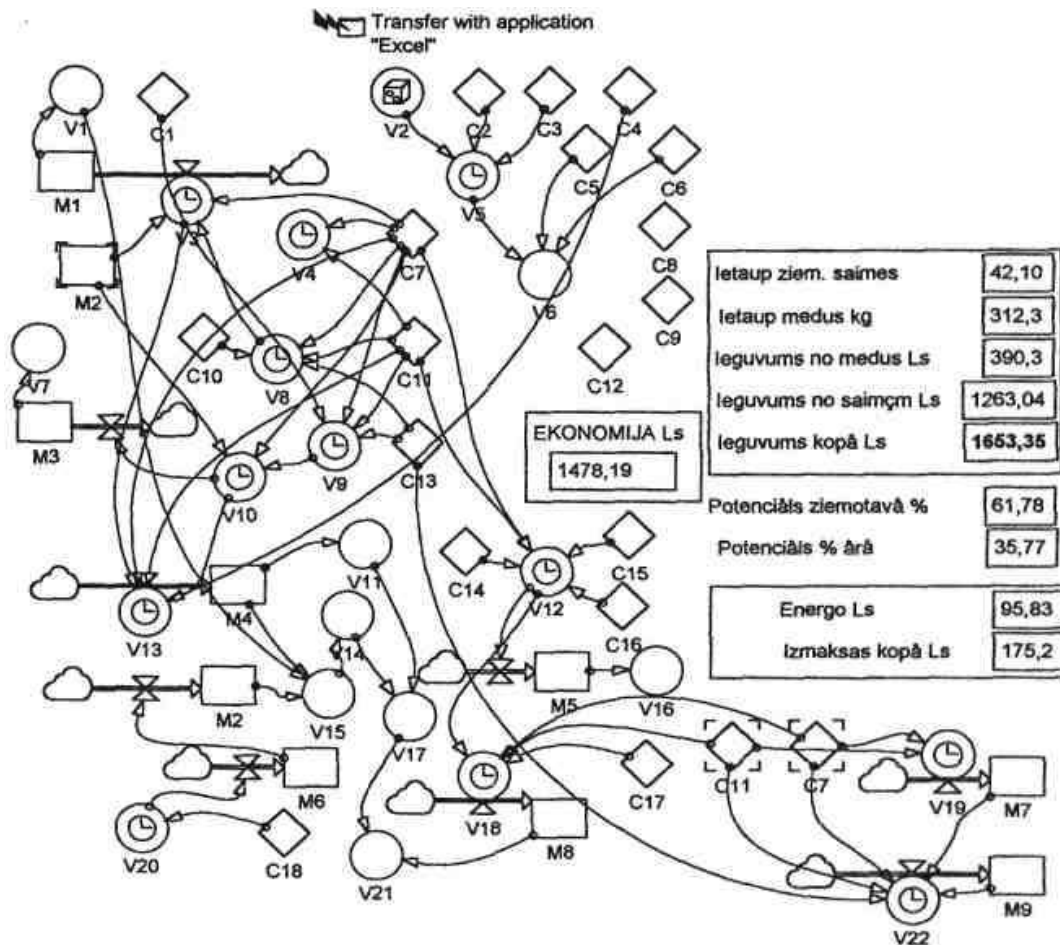
$$k=1, K; s=1, S.$$

Katram kopas B parametram maksimālā pieļaujamā verifikācijas kļūda  $\delta_{mver}$  var tikt uzdots atsevišķi:

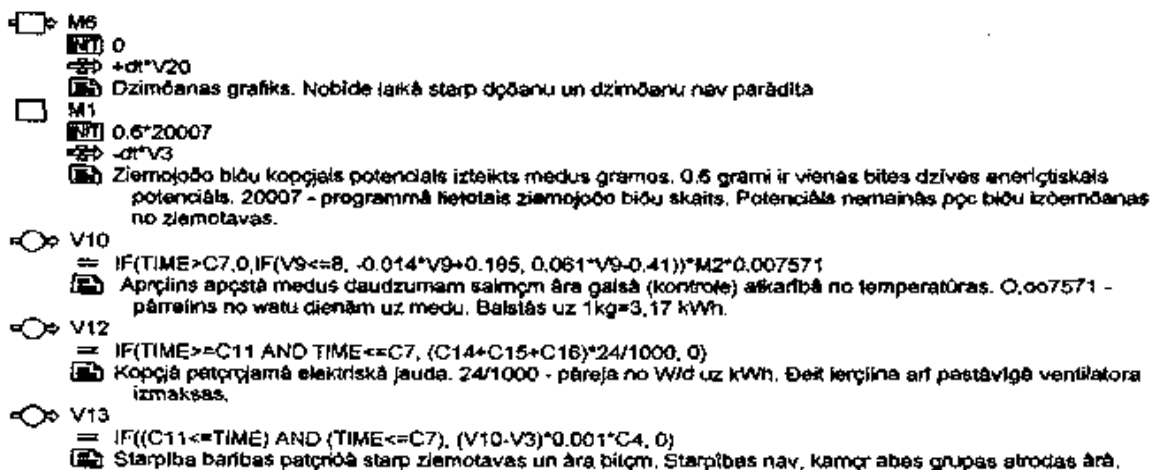
$$\delta_{veri} \geq |F_b(b_k) - F_1(b_k)|, k = 1, K. \quad (9)$$



2. attēls. Ziemujošas bišu saimes mikroklīma topoloģiskais modelis.



3. attēls. Bišu saimes mikroklimata modeļa fragments diagrammu formā (Powersim 2.51).



4. attēls. Bišu saimes mikroklimata modeļa fragments vienādojumu formā (Powersim 2.51).

Verifikācijas operācijai tiek pielietota ar *Powersim Constructor 2.51* savietojamā programmpakete *Powersim Solver 2.0*, kuras galvenā priekšrocība ir *Powersim Constructor 2.51* vidē izveidota modeļa tieša izmantošana bez tā pielāgošanas. Tas nodrošina modeļa elastīgumu, jo BVS modelī izdarītās izmaiņas nav jādublē *Powersim Solver 2.0* vidē.

Novirzes no dabā veiktajiem mērījumiem jācenšas minimizēt pievēršot galveno uzmanību tendenču (augšana, dilšana, stagnācija) salīdzinājumam. Kad starpība starp eksperimentālajiem datiem  $M_1$  un modeļa datiem  $M_b$  kļuvusi mazāka par pieļaujamo  $A_{ver}$ , **BVS modeļa verifikācija** ir veikta un bioloģiskās sistēmas modeli  $M_b = F_b(b_1, \dots, b_k, \dots, b_K; v_1, \dots, v_s, \dots, v_S; t)$  var uzskatīt par izveidotu. Turpmākajās operācijās tas aizstāj bioloģisko sistēmu.

**Pielietojuma piemērs.** Kā BVS modeļa izstrādes pielietojums izstrādāts stropā ziemojošas bišu saimes mikroklimata četru parametru vadības sistēmas topoloģiskais modelis un dinamiskais modelis programmpakete *Powersim Constructor 2.51*. Topoloģiskā modeļa izveidošanai nepietiekošas informācijas apstākļos veikta ekspertu aptauja piedaloties 12 ekspertiem. Tajā pielietotas "prāta vētras" un tiešās novērtēšanas metodes. Demonstrētas metodes funkcionālo sakarību iegūšanai starp virsotnēm nepietiekošas informācijas apstākļos. Dinamiskā modeļa verifikācijai izmantota programmpakete *Powersim Solver 2.0*.

**Trešā nodaļa (Mākslīgās vadības sistēmas (MVS) izveides metodika.)** Bioloģiskās sistēmas vadības realizācijai - sadarbībai ar BVS - nepieciešams izveidot MVS, kas būtu spējīga vadīt pirmo.

MVS parasti ir tehniska sistēma, kuras uzbūve izriet no tai formulētā uzdevuma (minimizācija, maksimizācija, svārstību novēršana vai šo uzdevumu kombinācija bioloģiskās sistēmas parametru kopām).

Vadības uzdevums tiek risināts, lai apmierinātu vadības mērķu kopu  $G\{g_1, \dots, g_q\}$ . Šī algoritma (5. att.) daļa ietver MVS modeļa  $M_c$  izveidi.

$$M_c = F_c(c_1, \dots, c_z, \dots, c_Z; b_1, \dots, b_k, \dots, b_K; v_1, \dots, v_s, \dots, v_S; t) \quad (10)$$

kur  $c_z$  - MVS parametri ( $z = 1, Z$ ).

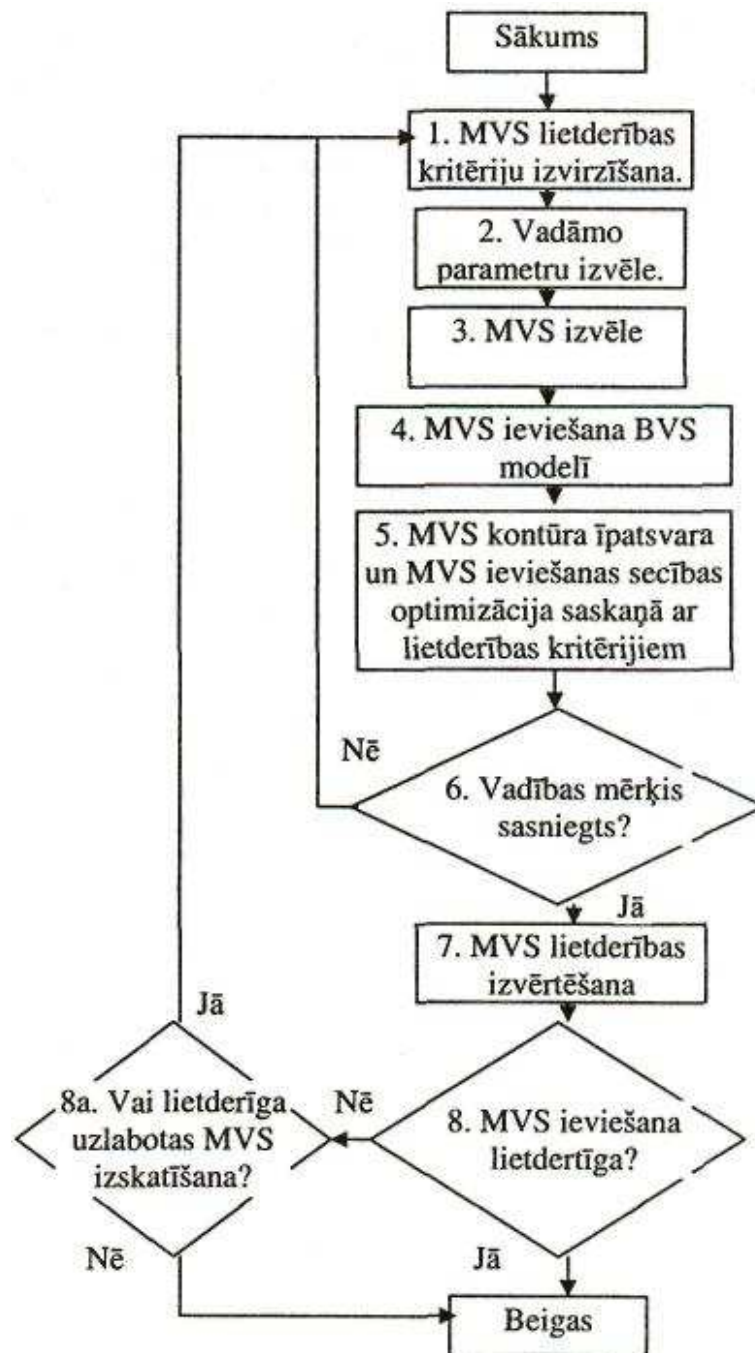
MVS lietderības izpēte šajā posmā notiek neiedziļinoties pārejas procesos, kas prasītu detalizētāku sistēmas analīzi. Algoritmam būtībā ir jānoskaidro, vai MVS ieviešana var būt lietderīga, pieņemot, ka pārejas procesi ritēs bez sarežģījumiem.

**MVS lietderības kritēriji** tiek formulēti uzdevuma nostādņē vai ar ekspertu palīdzību.

Pastāv iespējamo MVS izveides lēmumu kopa  $X$ . Tās pieļaujamie lēmumi  $x_i$ ,  $i = 1, \dots, n$  veido pieļaujamo lēmumu kopu  $D_x$ .

Katra lēmuma kvalitāti vai lietderību vērtē pēc skalāriem kritērijiem  $y_j$ ,  $j = 1, \dots, m$ , kas kopā veido lietderības vektoru

$$Y = (y_1, \dots, y_j, \dots, y_m). \quad (11)$$



5. attēls. MVS izveides algoritms.

Visbiežāk  $Y$  komponentes ir ekonomiskas dabas kritēriji, kas kombinējas ar cita veida kritērijiem. Daži iespējamo kritēriju piemēri, kas var tikt izvirzīti vienlaicīgi: cilvēka darbaspēka minimizācija, ekoloģija, maksimāls mērķa sasniegšanas ātrums, minimālas svārstības ap mērķa lielumu utt.

**Vadāmo parametru izvēli** nosaka galvenokārt tehniskās iespējas - parametra mērāmība un ietekmējamība, kā arī vadības mērķu kopa  $G$  un lietderības vektors  $Y$ .

**MVS izvēles** mērķis ir definēt tehniskos līdzekļus, lai spētu vadīt un kontrolēt izvēlētos parametrus.

**MVS ir nepieciešams ieviest BVS modeli**, lai veiktu ieviešanas lietderības simulācijas. Šajā stadijā modelis var būt pietiekoši vienkāršs, jo detalizētāka tā analīze notiks, ja izrādīsies, ka ieviešana ir lietderīga.

**MVS kontūra īpatsvara un MVS ieviešanas secības optimizācija saskaņā ar lietderības kritērijiem** parasti ir saistīta ar kompromisa meklējumiem, jo ne viss, ko cilvēks var izdarīt vadības mērķu sasniegšanai, atbilst lietderības kritērijiem konkrētā gadījumā.

Lietderības vektors  $Y$  saistīts ar lēmumiem ar atspoguļošanās funkcijas palīdzību

$$F(X)=X \rightarrow Y, \quad (12)$$

kas var būt uzdots analītiski, statistiski vai heuristiski. Jāatrod optimāls risinājums  $X^0$ , kas apmierinātu divus nosacījumus:

1. risinājumam jābūt iespējamam, t.i., tam jāpieder pie pieļaujamo risinājumu kopas  $D_x$ ,
2. risinājumam jābūt vislabākajam tādā nozīmē, ka tam jāoptimizē efektivitātes vektors  $Y(X)$ .

Optimizācijas modeļa vispārīgā forma ir (Borisov, 1972):

$$X^0 = F^{-1}[\text{opt}Y(x)], \\ X \in D_x,$$

kur  $\text{opt}$  - efektivitātes vektora optimizācijas operators,  
 $F^{-1}$  - apvērsta atspoguļošanās  $Y \rightarrow X$ .

Klasiskā vektoriālās optimizācijas teorija ir saistīta ar 3 problēmām.

Pirmā no tām ir optimizācijas principa izvēle, kas nosaka, kādā ziņā optimālais lēmums  $X^0$  ir pārāks par visiem pārējiem pieļaujamiem lēmumiem. Modelī tas nozīmē atšifrēt optimizācijas vektora  $\text{opt}$  būtību, kas noved pie skalāra kritērija, kas savukārt ir lokālo kritēriju funkcija.

Otrā problēma ir lokālo kritēriju normēšana.

Trešā problēma ir lokālo kritēriju svarīguma koeficientu ievērtēšana  $\Lambda = \{\lambda_j\}$ ,  
 $j=1, \dots, m$ .

Pēc optimālā lēmuma  $X$  atrašanās tiek noteikts optimālais MVS modelis  $M_c^0$ .

Lietderības optimizācija tiek veikta pēc MVS kontūra īpatsvara  $X$ , kas izteikts procentos. MVS mērķis parasti ir pārņemt, atvieglot vai veicināt kādu bioloģiskās sistēmas funkciju kādu mērķu realizēšanai. Pieņemot maksimālo tehniski iespējamo MVS efektu par 100% MVS kontūra īpatsvaru ( $X=100\%$ ) un gadījumu, kad MVS vispār netiek ieviesta par  $X=0\%$ , iespējams veikt sistēmas ieviešanas lietderīguma optimizāciju. Viena vai vairāku saskanīgu kritēriju gadījumā optimums var tikt atrasts ar vienkāršām metodēm.

Sarežģītāks kompromisa risinājums jāmeklē situācijās, kad katra lokālā risinājuma kvalitāti vērtē pēc vairākiem (vismaz diviem) kritērijiem, kuri ir savstarpēji pretrunīgi, t.i., ja risinājumam paaugstinās vērtējums pēc viena kritērija, tad pēc otra tas samazinās.



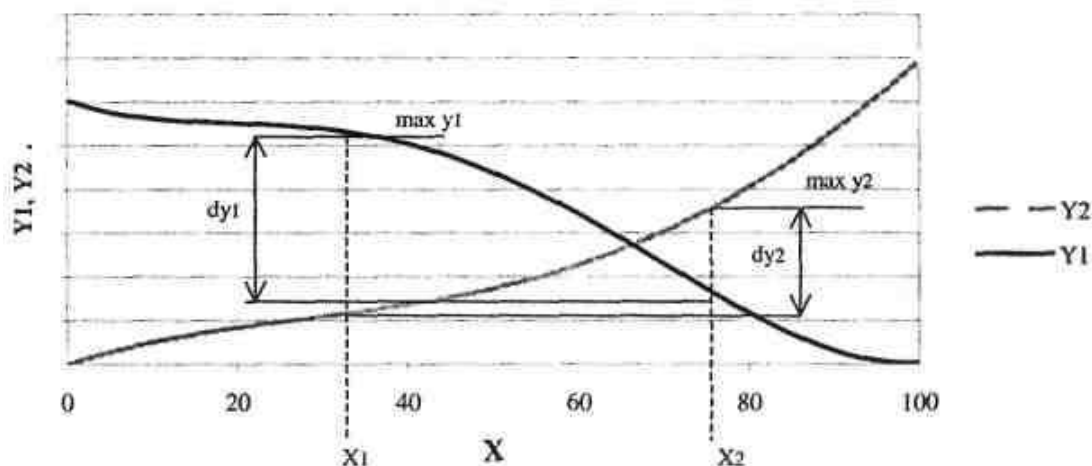
Tā ir tehniskajās zinātnēs pazīstamā vektoriālās optimizācijas situācija, kad jāmeklē globālais optimums kā kompromisa lēmums.

Kompromisa meklēšanai tiek izvēlēts "taisnīgā kompromisa" princips (Borisov, 1972 un Jemeljanov, 1973).

Optimālā risinājuma  $X^\circ$  meklējumos pirmais solis ir kompromisu apakškopas atrašana pēc Pareto. Par kompromisu apakškopu šādā izpratnē pieņemts saukt kopu  $\Gamma_x \in D_x$  apakškopu ar šādu īpašību: risinājumus, kas sastāda šo apakškopu nevar uzlabot uzreiz pēc visiem kritērijiem, kas ietilpst vektorā  $Y$ . Tātad, jebkuriem diviem risinājumiem no  $X_1, X_2 \in \Gamma_x$  piemīt pretrunīgi vērtējumi kaut vai pēc viena no lokālajiem kritērijiem. Ja neievēro šo nosacījumu, tad optimuma meklēšana pārvēršas par vienkāršu maksimuma meklēšanu saskaņīgo kritēriju telpā.

Otrais solis ir optimālā risinājuma  $X^\circ$  atrašana apakškopā  $\Gamma_x$ . Taisnīgā kompromisa metode vispārīgā veidā nosaka, ka kompromiss (konkrēts risinājums) ir taisnīgs tad, kad tā relatīvās kvalitātes pieaugums pēc viena kritērija nepārsniedz relatīvās kvalitātes pazeminājumu pēc cita kritērija.

Šīs tēzes pielietojumu divu risinājumu  $X_1$  un  $X_2$  salīdzināšanai var ilustrēt ar 6. att., kur parādīti risinājumu kopas  $\Gamma_x$  kvalitātes vērtējumi pēc lokālajiem kritērijiem  $y_1$  un  $y_2$ .



6. attēls. Taisnīga kompromisa principa ģeometriskā interpretācija.

Šajā piemērā risinājums  $X_1$  ir kvalitatīvāks par  $X_2$  pēc kritērija  $y_1$ , un mazāk kvalitatīvs pēc kritērija  $y_2$ . Bet kopumā risinājums  $X_1$  ir kvalitatīvāks par  $X_2$  tikai tad, ja  $Y(X_1) > Y(X_2)$ .

Lai salīdzinātu abus risinājumus, izmanto rādītājus

$$\chi_1 = \frac{dy_1}{\max_{x_1, x_2} y_1(x)} \text{ un } \chi_2 = \frac{dy_2}{\max_{x_1, x_2} y_2(x)}, \quad (13)$$

kur  $dy_1$  un  $dy_2$  - kvalitātes vērtējuma izmaiņas pēc kritērijiem, pārejot no viena risinājuma uz otru.

Ja  $\chi_1 > \chi_2$ , priekšroka tiek dota risinājumam  $X_1$ , jo kvalitātes samazinājums  $dy_1$  ir lielāks nekā kvalitātes pieaugums  $dy_2$ , ja iet no risinājuma  $X_1$  uz risinājumu  $X_2$ . Pieminētajām izteiksmēm atbilst optimizācijas modelis

$$X^0 = F^{-1}[\max_j \prod_j y_j(x)] \quad (14)$$

vai

$$X^0 = F^{-1}[\max_{x \in \Gamma_x} \sum_j \log y_j(x)], \quad (15)$$

kas lietojams, ja visi lokālie kritēriji ir vienlīdz svarīgi. Ja kritēriji nav vienlīdz svarīgi, bet tiem zināmi svarīguma koeficienti  $\Lambda = (\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_n)$ , tad optimizācijas modelis ir

$$X^0 = F^{-1}[\max_{x \in \Gamma_x} \prod_j y_j^{\lambda_j}(x)] \quad (16)$$

vai

$$X^0 = F^{-1}[\max_{x \in \Gamma_x} \sum_j \log^{\lambda_j}(x)] \quad (17)$$

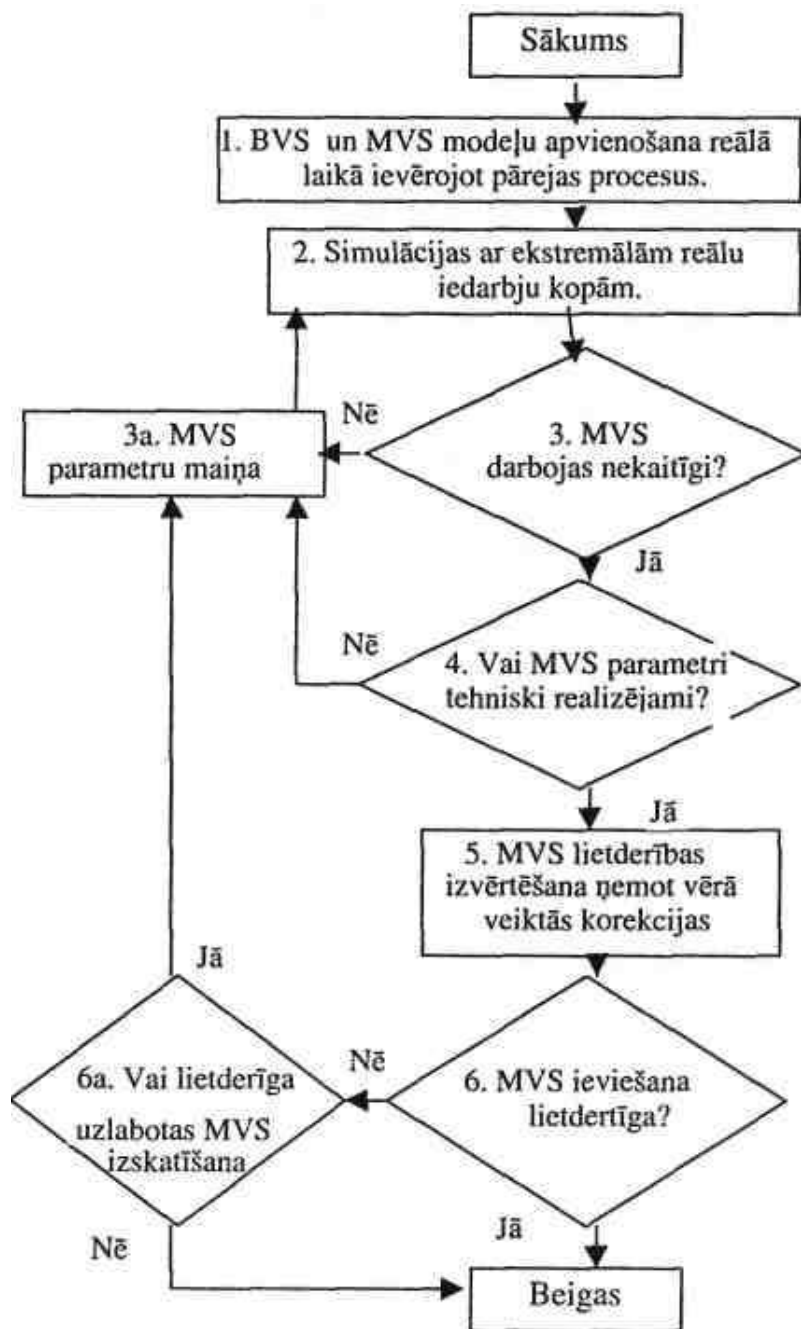
Pēc MVS kontūra īpatsvara optimizācijas ( $X^0$  atbilstošā MVS modeļa  $M_c^\circ$  atrašanās) BVS un MVS sadarbība atkārtoti jāanalizē veicot simulācijas ar optimizēto MVS ( $M_c^\circ$ ), lai noskaidrotu, **vai stādītais vadības mērķis tiek sasniegts.**

Pēc optimizētās **MVS lietderības izvērtēšanas** var izrādīties nepieciešama **tālāka MVS uzlabošana**. Pretējā gadījumā MVS izveide un tās lietderības optimizācija ir pabeigta un jāsāk darbs ar BVS un MVS vadības kontūru saskaņošanu pārejas procesos.

**Pielietojuma piemērs.** Izstrādāta MVS bišu saimju ziemināšanai ziemotavā ar četriem vadāmiem mikroklimata parametriem. Sistēma optimizēta pēc pretrunīgiem lietderīguma kritērijiem - prognozētās peļņas un MVS vienkāršības. Izstrādātajā MVS modelī ir maināmi 10 ziemināšanas parametri.

**Ceturtnā nodalā (BVS un MVS darbības saskaņošanas metodika.)** Ja MVS ieviešana ir izrādījies lietderīga, nepieciešams nodrošināt BVS un MVS stabilu darbību tā, lai tiktu sasniegts vadības mērķis un pārejas procesos netiktu bojāta vai iznīcināta pati vadāmā sistēma. Algoritms parādīts 7. attēlā.

Lai novērtētu vadības procesu, nepieciešama **BVS un MVS modeļu apvienošana reālā laikā ievērojot pārejas procesus.**



7. attēls. BVS un MVS darbības saskaņošanas algoritms.

Pēc modeļu apvienošanas nepieciešamas **simulācijas ar ekstremālām reālu ārējo iedarbju kopām**. Ekstremālas ārējās iedarbes no pārejas procesu viedokļa ir gadījumi, kad vides parametri  $V$  mainās ar maksimālu ātrumu un līdz ar to pieprasa arī ātru BVS reakciju, kura dabīgos apstākļos lielākajā daļā gadījumu spēj nodrošināt sistēmas izdzīvošanu.

Ja bioloģiskā sistēma tiek vadīta, MVS jābūt pareizi projektētai ekstremālām ārējo parametru izmaiņām. BVS un MVS sadarbojoties sistēma nedrīkst tikt bojāta.

Par **MVS darbības nekaitīguma** kritērijiem  $J=\{j_i, \dots, j_h\}$  var izvirzīt sistēmas parametru izmaiņu pieļaujamo diapazonu dabīgos apstākļos, t.i. bez MVS ietekmes. Ierobežojumi var būt doti arī uzdevuma formulējumā:

$$J=F_j(b_k) \quad (18)$$

Ja simulācijas ar ekstremālām ārējo iedarbju kopām bioloģiskās sistēmas parametri neiziet ārpus dabīgos apstākļos novērojamā diapazona, BVS un MVS sadarbību var uzskatīt par nekaitīgu. Protams, nekaitīguma kritēriji var atšķirties savā interpretācijā atkarībā no uzdevuma specifikas, jo pat bioloģiskās sistēmas nonāvēšana var tikt uzstādīta kā MVS uzdevums (piemēram, kaitēkļu populācijas iznīcināšana).

Gadījumā, ja nekaitīguma kritēriji netiek apmierināti, nepieciešams veikt **MVS parametru maiņu**, kamēr sistēma kopumā atbilst nekaitīguma kritērijiem simulāciju līmenī. Pēc nekaitīguma nodrošinājuma ir jāpārbauda, **vai jaunie MVS parametri ir tehniski realizējami**. Ja MVS realizācija jāmaina, lai sasniegtu simulācijas atrastos parametrus, nepieciešama atkārtota **MVS lietderības izvērtēšana ņemot vērā veiktās korekcijas**. Iespējamie **MVS ieviešanas lietderības** izvērtēšanas rezultāti var būt 1) nepieciešami **tālāka MVS uzlabošana** mēģinot panākt sistēmas nekaitīgumu un lietderību, 2) secinājums, ka uzdevums nav izpildāms un turpmāki meklējumi nav lietderīgi vai arī 3) secinājums par MVS izveides uzdevuma veiksmīgu izpildi.

**Pielietojuma piemērs.** Izveidots BVS un MVS sadarbības simulācijas modelis programmpakete Powersim Constructor. Ar programmpaketes Powersim Solver palīdzību atrasti MVS parametri, kas apmierina nekaitīguma kritērijus.

### Piektā nodaļa (Slēdziens.)

Aprakstīti darba galvenie rezultāti (skat. nodaļu šajā kopsavilkumā).

Apkopoti secinājumi par darba vērtību un attīstības perspektīvām:

- 1) Uz modelēšanu balstīta vadības sistēmas izstrāde bioloģiskas sistēmas gadījumā samazina vadības izstrādei nepieciešamo laiku un līdzekļus pārnesot ievērojamu daļu vadības sistēmas skaņošanas no lauka eksperimentiem uz simulācijām. Ne mazāk svarīga ir kompleksā izpratne par vadības problēmu, ko sniedz modelis konkrētam gadījumam.
- 2) Īpaši nozīmīga izstrādātā metodika ir gadījumos, kad pētāmās sistēmas sarežģītība vai informācijas trūkums nosaka lielāka skaita datorspeciālistu un biologu sadarbības nepieciešamību un koordināciju. Modeļu sastādīšanas algoritmi ļauj gan zināšanu inženierim, gan ekspertam veikt savu modeļa veidošanas procedūru minimizējot citu speciālistu subjektīvo ietekmi.
- 3) Metodika ļauj ātri un vienkārši ieviest jaunākos pieejamos zinātnes faktus par modelējamo sistēmu, ko nodrošina gan topoloģiskās modelēšanas, gan pielietojamās simulācijas programmpaketes elastīgums.
- 4) Izstrādātajai metodikai plaša pielietojuma sfēra paveras rūpniecības nozarēs - biotehnoloģijā, farmācijā, pārtikas rūpniecībā, lauksaimniecībā.
- 5) Metodika var tikt pielietota darbojošos bioloģisko sistēmu vadības sistēmu darbības novērtēšanai un iespējamai optimizācijai.

- 6) Metodika var tikt pielāgota kompleksu bioloģisko sistēmu mijiedarbības izpētei, lai novērtētu kādu cilvēka plānotu vai jau veiktu darbību sekas arī bez vadības nolūkiem.
- 7) Tālākā metodikas attīstība varētu tikt virzīta uz vairāku bioloģisku sistēmu kompleksu vadību - izveidojot vadības sistēmu mērķu realizācijai vairākās bioloģiskās sistēmās realizējot dažādus mērķus attiecībā pret tām, piemēram: veicināt kādas sugas vairošanos vienlaikus mērķtiecīgi kaitējot citai - nevajadzīgai sugai, kompleksi atveseļot vidi).
- 8) Interesants virziens var izrādīties metodika vienas bioloģiskas sistēmas vadībai ar citas bioloģiskas sistēmas palīdzību, tādējādi neizmantojot cilvēka radīto mākslīgo vadības sistēmu, piemēram: kaitēkļu apkarošana ar bioloģiskām metodēm.

### **Izmantotā literatūra**

1. Antamonov J. G., Bioloģisko sistēmu modelēšana. Rokasgrāmata. [Modelirovanije bioloģičeskikh sistem. Spravočnik.] (krievu vai.) Kiev, Naukova Dumka, 1977, 260 lpp.
2. Ārgalis J., Balode K., Bembere M., Eglītis O., Galenieks F., Kamola V., Kornets A., Kriškāns T., Skudina M., Šmite R. 1970. Biškopība, Rīga, izd. Zvaigzne, 488 lpp.
3. Bolchi Serini, G.; Sacchi, L.; Sperafico, M. Observations on the pattern of temperature in colonies of *Apis mellifera* L. (Hymenoptera Apidae). In. Proceedings of the Italian Section of the IUSSI June 8-10, 1995.
4. Borisov V.I. Vektoriālās optimizācijas problēmas. Operāciju pētīšana (metodoloģiskie aspekti), [Problēmi vektoriālnoji optimizacii (Metodoloģičeskije aspekti)] (krievu val.) Maskava, Zinātne, 1972, 72-91 lpp.
5. Brikman M.S. Stāvokļu telpas metode mūsdienu vadības teorijā. Mācību līdzeklis. [Metod prostranstva sostojanij v sovremennoj teorii upravlenija. Učebnoje posobie.] (krievu val.) Rīga, RPI, 1982, 53 lpp.
6. Chuda-Mickiewicz B., Prabucki J. Temperature in winter cluster bee colony wintering In a hive of cold comb arrangement. *Pszczelnicze Zestyty Naukowe*, No.2,1996, 71-79 lpp.
7. Crane E., The worlds beekeeping - past and present. // In: *Hive and Honey Bee* edited by Joe M. Graham - Hamilton, Illinois: Dadant&Sons, 1992, 1-22 lpp.
8. De Grandi-Hoffman G., Roth S.A., Loper G.L., Ericson E.H. Jr. 1989. BEEPOP: a honeybee population dynamics simulation model. *Ecological Modelling*, 45, 133-150 lpp.
9. Djakova N. Krug G. Rangu korelācijas metožu pielietojums kvalitatīvas informācijas apstrādē. [Primenenije metodov rangovoj korelacji dļa obrabotki kačestvennoj informacii.] (krievu val.) Krājumā: Trudi Moskovskogo ordena Ļeņina Energetičeskogo instituta, izlaidums 69. Maskava, MEI, 1966, 7-28. lpp.
10. Domeika P. Kurlavicius A. Precision Farming: an Information Approach. *Information Technologies and Telecommunications for Rural Development*. Jelgava, May 6-7, 2004. 7-17 lpp.
11. Fingler B. Small D. Indoor wintering in Manitoba. *The Manitoba Beekeeper* Fall, 1982, 7-20 lpp.

12. Furgala B., McCutchenon D.M. Wintering productive colonies // In: *Hive and Honey Bee* edited by Joe M. Graham - Hamilton, Illinois: Dadant&Sons, 1992 - p. 829-868 lpp.
13. Gareev A.N. Cik baribas patere saime ziema. [Skolko korma semja rashodujet za zimu.] (krievu val.) *Pcelovodstvo*, 1969, No.2, 22 lpp.
14. Gregg A.L., M.A., M.D., M.Ch. *The philosophy and practice of bee-keeping*. Kent, Bee craft LTD, 1949, 240 lpp.
15. Hansen J., Andersson B., Hermansen A. NEGFY-A system for scheduling chemical control of late blight in potatoes. *EAPR Phytophthora 150 Sesquicentennial Scientific Conference*, Dublin, 1995. 201-208 lpp
16. Hansen J. G. Field specific and regional warning for development of potato late blight. *Proceedings from Workshop: European Network for development of an integrated control strategy of potato late blight*, PAV -special report No. 3, 1998, 125-136 lpp.
17. Harris J.L. A model of honeybee colony population dynamics. *J. of Apicultural Research*, 1985, 24 (4); 228-236 lpp.
18. Harris R., *Whats new in Satellite Technology? Potato Review*, May/June 1997, 4-7 lpp.
19. Heinrich B. How the honey bee regulates its body temperature. *Bee World* 77(3): 1996, 130-137 lpp.
20. Jemeljanov S. V. u.c. Vektoriālās optimizācijas modeļi un metodes. *Tehniskā kibernetika (zinātnes un tehnikas kopsavilkums) [Modeļi I metodi vektorņoj optimizacijā. Tehniķeskajā kibernetikā]* (krievu vai.), 5. Sēj., 1973, 386-448 lpp
21. Jeskov J. K. Bišu mājokļa mikroklimats. [Mikroklimat pcelinogo zilischa.] (krievu vai.) Maskava, Rosselhozizdat, 1983, 191 lpp.
22. Jeskov J. K. Medus bites ekoloģija. [Ekoloģija medonosņoj pceli.] (krievu vai.) Maskava, Rosagropromizdat, 1990, 224 lpp.
23. Kanalfakt ventilatori un piederumi. *Katalogs. [Kanalfakt ventilatori I prinadležnosti. Katalog.]* (krievu val.), 1999. UAB Alitas, Vilnius, Lithuania, 243 lpp.
24. Kendall, M.G. *Rank Correlation Methods*. New York, 1955.
25. Kronbergs E., Rivža P., Bože Dz. *Augstākā matemātika. Divās daļās 1. Daļa*, Rīga, Zvaigzne, 1988.
26. Laurs A. *Precision livestock farming in Latvia. Information Technologies and Telecommunications for Rural Development*. Jelgava, May 6-7, 2004. 38-42 lpp.
27. Lisenkov A.N. Daudzfaktoru medicīniski-bioģisko eksperimentu matemātiskās metodes un plānošana. [Matemāteskije metodi I planirovanije mnogofaktornih mediko-bioģiķeskikh eksperimentov.] (krievu vai.) Moskva, Medicina 1979, 343 lpp.
28. Markoviča I. Arteriālās hipertenzijas patoģenētisko variantu identifikācija ar to patoģenēzes grafmodelēšanas palīdzību. *Disertācija medicīnisko zinātņu doktora kandidāta pakāpes iegūšanai. [Identifikācija patoģenētiskih variantov arterialņoj gipertenzii na osnove grafmodelirovanija ih patoģeneza. Dissertācija na coiskanije stepeni kandidāta medicīniskih nauk]* (krievu vai.), Riga, 1989, 184 p.
29. Markoviķs Z. *Sarežģītu objektu matemātiskais modelis diagnostikas nolūkos*. Disertācija, Rīga, RTU 1970.

30. Mašutin J. K. Vektoriālās optimizācijas metodes un modeļi. [Metodi i modeļi vektornoj optimizacii.] (krievu vai.) Moskva. Nauka, 1986.
31. McLellan A.R., Rowland C.M., Fawcett R.H. A monogynous insect worker population model with particular reference to honeybees. *Insectes Sociaux*, Paris, 1980, 27, 4, 305-311 lpp.
32. Mihalik J. Highly efficient production system for beekeeping. *Apiacta*, 1980, 15, 4, 145-151 lpp.
33. Dažu bioloģisku sistēmu organizācijas strukturāli - funkcionālie modeļi. [Modeļi strukturno-funkcionalno organizacii nekotorih biologičeskih sistem.] (krievu val.) Red. Gelfand, Gurfinkel, Fomin, Cetlin. Moskva. Nauka, 1966, 323 lpp.
34. Naylor, C. Build your own expert system. John Wiley & Sons Ltd., Chichester, 1987.
35. Osis J., Kontroles punktu minimizācija. [Minimizacija toček kontrolja.] (krievu vai.) Krājūmā: Avtomatičeskoje upravlenije. Rīga, Zinātne, 1967.
36. Osis J., Sistēmu funkcionēšanas topoloģiskais modelis. Automātika un skaitļošanas tehnika. [Topologičeskaja modelj funkcionirovanija sistem. Avtomatika I vičeslitel'naja tehnika.] (krievu val.) Rīga, Zinātne, 1969.
37. Osis J., Sarežģītu sistēmu funkcionēšanas matemātiskais apraksts. Kibernētika un diagnostika. [Matematičeskoje opisanije funkcionirovanija složnih sistem. Kibernētika I diagnostika.] (krievu vai.) Rīga, Zinātne, 1970, 7-14 lpp.
38. Osis J., Automātiskā vadība un regulēšana. Rīga, Zvaigzne, 1979.
39. Osis, J.J.; Gelfandbein, Z.P.; Markovitch, Z.P.; Novozilova, N.V. Diagnostika ar digrafu modeļiem. [Diagnostics by Digraphs Models] (krievu val.). Transport, Moscow, 1991.
40. Ore, O. Theory of graphs. American Mathematical Society, 190 Hope Street, Providence, Rhode Island, 1962.
41. Pēteris Rizga Dzīvē un darbā J. Āboliņa red. Rīga, Zinātne, 1985, 190 lpp.
42. Petuhov S.V. Dzīvās dabas ģeometrijas un pašorganizācijas algoritmi. [Geometrii živoi prirodi I algoritmi samoorganizacii.] (krievu val.) Znanie, Moskva, Journal Matemātika kibernetike. 1988/6, 48 lpp.
43. Popravko S., Par saimju ražības faktoru novērtēšanu. [K očenke faktorov produktivnosti semji] (krievu val.) Pchelovodstvo, 1980, No.7, 7-9 lpp.
44. POWERSIM Academic Software Products. [www.powersim.com/technology/academic/asp](http://www.powersim.com/technology/academic/asp)
45. The Prairies Beekeeping Manual. Prepared by D. C. Murrell and D. N. McDonald., Co-published by the provinces of Alberta, Saskatchewan and Manitoba. 1986, 97 lpp.
46. Renshaw, E. Modelling biological populations in space and time. Cambridge University Press. 1995, 397 lpp.
47. Rowland C.M., McLellan A.R. Simple mathematical models of brood production in honeybee colonies. *J. of Apicultural Research*, 1982, 21, 3, 157-160 lpp.
48. Ruttner F., Queen rearing. Apimondia Publishing House, Bucharest, Romania, 1983.
49. Ribočkin A.F., Zaharov I.S. Datorsistēmas biškopībā: monogrāfija. (Kompjuterņije sistemi v pčelovodstve: Monogrāfija] (krievu val.) Kursk gos. Tehn. Un-t.; Kursk Humanit.-tehn. Inst. Kursk, 2001. 415 lpp.
50. Savickij V.E. Ziemas kamola siltumapmaiņa. [Teploobmen zimnego kluba.] (krievu val.) Pchelovodstvo 1976, 10, 4 lpp.

51. Schley P., *Praktische Anleitung zur instrumentellen Besamung von Bienenköniginnen*. Selbstverlag, Pohlheim, West Germany, 1983.
52. Schmidt B., *The modelling of human behaviour*. SCS-Europe BVBA, Ghent, Belgium, 2000.
- 53.53. Sewerson D.W., Erickson E. J. Jr. Quantification of cluster size and low ambient temperature relationships in the honey bee. *Apidologie*, 1990, 21:135-142 lpp.
54. Southwick, E.E. "Physiology and social physiology of the honey bee." In *The Hive and the Honey Bee*, Joe M. Graham, ed. Dadant & Sons, Hamilton, Illinois, 1992, 171-196 lpp.
55. Sumpter D., Broomhead D. Relating individual behaviour to population dynamics. *Proc. R. Soc. London B*, 2001, 268, 925-932 lpp.
56. Sumpter D., Broomhead D. Shape and Dynamics of Thermoregulating Honey Bee Clusters. *Journal of Theoretical Biology*, 2000, 204, p. 1-14 lpp.
57. Stinrod N., Cinn U. *Pervije ponjatija topologii*. Moskva, Mir, 1967, 223 lpp.
58. Trifonov A. D. *Siltuma un masu pārnese bišu dzīvē*. [Teplo- i massoperenos v zizni pcel.] (krievu val.) Moskva, Istra, 1997. 110 lpp.
59. Ulanowski V.A. Wintering and terms of bee breeding. *Pchelovodstvo*, 1987, Nr 8, 6-8 lpp.
60. Vilde A. Rucins A. Skrastins M. Precision Agriculture in Europe and Latvia. Trends, results, problems and visions. *Information Technologies and Telecommunications for Rural Development*. Jelgava, May 6-7, 2004. 78-84 lpp.
61. Voronin A. N., *Ekspertu datu masīva apstrādes metode*. [Metod obrabotki massiva dannih ekspertnih ocenok.] (krievu val.) Krājūmā: Ergaticeskije sistemi upravlenija. Kijeva, Naukova dumka, 1974, 97.-103. lpp.
62. Winston M.L., *The honey bee colony: life history: The Hive and The Honey Bee*, Dadant&Sons, Hamilton, Illinois, 1992, 73-101 lpp.