

**RĪGAS TEHNISKĀ UNIVERSITĀTE**  
Mašīnzinību, transporta un aeronautikas fakultāte  
Aeronautikas institūts

**Andris VAIVADS**

Doktora studiju programmas «Transports» doktorants

**Lidojumu drošības un regularitātes uzlabošana  
aviokompānijā, pamatojoties uz gaisa kuģu  
tehnisko ekspluatācijas procesu uzlabošanu**

Promocijas darba kopsavilkums

Zinātniskais vadītājs:  
profesors *Dr. habil. sc. ing.* V. Šestakovs

**Rīga 2016**

A. Vaivads: Lidojumu drošības un regularitātes  
uzlabošana aviokompānijā, pamatojoties uz  
gaisa kuģu tehnisko ekspluatācijas  
procesu uzlabošanu  
Promocijas darba kopsavilkums.  
– Rīga: RTU Izdevniecība, 2016, – 36 lpp.

Iespiests saskaņā ar RTU promocijas padomes «RTU P-22»  
2016. gada 10. marta lēmumu,  
protokols Nr. 1/2016



EIROPAS SAVIENĪBA

Šis darbs izstrādāts ar Eiropas Sociālā fonda atbalstu projektā «Atbalsts RTU doktora studiju īstenošanai».

## PROMOCIJAS DARBS

### IZVIRZĪTS INŽENIERZINĀTŅU DOKTORA GRĀDA IEGŪŠANAI

#### RĪGAS TEHNISKAJĀ UNIVERSITĀTĒ

Promocijas darbs inženierzinātņu doktora grāda iegūšanai tiks publiski aizstāvēts 2016. gada 4. jūlijā plkst. 14.30 Rīgas Tehniskās universitātes Aeronautikas institūtā, Lomonosova ielā 1A, k-1, 218 auditorijā.

#### OFICIĀLIE RECENZENTI:

Profesors *Dr. habil. sc. ing.* Martiņš Kleinhofs

Rīgas Tehniskā universitāte, Latvija

Profesors *Dr. habil. sc. ing.* Aleksandrs Andronovs

Rīgas transporta un sakaru institūts, Latvija

Profesors *Dr. habil. sc. Ing.* Jonas Stankūnas

Viļņas Ģedimina Tehniskā universitāte, Lietuva

#### APSTIPRINĀJUMS

Apstiprinu, ka esmu izstrādājis šo promocijas darbu, kas iesniegta izskatīšanai Rīgas Tehniskajā universitātē inženierzinātņu doktora grāda iegūšanai. Promocijas darbs zinātniskā grāda iegūšanai nav iesniegts nevienā citā universitātē.

Andris Vaivads ..... (Paraksts)

Datums: .....

Promocijas darbs ir uzrakstīts latviešu valodā, tajā ir ievads, četras nodaļas, secinājumi, literatūras saraksts ar 98 atsaucēm, pieci pielikumi, 19 zīmējumu un ilustrācijas, 27 tabulas. Kopā – 128 lappuses.

## SATURS

### PĒTNIECĪBAS DARBA VISPĀRĪGS APRAKSTS

Pētījuma aktualitāte	6
Pētījuma mērķis	7
Pētījuma uzdevumi	7
Pētījuma metodes	7
Zinātniskā novitāte	7
Pētījuma rezultāti	8
Pētījuma praktiskā nozīme	8
Aizstāvamās tēzes	9
Darba apstiprināšana	9
Darba struktūra un anotācija	11
<b>PROMOCIJAS DARBA SATURS</b>	<b>12</b>

1. nodaļa. Gaisa kuģu tehniskās apkopes organizācijas teorētiskā un faktiskā stāvokļa izskatīšana	12
2. nodaļa. Aviokompānijas gaisa kuģu tehniskās apkopes procesu matemātisko modeļu izstrāde	15
2.1. Tehniskās ekspluatācijas modelis	15
2.2 Gaisa kuģa sagatavošanas lidojumam visaptverošs modelis	16
2.3 Matemātisko modeļu pārbaude	17
2.4 Gaisa kuģa sagatavošanas lidojumam visaptveroša modeļa pārbaude	22
3. nodaļa. Matemātiskā modeļa izstrādāšana, kas raksturo gaisa kuģa statusu lidojuma laikā	24

3.1 Modeļu izmēģināšana	28
4. nodaļa. Matemātiskā modeļa izstrādāšanā optimālai sistēmai, lai kontrolētu gaisa kuģa sagatavošanu lidojumam	30
4.1 Modeļu izmēģināšana	33
<b>SECINĀJUMI</b>	<b>35</b>

## PĒTNIECĪBAS DARBA VISPĀRĪGS APRAKSTS

### Pētniecības darba aktualitāte

Svarīgākais aviokompānijas kvalitātes rādītāis ir lidojuma drošība un regularitāte. Izlidošanas un ielidošanas kavējumi aviokompānijai rada papildu izmaksas, kas saistītas ar soda kompensācijām pasažieriem, kravas nosūtītājiem un saņēmējiem, kā arī lidostām, ja kavējumu izraisījusi pati aviokompānija. Šie tieši un netieši zaudējumi un to sekas samazina aviokompānijas ekspluatācijas efektivitāti. Ik pa laikam katrai aviokompānijai var gadīties lidojuma kavējums dažādu neparedzamu situāciju dēļ (kompānijas procedūru neievērošana). Lidojuma kavējumiem ir ekonomiskas un sociālas sekas. Neparedzētas situācijas rada lidojumu kavējumus un regularitātes sliekšņa pārkāpšanu. Kavējumi palielina laika posmu, cik ilgi lidmašīna atrodas uz zemes, un tas ietekmē nākamo plānoto lidojumu un aviokompānijas ražošanas nodaļas darba koordināciju, dažos gadījumos – arī citu aviokompāniju darbību, kā arī rada sociālas sekas. Tāpēc, lai nodrošinātu aviokompānijas funkcionālo kvalitāti un palielinātu konkurētspēju, nepieciešama attiecīga organizatoriska struktūra, kas būtu visefektīvākā. Pasažieru skaita pieaugumu var nodrošināt tikai augsts drošības, regularitātes, punktualitātes un servisa kultūras līmenis. Pašreizējā tirgus situācijā liela nozīme ir arī piedāvātā servisa izmaksām. Viena no svarīgākajām lidmašīnas ekspluatācijas sastāvdaļām ir tās tehniskā apkope. Lidmašīnas tehniskās apkopes process ievērojami ietekmē drošības līmeni un ekspluatācijas intensitāti, kā arī kopumā samazina ceļošanas izmaksas ceļošanai. Tāpēc viens no galvenajiem uzdevumiem civilajā aviācijā ir lidmašīnas tehniskās apkopes efektivitāte. Gadu gaitā šis uzdevums kļūst arvien grūtāks, ņemot vērā gaisa kuģu tipu daudzveidību, lidmašīnas ekspluatācijas laika palielināšanos, vecā un jaunā tipa lidmašīnu kombinēto ekspluatāciju. Tajā pat laikā katra aviokompānija tiecas samazināt lidmašīnas atrašanās laiku uz zemes, lai palielinātu lidmašīnas efektīvas izmantošanas laiku. Tas var radīt lidmašīnas tehniskās apkopes kvalitātes līmeņa samazināšanos, kas savukārt palielina lidmašīnas un to sistēmu atteikumu skaitu, palielina izmaksas un samazina drošības un regularitātes pakāpi. Lai lidmašīnu sagatavotu lidojumam, tiek iesaistītas vairākas aviokompānijas un lidostas nodaļas. Izpildītā darba analīze parāda, cik svarīgu vieta ir procedūras ātrai darba uzdevumu risināšanai, it īpaši nestandarta un kritiskās situācijas. Neefektīvi darba uzdevumu risinājumi un darbs ar esošajām tehnoloģijām noved pie organizatoriskiem un tehnoloģiskiem noteikumu pārkāpumiem un samazina darba kvalitāti. Tāpēc nepieciešama zinātnisko metožu izstrāde un ieviešana reālajā dzīvē attiecīgajā aviokompānijā, lai nodrošinātu dienestu savstarpējo komunikāciju, kas ir iesaistīti lidmašīnas tehniskās apkopes procesos, un lai palielinātu efektivitāti, kas samazina finansiālās izmaksas un cilvēkresursu zaudējumus un uzlabo aviokompānijas peļņu un efektivitāti. Tas paskaidro izvēlētas promocijas darba tēmas svarīgumu. Šajā promocijas darbā autors risina uzdevumus, kas saistīti ar drošības un efektivitātes uzlabošanu, lai nodrošinātu aviokompānijas stabilu un stipru pozīciju aviopārvadājuma tirgū, uzlabojot ražošanas procesus un samazinot zaudējumus lidmašīnu tehniskā stāvokļa dēļ.

### **Promocijas darba mērķis**

- Uzlabot gaisa kuģu ekspluatācijas izmaksas un palielināt potenciālo izmantošanu, samazinot laiku, ko gaisa kuģis pavada uz zemes dažādos statusos.
- Izstrādāt aviokompānijas gaisa kuģu tehniskas apkopes procesu modeļus tehniskai apkopei uz zemes un lidojuma laikā, nodrošinot nepieciešamu drošības un tehniskā stāvokļa līmeni, nodrošinot augstu drošības un regularitātes līmeni, palielināt lidmašīnas ekspluatāciju un samazināt darbaspēka un apkopes izmaksas.

### **Promocijas darba uzdevumi**

- Izstrādāt matemātiskos modeļus lidmašīnas dažādu statusu ātrai noteikšanai uz zemes un iespējamo statusu noteikšanai lidojuma laikā tehniska atteikuma dēļ to identificēšana.
- Izstrādāt optimālo sistēmu lidmašīnas sagatavošanai lidojumam ar kavējumu tehnisku iemeslu dēļ.
- Izstrādāt procedūras un algoritmus lidmašīnas apkopes procesu vadībai, pamatojoties uz izstrādātajiem modeļiem.
- Procedūru izmēģināšana vienā no aviokompānijām.

### **Promocijas darba metodes**

Promocijas darbā tika izmantotas vispārīgās un speciālās pētniecības metodes: analītiskā, sintēzes, novērtējuma ekspertīze, novērošana, salīdzināšana, ekonomiska analīze un sistēmu analīze.

Teorētiskais un metodiskais pamats uzdevumu risināšanai ir:

- a) zinātnieku fundamentāli darbi par vadības teoriju, lēmumu pieņemšanu un vadības sistēmas efektivitāti, mārketinga metodēm, loģistiku, analīzes un sintēzes metodēm, ekonomiku un matemātiskiem modeļiem;
- b) struktūras, funkcionālās un tehniskās apkopes pamati lidmašīnu sistemātiskās analīzes izstrādāšanā;
- c) semiotika un matemātiskās analīzes pamati apkopes tehnoloģiskiem procesiem;
- d) *ICAO*, *IATA*, *EASA* pētniecības dokumentu rekomendācijas, un AS «Air Baltic» statistika un dokumenti tika izmantoti kā informācijas pamati;

### **Zinātniskā novitāte**

- a) izstrādāts matemātiskais modelis, lai samazinātu lidmašīnas laiku uz zemes dažādos statusos, pamatojoties uz lidmašīnas apkopes procesu modelēšanu vairākiem gadījumiem aviokompānijā. Modeļi izmēģināti un ieviesti lidmašīnas «Boeing 737» apkopes procesos aviokompānijā;
- b) izstrādāts matemātiskais modelis lidmašīnas statusa noteikšanai lidojuma laikā komponentu atteikuma gadījumus. Pamatojoties uz šo, tika izstrādāti atteikuma nopietnības līmeni vairākām funkcionālām sistēmām, to komponentiem un savstarpējai saistībai ar lidojuma drošumu. Modelis tika izmēģināts, pamatojoties uz lidmašīnas

«Avro RJ70» drošuma datiem 1995.–2005. gadā aviokompānijas «Air Baltic» ekspluatācijas laikā;

- c) izstrādāts matemātiskais modelis sistēmu vadībai, sagatavojot lidmašīnu lidojumam. Modelis tika izmēģināts līnijas tehniskās apkopes organizācijā tehniskā personāla sadalē un tehnisko uzdevumu risināšanā, un tas samazina tehniskās apkopes izmaksas un izlidošanas kavējumu skaitu tehniska iemesla dēļ.

### **Pētījuma rezultāti**

1. Izstrādātie matemātiskie modeļi izdevumu samazināšanai lidmašīnas dažādu statusu noteikšanai uz zemes dod iespēju simulēt lidmašīnas apkopes procesus noteikta tipa lidmašīnām.
2. Par modeļiem tika izmantoti 13 lidmašīnu «Boeing 737» apkopes procesi reālā aviokompānijā. Rezultātā ir iegūti gadījuma lieluma  $x_r = \{x_r\}$  sadalījuma veidi reālas lidmašīnas statusiem un to statistiskās vērtības, kas dot iespēju izpildīt plānotu darbu un uzturēt nepieciešamo plānošanas līmeni un visus nepieciešamos resursus tehniskai apkopei.
3. Izmantojot semiotikas modeļus «lidmašīnas statusiem» lidojuma laikā un «daudzlīmeņu struktūru», tika izstrādāts matemātiskais modelis savstarpējai saistībai gaisa kuģa komponentu atteikumiem un lidmašīnas statusiem lidojuma laikā.
4. Uz tā pamata izstrādāta procedūra tehniskā stāvokļa vadībai lidmašīnas ekspluatācijas laikā un lidmašīnas stāvokļa novērtēšanai komponentu atteikuma gadījumā lidojuma laikā.
5. Izstrādātās metodes tika izmēģinātas, izmantojot lidmašīnas «Avro RJ70» tehnisko atteikumu datubāzi 1995.–2005. gadā aviokompānijas «Air Baltic» ekspluatācijas laikā.
6. Izstrādāts matemātiskais modelis optimālai organizatoriskās struktūras apkopes sistēmas kontrolei, sagatavojot lidmašīnu lidojumam.
7. Procedūras tika izmēģinātas aviokompānijas apkopes organizācijā attiecība uz tehniskā personāla un tehnisko uzdevumu sadali dažādos vadības līmeņos, gadījumā, kad ir tehniskais atteikums. Izdarot to, bija iespējams samazināt kompānijas ekonomiskos zaudējumus izlidošanas kavējuma dēļ.

### **Pētījuma praktiskā nozīme**

Izstrādāto modeļu izmantošana reālajā dzīvē aviokompānijas apkopes organizācijā parādīja to efektivitāti:

- a) tehniskā personāla kļūdas skaits apkopes procesa laikā būtiski samazinājās;
- b) lidmašīnu apkopes procesu kontroles sistēmas efektivitāte dažādos līmeņos kļuva vairāk saprotama un caurspīdīgāka;
- c) gaisa kuģu apkopes tehnoloģisko procesu uzlabošanās un tehniskā personāla kvalifikācijas paaugstināšanas rezultātā samazinājās darbaspēka izmaksas;
- d) uzlabojas funkcionālo sistēmu un to komponentu drošums;
- e) iegūta iespēja izpildīt papildu lidojumus, ja tas nepieciešams.



## Aizstāvamās tēzes

### Autors darbā aizstāv:

1. Tehniskās ekspluatācijas procesu matemātiskie modeļi attiecībā uz konkrētu gaisa kuģu floti un aviosabiedrības tehnisko apkopi.
2. Matemātiskie modeļi «gaisa kuģa stāvoklis» lidojumā un tā novērtēšana lidmašīnas tehniskā atteikuma gadījumā.
3. Optimālās procesa kontroles sistēmas matemātiskais modelis lidmašīnu sagatavošanai lidojumam aizkavēšanās gadījumos tehnisku iemeslu dēļ.
4. Tehniskās apkopes sistēmas organizēšanas principi neparedzētos apstākļos.

## Pētniecības darba apstiprināšana

### Starptautiskās zinātniskas konferences

Promocijas darba pamatnostājas prezentētas starptautiskās zinātniskās konferencēs Polijā, Lietuvā, Krievijā, Latvijā.

- 1) Conference on scientific aspects concerning operation of manned and unmanned aerial vehicles. Deblin, Poland May 20–22, 2015, «Reducing the risk of layovers for technical reasons on the basis of improving the organization of aircraft maintenance», A. Vaivads.
- 2) Eleventh International Conference Vilnius, 15–17 October 2014, «Streamline the system of a maintenance management of aircraft in the airline», A. Vaivads.
- 3) International Scientific Conference «ENGINEERING AND TRANSPORT SERVICES – 2014» RIA, Riga, Latvia 24–25. 07.2014, «Improving safety and regularity of flights in airline company based on aircraft' technical operation processes improvements Proceedings of the», A. Vaivads, A. Paničs, V. Šestakovs.
- 4) International Scientific Conference «ENGINEERING AND TRANSPORT SERVICES – 2014» RIA, Riga, Latvia 24–25. 07.2014, «Связь профессионально важных качеств авиационно-технического персонала и безопасности полетов», O. Gorbachev, A. Vaivads, V. Shestakov.
- 5) 4th International Conference on scientific Aspects of unmanned aerial vehicle Kielce, Poland, May 5–7, 2010, «Оценка уровня безопасности полетов при отказах авиационной техники», A. Vaivads, V. Shestakov, L. Vinogradov.

- 6) 4th International Conference on scientific Aspects of unmanned aerial vehicle Kielce, Poland, May 5–7, 2010, «Search and Emergency- Recue Organization and Realization at Aviation Accidents in the Airport Responsibility area», A. Vaivads , V. Shestakov, L. Vinogradov.
- 7) Riga Technical University 49th International Scientific Conference, Latvia, Riga, October 13–15, 2009. «Pilota kļūdas analīze», A. Vaivads, N. Dreimanis, V. Šestakovs.
- 8) Riga Technical University 49th International Scientific Conference, Latvia, Riga, October 13–15, 2009, «Gaisa kuģu lidojumu drošības aviātehnikās atteikumos ietekme», A. Vaivads.
- 9) International Scientific Conference «Civil aviation on the current stage of development Science, technology and society», Moscow, MGTU CA, April 22–23, 2008, «Quality management system», A. Vaivads.
- 10) Riga Technical University 49th International Scientific Conference, Latvia, Riga, October 13–15, 2009. «Pilota kļūdas analīze», A. Vaivads, N. Dreimanis, V. Šestakovs.

#### **Publikācijas saistībā ar pētniecības darba rezultātiem**

- 1) Ruta Bogdane, Andris Vaivads, Dejan Dencic Evaluation of Management System Effectiveness in the Preparation of the Aircraft for Flight in Faulty Conditions.//Transport and Aerospace Engineering. – 2015. – Volume 2, Issue 1, 13–18 p. ISSN (Online) 2255-9876, DOI: [10.1515/tae-2015-0002](https://doi.org/10.1515/tae-2015-0002).
- 2) Vaivads A, Gorbačovs O, Šestakovs V. Связь профессионально важных качеств авиационно-технического персонала и безопасности полетов. // Proceedings of the International Scientific Conference «ENGINEERING AND TRANSPORT SERVICES – 2014». – 2014., Riga, Latvia , 12–19 p. ISBN 978-9984-9996-5-4.
- 3) Vaivads A, Shestakov V. Streamline the system of a maintenance management of aircraft in the airline.// Eleventh International Conference 15–17 October 2014, Vilnius, Lithuania. 32–33.
- 4) Vaivads A., Paničs A., Šestakovs V. Improving safety and regularity of Flights in Airline Company based on Aircraft Technical Operation Processes Improvements.// Proceedings of the International Scientific Conference «ENGINEERING AND TRANSPORT SERVICES – 2014». Riga, Latvia.- , 5–12 p. ISBN 978-9984-9996-5-4.

- 5) Vaivads A., Shestakov V., Vinogradov L. Оценка уровня безопасности полетов при отказах авиационной техники. //RTU 4th International Conference on scientific Aspects of unmanned aerial vehicle Kielce, Poland, May 5–7, 2010, 602–609 pp. ISBN 978-83-88592-70-6.
- 6) Vaivads A., Shestakov V., Vinogradov L. Search and Emergency- Recue Organization and Realization at Aviation Accidents in the Airport Responsibility area. // RTU 4th International Conference on scientific Aspects of unmanned aerial vehicle Kielce, Poland, May 5–7, 2010, 616–619 pp.–23, 2008. p. 78–80.
- 7) Vaivads A. Gaisa kuģu lidojumu drošības aviātehnikās atteikumos ietekme.// 49th International Scientific Conference, Latvia, Riga, October 13–15, 2009. p. 23–27.

### **Promocijas darba struktūra un anotācija**

Promocijas darbā ir anotācija, ievads, četras daļas, secinājumi, četri pielikumi, 18 zīmējumu un ilustrācijas, 15 tabulu un 96 bibliogrāfijas atsauču, kopā 141 lappuses.

Promocijas darba anotācija

1. **daļā** aprakstīta aviokompānijas gaisa kuģu apkopes pašreizējas situācijas teorijas un prakses analīze.
2. **daļa** izskata gaisa kuģu apkopes matemātiskā modeļa izstrādi attiecīgā gaisa kuģu tipa flotei un noteiktam ekspluatācijas veidam aviokompānijā, kas ļauj uzrādīt mērķtiecīgu darbu drošuma un regularitātes uzturēšanai noteiktajā līmeni un gaisa kuģu funkcionālu un efektīvu ekspluatāciju.
3. **daļā** izskatīts gaisa kuģu statusa modelis lidojuma laikā, gaisa kuģa apkopes vadība un gaisa kuģa statusa novērtēšana pēc komponentu atteikuma lidojuma laikā.
4. **daļā**, pamatojoties uz iepriekšējās daļās iegūtiem rezultātiem, noteikts optimālais sistēmas modelis procesu kontrolei, sagatavojot gaisa kuģi lidojumam ar kavējumu tehnisku iemeslu dēļ.

**Secinājumos** parādīti pētījuma atklājumi un gaisa kuģu ekspluatācijas laikā iegūtie testēšanas rezultāti.

**Pielikumos** doti statistikas dati, kas tika izmantoti gaisa kuģu apkopes procesu modelēšanā un ieviešanā aviokompānijā.

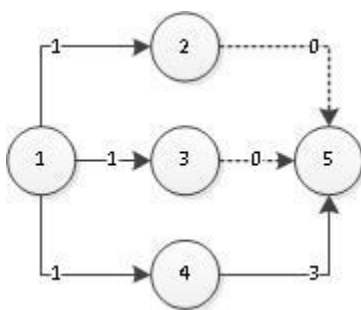
## PROMOCIJAS DARBA SATURS

### 1. nodaļa. Gaisa kuģu tehniskās apkopes organizācijas teorētiskā un faktiskā stāvokļa izskatīšana

Šajā nodaļā apskatīta tehniskās apkopes nozīme un svarīgums aviokompānijā, lai nodrošinātu drošību un regularitāti ar augstiem konkurētspējīgiem ekonomiskajiem darbības rādītājiem. Šie uzdevumi vienmēr ir vissvarīgākie no visām civilās aviācijas aviokompānijas darbībām, un musdienās tie ir īpaši aktuāli. Tas, pirmkārt, ir saistīts ar aviokompāniju centieniem izdzīvot asā konkurences cīņā. Lidmašīnas sagatavošanas process kārtējam lidojumam ir stingri reglamentētu operāciju secība, kas apvienoti termini „Virszemes apkalpošana» un «Pirmlidojuma inspekcijas». Kļūme jebkurā no tām var aizkavēt lidojumu. Mūsdienīga gaisa kuģu virszemes apkalpošanas un lidojumu ekspluatācijas līmenis ļauj nodrošināt augstu lidojumu regularitāti visos zemeslodes reģionos. Parasti punktualitātes rādītājs ir noteikts 90 % līmenī, izlidošanas regularitātes rādītājs – 99 % līmenī. Tomēr aviokompānijām ir atšķirīgas īpašumtiesības, izmantojamo gaisa kuģu veiktspēja, galamērķi utt. Šie apstākļi nosaka aviokompāniju veiktspējas rādītāju lielo izkliedi, pirmkārt, lidojumu drošību un regularitāti. Izlidošanas aizkavēšanās iemesli var būt dažādi, tai skaitā – arī tehniski iemesli. Kā rāda analīze, visus tehniskos iemeslus var iedalīt divās grupās. Pirmā ir saistīta ar aviācijas tehnikas drošumu un lidojum derīguma nodrošināšanas metodēm, otrā – ar aviokompānijas tehniskās apkopes organizācijas jautājumiem. Šo abu iemeslu attiecība dažādām aviokompānijām atšķiras, bet to kopējā ietekme rada situāciju, ka pašlaik lielākajā daļā aviokompānijās nav vienotas gaisa kuģu atteikumu novēršanas metodikas, kas nodrošinātu augstu izlidošanas – lidojumu grafika uzticamību. Veiktā analīze ļauj konstatēt, ka attiecībā uz atsevišķām aviokompānijām mūsdienīgos apstākļos problēmas efektīvi izstrādāt gaisa kuģu tehniskās apkopes organizācijas vadības modeli ir nepietiekami izpētītas, konkrēti – sistēma gaisa kuģu sagatavošanai izlidošanai, it īpaši gaisa kuģa sistēmu atteikuma gadījumā. Nepietiekami izskatīts arī tāds svarīgs vadības procesu efektivitātes nosacījums kā gaisa kuģa tehniskas ekspluatācijas organizatoriski tehnoloģiskā definīcija. Šīs radikālās problēmas atrisināšana ir aviokompānijas ar zinātnisko metožu iestrāde praksē gaisa kuģu tehniskās apkopes vadības organizācijas procesos. Šiem jautājumiem ir veltītas turpmākās nodaļas.

Tehniskā ekspluatācija ir sarežģīts dinamisks process, kas iekļauj: gaisa kuģu sagatavošanu lidojumiem, funkcionālo sistēmu darbības vadību, visefektīvāko dzinēju darbības režīmu izvēli un uzturēšanu lidojumā, gaisa kuģu tehnisko apkopi un remontu uz zemes. Operatīvās vadības ražošanas procesu jautājumu izpētei ir veltīti daudzi Krievijas un Rietumu autoru darbi. Vieni pamatojas uz optimālas vadības stratēģijas principu, otri – uz plānošanas un vadības sadalīšanas principu. Ražošanas vadības zinātnisko pamatu izstrādei civilajā aviācijā, izmantojot sociāli ekonomisko vadības modeli aviācijas uzņēmumā, savus darbus veltījuši: M. J. Krouss, H. Kinisons, M. S. Patankars, D. Kreins, A. Volkovs, V. Zabalujevs, I. Golubevs, A. Kondratjevs, V. Kuliks, V. Kurilo, V. Novikovs, E. Pinaems, A. Sarkisjans, A. Černovijs un citi. Iegūto rezultātu praktiskā realizācija šajā sfērā 80. gadu beigās – 90. gadu sākumā ļāva iegūt pietiekami pilnīgu civilās aviācijas gaisa kuģu tehniskās apkopes un remonta sistēmu efektivitātes attēlu. Ir vērts

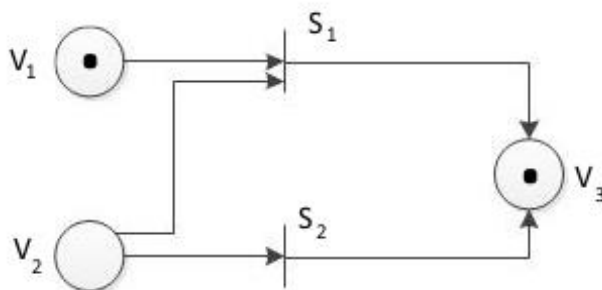
atzīmēt gaisa kuģu tehniskās ekspluatācijas procesu veiksmīgus pētījumus: T. Loutons, J. Šihans, L. Krajevskis, V. Hovards, jun., M. Gdalevičs, A. Andronovs, E. Barzilovičs, V. Vorobjovs, M. Gromovs, S. Daleckis, V. Dedkovs, O. Derkačs, A. Ickovičs, V. Karasjovs, V. Kirins, I. Kirpičovs, A. Majorovs, A. Petrovs, R. Sakačs, V. Senniks, N. Smirnova, S. Stepanova, J. Činjučins, V. Frolovs, V. Šapkins u. c. darbus. Īpaši būtu jāatzīmē Latvijas zinātnieku ieguldījums šā virziena attīstībā. Līdz pagājušā gadsimta 70. gadiem RKIIGA lidmašīnu un dzinēju tehniskās ekspluatācijas katedrā A. Pugačova vadībā tika atklāta zinātniskā skola gaisa kuģu tehniskās apkopes procesu organizācijas, vadības un efektivitātes jautājumos. Šī skola vienmēr ieņēmusi vienu no galvenajām lomām kopējās gaisa kuģu un dzinēju tehniskās ekspluatācijas zinātniskās pieejas izstrādē kā zinātniskā virziena izveidotāja un veikusi ievērojamu ieguldījumu zinātnisko pieeju attīstībā gaisa kuģu tehniskās apkopes un remonta sistēmā. Atkarībā no izpētei izvēlēta uzdevuma gaisa kuģa tehniskās ekspluatācijas procesu var parādīt ar brīvi izvēlēta gaisa kuģa statusu skaitu un to izmaiņām laikā atbilstoši izvēlētajai stratēģijai. Turklāt visu gaisa kuģa var iedalīt vairākās grupās: tehniskās apkopes gaidīšanas statuss, tehniskās apkope statuss un gaisa kuģa izlidošanas gaidīšanas statuss. Zinot laika sadalījuma likumus gaisa kuģa atrašanai dažādos statusos, pastāv iespēja novērtēt tehniskās ekspluatācijas efektivitāti un izstrādāt pasākumus tās uzlabošanai. 60.–70. gados plašu izplatību ieguva pētījumi par tīkla plānošanas izmantošanas iespējamību gaisa kuģu tehniskās apkopes sistēmā. Apkopes procesa tīkla grafiki ļauj aprakstīt atsevišķa darba uzdevuma izpildīšanas loģisko secību, lai novērtētu visas darba uzdevumu kopas izpildes ilgumu, un noteikt to darba uzdevumu kopu, kas neļauj ātrāk veikt visas uzdevumu kopas izpildi. Tīkla plānošana ir organizatorisku un kontrolējošu aprēķinu metožu kopums, lai nodrošinātu darba uzdevumu plānošanu un vadību ar tīkla modeļa palīdzību. Tīkla grafika fragments parādīts 1. attēlā.



1. attēls. Tīkla grafika fragments

Tīkla modeļa darba uzdevumu izpildes procesam ir virkne trūkumu, kas saistīti ar grūtībām aprakstīt dažāda veida loģiskos nosacījumus atsevišķa uzdevuma izpildei, līdz ar to ievērojami samazina to izmantošanu iespējas. 80. gadu vidū sāka attīstīties jauns virziens – Petri tīklu izmantošana gaisa kuģu tehniskās apkopes procesiem. Modeļos, kas balstās uz Petri tīkliem, atšķirībā no citiem tīkla modeļiem ir iespēja ņemt vērā ne tikai darba uzdevumu izpildes loģisko

secību, bet arī tajos iesaistītus resursus, izmantojot Petri tīklu marķēšanu. Petri tīklā ir iespēja ieviest pozīciju, kas atbilst nosacījumam «Resursi gaidīšanas stadijā». Petri tīklu koncepcija ir ērts un efektīvs līdzeklis procesu aprakstīšanai. Petri tīkla fragments parādīts 2. attēlā.



2. attēls. Petri tīkla fragments

Tādi modeļi piedāvā plašas iespējas dažādu sarežģītu loģisko nosacījumu uzskaitē, kas notiek reālajos apstākļos un var tik izmantoti gaisa kuģu tehniskās apkopes vadībās procesā, kā arī veikt analīzi ar mūsdienīgas skaitļošanas tehnikas palīdzību.

Veiktā analīze ļauj konstatēt, ka attiecībā uz atsevišķām aviokompānijām mūsdienīgos apstākļos problēmas efektīvi izstrādāt gaisa kuģu tehniskās apkopes organizācijas vadības modeli ir nepietiekami izpētītas, konkrēti – sistēma gaisa kuģu sagatavošana izlidošanai, it īpaši gaisa kuģa sistēmu atteikumu gadījumā. Kompleksās metodoloģijas pieejas trūkums gaisa kuģu tehniskās apkopes ražošanas procesu vadības apakšējā līmeņa hierarhijā rada lielus organizatoriski tehniskus sarežģījumus un ievērojamus materiālos zaudējumus. Savukārt, izmantojot informācijas tehnoloģijas, dodot darbiniekiem iespēju piekļūt termināliem, ar kura palīdzību var sekot atsevišķu tehniskās apkopes uzdevumu darbu izpildei, paceļ šo virzienu jaunā līmenī. Izejot no tā, tika izstrādāti divi matemātiskie modeļi. Pirmais balstās uz gaisa kuģa gadījuma lieluma sadalījuma likumu, atrodoties dažādos statusos uz zemes tehniskās apkopes laikā. Otrais balstās uz Petri tīkliem, izmantojot vadību gaisa kuģa sagatavošanas lidojumam.

## 2. nodaļa. Aviokompānijas gaisa kuģu tehniskās apkopes procesu matemātisko modeļu izstrāde

### 2.1. Tehniskās ekspluatācijas modelis

Kā jau tika minēts, faktiskais gaisa kuģa tehniskās ekspluatācijas process tiek veidots ar tā piesaisti atsevišķam statusam. Tad, apzīmējot laika momentu ar  $t_1$ , kas atbilst kādam tehniskās

ekspluatācijas procesa statusa sākumam, bet ar  $t_2$  – tā statusa beigās, redzam, ka intervāls  $X = t_2 - t_1$  ir statusa ilgums. Viss tehniskās ekspluatācijas process tiek raksturots ar tādu statusu ierobežoto daudzumu. Apzīmēsim ar  $\delta_i$  procesa «statusu», kur  $i$  – tās sērijas numurs. Pieņemsim, ka:

- tehniskās ekspluatācijas procesa statusa maiņa notiek secīgi un nepārtraukti;
- pāreja no statusa uz statusu notiek nekavējoties.

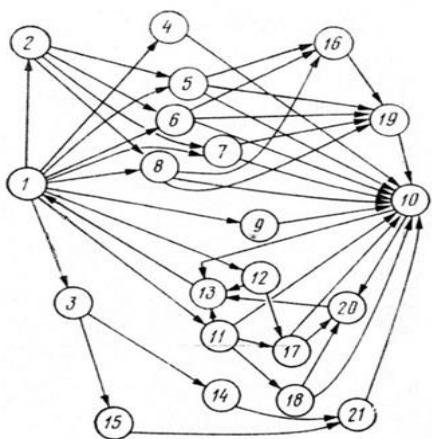
Daudzi pētījumi ir pierādījuši, ka tehniskās ekspluatācijas procesam ir stacionaritātes un ergodisma īpašības. Tāpēc kā kvantitatīvu lielumu pārejai mēs neuzskatām pārejas laiku uz blakus statusu, bet relatīvo biežumu  $p_{ik}$  gaisa kuģa pārejai no statusa  $i$  uz  $k$  noteiktā laikā intervāla  $T_n$  (piemēram, viens gads) un iegūstam pārejas matricu  $P = ||p_{ik}||$ . Pārejas varbūtību  $p_{ik}$  nosaka saskaņā ar gaisa kuģa pārejas matricu, tieši saskaitot gaisa kuģa pārejas no viena statusa uz otru, un to vērtību nosaka pēc formulas:

$$p_{ik} = n_{ik} / n_i \quad (1.)$$

Tas ļauj noteikt gaisa kuģa absolūto biežumu  $\pi_i$  nokļūšanai uz stāvokļiem  $i$  laikā intervālā  $T_n$ . Tālāk izrēķinām vienas rindas biežumu tabulu:

$$\pi = (\pi_1, \pi_2, \dots, \pi_k, \dots, \pi_N), \quad (2.)$$

Praktiski ir ērti izmantot statusu un pāreju diagrammu  $G$  (skat. 3. attēlu), kas tiek veidota katram gaisa kuģa tipam uz pāreju varbūtības matricas pamata  $P = ||p_{ik}||$ . Uz kādas plaknes atzīmēsim visus elementus  $V$  diagrammas  $G$  virsotnēm (skat. 1. attēlu) un virsotni  $i$  no  $V$  savienosim ar tā paša daudzuma virsotni  $k$  ar ribi  $E = (ik)$ , ja elements  $P(i, k)$  ir vienāds ar 1. Rezultātā iegūstam neapzīmētu gaisa kuģa tehniskās ekspluatācijas diagrammu. Ribū un virsotņu diagrammas  $G$  apzīmēšana tiek veikta saskaņā ar pārejas varbūtības matricas datiem  $P = ||p_{ik}||$  un stacionāro varbūtību vektora rindu  $\pi$ . Matricas  $P = ||p_{ik}||$ , vektora  $\pi$  un diagrammas  $G$  kopums ir gaisa kuģa tehniskās ekspluatācijas procesa matemātiskais modelis (skat. 3.attēlu).



1 – lidojums;

2 – periodiskās tehniskās apkopes gaidīšanas laiks;

3 – sarežģītas tehniskās apkopes gaidīšanas laiks (remonts);

4, 5, 6, 7, 8 – C-pārbaude: periodiskās tehniskās apkope C1, C2, C4, C6, C8;

10, 11, 12 – A-pārbaude: ātra apkope A1, A2, A4, A8;

13 – tranzīta pārbaude: izlidošanas nodrošināšana;

3. attēls. *G/k* statusu un to tehniskās ekspluatācijas pārejas procesu diagramma

14, 15 – C-pārbaude, D-pārbaude;

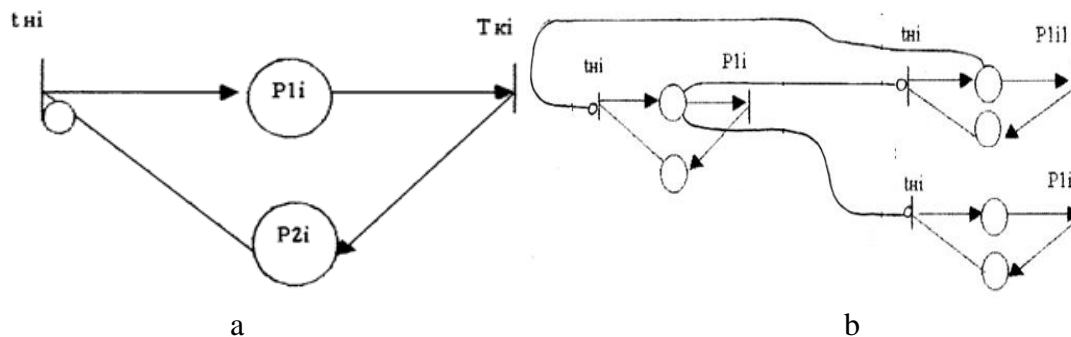
16, 17 – ikdienas pārbaude: ikdienas tehniskā inspekcija (biļetenu pārskats, defektu novēršana);

18 – rezerves daļu gaidīšana;

19, 20, 21 – sagatavošana periodiskajai tehniskajai apkopei, ekspluatācijai, apkopei un remontam.

## 2.2. Gaisa kuģa sagatavošanās lidojumam visaptverošs modelis

Petri tīkls, kas modelē visaptverošo *g/k* sagatavošanas procesu lidojumam, ir samazināts, lai pārvaldītu pārejas vērtību, sākot uzdevuma izpildi  $t_{Hi}$  (skat. 4. attēlu).



4. attēls. Petri tīkla modeļa elementi

4. attēlā ir norādīti:

$t_{Hi}$  – pāreja, darba *i* sākšanu;

$T_{ki}$  – pāreja, darba *i* pabeigšanu;

$P_{1i}$ ,  $P_{2i}$  – notikumi, kas modelē statusu «darbs *i* tiek veikts», «darbs *i* ir pabeigts». Formāli Petri tīkls, kas modelē darbu *i*, tiek attēlots kopumā:

$$G_{ri} = (Pri, Tri, Fri, \mu_0) \quad (3.)$$

kur:  $Pri$  – diagrammas vietu (pozīciju) daudzums,

$$Pri = \{p1i, p2i\}; \quad (4.)$$

$Tri$  – diagrammas pāreju daudzums,  $Tri = \{tHi, tki\}$

$Fri$  – sastopamības funkcija;

$\mu_0$  – tīkla sākuma marķēšana.



Sastopamības funkcija ievieš inhibitora lokus tiem pāriem ( $p, t$ ), kam tā vērtība ir vienāda ar 1. Inhibitora loki savieno tikai vietas ar pārejām. Diagrammā (skat. 4. attēlu) tos attēlo nevis ar bultiņām, bet apliem. Inhibitora tīklā pāreja var darboties, ja katra ievades vērtība, kas ir savienota ar to ar inhibitora loku (tā daudzveidība vienmēr ir vienāda ar 1), ir nulles atzīme. Inhibitora loki atspoguļo diagrammā uzdevumu nesaderīgumā attiecību.

Trīs nesaderīguma darbības veidi  $ri$  tiek izmantoti (skat. 2. attēlu):

- pēc darbības jomas,;
- pēc funkcionālā (tehnoloģiskā) nesaderīguma;
- pēc gaisa kuģa sistēmu tehniskā stāvokļa.

Modelēšana tiek veikta ar ievades vērtību uz vadošās pozīcijas  $Pyi$  apakšgrupas modeļa:

$$\forall thi \exists Pyi: F(Pyi, thi) = 1 \quad (5.)$$

Izteiksme (5.) tiek formulēta šādi: katrai sākotnējai pārejai  $thi$  pastāv vadošā pozīcija  $Pyi$ , kur incidentu funkcija ir vienāda ar 1. Vadošo pozīciju apakškopa tiek atzīmēta (marķēta). Un marķēšana tiek noteikta ar izteiksmi:

$$\mu(Pyi) = 1 \text{ } f_y = f_{yz}, \quad (6.)$$

kur  $f_{yz}$  – definēts vadības kritērijs, kuru aprēķinot marķieris tiek novietots pozīcijā  $Pyi$ . Izteiksmes (5.), (6.) ļauj vadīt kompleksus procesus gaisa kuģa sagatavošanai lidojumam saskaņā ar iepriekš noteiktu optimālās vadības kritēriju.

Nodaļā prezentētie modeļi ļauj pieņemt pareizākos lēmumus par to, kā organizēt tehnisko gaisa kuģa ekspluatāciju praksē vienā aviosabiedrībā. Izstrādātais modelis ļauj arī simulēt procesu uz nākamo kalendāro periodu, t. i., prognozēt tehniskās ekspluatācijas efektivitāti un kontrolēt to.

### 2.3. Matemātisko modeļu pārbaude

Oriģinālie datu fragmenti, kas raksturo gaisa kuģa tipa “Boeing 737” tehniskās apkopes veidus un tas izpildīšanas radītājus, kas tiek izpildīti līnijas vai bāzes tehniskās apkopes laikā saskaņā ar spēkā esošo tehniskās apkopes programmu, parādīti 1. tabulā.

1. tabula. Tehniskās apkopes daudzums pēc tā veidiem viena gada laikā

YL- B01	YL- B02	YL- B03	YL- B04	YL- B05	YL- B06	YL- B07	YL- B08	YL- B09	YL- B10	YL- B11	YL- B12	YL- B13
------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------

<b>PRF FLT</b>	1692	1692	1642	1491	1374	1645	1450	1493	1492	1352	1229	1549	1501
<b>DLY</b>	359	349	354	330	326	348	300	338	307	331	327	340	335
<b>SVC</b>	122	119	120	112	111	117	105	118	104	113	110	116	116
<b>WLY</b>	53	52	54	48	49	51	45	52	46	50	50	52	50
<b>A1</b>	13	12	12	11	10	13	10	11	11	11	11	12	12
<b>A2</b>	6	6	6	6	5	7	5	5	5	6	5	6	6
<b>A4</b>	3	3	3	3	2	3	2	3	2	2	3	3	3
<b>A8</b>	2	1	2	2	2	1	1	2	1	1	2	2	1
<b>1C</b>	–	1	–	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
<b>6C</b>	–	–	–	–	–	1	1	–	1	–	–	–	–

2. tabula. Tehniskās apkopes laiks pēc tā veidiem viena gada laikā

	<b>YL- B01</b>	<b>YL- B02</b>	<b>YL- B03</b>	<b>YL- B04</b>	<b>YL- B05</b>	<b>YL- B06</b>	<b>YL- B07</b>	<b>YL- B08</b>	<b>YL- B09</b>	<b>YL- B10</b>	<b>YL- B11</b>	<b>YL- B12</b>	<b>YL- B13</b>
<b>DL Y</b>	107 7	104 7	106 2	990	978	1044	900	101 4	921	993	981	102 0	100 5
	44,8 75	43,6 3	44,2 50	41,2 50	40,7 50	43,5 00	37,5 00	42,2 50	38,3 75	41,3 75	40,8 75	42,5 00	41,8 75
<b>SV C</b>	366	357	360	336	333	351	315	354	312	339	330	348	348
	15,2 50	14,8 75	15,0 00	14,0 00	13,8 75	14,6 25	13,1 25	14,7 50	13,0 00	14,1 25	13,7 50	14,5 00	14,5 00
<b>W LY</b>	79,5	78	81	72	73,5	76,5	67,5	78	69	75	75	78	75
	3,31 3	3,25 0	3,37 5	3,00 0	3,06 3	3,18 8	2,81 3	3,25 0	2,87 5	3,12 5	3,12 5	3,25 0	3,12 5
<b>A1</b>	65	60	60	55	50	65	50	55	55	55	55	60	60

	2,70	2,50	2,50	2,29	2,08	2,70	2,08	2,29	2,29	2,29	2,29	2,50	2,50
	8	0	0	2	3	8	3	2	2	2	2	0	0
	84	84	84	84	70	98	70	70	70	84	70	84	84
<b>A2</b>	3,50	3,50	3,50	3,50	2,91	4,08	2,91	2,91	2,91	3,50	2,91	3,50	3,50
	0	0	0	0	7	3	7	7	7	0	7	0	0
	69	69	69	69	46	69	46	69	46	46	69	69	69
<b>A4</b>	2,87	2,87	2,87	2,87	1,91	2,87	1,91	2,87	1,91	1,91	2,87	2,87	2,87
	5	5	5	5	7	5	7	5	7	7	5	5	5
	46	23	46	46	46	23	23	46	23	23	46	46	23
<b>A8</b>	1,91	0,95	1,91	1,91	1,91	0,95	0,95	1,91	0,95	0,95	1,91	1,91	0,95
	7	8	7	7	7	8	8	7	8	8	7	7	8
		652		843,	842,	Iekļa	Iekļa	361,	Iekļa	868,	750	438	363,
<b>1C</b>	–	27,1	–	35,1	35,1	6C	6C	15,0	6C	36,1	31,2	18,2	15,1
		67		46	04			63		88	50	50	46
						1189	1496		604,				
<b>6C</b>	–	–	–	–	–	49,5	62,3	–	25,1	–	–	–	–
						63	33		88				
<b>Ko</b>	178	237	176	2495	2439	2916	2967	204	2100	2483	237	214	202
	6,5	0	2	,5			,5	7,5	,5	,5	6	3	7,5
<b>pā</b>	74,4	98,7	73,4	103,	101,	121,	123,	85,3	87,5	103,	99,0	89,2	84,4
	38	50	17	979	625	500	646	13	21	479	00	92	79

Paskaidrojums:

- PRF FLT (Pirmsizlidošanas inspekcija) – nepieder ne pie līnijas vai bāzes apkopes, tāpēc patērētais laiks šiem uzdevumiem netiek aprēķināts; 1. rinda laiks ir uzrādīts stundās, 2. rinda laiks ir uzrādīts dienās;

xxx ← patērētais laiks stundās

xxx | ← patērētais laiks dienās

3. tabula. Nolidojuma stundas gada laikā

	YL- B01	YL- B02	YL- B03	YL- B04	YL- B05	YL- B06	YL- B07	YL- B08	YL- B09	YL- B10	YL- B11	YL- B12	YL- B13
T F H	281	276	293	266	260	286	243	270	253	282	243	271	273
	8:05	3:42	2:52	0:57	1:01	3:44	5:30	1:35	8:37	3:50	5:03	2:24	0:22
T F C	169	169	164	149	137	164	145	149	149	135	122	154	150
	2	2	2	1	4	5	0	3	2	2	9	9	1

Paskaidrojums:

- *TFH (Total Flight Hours)* – kopējas nolidojumu stundas posmā no 01/12/2012 līdz 30/11/2013;
- *TFC (Total Flight Cycles)* – kopēji nolidojumu cikli posmā no 01/12/2012 līdz 30/11/2013

Tika izskatīta ekspluatācija vienam kalendārajam gadam un noteikti šādi parametri:

- $t_i$  – patērējais laiks stāvoklim  $h$ ;
- $n_i$  – stāvokļa skaits;
- $\mu_i = t_i / n_i$

Simulācijas rezultāti stāvokļu biežumam ir attēloti 4. tabulā.

Analizējot “Boeing 737” tehniskās apkopes organizācijas tehniskās apkopes apjomu viena gada laikā, ir noteikti reālie gaisa kuģa statusu sadalījumi kā gadījuma lielumi  $x_r = \{x_r\}$  un to statistiskie raksturojumi. Aprēķina fragments ir parādīts 4. tabulā.

3. tabula. Aprēķina rezultāti

G/K statusa skaits	Status	Vektora statistiskais novērtējums	Sagaidāma vērtība atrašanai statusā, st.
1	Lidojums	0,3303	2,34
2	Periodiskās apkopes gaidīšana	0,00045	3,20
3	Līnija apkope: A-pārbaude		
3.1	A1	0,005840	2,80

3.2	A2	0,3262	0,70
4	Tranzīt- pārbaude	0,0050	2,30
5	Bāzes apkope: C-pārbaude		
5.1	C1	0,06056	7,60
5.2	C2	0,00250	10,00
5.3	C4	0,0024	28,50
5.4	C6	0,00042	49,80
5.5	C8	0,00030	75,00

Pēc statistiskās analīzes rezultātiem laika fonda sadalījumu nosaka pēc gaisa kuģa tehniskās ekspluatācijas statusa viena gada laikā pēc formulas:

$$K_i = \pi_i M[x_i] / \sum_{k=1}^N \pi_k M[x_k] \quad (7)$$

kur  $M[x_i]$  — sagaidāma laika vērtība objektam atrodoties stāvokli  $k$ .

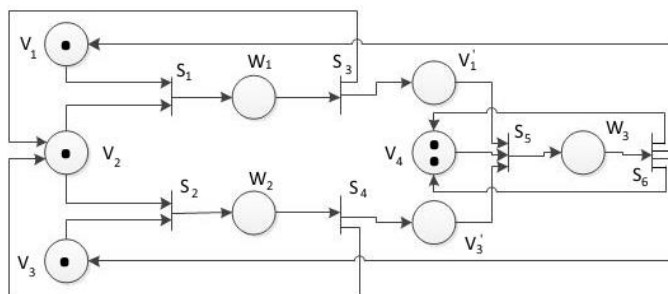
Lai samazinātu darba apjomu, sadalīsim visus statusu grupas uz apakšgrupām, aprakstot tā paša gaisa kuģa tipa statusus

5. tabula. Gaisa kuģa statusu apakšgrupas

№	Ekspluatācijas/apkopes veids	Laiks, %
1	Lidojums (paredzētais gaisa kuģa lietojums)	0,3023 (30,23 %)
2	Tehniskās apkopes gaidīšana	0,0044 (0,44 %)
3	Apkopes un remonta stāvokļi:	
3.1	Līnijas tehniskā apkope	0,3912 (39,12)
3.2	Bāzes tehniskā apkope	0,1013 (10,13)
4	Ekspluatācijas gaidīšana	0,0237 (02,37 %)
5	Izlidošanas kavējumi	0,0237 (02,37 %)

## 2.4. Gaisa kuģa sagatavošanās lidojumam visaptveroša modeļa pārbaude

Tehniskās apkopes procesa modelēšana ar Petri tīkla palīdzību izstrādātām modelim ir pārbaudīta ar “Boeing 737” gaisa kuģa tehniskās apkopes piemēru, sagatavojot to lidojumam. Katra darba uzdevuma ilgums un nepieciešamie līdzekļi ir ņemti no tehniskās dokumentācijas un esošās pieredzes. Lai izpildītu šo darbu apjomu, ir nepieciešami trīs dažādu kategoriju izpildītāji:  $v_1$ ,  $v_2$  un  $v_3$  un vēl divi izpildītāji ar vienu un to pašu kategoriju:  $v_4$  un  $v_5$ . Šiem izpildītājiem saskaņā ar darba apjoma sarakstu jāizpilda trīs darbi  $w_1$ ,  $w_2$ , un  $w_3$ . Pilns izpildāmo darbību apjoms ājā piemērā iekļauj 42 pozīcijas. Darbi  $w_1$  un  $w_2$  var tikt izpildīti paralēli, bet darbs  $w_3$  var tikt izpildīts tikai pēc darbu  $w_1$  un  $w_2$  pabeigšanas.  $w_1$  darba izpildei ir nepieciešami izpildītāji  $v_1$  un  $v_2$ , bet darba  $w_2$  izpildei – izpildītāji  $v_2$  un  $v_3$  abi ir vienlaikus aizņemti darbā. Darba  $w_3$  izpildei ir nepieciešami izpildītāji  $v_1$ ,  $v_3$ ,  $v_4$  un  $v_5$ . Visi aprakstīti noteikumi tiek atspoguļoti Petri tīklā (3. tabulā): pozīcijas  $v_1$ ,  $v_2$ ,  $v_3$ ,  $v_1'$ ,  $v_2'$ ,  $v_3'$  un  $v_4$  – izpildītāji darbu uzsākšanas gaidīšanā, pozīcijas  $w_1$ ,  $w_2$ , un  $w_3$  – darba uzdevumi. Modeļa fragments, kas atbilst darbu uzdevuma uzsākšanai, ir parādīts 5. attēlā: Šeit izpildītāju darbu uzsākšanas gaidīšana tiek atzīmēta ar žetoniem pozīcijās  $v_1$ ,  $v_2$  un  $v_3$ ,  $v_4$ , kas modelē darba uzdevumu izpildes procesus.



5. att. Petri tīkla modeļa fragmenti.

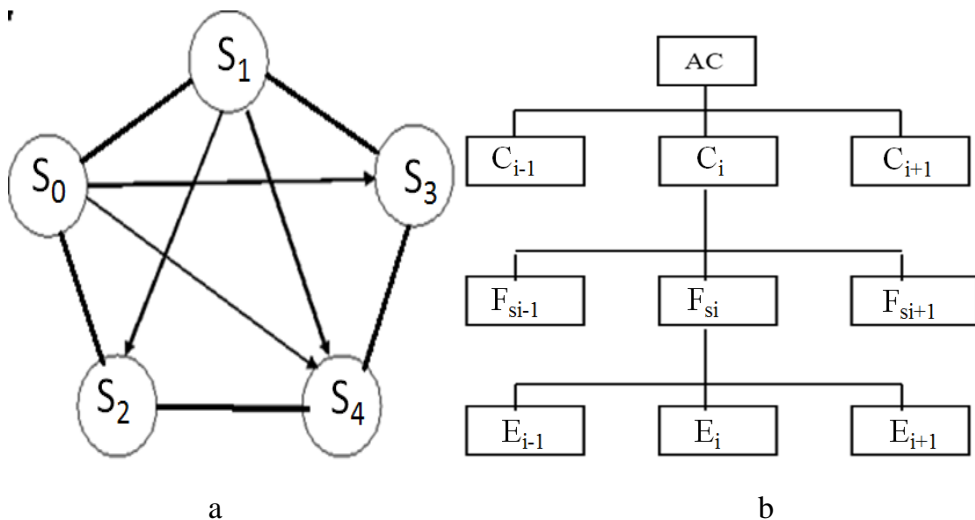
Pilnīgs gaisa kuģa sagatavošana izlidošanai procesu apskats, ieskaitot kritiskos gadījumus – agrā un vēla plānošana, ir izklāstīti promocijas darbā. Šā modeļa pārbaude parādīja lielas potenciālas iespējas dažādu sarežģītu loģisko nosacījumu uzskaitē, kas parādās reālos ražošanas apstākļos, it īpaši – kļūmes situācijās, tāpēc palaišanas secība var būt atšķirīga, kas faktiski atbilstu darba gaitas izmaiņām. Izskatīto modeļu statistiskās analīzes iegūtie rādītāji dod iespēju noteikt paredzamo relatīvā laika izlietojumu, nepieciešama darbaspēka un tehniskās apkopes  $i$  statusa izmaksas samazināšanai ( $i = 1, 2, \dots, N$ ), ieviešot darbības un gala rezultātā uzlabojot aviokompānijas tehniskā apkopes organizācijas efektivitāti un sniegumu.

Modeļu pārbaudes rezultāti, kas ir apskatīti šajā nodaļā, tika izmantoti 4. nodaļā, lai izstrādātu optimālu vadības sistēmu lidmašīnas sagatavošanai lidojumiem ar aizkavēšanos tehniskā iemesla dēļ.

### 3. nodaļa. Matemātiskā modeļa izstrādāšana, kas raksturo gaisa kuģa statusu lidojuma laikā

Lai atrisinātu šo problēmu, izmantosim semiotikas sistēmas teoriju. Ir zināms, ka pēdējos gados bijusi strauja pētniecības attīstība šajā jomā, piedāvājot matemātisko pamatu izveidot attīstītu sistēmu kvalitatīvi jaunā līmenī, ļaujot atbilstoši aprakstīt problemātisko objektu, kas raksturojas ar komplicētu organizatorisko un konstruktīvo struktūru. Viena no pieejām zināšanu attēlošanai semiotikas sistēmā izmanto daudzslāņu loģikas (*Multi-layer logic, MLL*) modeli. *MLL* ir loģiskas pieejas un semantisko teoriju pieejas integrācija un ir ērts veids, kā formalizēt izskatāmo problēmu. Abstrakta hierarhiskā struktūra sadalīta blokos un līmeņos, kas padara to vairāk kompaktāku, un, lietojot atbilstošu matemātisko modeli, mēs atrisinājām nepieciešamo uzdevumu.

Pamatojoties uz šo pieeju, esam izstrādājuši semiotikas modeli gaisa kuģa statusiem lidojuma laikā. Promocijas darbā ar gaisa kuģa statusiem lidojuma laikā saprotam situācijas, kas notiek lidojuma laikā, ņemot vērā atteikumus un kļūdas, un ietekmē lidojuma drošību. Pamatojoties uz šo koncepciju, var identificēt piecus iespējamus gaisa kuģa statusus lidojuma laikā. Apzīmēsim tos ar  $S_i$ , kur  $i = 0, 1, 2, 3, 4$ . Normāls («regulārs») lidojums bez defektiem –  $S_0$ ; sarežģīti lidojuma apstākļi –  $S_1$ ; bīstamas situācijas –  $S_2$ ; kritiskas situācijas –  $S_3$ ; katastrofālas situācijas –  $S_4$  (skat. 6a. attēlu).



6. att. Semiotikas modelis gaisa kuģu statusiem lidojuma laikā un gaisa kuģis kā daudzlīmeņu tehniskā sistēma

Uzskatīsim, ka gaisa kuģim kā sarežģītai daudzlīmeņu tehniskai sistēmai, ir hierarhiska struktūra. Zemākā līmeņa apakšsistēmas sastāv no tehnisko element kopas. Tieši šajā līmenī notiek atteikumi un kļūmes, kas liek lidmašīnas statusam pāriet no parastā (regulārā) uz vienu no ārkārtējiem. Visaugstākajā līmenī mūsu strukturālajā diagrammā nolikām pašu gaisa kuģi. Gaisa kuģis sastāv no vairākām svarīgām lidojuma drošuma apakšsistēmām, ko nosauksim par patērētājiem. Patērētāji ir būtiski gaisa kuģa strukturālie elementi. To vērtības tieši nosaka dažādus gaisa kuģa statusus lidojuma laikā. Sastādīt patērētāju sarakstu noteiktām gaisa kuģa tipam var,

ņemot vērā ekspluatācijas pieredzi, gadījumu izmeklēšanu, u. c. Lielākai uzticamībai to var izdarīt, pieaicinot izvērtēšanai aviācijas drošuma specialistus. Pamatojoties uz ekspluatācijas pieredzi, patērētāju saraksts ietver: gaisa kuģa kontroles sistēmu, bremzēšanas sistēmu, spārna priekš/aizsplakšņu sistēmu, dzīvības nodrošināšanas sistēmu, salona spiediena uzturēšanas sistēmu u. c. Tad mūsu blokshēmā ar gaisa kuģa patērētājiem izveidosim otro līmeni. Nākamajā – trešajā – līmenī mūsu blokshēmā būs gaisa kuģa funkcionālām sistēmas, kas apkalpo patērētājus. Ceturtajā līmenī blokshēmā būs atsevišķu vienību funkcionālās sistēmas un citi elementi: komponenti, cauruļvadi, relejs u. c. Tieši šajā līmenī notiek atteikumi un kļūmes, kas ietekmē funkcionālās sistēmas izejas parametrus, un tie savukārt ietekmē patērētāju izejas parametrus, kas saistīti ķēdē. Gaisa kuģa semiotikas modelis kā daudzlīmeņu tehniskā sistēma ir parādīts 6b. attēlā.

1. līmenis – gaisa kuģis;
2. līmenis – patērētāji, gaisa kuģa sistēmas un komponenti, kuru vērtības tieši nosaka statusu gaisā (kontroles sistēma, bremžu sistēma, spārna priekš/aizsplakšņu sistēma u. c.);
3. līmenis – gaisa kuģa funkcionālas sistēmas, kas apkalpo patērētājus (hidraulika, degviela u. c.);
4. līmenis – funkcionālās sistēmas elementi.

Lai izveidotu nosacījumus gaisa kuģa pārejai no viena statusa lidojuma laikā uz otru statusu ar tehnisko atteikumu lidojumu laikā *Boeing* tipa lidmašīnai, tika izmantotas tehnisko standartu rekomendācijas, kas šādus notikumus izmeklēja. Izmantojot 10 gadus uzkrāto *Boeing* tipa lidmašīnas gadījumu datubāzi, tika veikta saistības analīze starp hidromehāniku sistēmas atteikumiem un gaisa kuģa statusu lidojuma laikā saskaņā ar ieteikto modeli.

#### Analīzes piemērs

1. Lietotājs – dzīvības nodrošināšanas sistēma. Funkcionālā sistēma – salona spiediena uzturēšanas sistēma.

1.1.  $P_c > P_c$  pieļaujamais (pārāk liels spiediens kabīnē). Saskaņā ar lidojumu rokasgrāmatu šādos gadījumos nepieciešams izslēgt salona spiediena uzturēšanas sistēmu, ātri samazināt lidojuma augstumu un, ja lidmašīna nav aprīkota ar gaisa ventilācijas sistēmu zēmam lidojumam, veikt nosēšanos tuvākajā lidostā. Saskaņā ar apzīmējumiem tas ir kritisks stāvoklis –  $S_3$  pēc agrāk pieņemtās klasifikācijas.

1.2.  $P_c < P_c$  pieļaujamais (pārāk mazs spiediens kabīnē). Šim nosacījumam nav nepieciešams izslēgt salona spiediena uzturēšanas sistēmu, tāpēc apkalpei vajag ieņemt drošu lidošanas augstumu, lai spiediens kabīnē būtu normas robežas un lidojumu var turpināt droši. Tādēļ saskaņā ar apzīmējumiem tas ir bīstams stāvoklis –  $S_2$  pēc agrāk pieņemtās klasifikācijas.



1.3  $(dP_c/dt) > (dP_c/dt)$  pieļaujama. Šis nosacījums parasti rada spiediena pazemināšanos, tas ir bīstams stāvoklis –  $S_2$  pēc agrāk pieņemtas klasifikācijas.

Statistika: pēc statistikas datiem izskatāmajā perioda bija 10 gadījumu ar “Boeing 737” tipa lidmašīnām saistībā ar salona spiediena uzturēšanas sistēmas atteikumiem, un tie visi attiecas uz spiediena pazemināšanos. Septiņos gadījumos bija izplūdes vārsta atteikums (iestrēdzis atvērtā stāvoklī). Un visos šajos gadījumos spiediena uzturēšanas sistēmas elementu atteikumu rezultāts bija neparedzēta izplūdes vārsta atvēršana, kas ir pietiekami, lai salona spiediens nokristos līdz lielumam, kas atbilst spiediena zaudēšanai salonā. Tas ir stāvoklis –  $S_2$  pēc agrāk pieņemtas klasifikācijas. Līdzīgs stāvoklis notiek salona spiediena uzturēšanas sistēmas vadības bloka atteikumu gadījumā (divi gadījumi), bet šajā gadījumā pāreja uz rezerves bloku ir iespējama, kas atjauno sistēmas darbību. Ja tomēr pārslēgšanas nenotiek un sistēmas darbību atjaunot nav iespējams, arī tas atbilst gaisa kuģa stāvoklim  $S_2$ .

Promocijas darbā tiek analizēti arī atteikumi dzīvības nodrošināšanas sistēmā, hidrauliskajā sistēmā, lidojuma kontroles sistēmā un citas. Tādējādi, pamatojoties uz šo analīzi un praktisko pieredzi, pieņemam, ka viena nelabvēlīga faktora parādīšana lidojuma laikā rada gaisa kuģa stāvokli ne lielāku par  $S_1$  – sarežģīts lidojuma stāvoklis. Otra nelabvēlīga faktora parādīšanās rada nākamo stāvokli, t. i.,  $S_{i+1}$ . Un tad gaisa kuģis atrodas vairāk bīstamā lidošanas stāvoklī. Sarežģītāki lidošanas apstākļi var parādīties, kad gaisa kuģis vienlaikus ir pakļauts divu vai vairāku nelabvēlīgu faktoru kombinācijai. Jo vairāk faktoru darbojas vienlaikus, jo bīstamākā lidošanas stāvoklī atrodas gaisa kuģis. Tas ir redzams normatīvās un tehniskās dokumentācijas analīzē. Pamatojoties uz analīzes datiem, tika izstrādāts matemātiskais modelis attiecībai starp gaisa kuģa komponentu atteikumiem un gaisa kuģa stāvoklim lidojuma laikā. Tas ir balstīts uz šādiem pieņēmumiem. Mēs pieņemam  $S_i$  ( $i = 0 \dots 5$ ) gaisa kuģa stāvokli lidojuma laikā;  $S_j$  patērētāja stāvoklis;  $S_{ij}$  – patērētāja stāvoklis parametrā vērtībai  $j$ , kuru izraisa gaisa kuģa stāvoklis  $i$ ;  $X_j$  patērētājā izejas parametru kopa;  $X_0$  – patērētājā izejas parametru kopa standartizēta pēc tehniskās dokumentācijas;  $X_j - X_0$  – parametru novirze no standartizētiem lielumiem;  $C_j$  – funkcionālas sistēmas stāvokli (FS);  $C_{ji}$  – funkcionālas sistēmas stāvoklis FS stāvoklī  $j$ , kas rada patērētāja stāvokli  $S_{ij}$  un gaisa kuģa stāvokli  $S_i$ ;  $Y_j$  – FS izejas parametru kopa;  $Y_0$  – FS izejas parametru kopa standartizēta pēc tehniskās dokumentācijas;  $Y_j - Y_0$  – parametru novirze no standartizētiem lielumiem;  $C_k$  – FS elementa  $k$  stāvoklis;  $C_{jk}$  – FS elementa  $k$  stāvoklis pie lieluma  $j$ , kas rada gaisa kuģa stāvokli  $i$ ;  $Z_{jk}$  – FS atsevišķu elementu kopas lielumi;  $Z_{j_0} - Z_{j_k}$  FS atsevišķu elementu kopas lielumi, standartizēti pēc tehniskās dokumentācijas;  $Z_j - Z_0$  – parametru novirze no standartizētiem lielumiem. Pieņemsim, ka dažu funkcionālu sistēmu un patērētāju mijiedarbība dot katram gaisa kuģa FS. Katrs patērētājs tiek raksturots kā parametru  $\{X_j\}$  kopa, kurai jābūt noteiktās  $\left\{ \Delta X_j; \frac{dx_j}{dr} \right\}$  robežās tās darbības periodā. Patērētājs atkarībā no parametra  $\{X_j\}$  vērtībām var būt  $\{S_j\}$  stāvokļos. Lielums  $\{X_j\}$  ir atkarīgs no vairākiem parametriem  $\{Y_j\}$  sistēmas izeja.

Kad parametri  $\{Y_j\}$  ir pieļaujamajos limitos  $\left\{X_j; \frac{dy_i}{dr}\right\}$ , parametriem  $\{X_j\}$  vajadzētu iziet ārpus normāliem funkcionāliem limitiem. Šo stāvokli var izteikt kā vērtību  $S_{j_0}$ , un vērtība  $\{Y_j\}$  tiek noteikta ar katra «izejas» elementa  $\{Z_j\}$  parametru ietverto sistēmu.

Ja patērētāja stāvoklis lidojuma laikā atšķiras no  $S_{j_0}$ , tas radīs atšķirīgu stāvokli no normālā (regulārā)  $S_i$  ( $i = 1..4$ ). Tāpēc jebkurš stāvoklis  $S_i$ , kas var parādīties gaisa kuģī lidojuma laikā, atbilst kādam patērētāja stāvoklim  $\{S_{ji}\}$ . Stāvokļa  $\{S_{ji}\}$  parādīšanas lidojuma laikā ir atkarīga no parametru  $\{X_{ij}\}$  vērtību kopas, kuru nosaka  $\{Y_{ij}\}$  vērtības no vērtību kopas  $\{Y_j\}$ . Acīmredzams  $\{Y_{ij}\}$  atkarīga no sistēmas elementu parametru  $\{Z_j^{(i)}\} \leq \{Z_j\}$  kopas vai attiecīgai grupu elementu  $Z_{ji}$  attiecīgās kombinācijas. Tāpēc gaisa kuģa tehnisko stāvokli atteikuma gadījumā var aprakstīt ar algoritmu:

$$\{Z_{jk}\} \Rightarrow \{Y_{ij}\} \Rightarrow \{X_{ij}\} \Rightarrow S_i \quad (8.)$$

$$k=1, N,$$

kur: N – elementu skaits sistēmā;

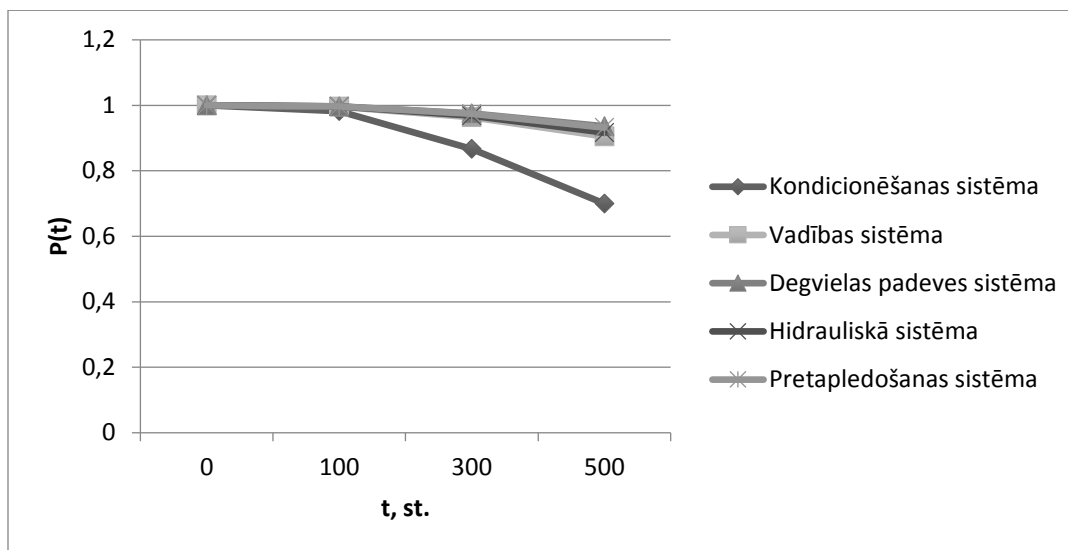
$k=1, N$  – dažādi sistēmas elementi;

$Z_{jk}$  – kāds elementa  $k$  izejas parametru lielumu diapazons noteikts pēc viņa iespējamā stāvokļa.

Šis modelis kļuva par pamatu gaisa kuģa apkopes vadības metodei gaisa kuģa apkopes laikā un gaisa kuģa statusa novērtēšanai komponentu atteikuma gadījumā lidojuma laikā. Tas ir balstīts uz atsevišķo agregātu atteikuma statistiku (4. līmenis, 4. attēls), un šo atteikumu rezultātā nesakrītību ar funkcionālas sistēmas izejas parametriem (3 līmenis, 4. attēls)  $N$  gaisa kuģu viena tipa skaitam noteikta laikā periodā un ar līdzīgu nolidojuma laiku –  $T_{\Sigma}$ . Pirmais solis būs noteikt galvenos patērētājus šā tipa gaisa kuģim. Pētījuma nākamais solis ir izveidot pāreju no patērētāju stāvokļa uz darbības sistēmu izvērtēšanu, ko apkalpo patērētājs. Tālāk, pamatojoties uz statistikas varbūtības izmantošanu, kādu funkcionālas sistēmas elementu bezatteikuma ekspluatāciju (4. līmenis) un sistēmu kopumā (3. līmenis) ir noteikta bezatteikuma ekspluatācijas varbūtība, lietojot attiecīgus gadījuma lieluma likumus. Izmantojot sistēmu stāvokļa vērtību varbūtību, kas rada īpašu lidmašīnas stāvokli lidojuma laikā, mēs identificējam visnedrošākās vienības funkcionālajā sistēmā. Mēs izstrādājam optimālo tehnoloģiju to apkopei, ieskaitot modifikācijas un rīcības plānu apkopes procesu uzlabošanai.

### 3.1. Modeļu izmēģināšana

Šos modeļus un metodes izmēģinājumi tika veikti, pamatojoties uz lidmašīnas *Avro-RJ70* tehnisko atteikumu statistiku 1995.–2005. gadā aviokompānijas «Air Baltic» ekspluatācijas laikā. Tika iegūti funkcionālas sistēmas bezatteikuma ekspluatācijas (3. līmenis) un atsevišķu komponentu (2. līmenis) vērtības. Daži aprēķinu rezultātu fragmenti ir parādīti 7. attēlā.



7. att. Gaisa kuģa sistēmu bezatteikuma ekspluatācijas vērtības

Gaisa kuģa sistēmu bezatteikuma ekspluatācijas vērtības šajā gadījumā aprēķinātas pēc formulas:

$$P(t) = \exp \left\{ -\omega t + \frac{\omega}{\lambda [1 - \exp(-\lambda t)]} \right\}, \quad (9.)$$

kur plūsmas parametri tiek noteikti pēc formulām:

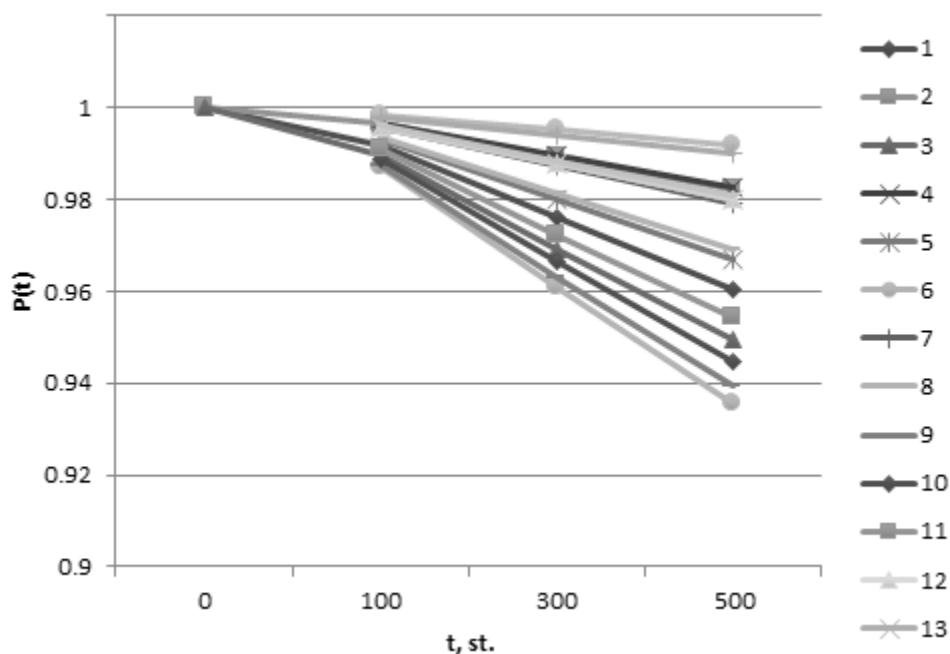
$$\omega_c = \frac{n_{ic}}{T_\Sigma} \qquad \omega_a = \frac{n_{ia}}{kT_\Sigma}$$

Parametrs  $\lambda$  – nozīme komponenta pāreju no nestabilas darbības stāvokļa uz atteikuma stāvokli.

$$\lambda = \left[ 3 - \left( 9 + 24 \cdot \frac{H}{\tau_n} \cdot \ln \left( 1 - \frac{\tau_{pus}}{H} \right) \right) \right] : (2 \cdot \tau), \quad (10.)$$

kur  $H = T_\Sigma = 2684217$  stundas;  $\tau = 500$  stundas (apkopes A-pārbaudes periodiskums).

Gaisa kondicionēšanas sistēmas komponentu bezatteikuma ekspluatācijas darbības varbūtības izvērtēšanas aprēķina rezultāti ir parādīti 8. attēlā.

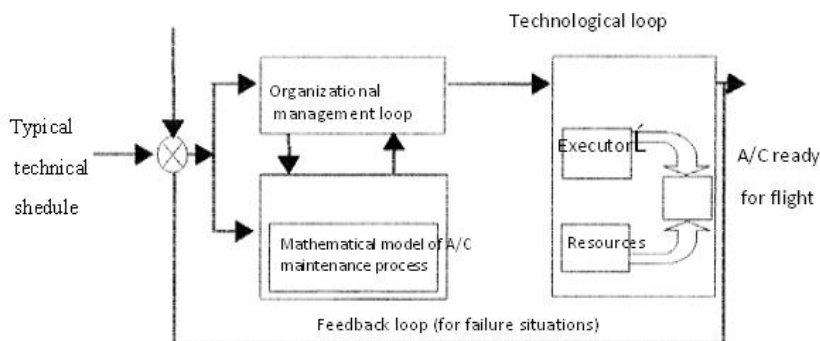


8. att. Gaisa kondicionēšanas sistēmas komponentu bezatteikuma darbības varbūtība

Aprēķini ļāva mums identificēt trīs visvairāk neuzticamās funkcionālās sistēmas: degvielas, gaisa kondicionēšanas, pretapledošanas, un 10 visneuzticamākos funkcionālos komponentus šīs lidmašīnas tipam. Saskaņā ar iepriekš minēto daudzlīmeņa gaisa kuģa struktūru (8. attēls), pirmās divas sistēmas var uzskatīt par patērētājiem. Šo sistēmu atteikumam lidojuma laikā var būt katastrofālās sekas. Padziļināta identificēto komponentu analīze ļauj mums uzlabot drošību.

#### 4. nodaļa. Matemātiskā modeļa izstrādāšanā optimālai sistēmai, lai kontrolētu gaisa kuģa sagatavošanu lidojumam

Ceturtajā disertācijas daļā, pamatojoties uz esošu vadības sistēmu lidmašīnas sagatavošanai lidojumam analīzi, izstrādāts matemātiskais modelis optimālai procesu vadībai un tika veikta izmēģināšana kavējumiem tehniska iemesla dēļ. Kopumā modelis gaisa kuģa gatavošanai lidojumam iekļaut tehnoloģisko un organizatorisko vadības apli un attēlojas, kā parādīts 9. attēlā.



9. att. Modelis gaisa kuģa sagatavošana lidojumam

Prakse rāda, ka aviokompānijas tehniskai apkopei parasti ir trīs līmeņu vadības struktūra ar noteiktu specialistu skaitu, kas tiek iesaistīti gaisa kuģa sagatavošanā lidojumam. Šie speciālisti pārstāv ražošanas plānošanu, maiņas vecākos, tehniķus. Gaisa kuģa sagatavošanas lidojumam procesā katrs vadības līmenis risina noteiktu uzdevumu skaitu. Pieņemsim, ka  $k_0$  ir specialistu skaits, kas iesaistīti gaisa kuģa sagatavošanā lidojumam, un  $k_1, k_2, k_3$  viņu skaits attiecīgajā līmenī, tad kopējo specialist skaitu, kas iesaistīts gaisa kuģa sagatavošanā lidojumam, var izteikt ar formulu:

$$k_0 = k_1 + k_2 + k_3, \quad (11.)$$

kur

1...3 – vadības līmeņi.

Izteiksim kopēju uzdevumu skaitu, ko nepieciešams atrisināt gaisa kuģa apkopes laikā ar  $M_0$ . Šis lielums ietver sevī visus uzdevumus visos trīs vadības līmeņos. Attiecīgi:

$$M_0 = \sum_{i=1}^I M_i = \sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^{J_i} M_{ij} \quad (12.)$$

$M_i$  – uzdevumu skaits maiņā  $i$ ;

$M_{ij}$  – uzdevumu skaits zonā  $j$  maiņā  $i$ ;

$I$  – maiņu skaits;

$J_i$  – zonu skaits maiņai  $i$ .

Lai risinātu šos uzdevumus, ir nepieciešami resursi, kas ir pieejami 1., 2. un 3. vadības līmeņos. Tad:

$$M_j = M_{1j} + M_{2j} + M_{3j}, \quad (13.)$$

kur  $M_{1j}$  – uzdevumu skaits gaisa kuģu sagatavošanas posmā  $j$ , un ir nepieciešami 1. vadības līmeņa resursi to risināšanai.

Attiecīgi  $M_{2j}$  un  $M_{3j}$  – uzdevumu skaits gaisa kuģu sagatavošanas posmā  $j$ , un to risināšanai ir nepieciešami 2. un 3. vadības līmeņa resursi.

Izteiksim  $\zeta_1, \zeta_2, \zeta_3$  daļa atrisināto uzdevumu 1., 2., 3. vadības līmeņos no visu uzdevumu kopējā skaita noteiktā laika periodā, ko analītiskā veidā var izteikt:

$$\zeta_1 = \frac{M_1}{M_0}, \quad \zeta_2 = \frac{M_2}{M_0}, \quad \zeta_3 = \frac{M_3}{M_0}, \quad (14.)$$

$$\text{Acīmredzot, } \zeta_1 + \zeta_2 + \zeta_3 = 1 \quad (15.)$$

Visu uzdevumu skaitu, kas tika atrisināti ar 1., 2. un 3. līmeņa resursiem, attiecīgi var izteikt:

$$M_1 = \sum_{j=1}^J M_{1j}, \quad M_2 = \sum_{j=1}^J M_{2j}, \quad M_3 = \sum_{j=1}^J M_{3j} \quad (16.)$$

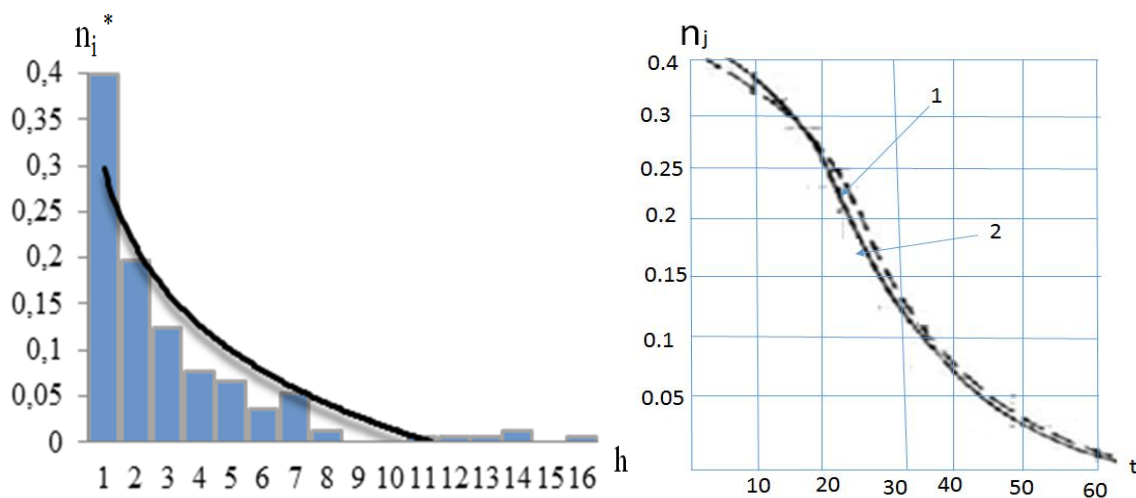
Optimālas vadības matemātiskai modelis gaisa kuģa sagatavošanai lidojumam izstrādāts un pārbaudīts gadījumam, ja izlidošanas kavējums bija tehnisks iemesls. Kā redzams otrajā nodaļā, izlidošanas kavējumu procents tehniskā iemesla dēļ analizējamā perioda bija 2,37 % gada laika limita, kad gaisa kuģis bija dažādos stāvokļos. Mēs ieviesām optimālas vadības mērvienību gaisa kuģa sagatavošanai lidojumam. Kā mērvienību optimālas vadības gaisa kuģa sagatavošanai lidojumam gadījumam, kad ir izlidošanas kavējums tehniskā iemesla dēļ, mēs noteicām varbūtību gadījumam, kad kavējums nepārsniedz kādu pieļaujamu vērtību  $\tau$ .

Optimālas vadības mērvienība  $P_j (\tau_j \leq \tau_d) (j=1..3)$  var būt izteikta ar sadales blīvumu  $f_j (\tau)$  gadījuma lielumam  $\tau$ :

$$P_j(\tau_j \leq \tau_d) = \int_0^{\tau_d} f_j(\tau) d\tau \quad (17.)$$

Lai noteiktu gadījuma lieluma  $\tau$  izplatīšanas likumu, tika analizēta kavējumu datubāze. Kā parādīja analīze, 80 % kavējumu nav lielāki par vienu stundu. Tāpēc viss klāsts tika sadalīts divās daļās: kavējumi ar ilgumu līdz vienai stundai un pārējie kavējumi. Kā saskaņas kritēriji tika izmantoti Pīrsona kritēriji  $\chi^2$  un Romanovski ( $r$ ). Kā parādīja analīze, visu kavējumu sadalījuma

blīvums atbilst eksponenciālajam likumam, savukārt kavējumiem līdz vienai stundai – Veibula likumam (skat. 10. attēlu).



10. attēls. Laika sadalījuma blīvums lidojumu kavējumiem tehnisku iemeslu dēļ

Ņemot vērā, ka gaisa kuģa apkopes vadības sistēmai jābūt izstrādātai ilgtermiņa ekspluatācijas periodam, tika nolemts izstrādāšanā izmantot eksponenciālu likumu lidojuma kavējumam tehnisko iemeslu dēļ laika sadalījumam. Tomēr šajā sakarā ir ieteicams analītiski izvērtēt, kā Veibula likums laika intervālā atšķiras no eksponenciālā likuma. Lai atrisinātu šo problēmu, Veibula sadalījums tika prezentēts kā virkne sistēmu funkciju attiecība uz eksponenciālo likumu  $f(t)$ . Tad varbūtības blīvums  $f_0(t)$ , var tikt izteikts kā

$$f(t) = f_0(t) [S_0\Psi(t) + S_1\Psi_1(t) + \dots + S_n\Psi_n(t)], \quad (18.)$$

kur:  $\Psi_1, \dots, \Psi_n(t)$  – ir normalizēta polinomiāla sistēma attiecībā uz sadalījumu  $f(t)$  un koeficienti  $C_i$  ir Furjē koeficienti funkcijai  $f(t)$ . No (4.18.) var sadalījuma likumu gan nepārkautam, gan pārkrauktam, gan sajauktam gadījuma lielumam. Tādējādi, lai iegūtu labu pietuvināšanu, ir nepieciešams paņemt atbilstošu «atsaukmes» sadali  $f(T)$ . Šajā gadījumā, kā jau tika pieminēts, kā atsauce ņemts eksponenciāls sadalījums. Aprēķini liecina, ka šajā gadījumā Veibula sadalījuma novirze no eksponenciālā sadalījuma nepārsniedz 15 %. Līdz ar to sadalījuma blīvums kavējuma laikam pēc Veibula likuma noteiktā laika intervālā atšķiras no eksponenciālā un būtu jāņem vērā, organizējot labāko vadības sistēmu, sagatavojot gaisa kuģi lidojumam ar tehnisku atteikumu.

#### 4.1. Modeļu izmēģināšana

Tādējādi nejauši izvēlēto izlidošanas kavējuma novēršanu var izteikt ar eksponenciālo funkciju:

$$f_1(\tau) = \frac{1}{\tau_j} \cdot e^{-\frac{\tau}{\tau_j}} \quad (19.)$$

šeit –  $\tau_j$  vidējais atteikuma novēršanas laiks vadības  $j$  sistēmas līmenī. Atkarībā no speciālistu skaita vidējo laiku  $\tau_j$  atteikuma novēršanai vadības  $j$  sistēmas līmeni var izteikt:

$$\tau_j = \frac{\tau_{0j}}{k_j}, \quad (20.)$$

kur  $k_j$  – speciālistu skaits līmenī  $j$ ;  $\tau_{0j}$  – vidējais atteikuma novēršanas laiks, ja ar to nodarbojas viens speciālists. Matemātiskais modelis gaisa kuģa sagatavošanai lidojumam ar kavējumu tehniska iemesla dēļ izskatīsies kā:

$$P_0(\tau \leq \tau_{don}) = \left(1 - e^{-\frac{\tau_{don} \cdot k_1}{\tau_{01}}}\right) \cdot \left(1 - e^{-\frac{\tau_{don} \cdot k_2}{\tau_{02}}}\right) \cdot \left(1 - e^{-\frac{\tau_{don} \cdot k_3}{\tau_{03}}}\right) \quad (21.)$$

Pamatojoties uz šo modeli, tika izstrādāta un pārbaudīta vadības sistēmas optimizācija gaisa kuģa sagatavošanai lidojumam ar tehniskā atteikuma novēršanu. Pārbaudē uzmanība tika veltīta, lai optimāli sadalītu kopējo speciālistu skaitu starp vadības sistēmas līmeņiem gaisa kuģa sagatavošanai. Optimālais kritērijs ir kavējuma vismazākā iespējamība. Citiem vārdiem sakot, sadalījums tiek uzskatīts par optimālu, ja maksimālā kavējuma varbūtība visos trīs līmeņos nepārsniedz pieļaujamo vērtību.

$$P_1(\tau_1 \leq \tau_d) = P_2(\tau_2 \leq \tau_d) = P_3(\tau_3 \leq \tau_d) \quad (22.)$$

Uzvedumu, lai pēc optimāla kritērija noteiktu optimālo speciālistu skaitu  $k_j$  katrā vadības līmenī  $j$ , var atrisināt šādi: atrodiēt tādu  $k_1$ ,  $k_2$  un  $k_3$ , kur lidojuma kavējuma varbūtība nepārsniedz noteikto maksimāli pieļaujamo vērtību  $\tau_d$ , un kopējais speciālistu skaits visos trīs līmeņos, kas ir iesaistīti gaisa kuģa sagatavošanā lidojumam un atteikuma novēršanā, paliek nemainīgs. Izstrādātā vadības sistēma gaisa kuģa sagatavošanai lidojumam metode tika pārbaudīta aviokompānijas gaisu kuģu apkopes organizācijā. Pieļaujamā lidojuma kavējuma vērtība tika ņemta 0,25 stundas ( $\tau_d = 0,25$  stundas). Iegūtais dažu kategoriju speciālistu skaita sadalījums izrādījās atšķirīgs no faktiskā, un ir nepieciešams pārdalīt gan speciālistu skaitu, gan to uzdevumus. Tika izstrādāts loģisks turpinājums optimālas gaisa kuģu apkopes vadības sistēmas attīstībai. Apkopes kvalitātes



efektivitātes pasākumu izvērtēšana un īstenošana paradīja uzlabojumus. Kā galvenais kritērijs pasākumu svarīgumam un nozīmīgumam tika paņemts indikators, kas raksturo varbūtību izvairīties no tehniskā personāla neatbilstībām apkopes laikā. Tāpēc tika analizētas tehniskā personāla neatbilstības aviokompānijā pēdējo piecu gaida laikā. Neatbilstības apkopes laikā, sagatavojot gaisa kuģi lidojumam, rada kavējumus, piespiedu nolaišanos, lidmašīnas bojājumus uz zemes un starpgadījumus. Lai gan bija grūti precīzi noteikt visus tehniskā personāla neatbilstību cēloņus neskaidru ierakstu dēļ attiecīgajos dokumentos, statistikas trūkums, nepilnības ražošanas dokumentos un grūtības ar to aizpildīšanu. Noviržu un neatbilstību analīze atklāja galvenos iemeslus un virzienus gaisa kuģu vadības sistēmas preventīvo pasākumu uzlabošanai.

## SECINĀJUMI

1. Matematiskie modeļi, kas tika izstrādāti 2. nodaļā, lai saīsinātu laiku, ko gaisa kuģis pavada uz zemes dažādos stāvokļos, ļauj mums simulēt gaisa kuģu apkopes procesus noteiktai gaisa kuģu tipa flotei aviokompānijā dažādos gadījumos. Modeļi tika izmēģināti attiecībā uz 13 gaisa kuģu “Boeing 737” apkopes procesiem reālā aviokompānijā. Rezultātā iegūti reālā lidmašīnas stāvokļu gadījuma lieluma  $xr = \{xr\}$  sadalījuma veidi un to statistiskie lielumi, kas dod iespēju izpildīt gaisa kuģa apkopi vajadzīgajā drošuma un regularitātes līmeni, gaisa kuģu funkcionālu un efektīvu ekspluatāciju.

2. Pamatojoties uz semiotika modeli gaisa kuģa stāvoklim lidojuma laikā un daudzslāņu struktūru (3. nodaļa), tika izstrādāts matemātiskais modelis attiecībā uz sakarību starp lidmašīnas komponentu atteikumiem un to stāvokļiem. Pamatojoties uz šo, tika izstrādāta metodoloģija lidmašīnas apkopes vadībai un stāvokļu izvērtēšanas komponentu atteikumu gadījumiem lidojuma laikā. Izstrādātā metode tika pārbaudīta, pamatojoties uz “Avro RJ70” lidmašīnas tehnisko atteikumu datubāzi ekspluatācijas periodā 1995.–2005. gadā aviokompānijā “Air Baltic”.

3. Tika izstrādāts matemātiskais modelis aviokompānijas optimālai organizatoriskai struktūrai lidmašīnas sagatavošanai lidojumam, balstoties uz specialistu optimālu sadalījumu katrā ražošanas līmeni. Šī metode tika pārbaudīta aviokompānijas tehniskās apkopes organizācijā, balstoties uz tehniskā personāla un to uzdevumu sadali starp dažādiem vadības līmeņiem atteikumu gadījumos, kas ļāva aviokompānijai samazināt ekonomiskos zaudējumus lidojuma aizkavēšanas gadījumā, samazinot kopējo kavējuma ilgumu tehnisku iemeslu dēļ.

4. Tika veikta izstrādāto līdzekļu pārbaude, balstoties uz iegūtajiem rezultātiem ar mērķi uzlabot aviokompānijas lidmašīnas apkopes kvalitāti, un pārbaude pierādīja augstu efektivitāti.