



RĪGAS TEHNISKĀ
UNIVERSITĀTE

Aleksandrs Bitiņš

LIDOJUMA DROŠĪBAS INFORMĀCIJAS BĀZES SISTĒMU TEORĒTISKO UN METODISKO PIEEJU IZSTRĀDE

Promocijas darba kopsavilkums



RĪGAS TEHNISKĀ UNIVERSITĀTE
Mašīnzinību, transporta un aeronautikas fakultāte
Aeronautikas institūts

Aleksandrs Bitiņš

Doktora studiju programmas „Transports” doktorants

LIDOJUMA DROŠĪBAS INFORMĀCIJAS BĀZES SISTĒMU TEORĒTISKO UN METODISKO PIEEJU IZSTRĀDE

Promocijas darba kopsavilkums

Zinātniskais vadītājs
profesors *Dr. habil. sc. ing.*
VLADIMIRS ŠESTAKOVŠ

RTU Izdevniecība
Rīga 2022

Bitiņš A. Lidojuma drošības informācijas bāzes sistēmu teorētisko un metodisko pieeju izstrāde. Promocijas darba kopsavilkums. – Rīga: RTU Izdevniecība, 2022. – 45 lpp.

Iespiests saskaņā ar promocijas padomes „RTU P-22” 2021. gada 26. augusta lēmumu, protokols Nr. 04030-9.16.1/3.

Vāka attēla autors – Aleksandrs Bitiņš.

<https://doi.org/10.7250/9789934227653>
ISBN 978-9934-22-765-3 (pdf)

PROMOCIJAS DARBS IZVIRZĪTS ZINĀTNES DOKTORA GRĀDA IEGŪŠANAI RĪGAS TEHNISKAJĀ UNIVERSITĀTĒ

Promocijas darbs zinātnes doktora (*Ph. D.*) grāda iegūšanai tiek publiski aizstāvēts 2022. gada 20. maijā Rīgas Tehniskās universitātes Mašīnzinību, transporta un aeronautikas fakultātes Aeronautikas institūtā, Ķīpsalas ielā 6b, 204. auditorijā.

OFICIĀLIE RECENZENTI

Asociētais profesors *Dr. sc. ing.* Pāvels Gavrilovs,
Rīgas Tehniskā universitāte

Asociētais profesors *Dr. habil. sc. ing.* Eduards Lasausks,
Viļņas Ģedimina tehniskās universitātes Antana Gustaiša aviācijas institūts, Lietuva

Profesors *Dr. habil. sc. ing.* Zbigņevs Koruba,
Kelces Tehniskā universitāte, Polija

APSTIPRINĀJUMS

Apstiprinu, ka esmu izstrādājis šo promocijas darbu, kas iesniegts izskatīšanai Rīgas Tehniskajā universitātē zinātnes doktora (*Ph. D.*) grāda iegūšanai. Promocijas darbs zinātniskā grāda iegūšanai nav iesniegts nevienā citā universitātē.

Aleksandrs Bitiņš



(paraksts)

Datums: 23.01.2022.

Promocijas darbs ir uzrakstīts latviešu valodā, tajā ir ievads, četras nodaļas, secinājumi, literatūras saraksts, 38 attēli, piecas tabulas, kopā 110 lappušu. Literatūras sarakstā ir 77 nosaukumi.

Saturs

Izmantotie saīsinājumi un definīcijas	5
Darba vispārējs raksturojums	6
1. Drošības pieeju analīze uzņēmuma līmenī	11
2. Aviokompānijas risku analīzes sistēmas modeļa izstrāde	15
3. Metodoloģijas izstrāde drošības rādītāju sastāva noteikšanai struktūrām un lēmumu pieņemējiem	18
4. Metodikas izstrāde lidojuma drošības līmeņa noteikšanai	22
5. Riska novērtēšanas metodika un lidojumu drošības rādītāji	23
6. Promocijas darbā iegūto rezultātu aprobācija	30
Kopsavilkums	41
Secinājumi	42

Izmantotie saīsinājumi un definīcijas

CAA – Civilās aviācijas aģentūra

EASA – Eiropas Aviācijas drošības aģentūra (*European Aviation Safety Agency*)

FAA – Federālā aviācijas administrācija (*Federal Aviation Authority*)

FAR – Federālās aviācijas prasības (*Federal Aviation Requirements*)

IATA – Starptautiskā Gaisa transporta asociācija (*International Air Transport Association*)

ICAO – Starptautiskā Civilās aviācijas organizācija (*International Civil Aviation Organization*)

IOSA – IATA (*International Air Transport Association*) gaisakuģa ekspluatācijas drošības audits (IATA (*International Air Transport Association*) *Operational Safety Audit*)

JAA – Apvienotā aviācijas institūcija (*Joint Aviation Authority*)

SMS – drošības vadības sistēma (*Safety Management System*)

Vidēja izmēra aviācijas uzņēmums – no 50 līdz 249 darbiniekiem un gada apgrozījums mazāks par 50 miljoniem eiro vai bilance mazāka par 47 miljoniem eiro.

Darba vispārējs raksturojums

Tēmas aktualitāte

Aviokompānijas galvenais uzdevums ir uzturēt atbilstošu lidojumu drošības līmeni saskaņā ar ICAO rekomendācijām un izstrādāt pasākumus, lai analizētu, novērtētu un veiktu pasākumus risku samazināšanai līdz pieņemamam līmenim, kā arī risku kontroli.

Aviācijas lidojumu drošība ir aviācijas sistēmas vai organizācijas stāvoklis, kurā ar aviācijas darbībām saistītie riski, kas saistīti ar gaisakuģu darbību vai tieši atbalsta tos, tiek samazināti un kontrolēti līdz pieņemamam līmenim [11]. Lidojuma drošības pārvaldība ir balstīta sistemātiskā bīstamības avotu noteikšanas un riska faktoru kontroles pieejā. Tās plānošanai nepieciešami organizatoriski pasākumi, lai identificētu un novērstu bīstamības avotus un riska faktorus, tas nozīmē, ka nepieciešama sakārtota pieeja, kurā ietilpst organizācijas struktūra, atbildības sfēras, principi, politika un procedūras. Tādā veidā lidojumu drošības pārvaldības sistēma dod iespēju prognozēt un novērst problēmas, pirms tās radušās. Lidojuma drošības nodrošinājuma pieredze nosaka, ka aviosabiedrībai ir nepieciešama strukturizēta un mērķtiecīga procesu organizācija, kas darbojas pret iespējamiem riskiem. Turklāt šī procesa organizēšanā jāpiedalās ne tikai par šo jomu atbildīgajiem cilvēkiem, bet arī profesionāliem speciālistiem, aviokompāniju vadībai, vadošajiem aviokompāniju darbiniekiem utt.

Līdz šim vienota pieeja riska pārvaldībā lidojumu drošības jautājumos vienā atsevišķā aviokompānijā nav izveidojusies, un ICAO un EASA dokumentu norādes nav pietiekamas, lai izveidotu efektīvu lidojumu drošības sistēmu šajā līmenī. Šajā jomā trūkst vienotu prasību, standartu, noteikumu utt., tāpēc katra aviokompānija izstrādā savu drošības koncepciju. Procesa pieeja uzņēmuma darbības sistēmā ir ļoti populāra, tāpēc to plaši izmanto kā metodiku, lai pārvaldītu un uzlabotu darba procesus dažādās jomās, ieskaitot vadības un drošības procesus. Lai uzlabotu tādas sarežģītas struktūras kā lidojumu drošības sistēma efektivitāti, ir jāizstrādā automatizēta sistēma datu par riskiem (atkāpes no standartiem dažādu struktūru un aviokompāniju personāla darbībā) apkopošanai, apstrādei un izmantošanai. Šādas sarežģītas struktūras efektivitātes uzlabošanai ir izstrādātas automatizētas sistēmas datu vākšanai, apstrādei un lietošanai, lai nodrošinātu nepieciešamo lidojuma drošības līmeni aviosabiedrībā. Piedāvātās pieejas informācijas bāzes izveide ļaus struktūrām un lēmumu pieņēmējiem aviokompānijā identificēt, apstrādāt un savlaicīgi sniegt informāciju par tām jomām, kurās nevēlamo notikumu risks ir vislielākais, kā arī noteikt lidojuma izmaiņu tendences. Tāda aviokompāniju datubāze ar integrētu vadības sistēmu ļauj laikus un saprātīgi noteikt paredzamo lidojumu drošības līmeni. Pētījums veltīts teorētisko un metodisko pieeju izstrādei, lai izveidotu informācijas datubāzi lidojuma drošības sistēmai aviosabiedrībā vienai no Latvijas aviokompānijām. Šī pieeja nozīmē pāreju uz jaunu drošības pārvaldības līmeni aviokompānijā.

Promocijas darba mērķis

Teorētisko un metodisko pieeju izstrāde, lai izveidotu informācijas bāzi aviācijas drošības sistēmai, ieskaitot riska faktoru identificēšanu, apkopošanu un apstrādi.

Uzdevumi

1. Transporta drošības problēmu risināšanas pieeju analīze.
2. Aviokompānijas informācijas sistēmas modeļa izstrāde.
3. Algoritma izstrāde, lai identificētu un analizētu novirzes un pārkāpumus struktūrvienību un aviosabiedrību personāla darbībā nenoteiktības apstākļos.
4. Rādītāju veidošanas metodikas izstrāde struktūrām un personām, kas pieņem lēmumus par drošību aviokompānijā.

5. Metodoloģisko pieeju izstrāde drošības darbības novērtēšanai.
6. Vispārināta modeļa izstrāde, lai novērtētu tehniskā faktora ietekmi uz lidojumu drošību.
7. Novērtēšanas metodikas izstrāde, lai novērtētu gaisakuģu tehniskās apkopes ietekmi uz lidojumu ekspluatācijas drošību.
8. Ar gaisakuģi un tā ekspluatāciju saistīto C grupas lidojumu drošības rādītāju noteikšanas metodiku aprobācija.

Izpētes objekts

Aviokompānijas lidojumu drošības līmenis.

Izpētes priekšmets

Informācijas bāze lidojumu drošības līmeņa novērtēšanai, izmantojot aviosabiedrības integrēto vadības sistēmu. Vidēja lieluma aviokompānija, ICAO, IATA, EASA, ISO, CAA dokumenti, aviokompāniju statistikas dati un dokumenti.

Pētījumā izmantotās metodes

1. Matemātiskā modelēšana.
2. Varbūtības teorija.
3. Statistisko datu apstrāde.
4. Ekspertu novērtējums.

Uzdevumu risināšanā izmantotie teorētiskie un metodoloģiskie līdzekļi

1. Semiotiskā modelēšana.
2. Statistiskas metodes.
3. Ekspertu novērtējuma metodes.
4. Metodes statistikas datu apstrādei, izmantojot *Microsoft Office Excel 2016* programmatūru.
5. Aprēķinu matemātiskā programatūra *Matlab*.
6. Metodes risku novērtēšanai: ICAO, IATA (IOSA), EASA, ISO, SHELL, DEMATEL u. c.

Izpētes vieta

Vidēja lieluma aviokompānija. Visi konkrētie aprēķini un statistikas dati, kas izmantoti šajā darbā, ir paredzēti vidēja lieluma aviokompānijai.

Zinātniskā novitāte

1. Aviokompānijas informācijas sistēmas modeļa izstrāde.
2. Algoritma izstrāde, lai identificētu un analizētu novirzes un pārkāpumus struktūrvienību un aviosabiedrību personāla darbībā nenoteiktības apstākļos.
3. Lidojuma drošības rādītāju veidošanas metodes struktūrām un lēmumu pieņemējiem aviokompānijā.

Praktiskā nozīme

Šīs sistēmas ieviešana aviokompānijā ļaus laikus sniegt nepieciešamo informāciju struktūrām un lēmumu pieņemējiem tajās jomās, kurās ir vislielākais nevēlamo notikumu risks, kā arī ļaus identificēt lidojumu drošības rādītāju izmaiņu tendences, kas balstītas uz informācijas plūsmām no dažādām

aviokompānijas darbības jomām ar integrētu vadības sistēmu un ļauj savlaicīgi un saprātīgi noteikt paredzamo drošības līmeni.

Aizstājamās tēzes

- Aviosabiedrības informācijas sistēmas modelis, kas ņem vērā visa veida novirzes no standartiem un pārkāpumus aviokompānijā.
- Algoritms aviokompānijas strukturālo nodaļu un personāla darbības noviržu un pārkāpumu identificēšanai un analīzei nenoteiktības apstākļos.
- Lidojumu drošības rādītāju matemātiskā modelēšana izstrādātajai sistēmai.

Darba rezultāti

1. Izstrādāts informācijas datubāzes modelis, kas ļauj laikus identificēt, apstrādāt un sniegt objektīvu informāciju strukturvienībām un lēmumu pieņēmējiem aviokompānijā par jomām, kurās ir nevēlamu notikumu risks, kā arī ļauj identificēt lidojumu drošības rādītāju izmaiņu tendences, pamatojoties uz informācijas plūsmām no dažādām aviokompānijas darbības jomām ar integrētu vadības sistēmu, kas ļauj savlaicīgi un saprātīgi noteikt paredzamo lidojumu drošības līmeni. Tas ļauj līdz minimumam samazināt risku un līdz ar to uzturēt aviokompānijai pieņemamu lidojumu drošības līmeni, kā arī prognozēt lidojumu drošības rādītājus nākamajam periodam. Šo pieeju var uzskatīt par pāreju uz jaunu drošības pārvaldības līmeni aviosabiedrību līmenī.
2. Izstrādāts algoritms strukturvienību anomāliju un pārkāpumu un aviokompāniju personāla kļūdu noteikšanai un analīzei nenoteiktības apstākļos, kas ļauj analizēt drošības aspektus, pamatojoties uz faktisko informāciju, kas no dažādiem avotiem nonāk aviokompānijas informācijas bāzē, kurā to apkopo, klasificē, glabā un analizē, izmantojot analītiskās metodes un paņēmienus. Uz šī algoritma pamata ir izstrādāta programmatūra informācijas automatizētai apstrādei un analīzei.
3. Lidojumu drošības novērtēšanai ir izstrādāta rādītāju sistēma (sešas rādītāju grupas aviokompānijas darbības vispārējiem virzieniem), no kuriem katrs ietver konkrētu rādītāju kopumu, kā arī to novērtēšanas metodiku.
4. Izstrādāta metodika lidojuma drošības līmeņa noteikšanai, izmantojot C grupas rādītājus, kas saistīti ar gaisakuģi un tā ekspluatāciju, novērtējot lidmašīnu kā daudzlīmeņu funkcionālu sistēmu, ņemot vērā katra līmeņa atteices varbūtību un tā seku smagumu.
5. Izstrādātā metodika tika pārbaudīta, pamatojoties uz aviokompānijas darbības rezultātiem, kas liecina, ka šīs sistēmas ieviešana aviokompānijas praksē ļauj laikus sniegt nepieciešamo informāciju aviokompānijas strukturām un lēmumu pieņēmējiem tādās jomas, kurās nevēlamo notikumu risks ir vislielākais, kā arī ļauj identificēt lidojumu drošības rādītāju izmaiņu tendences, balstoties uz informācijas plūsmām no dažādām aviokompānijas darbības jomām ar integrētu vadības sistēmu un laikus noteikt paredzamo lidojumu drošības līmeni.

Pētījuma rezultātu precizitāte

- Visi iegūtie pētījumu rezultāti ir balstīti autora praktiskajos aprēķinos, normatīvajās prasībās un aviokompānijas dokumentos.
- Autora izstrādātie matemātiskie modeļi, metodes, algoritmi, diagrammas un organizatoriskās struktūras ir pārbaudītas praksē un ieviestas metodiskajos un normatīvajos dokumentos, ņemot vērā aviokompāniju standartus, citu aviokompāniju praksi, tostarp starptautiskās aviokompānijas.
- Izstrādātā sistēma pārbaudīta, izmantojot aviokompānijas datus.

Darba aprobācija

Darbs prezentēts sešās starptautiskās zinātniskās konferencēs Latvijā un Polijā, 11 publikācijās, trīs zinātniskos žurnālos.

Starptautiskās zinātniskās konferences

1. Seminarium II Institute of Aviation Warsaw Poland 05.02.2021. Analysis Of Approaches Ensuring Safety On Transport Industry.
2. READ 2020/ 15th EWADE Rzeszow University of Technology 21-23.10.2020 Rzeszow Poland. Using the Heinrich's (Bird) Pyramid of Adverse Events to Assess the Level Of Safety in an Airline.
3. RTU 60. starptautiskā zinātniskā konference 16.10.2019. Rīga Latvija. Algorithm for Analyzing Deviations and Irregularities in the Functioning of the Airline's Structural Units and Personnel in the Face of Uncertainty.
4. KLIK 2nd Aviation and Space Congress Rzeszow University of Technology 18–20.09.2019 Rzeszow Poland. Development of Information Database for the Evaluation of Flight Safety Level of Aviation Companies Using the Integrated System of Management.
5. V starptautiskā zinātniski praktiskā konference transports. Izglītība. Loģistika un inženierija Rīgas Aeronavigācijas institūts, Rīga, Latvija 29.–30.06.2018. Development of methodology for safety risk – based airline.
6. RTU 58. starptautiskā zinātniskā konference 20.–21.10.2017. Rīga, Latvija. Development of an Information Database for the Integrated Airline Management System (IAMS).

Publikācijas

1. A. Bitiņš, J. Maklakovs, R. Bogdane, R. A. Chatys, V. Shestakov, "Using Adverse Event Pyramids to Assess Probabilities in Airline Safety Management" Transactions on Aerospace Research No. 1 (262) 2021. DOI: <https://doi.org/10.2478/tar-2021-0012>, 71.–83. lpp.
2. V. Šestakovs, J. Tereščenko, J. Maklakovs, A. Bitiņš, R. A. Chatys, "Algorithm for Analyzing Deviations and Irregularities in the Functioning of the Airline's Structural Units and Personnel in the Face of Uncertainty", TECH Journal Aviation Volume 24 Issue 2. Vilnius, Lietuva 2020, DOI: 10.3846/aviation.2020.12375. 51.–56. lpp.
3. A. Bitiņš, J. Maklakovs, V. Shestakov, K. Stefański, "Positive Culture As Element Of Safety And Efficiency Of Airline Operation" konferences krājums SELECTED ISSUES OF MODERN AVIATION TECHNOLOGIES Kelce, Polija, 2021, 9.–25. lpp.
4. V. Šestakovs, A. Bitiņš, J. Maklakovs, K. Stefanski, "Development of Information Database for the Evaluation of Flight Safety Level of Aviation Companies Using the Integrated System of Management" konferences krājums 2nd Aviation and Space Congress KLIK, Polija, 2019, 22.–23. lpp.
5. J. Maklakovs, A. Bitiņš, V. Šestakovs, R. A. Chatys, "Positive Culture as an Element of Safety and Effectiveness of Functioning of Aviation Company" konferences krājums 2nd Aviation and Space Congress KLIK, Polija 2019, 124.–125. lpp.
6. J. Tereščenko, A. Bitiņš, V. Šestakovs, R. A. Chatys, "Relationship of Reliability and Safety of Aircraft Flights in Airlines" konferences krājums 2nd Aviation and Space Congress KLIK, Polija, 2019, 202.–203. lpp.
7. R. Bogdane, A. Bitiņš, V. Šestakovs, Y. Bandara Dissanayake, "Airline Quality Assessment Methodology Taking Into Account the Flight Safety Level Based on Factor Analysis" Transport and Aerospace Engineering RTU Press Voll, Latvija 2018, DOI: 10.2478/tae-2018-0002. Part of ISSN: 2255-9876., 362.–366. lpp.
8. A. Bitiņš, A. Suharevs, L. Miķelsons, "Development of Methodology for Safety Risk – Based Airline" rakstu krājums Transports. Izglītība. Loģistika un Inženierija. RAI Latvija, 2018, 23.–30. lpp.

9. R. Bogdane, Y. Bandara Dissanayake, S. Andersone, A. Bitiņš, "Development of an Information Database for the Integrated Airline Management System (IAMS)" Transport and Aerospace Engineering RTU Press Vo 14. Latvija 2017, DOI: 10.1515/tae-2017-0002. Part of ISSN: 2255-9876, 11.–21. lpp.
10. J. Maklakovs, A. Bitins, R. Bogdane, V. Shestakov, "Using Heinrich's (Bird's) pyramid of adverse events to assessthe level of safety in an airline" TRANSACTIONS ON AEROSPACE RESEARCH 4(265) Polija, 2021, DOI: 10.2478/tar-2021-0020 eISSN 2545-2835, 11.–20. lpp.
11. A. Bitins, R. Bogdane, V. Shestakov, A. Stepanova "Theoretical and Methodological Approaches to the Information Base for an Airline's Flight Safety System" TRANSACTIONS ON AEROSPACE RESEARCH 1(266) Polija, 2022, DOI: 10.2478/tar-2022-0006 eISSN 2545-2835 75.–83. lpp.

Darba struktūra

Darbā ir ievads, sešas nodaļas, kopsavilkums, secinājumi, pielikumi, literatūras saraksts, 38 attēli, piecas tabulas, 109 lappuses, 77 literatūras atsauces.

1. nodaļa. Lidojumu drošības pieeju analīze uzņēmuma līmenī
Šajā nodaļā, pamatojoties uz mūsdienu lidojumu drošību prasību un praktisko pieeju analīzi, autors piedāvā savu pieeju drošības novērtēšanai, izmantojot Henrija un Berda definētās likumsakarības.
2. nodaļa. Aviokompānijas risku analīzes sistēmas modeļa izstrāde
Šajā nodaļā parādīts procesa pieejas modelis lidojumu drošības nodrošināšanai aviokompānijā, aviokompānijas darbības datu ievākšanas, glabāšanas, apstrādes, analīzes un izmantošanas sistēmas modelis.
3. nodaļa. Metodoloģijas izstrāde drošības rādītāju sastāva noteikšanai struktūrām un lēmumu pieņēmējiem
Šajā nodaļā parādīts ekspertīzes organizēšanas, ekspertu izvēles algoritms un ekspertīzes apstrādes metodes.
4. nodaļa. Lidojumu drošības rādītāju novērtēšanas metodikas izstrāde piedāvātajai aviokompānijas automatizētajai informācijas bāzei
Šajā nodaļā parādīts procesa pieejas modelis gaisakuģa un tā sastāvdaļu ekspluatācijas lidotspējas novērtēšanai, iedalot lidmašīnu daudzlīmeņu struktūras, ņemot vērā riska faktoros.
5. nodaļa. Riska novērtēšanas metodika un lidojumu drošības rādītāji
Šajā nodaļā parādītā riska novērtēšanas metodika lidojuma pabeigšanai ar incidentu un lidojumu drošības rādītāju izvēle, ņemot vērā dažādus faktoros.
6. nodaļa. Ar gaisakuģi un tā ekspluatāciju saistīto C grupas drošības rādītāju noteikšanas metodoloģiju aprobācija.
Šajā nodaļā veikta metodoloģijas aprobācija un uzticamības rādītāju noteikšana saskaņā ar piedāvāto modeli.

Kopsavilkums

Šajā nodaļā publicēti galvenie secinājumi.

Secinājumi

Šajā nodaļā publicēti secinājumi par veikto pētījumu rezultātiem un to aprobāciju aviokompānijas praktiskajās darbībās.

1. Drošības pieeju analīze uzņēmuma līmenī

Drošība ir darbības stāvoklis, kurā ar zināmu varbūtību tiek izslēgta bīstamības izpausme vai nav pārmērīgas bīstamības. Drošība visās dzīves sfērās ir asa sociāli ekonomiska problēma.

Ražošanā un transportā, tāpat kā visās citās dzīves sfērās, pastāv problēmas, kas saistītas ar drošību: teroristu un cilvēku radītie draudi, nolaidība un cilvēciskie faktori, ekonomiskās problēmas – resursu neracionāla izmantošana vai to pārvaldība utt. Drošība likumdošanas ietvaros nozīmē „individuāla, sabiedrības un valsts vitālo interešu aizsardzības stāvokli no iekšējiem un ārējiem draudiem”. Viena no šīm interesēm ir uzņēmējdarbība. Tajā pašā laikā organizācijas drošības nodrošināšanas galvenais mērķis ir aizsargāt tās īpašumu un darbiniekus no iekšējiem un ārējiem draudiem, identificēt un, ja iespējams, novērst to rašanās cēloņus. Organizācijas drošības nodrošināšanas mērķis ir aizsargāt sabiedrības divas pamatintereses: pirmā – organizācijas īpašuma saglabāšana un palielināšana, otrā – organizācijas biznesa reputācijas nodrošināšana un aizsardzība. Efektīvai drošības sistēmai nepieciešama pārvaldība, kuras pamatā ir skaidra visu tās elementu darbību koordinācija. Augsta līmeņa mijiedarbība starp departamentiem ir iespējama tikai tad, ja pastāv vispārējs departamentu darbību regulējums, kas skaidri definēts organizācijas politikā un procedūrās, kā arī normatīvajā sistēmā. Mūsdienu tehniskie rīki un līdzekļi ļauj novērst situācijas, kas saistītas ar iepriekšminētajām problēmām, vai tikt galā ar to sekām. Drošības nodrošināšanas problēma ir sarežģīta, tas nozīmē, ka nepieciešams veidot mērķtiecīgu pasākumu sistēmu, kas palīdzētu novērst un mazināt negadījumus, mazināt negadījumu skaitu un ekonomiskos zaudējumus, kā arī varētu novērst sekas. Tajā pašā laikā pieeja drošības problēmu risināšanai dažādās dzīves sfērās ir gan vispārēja, gan specifika.

1.1. Vispārējie drošības aspekti ražošanā un transportā

Risks ir paredzamais bīstamības biežums vai varbūtība, negatīva notikuma iestāšanās varbūtības un iespējamā kaitējuma funkcija.

Riska noteikšanai nav vienādas formulas, vispārēju pieeju riska novērtēšanai var izteikt šādi:

$$\{\text{Risks}\} = \{\text{notikuma varbūtība}\} \times \{\text{kaitējums no notikuma}\}. \quad (1.1.)$$

Risku visbiežāk definē kā notikuma biežumu vai varbūtību. To var aprēķināt, pamatojoties uz statistikas informāciju:

$$R = \frac{N(t)}{Q(t)}, \quad (1.2.)$$

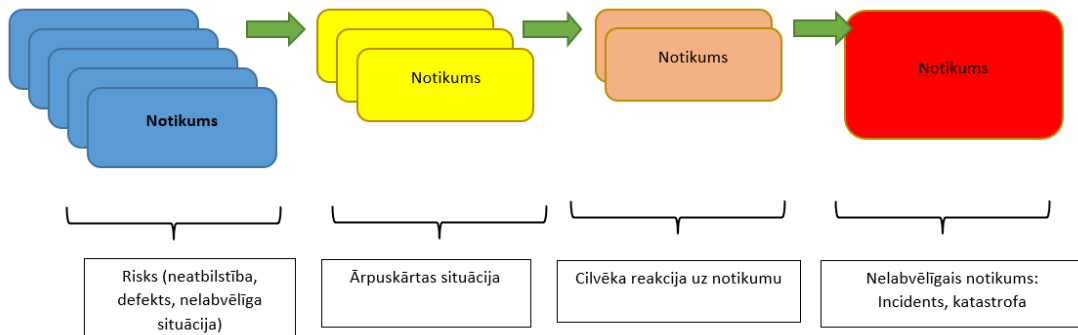
kur: $N(t)$ – nelabvēlīgo noteikumu skaits laikā t ;

$Q(t)$ – kopējo noteikumu skaits laikā t .

Piemēram, nāves risks no zibens spēriena ir $R = 10^{-7}$ /gadā; nāves risks tehnoloģiskas avārijas dēļ – $R = 10^{-6}$ – 10^{-8} /gadā; nāves risks darba negadījuma vai arodslimības rezultātā – $R = 10^{-2}$ – 10^{-4} /gadā. Zinātniskajā literatūrā ir minēti vairāk nekā 200 risku veidi.

Atkarībā no bīstamības pakāpes, pēc kuras seko ārkārtas situācija, nelabvēlīgs notikums var būt dažāda smaguma. Termini „draudi” un „bīstamība” ir sinonīmi. Ja nelabvēlīga notikuma iestāšanās varbūtība ir lielāka par nulli, tad runā par draudiem; ja tā ir ievērojami lielāka par nulli, tad runā par bīstamību. Nelabvēlīgos notikumus iedala incidentos un katastrofās. Katastrofas ir saistītas ar cilvēku nāvi un/vai nopietniem materiāliem zaudējumiem, incidenti ir saistīti ar reāliem vai potenciāliem draudiem, kas nebeidzas ar katastrofu.

Nevēlama notikuma attīstības process parādīts 1.1. attēlā. Tajā parādīts, ka persona (operators) spēj iesaistīties procesā un mazināt vai novērst riska izpausmes sekas vai pilnībā novērst draudus objekta drošībai.



1.1. att. Nelabvēlīga notikuma attīstības process ražošanā un transportā.

1.2. Negatīvo notikumu pazīmes (prekursori) rūpniecībā un transportā

Nelabvēlīga notikuma pazīmes (prekursori) jau ir bijuši pirms paša notikuma, un tie kļūst saprotami tikai vēlāk. Latentie nedrošie apstākļi, iespējams, pastāvēja pirms negadījuma. Lai identificētu un novērstu šos latentos apstākļus, nepieciešama objektīva un padziļināta riska analīze. Tāpēc ir nepieciešama sistemātiska pieeja drošības pārkāpumiem, pamatojoties uz šo notikumu prekursoru sistemātisku identificēšanu un novēršanu, kam nepieciešama objektīva un padziļināta riska analīze. Lai gan ir ļoti svarīgi pilnībā izpētīt nelabvēlīgus notikumus ar lielu nāves gadījumu skaitu, tas nav visefektīvākais veids, kā noteikt drošības nepilnības organizācijā. Ir jāpārlicinās, ka objekta darbības racionālā (pieņemamā) riska un nedrošo apstākļu analīze nemazina „vitālo prioritāti”, kas bieži tiek atklāta pēc letāliem notikumiem. Ir dažādi modeļi, kas nosaka saikni starp nevēlamu notikumu pazīmēm (prekursoriem) un pašiem notikumiem. Viens no pirmajiem, kas darba aizsardzības jomā izveidoja šādu saikni, bija Herberts Viljams Heinrihs.

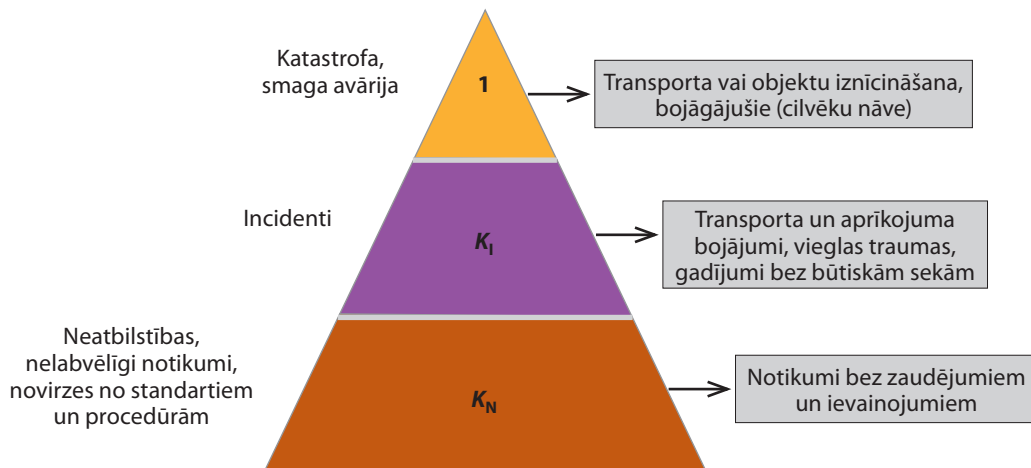
Heinriha likums – traumu (nevēlamu notikumu) piramīda. Herberts Viljams Heinrihs 1931. gadā noformulēja traumas likumu, pēc būtības definējot zinātnisku pieeju nelabvēlīgu notikumu novēršanai darba vietā. Heinriha likums (traumu piramīda, nelaimes gadījumu piramīda vai Heinriha trijstūris) nosaka, ka katram lielumam nelaimes gadījumam darba vietā ir 29 vieglas traumas un 300 potenciāli bīstamu notikumu bez sekām.

1969. gadā zinātnieks Frenks Bērds [8] veica drošības pētījumu arī rūpniecības jomā un nopietnas statistikas analīzes rezultātā arī nonāca pie secinājuma, ka var uzskatīt, ka uz katriem 600 zema līmeņa starpgadījumiem notiek 30 negadījumu ar īpašumu bojājumiem (negadījumi bez nopietni ievainotiem cilvēkiem); 10 negadījumu ar nopietni ievainotiem cilvēkiem un viens letāls negadījums. Tādējādi tika iegūta piramīda, ko sauc par noteikumu 1 : 600 [39, 42, 57].

1.3. Nevēlamu notikumu piramīdu izmantošana drošības novērtēšanai

Cēloņu un seku attiecību stabilitāte starp piramīdas līmeņiem ļauj ieviest atbilstības koeficientus: K_I – incidentu un notikumu skaita attiecību; K_N – dienestu un personāla darbības neatbilstību attiecība pret incidentiem, lai noteiktu saistību starp pjeđestāla līmeņa neatbilstībām ar incidentiem un starpgadījumiem (1.2. att.).

Tas ļauj izmantot piramīdu, veidojot drošības vadības sistēmu, un vairāk uzmanības pievērst sistemātiskam darbam, nevis tradicionālajām metodēm, kas saistītas ar incidentu izmeklēšanu, lai samazinātu piramīdas pjedestāla daļu – sistemātiski un plānveidīgi samazināt neatbilstību skaitu organizācijas dienestu un to personāla darbībā.



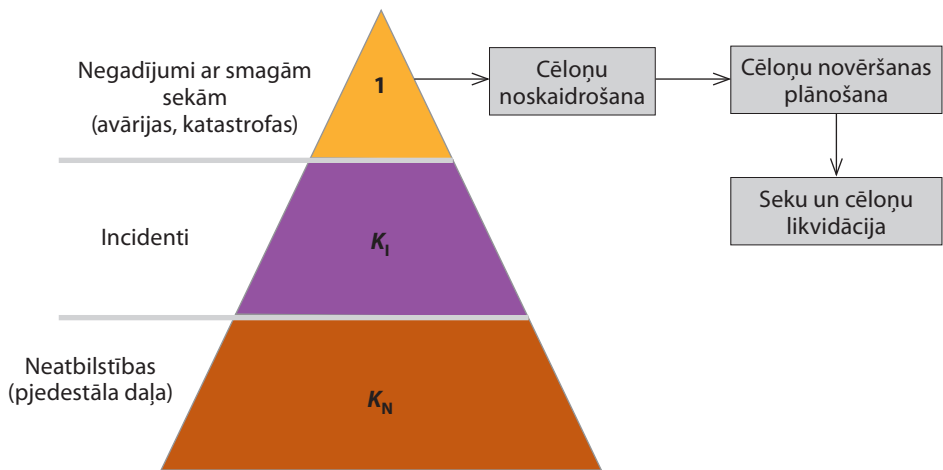
1.2.att. Atbilstības koeficienti.

Atbilstības stabilitāte Heinriha piramīdā ļauj kvantitatīvi raksturot drošības līmeni konkrētā objektā kā varbūtības pazīmi piramīdas „augšējam līmenim” – incidentu (katastrofu un avāriju) līmenim. Par galveno rādītāju tiek piedāvāts izmantot notikuma skaitu attiecībā uz laika vienību. Šo intensitāti var novērtēt kā trīs novērtējumu lineāru kombināciju, pamatojoties uz piramīdu (1.2. att.). Rezultāts būs visaptverošs drošības indikators vai drošības līmenis K_{DL} :

$$K_{DL} = \frac{1}{3} \lambda_a \frac{1\lambda_{K_I}}{3K_I} + \frac{1\lambda_{K_N}}{3K_N}. \quad (1.3.)$$

1.4. Retroaktīvā vadības metode

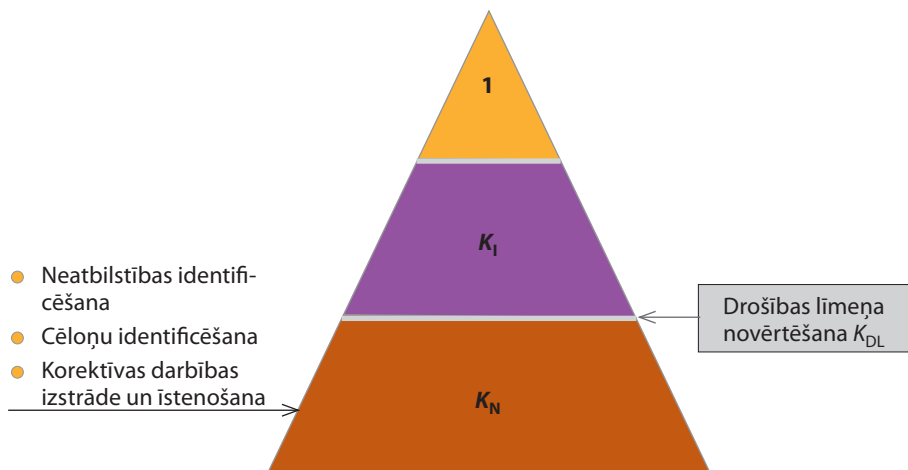
Retroaktīvās vadības metodes būtībā ir vadības ietekmes veidošana, reaģējot uz lieliem incidentiem. Retroaktīvās pārvaldības (1.3. att.) metode sastāv no negadījumu cēloņu izpētes un korektīvo darbību plānošanas. Galvenais retroaktīvās vadības metodes trūkums ir tāds, ka negadījums (katastrofa vai avārija) ir signāls darbam, lai uzlabotu darbības procesus, kas atrodas piramīdas virsotnē. Uzlabojumi organizācijas darbībā tiek veikti tikai pēc smaga negadījuma.



1.3. att. Retroaktīvās vadības metodes princips.

1.5. Proaktīvā drošības stratēģija

Proaktīvā drošības stratēģija: aktīva informācijas vākšana no dažādiem avotiem, kas varētu liecināt par jaunām drošības problēmām. Organizācijas, kas īsteno proaktīvu lidojumu drošības pārvaldības stratēģiju, uzskata, ka negadījumu risku var samazināt līdz minimumam, nosakot vajās vietas (neatbilstības), pirms tās veidos bīstamu situāciju, un veicot nepieciešamos pasākumus šo risku mazināšanai. Attiecīgi, izmantojot piemērotus rīkus, proaktīvi tiek identificēti sistēmiski nedroši apstākļi (1.4. att.).



1.4. att. Proaktīvā drošības pārvaldības metode.

1.6. Prognozējošā drošības metode

Prognozējošā drošības metode pieeja ir balstīta uz trūkumu identificēšanas principu, pirms tie rodas. Tādējādi riska faktoru noteikšanas prognozēšanas sistēma apkopo un integrē datus no dažādiem informācijas avotiem, kas var liecināt par iespējamo riska faktoru cēloni.

2. Aviokompānijas risku analīzes sistēmas modeļa izstrāde

Aviosabiedrības lidojumu drošības vadības pamats ir sistemātiska pieeja bīstamības avotu noteikšanai un riska faktoru kontrolei, kā to prasa ICAO. Tas ietver aviosabiedrības nodaļu, dienestu un personāla darbības noviržu apkopošanu un analīzi, to rezultātu izmantošanu pārvaldības pasākumu izstrādē un korektīvo darbību ieviešanu. Šāda sistēma ļauj organizācijai paredzēt un novērst problēmas, pirms tās izraisa nelabvēlīgu notikumu (incidentu vai katastrofu) [70].

Neatbilstības personāla darbībā nozīmē normu un noteikumu, kas reglamentē aviācijas kompleksa elementu darbību, pārkāpšanu, un tā rezultātā šādas neatbilstības rada draudus lidojumu drošībai.

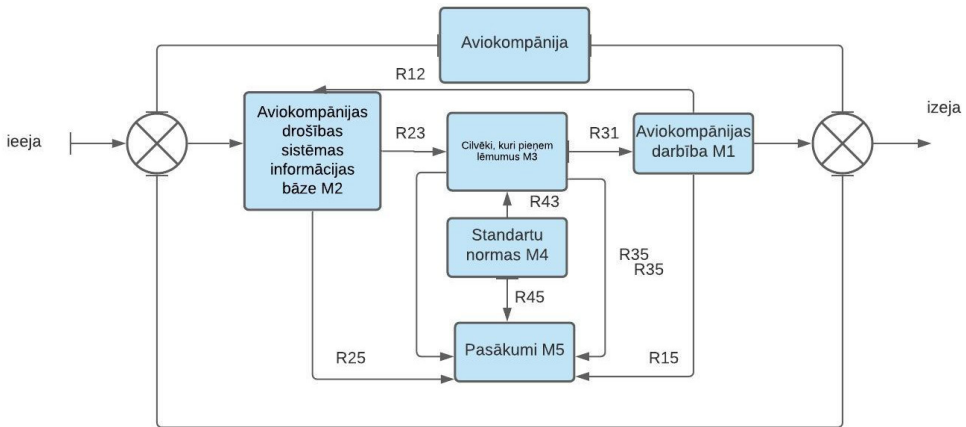
Neatbilstības struktūrvienību un aviosabiedrības personāla darbā ir apzināta vai neapzināta noteikumu pārkāpšana, piemēram, tehnoloģiskās dokumentācijas neievērošana, vadības rīkojumu, kas reglamentē aviācijas komplekso elementu darbību, neizpilde. Tādas neatbilstības un novirzes var radīt īpašas situācijas lidojuma laikā, veidot riskus, kas var izraisīt nelabvēlīgu gadījumu (incidentu vai katastrofu) [76, 77].

2.1. Aviokompānijas informācijas sistēmas modeļa izstrāde

Lidojuma drošību aviokompānijā nodrošina efektīva lidojuma drošības vadības sistēma. Drošības vadības sistēma ir sakārtota pieeja aviācijas drošībai, ieskaitot nepieciešamās organizatoriskās struktūras, pienākumus, pamatnostādnes, politiku un procedūras.

Aviosabiedrības vadības informācijas sistēmai ir jāuzskaita, jāuzglabā un jāanalizē nepieciešamie dati, jāstrādā ar visiem notikumu līmeņiem, pēc iebūvēta algoritma un vienlaikus jāatbilst jaunākajām ICAO un EASA prasībām lidojumu drošībai.

Aviokompānijas darbības datu vākšanas, uzglabāšanas, apstrādes un izmantošanas sistēmas modeļa ar integrētu vadības sistēmu shematiskais attēlojums redzams 2.1. attēlā.



2.1.att. Aviokompānijas ar integrētu vadības sistēmu modelis.

Apakšsistēma M_1 – „aviokompānijas darbība”; funkcionālās apakšsistēmas vadības objekti, kuros izveidojas nelabvēlīgas situācijas $S_1 \dots S_n$ lidojumu laikā un uz zemes, vai nelabvēlīgi notikumi. Tieši šeit var notikt nelabvēlīgi notikumi. To raksturo produktivitātes rādītāji:

- gaisakuģa lidojumu apkalpes nolidojums (stundas);
- lidojumu skaits (nolaišanās);
- agregātu darbības laiks (stundas);

- pārvadāto pasažieru skaits (cilv.);
- citi rādītāji.

Apakšsistēma M_2 – „informācijas bāze”; ietver novirzes aviokompānijas darbības visās darbības jomās un nelabvēlīgus notikumus, kas ir notikuši gaisā un uz zemes noteiktā laika periodā. Šeit notiek to apkopošana, uzglabāšana un apstrādāšana. Nelabvēlīgi notikumi lidojumu laikā notiek dažādu dienestu vainas dēļ. Šeit tiek apkopota informācija par tiem.

Apakšsistēma M_3 – „organizācijas un cilvēki, kuri pieņem lēmumus”; ietver kompānijas struktūrvienības un personas, kas ārkārtas gadījumos pieņem operatīvos un stratēģiskos lēmumus uz noteiktu laika periodu. Katram no šīs apakšsistēmas dalībniekiem ir jānodrošina automatizētas darba stacijas. Automatizētās darba vietas jāveido stingri atbilstoši to paredzētajam funkcionālajam mērķim. Tas var būt tikai klēpjdators vai stacionārais dators ar iespēju savienoties ar sistēmu. Tas var būt datoru servisa un programmatūras komplekss, kas paredzēts, lai automatizētu darbinieka darbu viņa uzdevumu ietvaros.

Apakšsistēma M_4 ietver normatīvos dokumentus saskaņā ar dažādām aviokompānijas darbības jomām, kā arī struktūrvienības un personas, kas novērtē darbību atbilstību standartiem.

Apakšsistēmā M_5 ir dienesti un darbinieki, kuri izstrādā lidojumu drošības izpildīšanas pasākumu plānus. Aviouzņēmumu līmenī viņi kontrolē lidojumu drošības līmeni un pieņem lēmumus un vienlaikus ir informācijas avoti M_3 .

Tādējādi ir iegūts slēgts sistēmas dinamiskais modelis, starp kura elementiem notiek pastāvīga informācijas apmaiņa. Darbību secība modelī norādīta ar virziena bultiņām – R_{ij} . Lēmumus pēc modeļa var pieņemt nekavējoties (taktiskie lēmumi) un ilgtermiņā (stratēģiskie lēmumi), pamatojoties uz dziļu un visaptverošu datu, kas ievadīti M_2 datubāzē, analīzi.

Starp apakšsistēmām darbojas informācijas saites:

- R_{12} – riska faktora datu nodošana informācijas bāzē M_1 ;
- R_{23} – rezultātu iesniegšana informācijas pārstrādei apakšsistēmā M_3 ;
- R_{31} – vadības lēmumi, kuru pamatā ir informācija no datubāzes M_1 ;
- R_{35} – uzdevumu uzdošana izpildes pasākumu izstrādāšanā M_5 ;
- $R_{25} \times R_{15}$ – informācijas nodošana aviokompānijas struktūrvienībām, kas izstrādā pasākumus M_5 ;
- $R_{43} \times R_{45}$ – prasību iesniegšana un normētu rādītāju uzstādīšana M_3, M_5 .

2.2. Aviokompānijas struktūrvienību un personāla darbības noviržu un pārkāpumu analīzes algoritma izstrāde nenoteiktības apstākļos

Faktoru analīzes uzdevumus nenoteiktības apstākļos raksturo tas, ka nav skaidras formas, lai precizētu sistēmas rādītāju analītisko atkarību no dažādiem faktoriem pie pietiekami reprezentatīvas statistikas par faktoriem, rādītājiem un notikumiem aviokompānijā.

Determiniskās faktoru analīzes uzdevumos tiek pieņemts, ka tiek dotas analītiskās attiecības starp faktoriem, rādītājiem un notikumiem, kā arī tiek noteikti paši fakti, rādītāji un notikumi.

Faktoru analīzes uzdevumu risināšana paredz:

- sistēmas organizatoriskā struktūru ar funkcionālām un informatīvām saitēm starp elementiem;
- noteiktā veidā organizētu rādītāju vai faktoru kopumu (datubāzes sistēmas);
- speciālistus, kas apmācīti veikt analīzi, pieņem lēmumus un kuriem ir attiecīgas pilnvaras;
- statistiskos materiālus par novirzēm un pārkāpumiem dienestos un nodaļās;
- matemātiskus metodes un modeļi informācijas pārstrādei par gaisakuģu ekspluatāciju;

- tehniskus līdzekļus un datorus analīzei un lēmumu pieņemšanai;
- noviržu un pārkāpumu ietekmes uz lidojumu drošību kritēriju novērtēšanu;
- izstrādāto pasākumu efektivitātes un to īstenošanas izmaksu kritēriji novērtēšanu.

Autora izstrādātais algoritms apkopo un analizē novirzes aviokompānijas darbībā. Algoritms tika veidots, ņemot vērā konkrēta nodaļas (dienesta) vadītāja pilnvaru pietiekamību aviosabiedrībā.

3. Metodoloģijas izstrāde drošības rādītāju sastāva noteikšanai struktūrām un lēmumu pieņēmējiem

3.1. Ekspertīzes organizēšanas un ekspertīzes apstrādes metodes izvēle

Dažādu ekspertīzes organizēšanas metožu – komisijas metodes, tiesas metodes, prāta vētras metodes, Delfi metodes, lēmumu matricas metodes, prognozējoša grafika metodes un citas metodes – analīze ļāva izvēlēties „līdera” metodi izstrādātās informācijas sistēmas rādītāju sastāva noteikšanai, kas ir pāru salīdzināšanas metodes tālāka attīstība [25, 28, 31, 34].

Pāru salīdzināšanas metodes būtība ir piedāvāt ekspertam objektu (rādītāju) sarakstu, kas pēc kāda kritērija ir jāsalīdzina pāros viens ar otru (šajā gadījumā indikatora nozīme lidojuma drošības uzlabošanas problēmu risināšanā).

Ir ērti veikt pāru salīdzinājumu, ja objektu skaits ir liels, kā arī gadījumā, ja atšķirības starp objektiem ir nenozīmīgas. Salīdzinot objektus pa pāriem, eksperts atzīmē tikai viena objekta priekšrocības, salīdzinot ar citu vai to ekvivalenci. Tas ir līdzīgi kā „uzvara”, „zaudējums” vai „neizšķirts” komandu sporta spēlēs, kas piedalās apļa turnīrā.

Ja pēc pāriem salīdzina n objektus un eksperta vēlmes apmierina tranzitivitātes īpašība, proti, ja objekti a_i un a_j saistīti ar attiecību P , un tai pašā laikā objekti a_j un a_e arī saistīti ar P , no tā izriet, ka, a_i un a_e arī ir saistīt ar šīm attiecībām, šajā gadījumā objekti tiek sarindoti (ranžēti).

Katra eksperta salīdzināšanas rezultāti ir apkopoti kvadrātveida tabulā (3.1. tabula). Līdzīgi, kā vispazīstamākajā aplveida sporta spēļu sistēmā (katrs ar katru) rezultāts apkopots kopvērtējuma tabulā.

3.1. tabula

Eksperta tabula

Rādītāja Nr.	1	2	...	N
1	●			
2		●		
...				
n				●

Tabulā atbilstošās rindas krustpunktā i objektu un kolonna, kas atbilst j , objektam ielikts „2”, ja attiecībā uz i priekšroka dodama objektam j , „0” – pretējā gadījumā, „1”, ja ir neizšķirts (ekvivalents) (attiecīgi kopvērtējumā „uzvara”, „zaudējums” vai „neizšķirts”).

Kopējais salīdzinājumu skaits vienā pāri būs vienāds ar $n(n-1)/2$.

Preferencu („punktu”) saskaitīšana katram objektam atbilstoši tabulas rindām ļauj atklāt objektu rindas (rangu).

Matemātiski ekspertu tabulu var attēlot kā kārtību $n \cdot n$ attiecību $\|P_{ij}\|$ kvadrātveida matricu ar šādiem elementiem:

$$P_{ij} = \begin{cases} 2, & \text{ja } a_i > a_j \\ 0, & \text{ja } a_i < a_j, \\ 1, & \text{ja } a_i \cong a_j \end{cases} \quad (3.1.)$$

kur: i – matricas rindas numurs; j – kolonnas numurs; apzīmējums $a_i > a_j$ nozīmē priekšroka a_i attiecībā pret a_j ; zīme \cong nozīmē ekvivalentu (līdzvērtību).

Lai novērstu matricas P_{ij} galvenās diagonāles pie elementu vērtību nenoteiktības $i=j$, kas tabulā norādīta ar simbolu \odot , šiem elementiem tiek piešķirta vērtība „1” (spēle ir „pašam ar sevi”).

Pāru salīdzinājumu metodes ieviešanas vizuāls attēlojums var būt orientēts multigrāfs ar virsotnēm i , kas atbilst salīdzinājumiem a_i ($i = 1, n$), kurā priekšroka a_i salīdzinājumā ar a_j attēlota ar diviem lokiem, kas vērsti no virsotnes i uz virsotni j , bet līdzvērtību (ekvivalentu) a_i un a_j – ar vienu loku no i uz j un vienu loku no j uz i .

Lai attiecību matricai būtu uzbūvēta grafika blakusesības matrica, katrai tās virsotnei jābūt aprīkotoi ar cilpu.

Piecu objektu grafika piemērs, kas attēlo vienu no iespējamām $2^{(n-1)n/2} = 2^{10}$ situācijām, redzams 3.1. attēlā [32].

Šajā gadījumā blakusesības matrica izskatīsies šādi:

$$A = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 2 & 2 & 1 \\ 2 & 1 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 1 & 2 & 2 \\ 0 & 2 & 0 & 1 & 1 \\ 1 & 2 & 0 & 1 & 1 \end{pmatrix} \quad (3.2.)$$

Matricas elementi atbilst nosacījumiem:

$$a_{ij} + a_{ji} = 2 \quad (3.3.)$$

Summējot matricas elementu rindas pēc kārtas, var sarindot objektus.

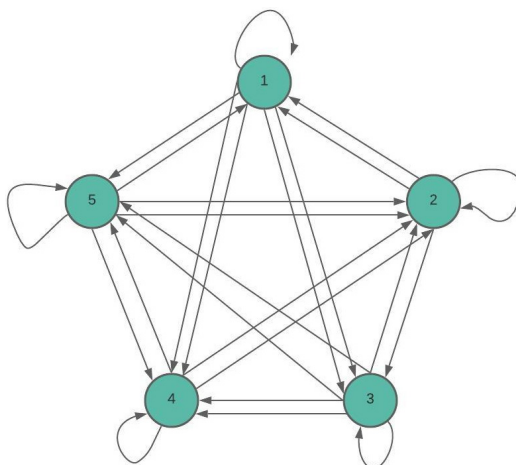
Tomēr, kā liecina pāru salīdzināšanas izmantošanas pieredze, var būt situācijas, kad tranzīta nosacījums nav izpildīts. Tātad, ja eksperts priekšroko devis objektam a_1 attiecībā pret a_2 , priekšroko objektam a_2 attiecībā pret a_3 , un tajā pašā laikā objektam a_3 ir dota priekšroka attiecībā pret a_1 , tad veidojas noslēgts cikls, un priekšrokas noteikšana starp objektiem a_1, a_2, a_3 , ir neatrisināms uzdevums.

3.4. attēlā redzami orientēti maršruti 142, 1342 un 1352, kas veido noslēgtu ciklu.

Līdera metodes izmantošana ļauj novērst šīs grūtības un dod iespēju pareizāk sarindot objektus [32, 34].

3.2. Objektu sarindošanas (ranžēšana), izmantojot Līdera metodi

Metodes pamatā ir īpašība, ka grafā eksistē garuma ceļš λ , tad, kad matrica $A^2 \neq 0$, un neeksistē slēgtu kontūru, kad $A^2 = 0$, sākot no kāda ceļa λ .



3.1. att. Priekšrocību grafs.

Metodes būtība ir atrast atsevišķu objektu „relatīvo spēku” un tā rangu (rindu) atbilstoši iegūtajām šī stipruma vērtībām.

Tās noteikšana tiek veikta, atrodot iespējamo garuma ceļu skaitu $\lambda (\lambda = 1, 2, 3, \dots, n)$, kas iet no virsotnes i uz virsotni j priekšrocību grafā (3.4. att.). Apzīmējot $P_{ij}(\lambda)$ kā matricas kopējo elementu A^λ , kas atbilst garuma ceļu skaitam λ no i uz j , summējot elementus ar katras šīs matricas rindām λ , atradīsim „integrēto spēku” rindas λ objekta $a_i - P_i(\lambda)$, tas nozīmē, ka

$$P_i(\lambda) = \sum_{j=1}^n P_{ij}(\lambda) \quad (3.4.)$$

Kopumā „relatīvais spēks” P_i objekta a_i būs

$$P_i = \lim_{\lambda \rightarrow \infty} \frac{P_i(\lambda)}{\sum_{i=1}^n P_i(\lambda)} \quad (3.5.)$$

Praktiski objektu ranžēšanai a_i pietiek secīgi veidot blakusesības matricas pakāpes $A-A^1, A^2, A^3$ un salīdzināt „relatīvo spēku” klasifikāciju katrā solī ar iepriekšējā soļa rangiem.

Ja „relatīvo spēku” rangs sakrīt divos secīgos posmos, process tiek pārtraukts un objektu a_i rangs tiek pieņemts saskaņā ar iegūto objektu „relatīvo spēku” rangu.

Pabeidzot objektu ranžēšanu, visvēlamākajam objektam tiek piešķirts 1. rangs (vieta), nākamajam – 2. utt.

Apstrādājot dažādu ekspertu tabulas, tiek aprēķināta katra rādītāja rangū summa no visām tabulām. Vispiemērotākais būs rādītājs ar mazāko rangū summu. Tad rādītāji tiek sakārtoti rangū summu augošā secībā, un summas tiek saskaitītas. Aviācijas uzņēmumu vidējā un augstākā līmeņa vadītāju iesaistīšana aviācijas speciālistu darbā negarantē visu ekspertu grupas locekļu augstu kvalitāti. Eksperta kvalitāti ietekmē darba pieredze, pilnīga izpratne par risināmajiem uzdevumiem, psihofizioloģiskās īpašības, ārējie faktori un daudz kas cits. Lai izolētu objektīvu komponentu no atsevišķu ekspertu secinājumiem, ir jānovērtē katra eksperta atbilstība. Šīs problēmas izpētei tiek veltīts pietiekams zinātnisko darbu skaits [25, 27, 28, 31, 34].

Ekspertīzes kvalitātei un atsevišķu ekspertu atbilstības novērtēšanai izmanto šādus parametrus:

- absolūtā eksperta uzticamības pakāpe, kas vienāda ar gadījumu skaitu, kurā novērtējums sakrīt ar provizorisko rezultātu, attiecību pret eksperta noteikto novērtējumu skaitu;
- relatīvā eksperta uzticamības pakāpe, kas vienāda ar eksperta absolūtās uzticamības pakāpes pie ekspertu grupas vidējās uzticamības pakāpes attiecību;
- saskaņotības koeficients (vienošanās) ekspertu vai ekspertu grupu ranžēšanas;
- izslēgto rādītāju skaitu zemā rangū līmeņa dēļ, salīdzinot ar citiem rādītājiem;
- rādītāju klātbūtne, kas ir „obligāti” atbilstoši normatīvo aktu vai pamatdokumentu prasībām, tehnoloģiskiem vai citiem iemesliem, kā arī papildus rādītāji, ko eksperti nav uzskaitījuši vai ir novērtējuši kā iekļaušanai nederīgus.

3.3. Provizoriska rādītāju sastāva ranžēšana

Provizoriska rādītāju sastāva ranžēšana, apstrādājot ekspertu informāciju pēc „līdera” metodes, tiek veikta, pamatojoties uz kvalitatīvajām īpašībām, precīzi kvantitatīvi nenosakot dažu rādītāju priekšrocību pār citiem. Uzdevuma risināšanai, kā atrast garuma ceļu l no virsotnes i līdz virsotnei j attiecību grafā, tiek atrisināta, secīgi paaugstinot grafa blakus esošo matricu (tā ir eksperta priekšrocību matrica) lielākā pakāpē līdz l ieskaitot, un iegūto matricu summēšana pēc līnijām ļauj izslēgt pretrunīgos ekspertīžu rezultātus un veikt pareizu rādītāju ranžēšanu. Vēlamākajam rādītājam ir piešķirts 1. rangs (vieta), nākamajam – 2. utt.

Apstrādājot vairāku ekspertu tabulas, tiek aprēķināta katra rādītāja pakāpju summa no visām tabulām. Priekšroka tiek dota rādītājam ar mazāko rangū summu. Tad rādītāji tiek sakārtoti rangū summu

augošā secībā, un pašas summas tiek normalizētas un uzskaitītas.

Iegūto rezultātu ticamības un ekspertīzes kvalitātes, kā arī atsevišķu ekspertu pārbaudi veic, izmantojot šādus parametrus:

- absolūtā eksperta uzticamības pakāpe;
- relatīvā eksperta uzticamības pakāpe;
- ekspertu vai ekspertu grupu klasifikācijas atbilstības ranžēšanas koeficients (vienošanās);
- izslēgto rādītāju skaits zemā rangu līmeņa dēļ attiecībā pret citiem rādītājiem;
- rādītāju klātbūtne, kas ir „obligāti” atbilstoši normatīvo vai pamatdokumentu prasībām, tehnoloģisko vai citi iemeslu dēļ, neiekļauto rādītāju pārbaude, kurus kaut kādu iemeslu dēļ vai nezināšanas dēļ eksperti neuzskaitītājā vai slikti novērtēja („direktīvie” rādītāji).

Ekspertus ar zemu ticamības pakāpi var izslēgt no analīzes, savukārt viņu ekspertu tabulas ir jāanulē, rādītāju rangi – jāpārreķina. Līdzīga pārreķināšana jāveic, dzēšot vismazāk vēlamos rādītājus.

Ja eksperti M norāda objekta n rangu pēc vēlmēm, tad ekspertu viedokļu konsekvenci (saskaņotības) var novērtēt, izmantojot saskaņošanas koeficientu W , t. i., rangu korelācijas koeficients, kas kopīgs visai ekspertu grupai [27, 28].

Lai aprēķinātu konsekvences un saskaņotības koeficienta vērtību, vispirms tiek atrasta katra objekta rangū summa, kas saņemta no visiem ekspertiem $\sum_{k=1}^M r_{ik}$, tad starpība starp šo summu un rangū vidējo summu, t. i., jāatrod visu rangū summu novirzes no vidējās vērtības:

$$\Delta = \sum_{k=1}^M r_{ik} - \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{k=1}^M \bar{r}_{ik}}{n}, \quad (3.6.)$$

kur $\bar{r}_{ik} = -\frac{1}{2}M(n+1)$ – vidējais rangū summas rādītājs.

Tālāk tiek aprēķināta starpību kvadrātu summa S :

$$S = \sum_{i=1}^n \left\{ \sum_{k=1}^M r_{ik} - \frac{1}{2}M(n+1) \right\}^2 \quad (3.7.)$$

Ja visi eksperti piešķir vienādas preferences, maksimālā vērtība S būs vienāda ar:

$$S_{max} = \frac{1}{2}M^2(n^3 - n) \quad (3.8.)$$

Jo konsekvētāki ir saskaņotie ekspertu rezultāti, jo tuvāka vērtība S pie S_{max} .

Jo vairāk nesaskaņu, jo tuvāk rangū summas vidējai vērtībai $M(n+1)/2$, savukārt vērtība S tuvāka 0. Tādējādi saskaņotības ekspertu raksturojums M ir saskaņotības koeficients, ko nosaka pēc izteiksmes:

$$W = \frac{S}{S_{max}} \quad (3.9.)$$

Šo koeficientu var noteikt arī pēc Kendala ieteiktās formulas [27]:

$$W = \frac{12S}{M^2(n^3 - n)} \quad (3.10.)$$

Vērtība W mainās no 1, ja ekspertu ranžēšana pilnībā sakrīt, līdz 0, ja trūkst saskaņotības.

Zema saskaņotības koeficienta vērtība parasti liecina vai nu par kopēja ekspertu viedokļa trūkumu, vai arī par ekspertu apakšgrupu klātbūtni, kurām ir liela saskaņotība (līdzīgi domājoši cilvēki) kopējā grupā, taču šo personu apakšgrupu viedokļi ir pretēji.

Līdzīgi domājošu ekspertu apakšgrupu identifikācija tiek nodrošināta, izslēdzot vienu ekspertu no grupas un aprēķinot pārējo ekspertu saskaņotības koeficientu. Ja jaunā koeficienta vērtība ir lielāka par visa ekspertu kopuma koeficientu, tad šis eksperts tiek izslēgts un, gluži pretēji, ja tā vērtība ir mazāka, tad šis eksperts paliek grupā. Veicot šādus aprēķinus secīgi katram ekspertam, identificē ekspertus ar „oriģinālu” viedokli un palielina pārējo saskaņotības un konsekvences pakāpi.

4. Metodikas izstrāde lidojuma drošības līmeņa noteikšanai

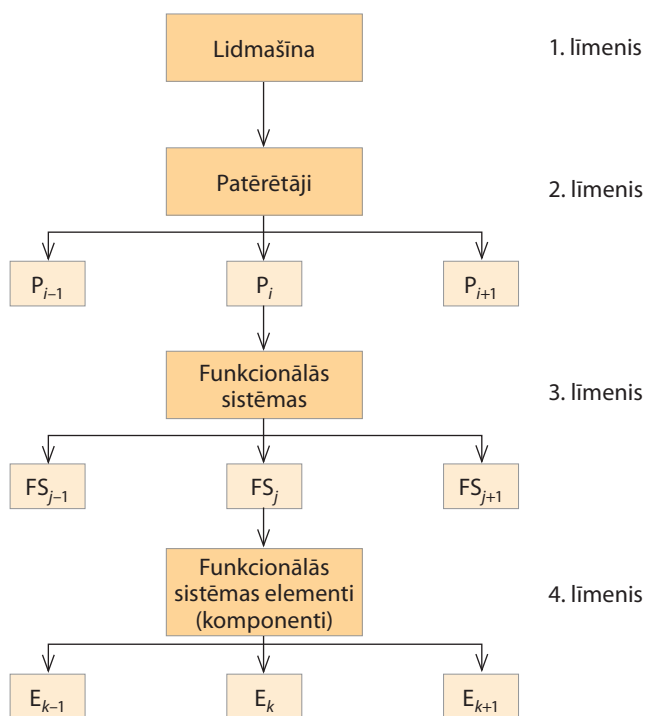
Šis grupas rādītāju novērtēšanas galvenais mērķis ir kontrolēt radīto bīstamo atteices biežumu un novērtēt to novēršanas pasākumu efektivitāti. Tas palīdz arī identificēt un ātri novērst aviosabiedrības darbības traucējumus, kas saistīti ar aviācijas lidaparātu tehnisko stāvokli. Lai sasniegtu šos mērķus, ir nepieciešama statistika par attiekumiem, kas izraisījuši aviācijas nelaimes gadījumus vai starpgadījumus, kā arī par iepriekšējām avārijas situācijām lidojuma laikā, to biežumu un bīstamības pakāpi. Uzraudzītajā periodā iegūtos datus salīdzina ar iepriekšējiem periodiem, lai identificētu to izmaiņu tendences.

4.1. Gaisakuģis kā sarežģīta daudzlīmeņu tehniskā sistēma

Gaisakuģim kā daudzlīmeņu tehniskās sistēmas semiotiskajam modelim būs tāda forma, kā redzams 4.1. attēlā.

1. līmenis – lidmašīna.
2. līmenis – patērētāji; lidmašīnas sistēmas un elementi, kuru īpašības tieši nosaka to stāvokli lidojumā (vadības sistēmas, bremzēšana, spārnu mehānizācija utt.).
3. līmenis – funkcionālas gaisakuģu sistēmas, kas apkalpo patērētājus (hidrauliskās, degvielas utt.).
4. līmenis – funkcionālo sistēmu elementi.

Atsevišķu funkcionālo sistēmu elementu atteikumi tiek reģistrētas kvantitatīvi un kvalitatīvi, kas ļauj noteikt matemātisku sakarību starp gaisakuģa atteikumiem un ārkārtas situācijām lidojuma laikā, taču tiem ir jānosaka nosacījumi gaisakuģa pārejai uz dažādiem stāvokļiem.



P – patērētājs, i – patērētāju kārtas numurs, FS – funkcionālās sistēma, j – funkcionālās sistēmas kārtas numurs, E – elements, k – elementa kārtas numurs

4.1. att. Gaisakuģa kā daudzlīmeņu tehniskās sistēmas semiotiskais modelis.

5. Riska novērtēšanas metodika un lidojumu drošības rādītāji

5.1. Riska novērtēšanas metodika lidojuma pabeigšanai ar incidentu

Iepriekš noteiktā atteices situāciju bīstamības pakāpe atspoguļo to bīstamības varbūtības augšējās robežas. Aviokompānijas informācijas bāzei, kas tika veidota šajā pētījumā, ir jāiegūst šo varbūtību pašreizējās vērtības. Tas ļaus pastāvīgi kontrolēt drošības līmeņa izmaiņu dinamiku un nepieciešamības gadījumā veikt atbilstošus pasākumus. Lai to izdarītu, jāzina dažādu līmeņu atteižu situāciju skaits lidojuma laikā noteiktā periodā. To nosaka, pamatojoties uz normatīvajos dokumentos norādītajiem atteices situāciju kritērijiem un dažādu līmeņu īpašo atteikumu seku analīzi, kas noteikta šī gaisakuģa tehniskajā dokumentācijā. Tālāk darbā apskatīti vairāki piemēri, izmantojot gaisakuģa funkcionālo sistēmu un to elementu lidotspējas rādītāju aprēķinus, dota gadījuma gaisa kondicionēšanas sistēmu pilotu kabīnē. Šī funkcionālā sistēma nodrošina gaisakuģa patērētāju – pasažieru un apkalpes – vitāli svarīgas funkcijas lidojuma laikā.

Tiek pieņemts, ka lidojuma pabeigšanu ar negadījumu novērtē pēc vispārinātā riska varbūtības R . Šajā gadījumā riska R kopējo vērtību nosaka visu iespējamo atteižu situāciju risku summa lidojuma laikā Q_i :

$$R = Q_{KAS} + Q_{AAS} + Q_{SAS} + Q_{ASLAS} + Q_{ASBLAS} = \sum Q_i, \quad (5.1.)$$

kur: ASBLAS – atteices situācija bez lidojuma apstākļu sarežģītjuma;

ASLAS – atteices situācija ar lidojuma apstākļu sarežģītjumu;

SAS – sarežģīta atteices situācija;

AAS – ārkārtas atteices situācija;

KAS – katastrofāla atteices situācija.

Vērtējot risku nonākt katastrofālas atteices situācijā katrā konkrētā atteices situācijā Q_i tiek izmantota 5.1. izteiksme. Zinot atteikumu skaitu un kvalitāti, kā arī attiecīgā lidojuma stundu skaitu, var novērtēt katra atteikuma stāvokļa parādīšanās biežumu ρ_i uz vienu lidojuma stundu:

$$\rho_i = \frac{n_i}{T_1}, \quad (5.2.)$$

kur: n_i – attiecīgo atteižu skaits lidojuma laikā, $i = ASBLAS, ASLAS, SAS, AAS, KAS$;

T_1 – lidojuma stundas.

Tiek iegūts katastrofas risks katastrofālas atteices situācijas dēļ ar zināmu bīstamības pakāpi $\eta_T \cong 1$ būs:

$$Q_{KAS} = \rho_{KAS} = \frac{n_{KAS}}{T_{KAS}}, \text{ tādēļ ka } \eta_{TKAS} = 1, \quad (5.3.)$$

kur: Q_{KAS} – katastrofiskas situācijas risks;

ρ_{KAS} – katastrofiskas atteices situācijas rašanās varbūtība;

η_{TKAS} – katastrofiskas atteices situācijas bīstamības pakāpe.

Analoģiski ārkārtas atteices situācijai:

$$Q_{AAS} = \rho_{AAS} \eta_{TAAS} = \eta_{TAAS} \frac{n_{AAS}}{T_{AAS}}, \quad (5.4.)$$

kur: Q_{AAS} – ārkārtas atteices situācijas risks;

ρ_{AAS} – ārkārtas situācijas rašanās varbūtība;

η_{TAAS} – ārkārtas atteices situācijas bīstamības pakāpe.

Sarežģītai atteices situācijai:

$$Q_{SAS} = \rho_{SAS} \eta_{TSAS} = \eta_{TSAS} \frac{n_{SAS}}{T_{SAS}}, \quad (5.5)$$

kur: Q_{SAS} – sarežģītas situācijas risks;
 ρ_{SAS} – sarežģītas situācijas rašanās varbūtība;
 η_{TSAS} – sarežģītas situācijas bīstamības pakāpe;
 n_{SAS} – sarežģīto situāciju skaits novērošanas laika intervālā T_{SAS} .

Atteices situācijai ar lidojuma apstākļu sarežģījumiem:

$$Q_{ASLAS} = \rho_{ASLAS} \eta_{TASLAS} = \eta_{TASLAS} \frac{n_{ASLAS}}{T_{ASLAS}}. \quad (5.7)$$

kur: Q_{ASLAS} – atteices situācijas risks ar lidojuma apstākļu sarežģījumiem;
 η_{TASLAS} – atteices situācijas ar lidojuma apstākļu sarežģījumiem bīstamības pakāpe;
 ρ_{ASLAS} – atteices situācijas ar lidojuma apstākļu sarežģījumiem rašanās varbūtība;
 n_{ASLAS} – atteiču skaits novērošanas intervālā atteices situācijai ar lidojuma apstākļu sarežģījumiem T_{ASLAS} .

Negatīvu notikumu grupai, nesarežģot lidojuma apstākļus (ASBLAS):

$$Q_{ASBLAS} = \rho_{ASBLAS} \eta_{TASBLAS} = \eta_{TASBLAS} \frac{n_{ASBLAS}}{T_{ASBLAS}}, \quad (5.8)$$

kur: Q_{ASBLAS} – situācijas risks;
 $\eta_{TASBLAS}$ – situācijas bīstamības pakāpe;
 ρ_{ASBLAS} – situācijas rašanās varbūtība;
 n_{ASBLAS} – situācijas skaits novērošanas laika intervālā T_{ASBLAS} .

Visbeidzot, risks pabeigt lidojumu ar gaisakuģa katastrofu:

$$R = Q_{KAS} + Q_{AAS} + Q_{SAS} + Q_{ASLAS} + Q_{ASBLAS} = \frac{n_{KAS}}{T_{KAS}} + \eta_{TAAS} \frac{n_{AAS}}{T_{AAS}} + \eta_{TSAS} \frac{n_{SAS}}{T_{SAS}} + \eta_{TASLAS} \frac{n_{ASLAS}}{T_{ASLAS}} + \eta_{TASBLAS} \frac{n_{ASBLAS}}{T_{ASBLAS}} = \sum \eta_i \frac{n_i}{T_i} \quad (5.9)$$

$$R = \sum \eta_i \frac{n_i}{T_i} \quad (5.10)$$

5.2. Atteices situācijas identifikācija lidojuma laikā

Trešā „nenormālo” situāciju pazīme balstās aviācijā pieņemto standartu sistēmā, kas nosaka trīs parametru jomas, kas raksturo Ekipāža–Gaisakuģis stāvokli:

- 1) pieļaujamo parametru vērtību diapazons, $A_i > X_i$;
- 2) ekspluatācijas parametru ierobežojumu zona $B_i > X_i \geq A_i$;
- 3) maksimāli pieļaujamo parametru zona, $C_i > X_i \geq B_i$;

kur: X_i – i parametrs no paredzamajiem ekspluatācijas apstākļiem;

A_i – tā pieļaujamo vērtību diapazons;

B_i – tā darbības ierobežojums;

C_i – tā maksimālais ierobežojums.

Pirmajā zonā ietilpst **ieteicamie lidojuma režīmi (ILR)**. Tos nosaka paredzamie ekspluatācijas apstākļi, tie tiek izvēlēti atkarībā no lidmašīnas iecerētajiem ekspluatācijas mērķiem un uzdevumiem, ko tas risina, un tiek ierakstīti tehniskajā dokumentācijā.

Ekspluatācijas un maksimālie ierobežojumi, kas norādīti otrajā un trešajā zonā, ir noteikti arī attiecīgajā ekspluatācijas dokumentācijā (tehniskās ekspluatācijas rokasgrāmatā *AMM*, Lidojumu ekspluatācijas Rokasgrāmatā *AFM* utt.). Apkalpe tiek informēta par X_i parametru vērtību tuvu lidojuma ierobežojumiem ar īpašām tehniskām ierīcēm vai fiziskām pazīmēm. Pamatojoties uz to, 5.1. tabulā apkopoti rādītāji par atteices situācijām lidojuma laikā.

5.1. tabula

Atteices situāciju indikatori gaisakuģa atteices gadījumā

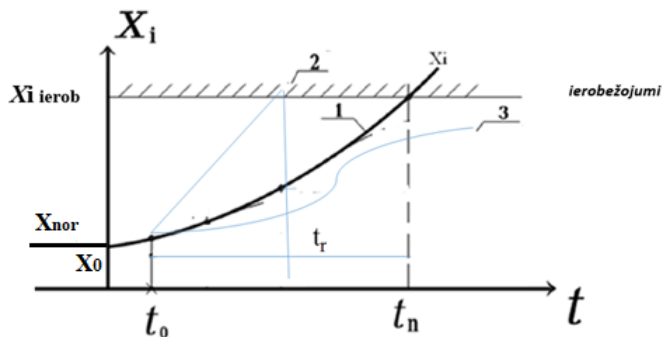
Atteices situācijas rādītāji lidojumā	Apkalpes psihofizioloģiskā stāvokļa izmaiņas	Gaisakuģa stabilitātes un vadāmības īpašību un aerodinamikas izmaiņas	Viens vai vairāki parametri pārsniedz ekspluatācijas vai maksimāli pieļaujamās robežas	Nepieciešamība mainīt profilu, režīmu vai lidojuma grafiku
Atteices situācija bez lidojuma apstākļus sarežģījumiem	Nenozīmīgas	Nenozīmīgas	Nav	Nav
Atteices situācija ar lidojuma apstākļu sarežģījumiem	Nelielas	Nelielas	Nav	Nav
Sarežģītas atteices situācija	Ievērojamas	Ievērojamas	Viens vai vairāki parametri pārsniedz ekspluatācijas robežas	Nav
Ārkārtas atteices situācija	Nozīmīgas	Nozīmīgas	Viens vai vairāki parametri pārsniedz ekspluatācijas robežas	Nepieciešamas izmaiņas lidojuma profilā, režīmā vai grafikā
Katastrofāla atteices situācija	Lidmašīnas un cilvēku dzīvības glābšana kļūst gandrīz neiespējama ($Q = 10^{-7}$ uz lidojuma stundu)			

Tādējādi, analizējot katru jebkura gaisakuģa komponenta bojājumu, pamatojoties uz tehnisko dokumentāciju, ir iespējams identificēt atteices situācijas un novērtēt to skaitu noteiktā laika posmā (lidmašīnas nolidojums stundā).

Metodika pilota reakcijas novērtēšanai atteices situācijās

No brīža, kad lidmašīna pāriet no normāla uz atteices stāvokli, mainās lidojuma režīma parametri X_i , piemēram, lidojuma ātrums, pārslodze, tangažas (uzbrukuma) un slīdēšanas leņķi utt., aerodinamika un lidmašīnas stabilitāte un vadāmības īpašības. Tajā pašā laikā mainās arī apkalpes psihofizioloģiskais stāvoklis. (aut. – Cilvēciskais faktors šajā darbā netiek izskatīts). Šādos apstākļos apkalpe sāk izmantot kontroles darbības, lai kompensētu neveiksmes negatīvās sekas un atgrieztu gaisakuģi normālā situācijā (stāvoklī).

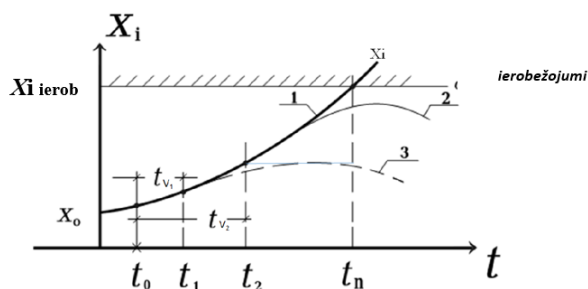
Parametra X_i izmaiņu raksturs var būt atšķirīgs, tam var būt daudz variantu (5.1. att.). Parametra līkne var būt taisna līnija ar atšķirīgu slīpuma leņķi (2), kvadrātveida vai kubiskā parabola (1) vai jebkura cita veida (3).



5.1. att. Iespējamie parametra maiņas varianti X_i atteices situācijā.

Parametra izlabošanas iespējamība ir atkarīga no atteices veida, lidojuma apstākļiem, pilota kvalifikācijas un apmācības vai automatizēto sistēmu iespējām utt. Viens no izšķirošajiem nosacījumiem ir pieejamais laiks t_r , tas laiks, kas ir pieejams līdz momentam, kad parametrs izies ārpus ierobežojumiem, kas ir atkarīgs no parametra maiņas ātruma un izlabošanai nepieciešamā laika.

Tālāk promocijas darbā detalizētāk izskatīta parametra X_i izmaiņas attīstība un pilota iespējas izlabot šīs izmaiņas, ņemot vērā nelabvēlīgo faktoru ietekmi (5.2. att.).



5.2. att. 1 – parametru maiņas līkne X_i , ņemot vērā atteices ietekmi; 2 un 3 – parametra maiņas līknes, ja pilots (autopilots) reaģē un izlabo situāciju (gaisakuģa reakcija dažādos laikos).

Lidojumā laikā t_0 (normas lidojums) gaisakuģī notiek atteices situācija. Atteices rezultātā kaut viens lidojuma parametrs X_i sāk mainīties no noteiktas parametra vērtības X_0 , vispirms tuvojoties eksploataācijas ierobežojumu zonai. Tā ir situācija ar lidojuma apstākļu sarežģījumiem. Ja pilots nereaģē, konkrētais parametrs laika momentā t_n izies ārpus ierobežojuma robežām (lidojuma rekomendētie režīmi), tālākā procesa gaitā situācija pāriet citā līmenī un kļūst par sarežģītu atteices situāciju. Ja pilotam (autopilotam) neizdosies novērst tālākās parametru izmaiņas, parametrs sasniegs maksimāli pieejamo robežu – situācija kļūst par ārkārtas atteices situāciju. Tādējādi situācijas attīstības laiks ir:

$$t = t_n - t_0 \quad (5.11.)$$

No vienas puses, tas ir atkarīgs no atteices rakstura un lidojuma režīma, no otras puses, no izmaiņu rakstura laika un paša parametra izmaiņu ātruma X_i . Šajā gadījumā parametra konverģences ātrumu ar tā ierobežojumu var vērtēt pēc izmaiņām parametra X_i izmaiņas aprakstošās funkcijas pirmajā atvasinājumā. Laiks t_r nosaka atteices ietekmes seku izlabošanas iespējas. Acīmredzot, jo augstāks parametra maiņas ātrums, jo mazāks t_r , un lielāka atteices situācijas pārejas varbūtība uz bīstamāku zonu. Pilota iejaukšanās gaisakuģa kontrolē situācijas labošanai, lai izslēgtu nelabvēlīgās sekas, sākuma laiks apzīmēts ar t_1 , faktiskais pilota iejaukšanās sākuma laiks kontrolē būs vienāds ar:

$$t_v = t_1 - t_0 \quad (5.12.)$$

Tas ietver laiku, kas nepieciešams atteices atklāšanai, atpazīšanai un iedarbībai uz gaisakuģa vadību lai novērstu nelabvēlīgas sekas, t. i., šis ir lēmuma pieņemšanas laiks. To regulē normatīvie dokumenti, lai gan patiesībā tas ir aptuvenš mainīgais lielums, kas atkarīgs no daudziem apstākļiem, tostarp – no pilota psihofizioloģiskā stāvokļa, kas arī ir viena no atteices situācijas pazīmēm. Ņemot vērā to, ka parametrs nekavējoties nevar atgriezties sākotnējā vērtībā, maksimālais iespējamais pilota iejaukšanās laiks būs brīdis, kad parametra izmaiņu likne pieskarsies robežlinijai. Ja parametrs mainās saskaņā ar kontrolētu likumu, locījuma punkts, t. i., robežlinijas pieskārienus noteiks šis izmaiņas aprakstošās funkcijas pirmā atvasinājuma nulles vērtība. Maksimālais pieejamais lēmuma pieņemšanas laiks t_{rmax} vienmēr būs mazāks par vērtību $t_{vmax} < t_{rmax}$.

Ja $t_v > t_{vmax}$, pilotam nav laika izmainīt parametra pieaugumu, tas pārsniegs robežas, un atteices situācija no mazāk bīstamas kļūs bīstamāka. Šīs vērtības var noteikt, pamatojoties uz apkalpes apmācību, izmantojot lidojuma simulatorus vai atšifrējot lidojuma reģistratorus, vai arī izmantojot citus paņēmienus [51].

5.3. Gaisakuģa tehniskās apkopes ietekmes novērtējums uz lidojumu ekspluatācijas drošības rādītājiem

Tiek pieņemts, ka lidmašīnu tehnisko apkopi veic tehniskas apkopes organizācija, kas sertificēta saskaņā ar EASA 145. daļu, vai aviokompānijas tehniskais centrs. Tehniskās apkopes organizācijas uzdevums ir nodrošināt aviokompānijas gaisakuģa lidojumu ekspluatācijas drošību (lidotspēju). Lidojumu drošība un lidotspēja ir diezgan tuvu viens otram. Lai pārietu no lidotspējas novērtējuma uz lidojumu drošības novērtējumu, jāņem vērā atteices un darbības traucējumus, kas rodas lidojuma laikā un/vai tiek atklāti tehniskās apkopes laikā, iedalot tos atsevišķās grupās un katram no tiem definējot ICAO pieņemtos drošības rādītājus. Tādējādi promocijas darba analīzes vajadzībām tika ieviesti divi rādītāji:

- statistiskais rādītājs laikā, KT_{ij} :

$$KT_{ij} = \frac{n_{ij}}{T_{ij}} 10^5, \quad (5.13.)$$

kur: n_{ij} – gaisakuģu flotē konstatēto atteižu un darbības traucējumu skaits, aviokompānijas gaisa flotei – j par analizētu laika posmu – i ;

T_{ij} – aviokompānijas gaisakuģu flotes nolidojums.

- statistiskais rādītājs pēc nosēšanas, KN_{ij} :

$$KN_{ij} = \frac{n_{ij}}{N_{ij}} 10^5, \quad (5.14.)$$

kur: n_{ij} – gaisakuģu flotē konstatēto atteikumu un darbības traucējumu skaits, aviokompānijas gaisa flotei – j par analizētu laika posmu – i ;

N_{ij} – nosēšanas skaits par to pašu periodu.

Darbā izmantota arī riska faktoru klasifikācija trīs kategorijās, kas ir vispārpieņemtas lidojumu drošības teorijā:

A – cilvēciskais faktors, kas saistīts ar tehnisko personālu;

B – tehniskie faktori, kas saistīti ar gaisakuģa atteicēm un darbības traucējumiem;

C – vides faktors.

Šajā gadījumā ekspluatācijas drošības statistiskajos rādītājos masīvā par laika periodu i kompānijas gaisa flotei j , jāiekļauj rādītāji:

$$KT_{ij}(A), KT_{ij}(B), KT_{ij}(C), KN_{ij}(A), KN_{ij}(B), KN_{ij}(C) \quad (5.15.)$$

Šajā gadījumā atteices, kas rodas normālas ekspluatācijas laikā, kad sākuma ekspluatācijas aprīkojuma posms (pielāgošana) ir pagājis un intensīva nodilšana vēl nav sākusies, arī būs pakļautas analīzei.

Apkopojot statistiku, tiek iegūta rādītāju laika rinda, lai izpētītu tās gaitas raksturu laikā, un jāzina pamatfunkcijas forma, ko var konstruēt, izmantojot regresijas analīzes metodes. Bāzes funkcija \tilde{K}_{ij} atšķirsies no sākotnējās funkcijas ar nejašu kopējo kļūdu S_{Σ} :

$$K_{ij} = \tilde{K}_{ij} + S_{\Sigma} \quad (5.16.)$$

Pamatojoties uz atrasto bāzes funkciju \tilde{K}_{ij} , ir iespēja veikt ekspluatācijas rādītāju θ_{ij} attīstības tendences, kas būs pirmie atvasinājumi no bāzes funkcijas pēc laika:

$$\theta_{ij} = \frac{d\tilde{K}_{ij}}{dt} \quad (5.17.)$$

Operatīvo rādītāju attīstības tendence noteiktā laika intervālā raksturo ilgtermiņa liela mēroga pasākumu ietekmi, kas vērsti uz lidojuma drošības līmeņa uzlabošanu. Tomēr, kā liecina analīze, līdz ar lidojumu drošības rādītāju pamatfunkciju un tā tendencēm jāņem vērā tendences izmaiņas ātrumu laikā:

$$\dot{\theta}_{ij} = \frac{d\theta_{ij}}{dt} = \frac{d^2\theta_{ij}}{dt^2} = \frac{d^2\tilde{K}_{ij}}{dt^2} \quad (5.18.)$$

Turpmākai analīzei jebkuras pamatfunkcijas laika rinda tiks apzīmēta ar $y=f(t)$, un šī atkarība tiks meklēta neatkarīgā mainīgā t polinoma n -tās pakāpes veidā:

$$y = b_0 + b_1t + b_2t^2 + \dots + b_nt^n \quad (5.19.)$$

Tātad pirmais atvasinājums no bāzes funkcijas pēc laika būs bāzes funkcijas θ izmaiņas tendence rindas veidā:

$$\theta = \frac{dy}{dt} = b_1 + 2b_2t + 3b_3t^2 + \dots + nb_nt^{n-1} \quad (5.20.)$$

Otrais pamatfunkcijas atvasinājums vai tendences maiņas ātrums būs formas laika rinda:

$$\dot{\theta} = \frac{d\theta}{dt} = \frac{d^2y}{dt^2} = 2b_2 + 6b_3t + \dots + n(n-1)b_nt^{n-2} \quad (5.21.)$$

Izmaiņu ātrums, pamatfunkcijas laika rindu tendence vai paštrinājums ļauj novērtēt ekspluatācijas drošības rādītāja sākotnējo datu kopas uzvedības dinamiku jebkuram no apskatāmajiem faktoriem – A, B, C. Tomēr to var izdarīt, tikai pareizi izvēloties aptuvenā polinoma pakāpi un nosakot izvēlētās pakāpes polinoma koeficientu vērtības. Pēc tam var veikt diezgan pilnīgu visa lidojumu drošības ekspluatācijas rādītāju masīva analīzi. Pirmkārt, lai iegūtu efektīvus organizatoriskus un tehniskus pasākumus, kuru mērķis ir uzlabot lidojuma drošību, kad organizācijas vadības personāls veic inženiertehnisko un sociālo analīzi par lidojuma drošības indikatoru tendences izmaiņu cēloņiem apakšsistēmai „Gaisakuģis-tehniskās apkopes organizācija”, jo tam ir jāzina ne tikai laika funkcija θ (tās zīme), bet arī tās izmaiņu ātrums $\dot{\theta}$. Tieši laika momenta funkcijas izmaiņām θ un $\dot{\theta}$ ir jāpievērš vadības un kontroles personāla uzmanība, lai noteiktu procesa norises pārmaiņu cēloņus – sociālos, tehniskos, ekonomiskos vai citus, gan negatīvos, gan pozitīvos. Otrkārt, prognozēt šādas laika rindas uzvedību nākamajam operācijas posmam, kas vadības personālam ļaus izdarīt attiecīgus secinājumus un veikt nepieciešamos pasākumus, lai tuvākajā nākotnē novērstu nevēlamas tendences attīstību. Tādējādi ir ergonomiski jāapsver apakšsistēmas „Gaisakuģis-tehniskās apkopes organizācija” saīsu mijiedarbība, lai prognozētu un līdz ar to novērstu nelabvēlīgas norises, kas izpaudīsies, pasliktinoties pamatfunkciju maiņas tendencēm, nosakot lidojuma drošības rādītājus pēc gaisakuģa flotes tehniskā faktora. Tas nozīmē, ka noteikta cikla laikā informācija par nejašiem gadījumu gaisakuģa atteižu gadījumiem un tādiem, kas radušies cilvēka darbības rezultātā, būtu jāuzkrāj, veicot iegūtās statistikas turpmāku matemātisku apstrādi. Jāizveido atteižu rādītāju $KT(A)$, $KN(A)$ bāzes funkcija un jāveic regresīvā analīze, kas ļauj novērtēt notikumu attīstības tendenci $\theta(A)$. Tomēr, pētot tehniskās apkopes operatoru ietekmi uz gaisa transporta drošības raksturlielumiem, secināts, ka šī pieeja nav pietiekama, jo ergonomiskajā apakšsistēmā

„Gaisakuģis-tehniskās apkopes organizācija” operatora organizācijas izmaiņas, kas izraisīja drošības indikatoru parametru pasliktināšanos un tā ātruma izmaiņu, ir neizbēgama, un ar laiku nobīdi tas ietekmēs gaisakuģa floti, pasliktinot tehnisko faktoru. Lai atrastu tendenču parametrus $\theta(A)$ un tā izmaiņu ātrumu $\dot{\theta}$, nepieciešams pāriet kvadrātiskajā, kubiskajā vai augstākajā tuvināšanas pakāpē, tikai tad izpētītie parametri θ un $\dot{\theta}$ kļūs par būtiskām laika funkcijām un tiks pakļauti detalizētam pētījumam. Kubiskās aproksimācijas izmantošana ļauj iegūt ne tikai laika funkcijas $\theta(A, t)$ un $\dot{\theta}(A, t)$, bet arī noteikt ceturto regresijas koeficientu un paātrinājumu, kuru noteikšana īpaši sarežģītos gadījumos būs ļoti noderīga. Tādējādi tiek izvirzīts šāds uzdevums: lai prognozētu drošības rādītāju izmaiņu tendenci pēc tehniskā faktora, apsverot gadījuma atteices, iepriekšējā laika ciklā ir nepieciešams izpētīt tendenču parametru uzvedību un to drošības rādītāju ātrumu, ko nosaka cilvēciskais faktors – tehniskās apkopes operators. Lai noteiktu pieņemtā savienojuma uzticamību starp apakšsistēmas „Gaisakuģis-tehniskās apkopes organizācija” saitēm, jāveic matemātiskais eksperiments diviem laika cikliem: jākonstruē procesa matemātiskais modelis, izmantojot pieejamos statistikas datus, un jāsalīdzina rezultāti, kas iegūti ar piedāvāto sākotnējo shēmu. Ja tiek apstiprināta iepriekš aprakstīto likumsakarību esamība, rekomendēts veikt analīzi, lai prognozētu tendenci $\theta(B)$ un tās izmaiņu ātrumu $\dot{\theta}(B)$ tehniskajam faktoram pēc $KT(B)$ un $KN(B)$ plānotajam darbības ciklam.

5.4. Aviācijas tehnikas drošības rādītāju pamatfunkciju kvadrātiskā tuvināšana

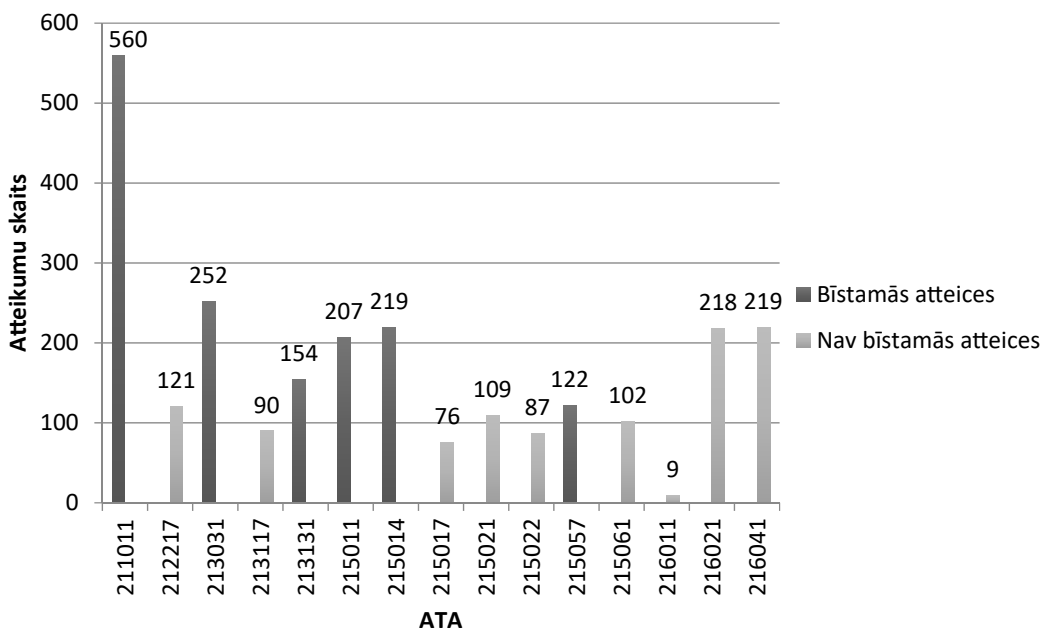
Pamatfunkcijas K_T gala rezultāti grafiskā veidā un tās izmaiņu tendences θ_T pēc faktoriem A, B, C aprakstīti 6. nodaļā. Tomēr šāda veida tuvināšana neļauj iegūt abus parametrus $\theta(t)$ un $\dot{\theta}(t)$, aprakstot tendenci un tās izmaiņu ātrumu, izteiktu laika funkciju veidā. Rezultātā ir jāveic precīzāka notikumu (atteižu) analīze, izmantojot matemātisko modelēšanu aviācijas tehnikas drošības rādītāju pamatfunkcijām kubiskās atkarības formā.

6. Promocijas darbā iegūto rezultātu aprobācija

Darbā iegūto rezultātu pārbaudes objekti bija Latvijas aviosabiedrības ar mazu un vidēju gaisa satiksmes apjomu. Saskaņā ar autora pieņemto metodoloģiju nelabvēlīgu faktoru apkopojuma gaisakuģa tehnisko komponentu atteižu varbūtība tika aprēķināta dažādos daudzlīmeņu struktūras līmeņos.

6.1. Kabīnes gaisa kondicionēšanas sistēmas darbības uzticamības rādītāju aprēķins

6.1.–6.9. attēlā parādīts elementu (atsevišķu faktoru) atteižu biežums analizētajā periodā. Izcelti tie komponenti, kuru atteikums rada bīstamu atteižu situāciju lidojumā, atsevišķi nodalītas nebīstamās atteices, kas izraisa atteižu situācijas, nesarežģot lidojuma apstākļus. 6.4. attēlā redzamas šo vienību darbības bez traucējumiem varbūtības aprēķināšanas rezultāti.



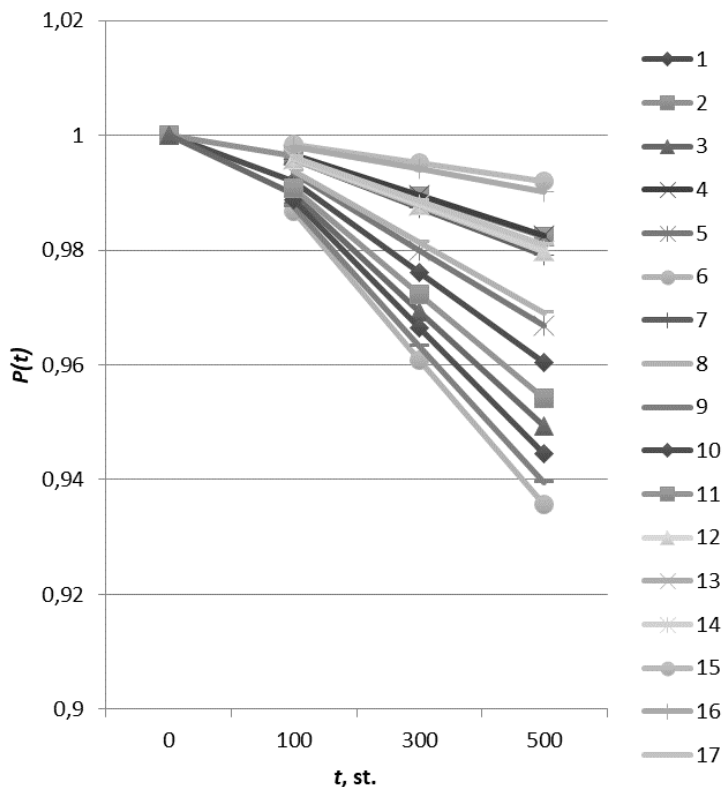
6.1. att. Gaisa kondicionēšanas sistēmas elementu atteižu skaits pētījuma periodā.

Lai novērtētu sistēmas vienību drošas darbības iespējamību, tika izvēlēti agregāti ar lielāko absolūto atteižu skaitu. Attēlā izceltie tie komponenti (vienības), kuru atteice lidojumā rada sarežģītu atteižu situāciju.

Tādā pašā veidā tika aprēķinātas visu iepriekšminēto funkcionālo sistēmu darbības bez atteižu varbūtības:

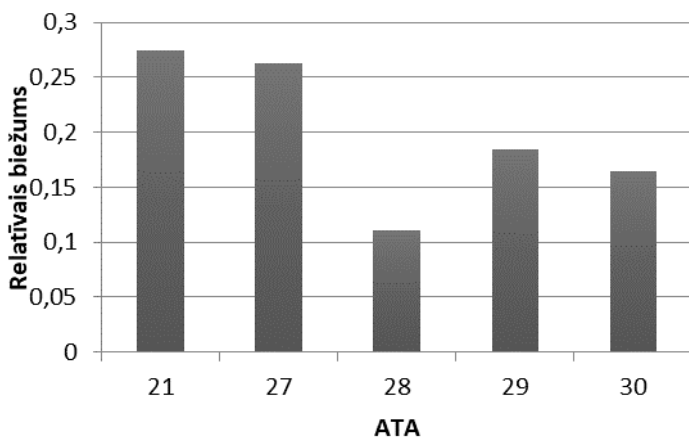
- 21 – kondicionēšanas sistēma;
- 27 – vadības sistēma;
- 28 – degvielas padeves sistēma;
- 29 – hidrauliskā sistēma;
- 30 – pretapledošanas sistēma.

Aprēķinu rezultāti parādīja un identificēja vismazāk uzticamo no tiem. 6.3. un 6.4. attēlā redzams to grafiskais attēlojums.



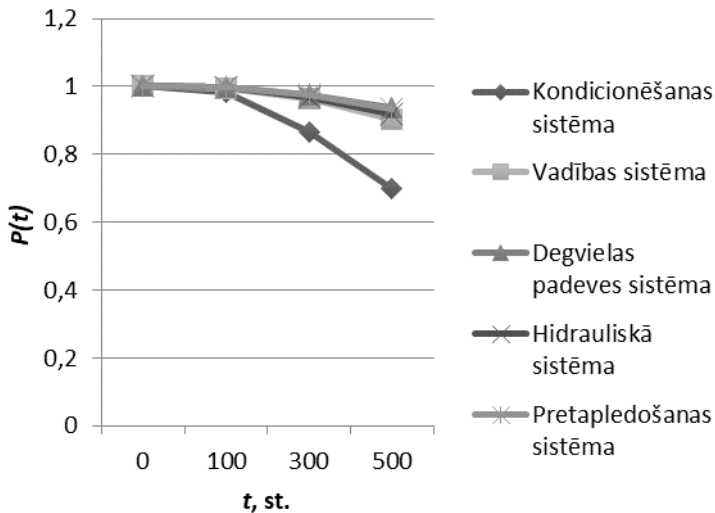
6.2. att. Gaisa kondicionēšanas sistēmas atsevišķu komponentu bezatteices darbības varbūtība.

Līdzīgi bezatteices darbības varbūtības aprēķini pētījuma periodā tika veikti piecām funkcionālam sistēmām 3. līmenim (6.3. att.). Apkopotie rezultāti redzami 6.4. un 6.5. attēlā.



6.3. att. Lidmašīnu bezatteices sistēmu varbūtība.

- Kur: 21- kondicionēšanas sistēma;
- 27- vadības sistēma;
- 28- degvielas padeves sistēma;
- 29 - hidrauliskā sistēma;
- 30 - pretapledošanas sistēma.



6.4. att. Lidmašīnas AVRO-RJ70 funkcionālu sistēmu bezatteices darbības varbūtības.

Grafikā redzams, ka nedrošākā sistēma ir (drošuma paaugstināšanas kārtībā):

- gaisa kondicionēšanas sistēma;
- gaisakuģa vadības sistēma;
- hidrauliskā sistēma;
- pretapledošanas sistēma;
- degvielas padeves sistēma.

Pamatojoties uz veiktajiem pētījumiem, tika identificēti vismazāk uzticamie pētāmo sistēmu komponenti. Saskaņā ar standartiem atsevišķa atteice, kas nav izcelta tumšā krāsā, izraisa atteices situāciju, nesarežģot lidojuma apstākļus (ASBLAS), atzīmētas ar tumšāko krasu izraisa atteices situācijas ar lidojumu apstākļu sarežģījumiem (ASLAS). Divu vai vairāku komponentu vienlaikus atteices rada ārkārtas atteices situācijas (AAS).

Veiktie aprēķini ir pamats, lai novērtētu kopējo risku lidmašīnas lidojumu beigšanas varbūtību ar incidentu, kad lidojuma tehniskais faktors izpaužas lidojuma laikā.

6.2. Aviokompānijas ekspluatēto gaisakuģu darbības lidotspējas uzticamības rādītāju regresijas (korelācijas) analīze

Balstoties uz iepriekš aprakstītajiem gaisakuģa gaisa kondicionēšanas sistēmas darbības lidotspējas uzticamības rādītāju aprēķiniem, tika veikta arī to regresīvā (korelācijas) analīze.

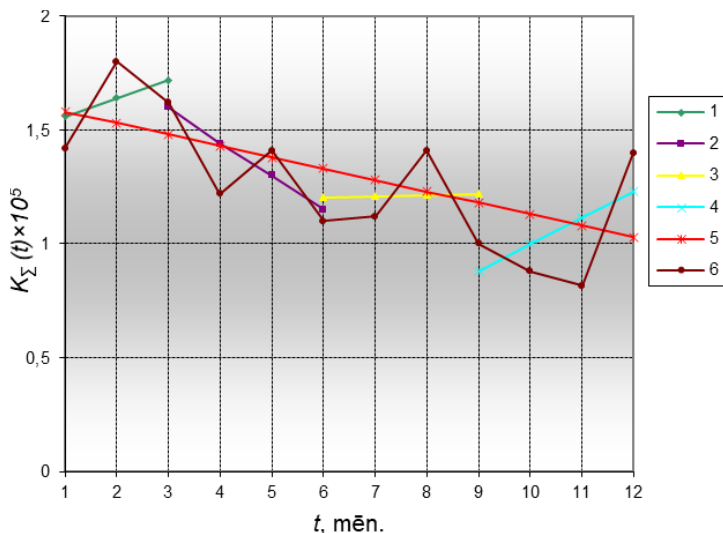
Tam bija nepieciešams atrast funkcijas $K(t_i)$, kas aproksimē skaitlisko vērtību kopumu. Parasti izlīdzināšanas funkciju raksturo m pakāpes polinoms:

$$K_t = a_0 + b_1 t + b_2 t^2 + \dots + b_m t^m, \quad (6.1)$$

kur a, b – izlīdzināšanas funkcijas koeficienti.

Kā aprakstīts iepriekšējā nodaļā, tika iegūti regresijas (korelācijas) analīzes matemātiskie koeficienti a, b – izlīdzināšanas funkcijas koeficienti, kas nosaka lineārās aproksimācijas funkciju pētāmajam gadījumam. Aprēķināts kopējo atteižu komponentu skaits $y = K(t_i)$ gaisa kondicionēšanas sistēmai visā flotē pa mēnešiem, veicot statistisko datu apstrādi. (6.5. att.). Saskaņā ar aprakstīto metodiku un grafiku izlīdzināšanas funkcijas $K(t_i)$ tiek apzīmētas pa ceturkšņiem un gadu. Kā redzams grafikā, izlīdzināšanas funkcija monotoni samazinās gada laikā $K(t)$. Tas liecina par labvēlīgu mainīgās

tendences $K(t)$ attīstību. Tomēr ceturkšņa analīze rāda, ka šis viedoklis neatbilst realitātei, jo rādītājs $K(t)$ otrajā ceturksnī samazinājās, bet tā vērtība strauji pieauga trešajā un it īpaši pirmajā un ceturtajā ceturksnī. Iegūtie rezultāti apstiprina, ka, izmantojot šo metodiku, ir iespējams laikus veikt pasākumus, lai uzlabotu gaisakuģu tehniskās apkopes kvalitāti un lidojumu drošību.



6.5. att. Gaisa kondicionēšanas sistēmas atteicu skaita izmaiņas pēc apkopes periodiem.

$$\begin{aligned}
 1 - K_{1 \text{ cetr}}(t) &= 1,48 + 0,08t; \\
 2 - K_{2 \text{ cetr}}(t) &= 1,59 - 0,15t; \\
 3 - K_{3 \text{ cetr}}(t) &= 1,2 + 0,002t; \\
 4 - K_{4 \text{ cetr}}(t) &= 0,89 + 0,12t; \\
 5 - K_{\Sigma \text{ gads}}(t) &= 1,63 - 0,05t; \\
 6 - K_{\Sigma};
 \end{aligned}
 \tag{6.2}$$

6.3. Atteices situāciju lidojumā bīstamības pakāpes novērtējums ar nelabvēlīga lidojumu izbeigšanas iznākumu risku

Risks pārtraukt lidojumu ar nelabvēlīgu iznākumu būs vienāds ar:

$$R = \sum \eta_i \frac{n_i}{T_i}
 \tag{6.3}$$

Tālāk pārādīts algoritms lai novērtētu risku pabeigt lidojumu ar nelabvēlīgu iznākumu R . Visa informācija jāievada tabulā.

Kārtas numurs i	Notikuma tips (atteices situācijas tips)	Katastrofas varbūtība ρ_i	Kontrolējamie notikumi n_i (tips i)	T
1	ASBLAS	$\eta_{TASBLAS} = 10^{-5}$	n_{ASBLAS} – ASBLAS skaits	Lidojumu drošības nolidojums kontroles perioda stundas
2	ASLAS	$\eta_{TASLAS} = 10^{-4}$	n_{ASLAS} – ASLAS skaits	
3	SAS	$\eta_{TASAS} = 10^{-3}$	n_{SAS} – SAS skaits	
4	AAS	$\eta_{TAAS} = 10^{-1}$	n_{AAS} – AAS skaits	
5	KAS	$\eta_{TKAS} = 10^0$	n_{KAS} – KAS skaits	

Dažādu bīstamības līmeņu kontrolējamo atteižu situāciju skaits tiek noteikts, pamatojoties uz normatīvajos dokumentos norādītajiem atteižu situāciju kritērijiem un šī gaisakuģa tehniskajā dokumentācijā noteiktajiem dažādu līmeņu īpašo atteižu seku analizēm (6.1. tab.). Analizējot katru jebkura gaisakuģa komponenta atteici, pamatojoties uz tehnisko dokumentāciju, ir iespējams identificēt atteices situācijas un novērtēt to skaitu noteiktā laika periodā T (nolidojums stundās konkrētā lidojumu drošības kontroles intervālā).

To var pierādīt, izmantojot jau iepriekš apskatīto gaisakuģa gaisa kondicionēšanas sistēmas piemēru. Šī funkcionālā sistēma lidojuma laikā nodrošina gaisakuģa patērētājam – pasažieriem un apkalpei – vitāli svarīgas funkcijas.

Tātad – patērētājam tā ir svarīga dzīvības uzturēšanas sistēma. Gaisa kondicionēšanas sistēmas (GKS) lietošanas instrukcijā ir noteiktas konkrētas normatīvās prasības.

- Kabīnes un salona gaisa spiediena P_k attiecība pret pieļaujamā spiediena vērtību $P_{k, piel}$
- $P_k > P_{k, piel}$ (pārspiediens). Saskaņā ar lidojuma rokasgrāmatu šādos gadījumos ir jāizslēdz salona spiediena paaugstināšana (gaisa spiediena cirkulācijas kompresors), nepieciešama ārkārtas augstuma samazināšana un, ja gaisakuģis neparedz salona ventilāciju zemā augstumā no gaisa pretimnakošas iepļūdes plūsmas, nosēšanās tuvākajā rezerves lidlaukā. Saskaņā ar standartizētajām pazīmēm (6.1. tab.) šī būs **ārkārtas atteices situācija (AAS)**.
 - $P_k < P_{k, piel}$ (dehermetizācija). Šajā stāvoklī nav nepieciešams ieslēgt spiedienu, tāpēc apkalpe, kas ir ieņēmusi lidojuma līmeni drošā augstumā no pieļaujamā spiediena viedokļa, var turpināt lidojumu tik ilgi, cik tas nepieciešams. Saskaņā ar standartizētajām pazīmēm tā būs **sarežģīta atteices (SAS) situācija**.
 - $(dP_k/di) > (dP_k/di)_{piel}$. Parasti šis stāvoklis rada spiediena samazināšanos, tas nozīmē – izraisa **ārkārtas atteices situāciju (AAS)**.

Pēc statistikas 15 atteices situācijās, kas saistītas ar šo funkcionālo sistēmu pārraudzītajā periodā, deviņos gadījumos tika novērots spiediena pieaugums spiedienam pakļautajā salonā, kad nebija iespējama sistēmas parametru normalizēšana. Spiediena kabīnes parametru ārpus normatīviem parasti izraisa vadības vārsta atteice un vārsta palikšana atvērtā stāvoklī. Tā rezultātā lidmašīnas veica neplānotu piespiedu nosēšanos, kas saskaņā ar atteices situāciju kritērijiem ir ārkārtas atteices situācija (AAS). Pārējos piecos gadījumos cēlonis tam, ka iedarbojās augstas temperatūras sensori, bija: gaisa radiatora sagrūšana; karstā gaisa cauruļvadu bojājumi; četros no iepriekš minētajiem gadījumiem apkalpe bija spiesta izslēgt gaisa padevi no dzinējiem, kas atbilst sarežģītai atteices situācijai (SAS).

Tātad, zinot atteižu skaitu un kvalitāti, kā arī atbilstošās lidojuma stundas, var novērtēt katra atteices stāvokļa ρ_i sastopamības biežumu vienā lidojuma stundā:

$$\rho_i = \frac{n_i}{T_{li}}, \quad (6.4.)$$

kur: n_i – atbilstošo atteižu situāciju skaits lidojumā;
 T_{li} – nolidojuma stundas.

6.4. Piramīdas metode atteižu situāciju bīstamības pakāpes kvantitatīvai novērtēšanai, kad lidojuma laikā rodas tehniski nelabvēlīgi faktori

Lai praktiski novērtētu lidojuma drošības līmeni, izmantojot C grupas rādītājus, kas saistīti ar aviācijas tehnikas ekspluatāciju, autors izmantoja 1. nodaļā aprakstīto piramīdas metodi, lai kvantitatīvi novērtētu atteižu situāciju bīstamības pakāpi, kad lidojuma laikā rodas tehniski nelabvēlīgi faktori, izmantojot aviācijā pieņemto nevēlamo notikumu klasifikāciju.

Saskaņā ar vispārpieņemto attiecības koeficientu:

$$n_k : n_A : n_{SI} : n_i = 1 : 10 : 30 : 600, \quad (6.5)$$

kur: n_k – katastrofu skaits;

n_A – ārkārtas (avārijas) situāciju skaits;

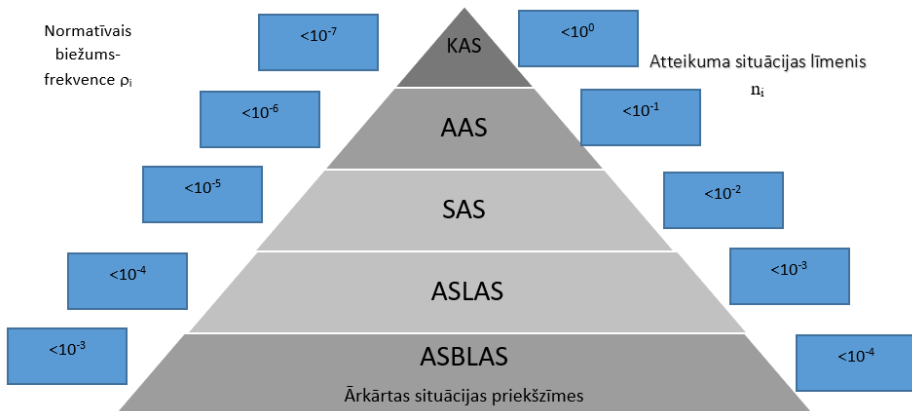
n_{SI} – nopietnu aviācijas incidentu skaits;

n_i – aviācijas incidentu skaits.

Analizējot šo 6.5. attiecību un 6.6. attēlu, var secināt:

- daudz augstāka līmeņa notikumu seku smagums vienmēr ir augstāks nekā zemāka līmeņa notikumu smagums;
- nevēlama notikuma attīstības process visbiežāk notiek no mazāk bīstamiem notikumiem līdz bīstamākiem notikumiem;
- katrā bīstamākā notikumā ar lielu varbūtību bija notikuši mazāk bīstami notikumi – priekšzīmes (prekursori).

Piramīdas modeli lidojuma drošības līmeņa novērtēšanai to attēlo nevis kā notikušu nelabvēlīgu notikumu attiecību, bet gan kā lidojuma atteižu situāciju frekvences (biežuma) un smaguma attiecību aprēķinātājā periodā.



6.6. att. Atteižu situāciju, kas notiek lidojumā, iespējamās attīstības piramīda.

$$N_{KAS} : N_{AAS} : N_{SAS} : N_{ASLAS} : N_{ASBLAS} = 10^0 : 10^{-1} : 10^{-2} : 10^{-3} : 10^{-4}, \quad (6.6)$$

kur: N_{KAS} – katastrofālu atteices situāciju skaits;

N_{AAS} – avārijas atteices situāciju skaits;

N_{SAS} – sarežģītu atteices situāciju skaits;

N_{ASLAS} – atteices situāciju skaits ar sarežģītiem lidojuma apstākļiem;

N_{ASBLAS} – atteices situāciju skaits bez sarežģītiem lidojuma apstākļiem.

Tādējādi pārejam no lidojuma drošības līmeņa, ko nosaka nelabvēlīgo notikumu skaits pārskata periodā, uz vispārēja riska varbūtību R , ko nosaka visu risku summa – atteices situācijas lidojuma laikā.

Ņemot vērā 6.6. attiecību, pieņemot tās skaitliskās vērtības un pieņemot, ka svāra koeficienti λ_i , kas nosaka ieguldījumu katrā riska situācijā, apkopota riska R par noteikto nolidojumu, izriet:

λ_{KAS} – katastrofālas atteices situācijas svāra koeficients – 10^0 ;

λ_{AAS} – avārijas atteices situācijas svāra koeficients – 10^{-1} ;

λ_{SAS} – sarežģītas atteices situācija svāra koeficients – 10^{-2} ;

λ_{ASLAS} – atteices situācijas ar sarežģītiem lidojuma apstākļiem svāra koeficients – 10^{-3} ;

λ_{ASBLAS} – atteices situācijas bez sarežģītiem lidojuma apstākļiem svāra koeficients – 10^{-4} .

Skaitliskas vērtības λ_i var noteikt, izmantojot matemātiskās metodes. Tomēr vispiemērotākais veids, kā noteikt kvantitatīvo koeficientu, ir statistiskais novērtējums. Tas tiek darīts, nosakot pārejas biežumu no ārkārtas situācijām uz sarežģītām situācijām vai no sarežģītiem lidojuma apstākļiem līdz katastrofālām situācijām. Lai to izdarītu, ir jāzina dažāda veida atteices situāciju skaita absolūtās vērtības, kas radušās norādītajā periodā, kā arī to atteiču skaits, kas izraisīja atteices situācijas.

Tad vispārējo riska līmeni, lidojumu riska līmeni R kā neatņemamu atteiču situāciju riska novērtējumu vienā lidojuma stundā nosaka formula:

$$R = N_{KAS}\lambda_{KAS} + N_{AAS}\lambda_{AAS} + N_{SAS}\lambda_{SAS} + N_{ASLAS}\lambda_{ASLAS} + N_{ASBLAS}\lambda_{ASBLAS} = \sum_{i=1}^5 N_i\lambda_i \quad (6.7.)$$

vai

$$R = \sum_{i=1}^5 N_i\lambda_i \quad (6.8.)$$

Formula izmantota, lai novērtētu pārejas varbūtību no anormālas situācijas uz katastrofisko situāciju atteices dēļ vienā lidojuma stundā. Informācija par konkrētām situācijām risku novērtēšanai aviokompānijā ļauj izveidot sava veida riska skalu. Veidojot riska skalu, tiek pieņemts, ka visas tās iespējamās vērtības ir diapazonā no „0” līdz „1”, kas nozīmē apakšējo un augšējo robežu. Šādu skalu var izmantot, lai matricas veidā novērtētu konkrētu situāciju (6.2. tab.).

6.2. tabula

Riska matrica

		Atteices situāciju seku smagums				
		Niecīgs (BLAS)	Nenožīmīgs (ASLAS)	Nožīmīgs (SAS)	Bīstams (AAS)	Katastrofisks (KAS)
Notikuma varbūtība	Biežs $\rho_i \leq 10^{-3}$	Pakļauts analīzei	Nav pieņemams	Nav pieņemams	Nav pieņemams	Nav pieņemams
	Iespējams $\rho_i \leq 10^{-4}$	Pakļauts analīzei	Pakļauts analīzei	Nav pieņemams	Nav pieņemams	Nav pieņemams
	Mazs iespējams $\rho_i \leq 10^{-5}$	Pieņemams	Pakļauts analīzei	Pakļauts analīzei	Nav pieņemams	Nav pieņemams
	Ļoti mazs iespējams $\rho_i \leq 10^{-6}$	Pieņemams	Pieņemams	Pakļauts analīzei	Pakļauts analīzei	Nav pieņemams
	Praktiski nav iespējams $\rho_i \leq 10^{-7}$	Pieņemams	Pieņemams	Pakļauts analīzei	Pakļauts analīzei	Pakļauts analīzei

Tomēr šāda riska skala periodiski jāpārklasificē, jo faktiskās vērtības λ_i nosaka noteiktā laika posmā sasniegtais lidojuma drošības līmenis, kas laika gaitā mainās.

Promocijas darbā pieņemts nosacījums, ka vidēja apjoma aviokompānijai, kas ir šī pētījuma objekts, relatīvo lidojuma drošības rādītāju ar pietiekamu precizitāti relatīvā lidojuma drošības indeksa veidā analizētajam periodam var aprēķināt, izmantojot formulu:

$$K = \frac{1 - N_{NG}}{A} \cdot 100 \% \quad (6.9.)$$

$$K = \frac{N}{N_{NG}}, \quad (6.10.)$$

kur: N_{NG} – normatīvajos dokumentos klasificēto negatīvo notikumu kopskaits, kā arī esošās standarta (norādīto) parametru neatbilstības un pārkāpumi, aprikojuma darbības traucējumi un citi notikumi, kas neietilpst 6.6. attēlā parādītajā notikumu piramidā;

A – aviokompānijas gaisakuģa nolidojums pētījuma periodā.

Koeficienta nosacījums K : $K < 1$.

Lai paaugstinātu relatīvo lidojuma drošības līmeni, tiek ieviests kritērija mēroga koeficients:

$$M = 10^5 \quad (6.11.)$$

N_{NG} aprēķina ar šādu formulu:

$$N_{NG} = K_1 N_{KAS} + K_2 N_{AAS} + K_3 N_{SAS} + K_4 N_{ASLAS} + K_5 N_{ASBLAS} = \sum N_i K_i, \quad (6.12.)$$

kur K_1, K_2, K_3, K_4, K_5 – negatīvo notikumu svara koeficienti.

Svara koeficientus (K_1, K_2, K_3, K_4, K_5) nosaka pēc ekspertu metodes, kas izklāstīta 3. nodaļā. Praktiskai lietošanai paredzēts izmantot šādas vērtības:

$$K_1 = 0,5; K_2 = 0,3; K_3 = 0,1; K_4 = 0,05; K_5 = 0,005 \quad (6.13.)$$

Vērtību aizstājot no 6.13. un 6.12. vienādojumiem, ievietojot 6.9. vienādojumā, iegūst:

$$K = (0,5N_{KAS} + 0,3N_{AAS} + 0,1N_{SAS} + 0,05N_{ASLAS} + 0,005N_{ASBLAS}) \cdot 10^5 / A \quad (6.14.)$$

Relatīvo lidojuma drošības indeksu analizētajā periodā nosaka pēc formulas:

$$K = \frac{1 - N_{NG}}{A} \cdot 100 \% \quad (6.15.)$$

Relatīvais lidojuma drošības indekss K noteiktā laika posmā ir vienkāršs un saprotams.

Šis indekss ņem vērā aviokompānijas noslodzi, visus nelabvēlīgos notikumus aviokompānijā un atspoguļo lidojuma drošības līmeni [36, 40, 47, 48].

6.5. Gaisakuģa tehniskās apkopes novērtējuma ietekme uz ekspluatācijas drošības rādītājiem

Lai pārietu no lidotspējas uzticamības novērtējumu uz lidojuma drošības novērtējumu, ir jāņem vērā atteices un darbības traucējumi, kas rodas lidojumā un/vai atklāti tehniskās apkopes laikā, iedalot tos atsevišķās grupās A, B, C un nosakot katras grupas ietekmi uz lidojuma drošības indikatoriem. Saskaņā ar iepriekšminēto metodiku tika iegūti aprēķini – ceturkšņa regresijas koeficienti A, B, C; A+B+C; gada regresijas koeficienti; dispersijas un standarta novirzes gadā; ceturkšņa rādītāji; ceturkšņa tendences; ceturkšņa tendenču izmaiņu temps; gada rādītāji un to prognoze; gada tendences un to prognoze; gada tendenču izmaiņu tempi un to prognoze. Pamatojoties uz saņemtajiem datiem, tie sīkāk analizēti iegūtajos grafikos.

6.6. Drošības rādītāju pamatfunkciju izmaiņu grafika analīze

6.7. un 6.8. attēlā redzami pamatfunkciju izmaiņu grafiki atkarībā no rādītājiem pa ceturkšņiem, kas veidoti, ņemot vērā slidošo rādītāju metodi, t. i., ņemot vērā iepriekšējā ceturksnī notikušos notiku-

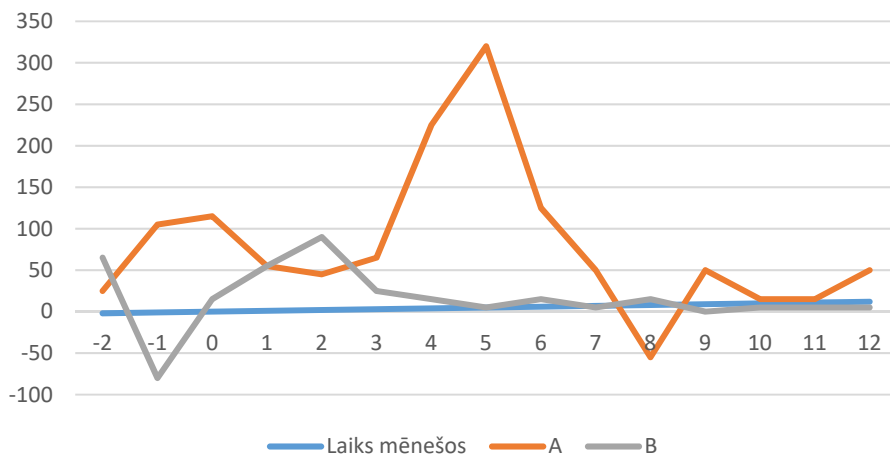
mus. Tad datu masīvs aptvers notikumus (atteices), kas 182–184 dienās notika visā šāda tipa lidmašīnu flotē, ņemot vērā visu 22 tehnisko sistēmu un katra gaisakuģa komponentu atteices (lidaparāta, dzinēju, šasijas, degvielas, atteicas aviācijas radio aprīkojumā un navigācijas aprīkojumā utt.).

Tik liels datu apjoms par sešiem mēnešiem faktiski ļauj izmantot parasto sadales likumu un standarta metodes gadījuma vērtības pētīšanai.

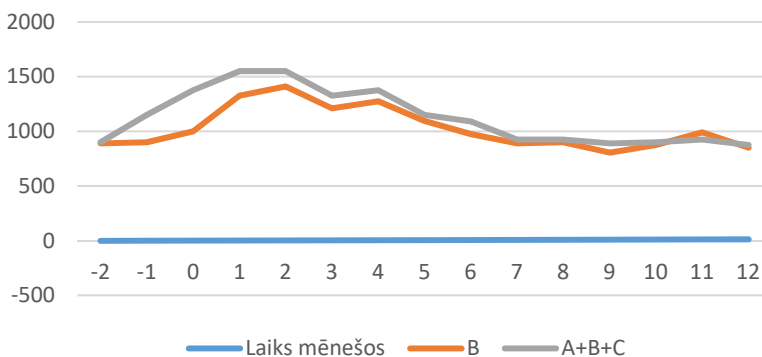
Slidošo rādītāju klātbūtne ir nepieciešama, lai aprēķinātu regresijas koeficientus apskatāmajā ceturksnī. Tāpēc faktiskā parametru maiņa $K_T(A)$, $K_T(C)$, $K_T(B)$ un $K_T(A,B,C)$ attēlota diagrammās tikai par šo ceturksni (bez iepriekšējā ceturkšņa vērtībām).

Kopējais grafiks $K_T(A,B,C)$ par gadu kopumā liecina par gaisakuģu vienmērīgu atteižu samazināšanos no janvāra līdz septembrim ar nelielu pieaugumu gada beigās. Tomēr cilvēka loma šo atteižu gadījumā nav viennozīmīga. Saskaņā ar cilvēka faktoru A parametra $K_T(A)$ izmaiņas pasliktinās līdz maijam, pēc tam notiek uzlabošanās līdz rudenim, pēc tam atkal sāk augt A faktora klātbūtne un komponentu atteižu skaits.

Tādējādi ir jāveic inženiertehniskā un sociālā analīze par tehniskā personāla darba pasliktināšanās iemesliem šajos periodos. To var izdarīt, izmantojot rādītāju izmaiņu tendences grafikus, to izmaiņu likmi, kā arī materiālus no citām šī darba nodaļām.



6.7. att. K_T ceturkšņa rādītāju izmaiņu grafiks pēc faktoriem A un B.



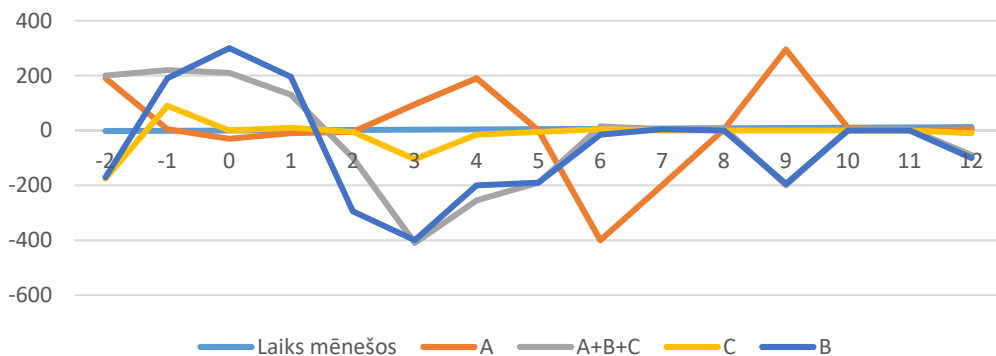
6.8. att. K_T ceturkšņa rādītāju izmaiņu grafiks pēc faktoriem B, A + B + C.

No 6.9. attēla grafika $\theta(A, t)$ izriet, ka no janvāra līdz aprīļa beigām tendence ir pozitīva un negatīvākie darba rezultāti ir martā, kad notiek maksimāls tendences pasliktināšanās paātrinājums, kā redzams 6.10. attēla grafikā $\dot{\theta}(A, t)$. Pēc septītā mēneša rādītājs turpināja samazināties, taču šī krituma tendence

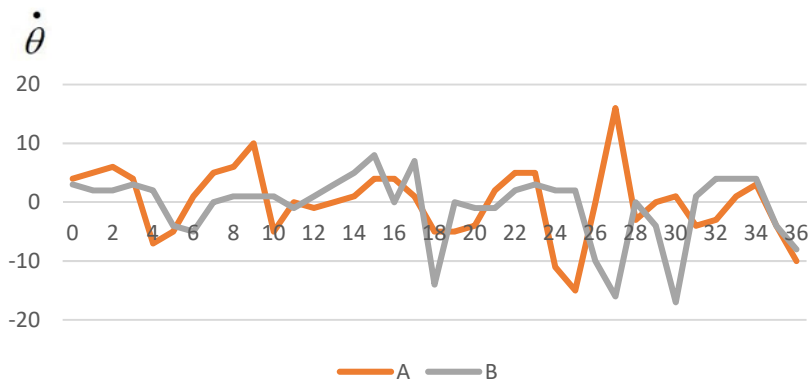
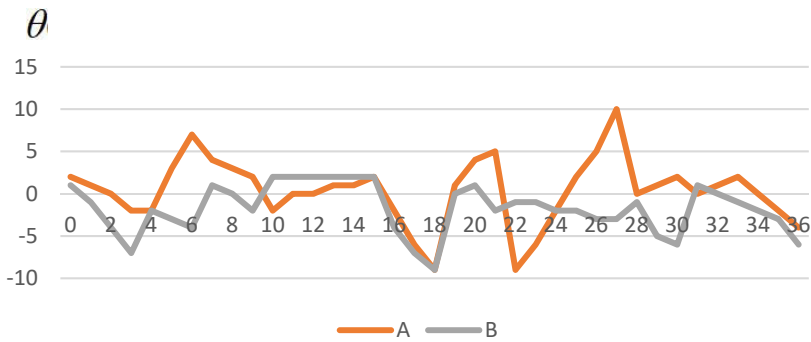
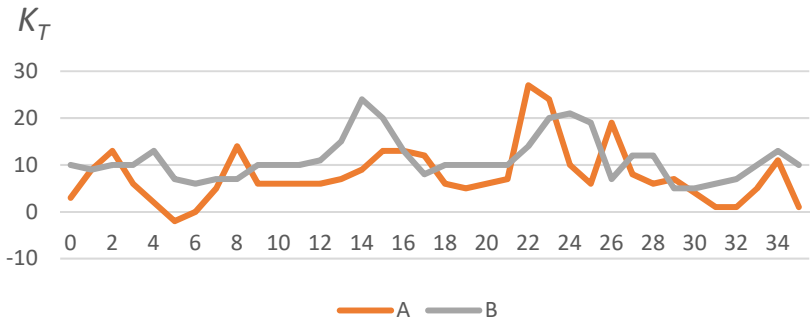
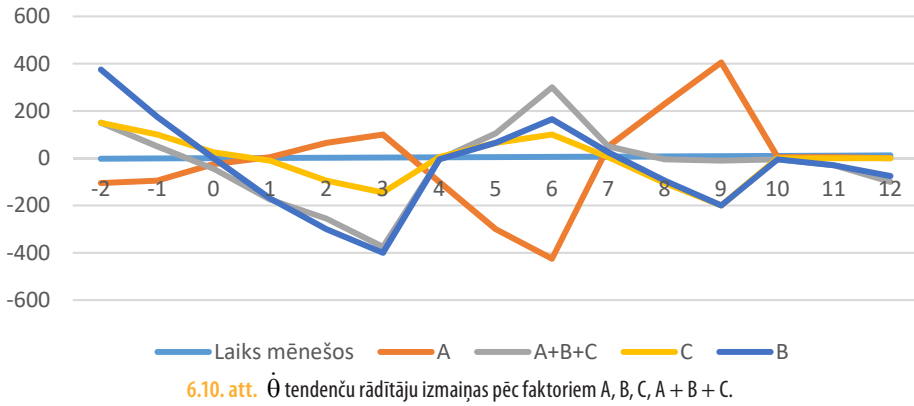
pasliktinās, kas izraisa $\theta(A, t)$ pieaugumu ar mazāku paātrinājumu $\dot{\theta}(A, t)$, kas no devītā mēneša atkal uzrāda strauju kritumu. Līdzīgu pamatojumu var izteikt, analizējot statistikas materiāla apstrādes rezultātus par gaisakuģa atteicēm un darbības traucējumiem, kas veikti atsevišķām gaisakuģu sistēmām un aprīkojumam.

6.11. attēlā ir redzamas gaisakuģu flotes elektroiekārtu lidojuma drošības grafika rādītāja izmaiņas, ņemot vērā koeficientus A un B. No šiem grafikiem, kā arī no 6.7. un 6.8. attēla grafikiem izriet svarīga savstarpēji saistīta likumsakarība, tajos redzamas izmaiņu tendences un to ātrums pa ceturkšņiem atkarībā no faktoriem A un B. Drošības rādītāju tendences $\theta(A, t)$ un $\theta(B, t)$, to ātrumi $\dot{\theta}(A, t)$ un $\dot{\theta}(B, t)$ mainās saskaņā ar periodisko likumu, fāzes nobīdes tendencēm $\theta(A, t)$ un $\theta(B, t)$ un tendenču ātrumiem $\dot{\theta}(A, t)$ un $\dot{\theta}(B, t)$ dažos gadījumos var sasniegt vērtības $P/2$ un P attiecīgi. Šie dati norāda, ka personāla darba kvalitātes pasliktināšanās vēlāk izraisa iekārtu atteices. Tādējādi ir identificēts procesa nemonofoniskais lidojumu drošības parametru $\theta(A, t)$ un $\dot{\theta}(A, t)$ maiņas raksturs, ja to ietekmē A faktors. Aptuveni to var uzskatīt par kvaziperiodisku procesu. Turklāt pat ikmēneša viena veida ražošanas uzdevumi neizraisa pāreju uz kvazimonotonisku plūsmu.

No šiem grafikiem izriet arī tas, ka tehniskā koeficienta B drošības rādītāju pamatfunkciju parametru maiņas process nav monotons. Šeit procesu apraksta arī tendenču parametru kvaziperiodiskās funkcijas $\theta(B, t)$ un tās ātruma funkcija $\dot{\theta}(B, t)$. Tomēr liknēm ir fāzes nobīde attiecībā pret līdzīgām liknēm, kas apraksta parametrus $\theta(A, t)$ un $\dot{\theta}(A, t)$, ja uz to ietekmē A faktors. Fāzes nobīde ir negatīva: ir kavēšanās un parametru funkciju izmaiņas $\theta(B, t)$ un $\dot{\theta}(B, t)$, ja to ietekmē B faktors, salīdzinot ar līdzīgām funkcijām $\theta(A, t)$ un $\dot{\theta}(A, t)$, ko ietekmē A faktors. Tas liecina par saikni starp tehniskās apkopes organizāciju un gaisakuģi apakšsistēmā „gaisakuģis– tehniskās apkopes organizācijā”. Tādējādi, ja tehniskās apkopes organizācijas vadībai būtu iespēja pastāvīgi izmantot piedāvāto metodiku un savlaicīgi veikt šī perioda notikumu inženiertehnisko un sociālo analīzi, lai novērtētu cēloņus, kas varētu izraisīt šādu tendences izmaiņu modeli, tad būtu iespējams operatīvi ietekmēt ražošanas procesa gaitu, lai novērstu nekontrolējamas izmaiņas aviācijas tehnoloģiju drošības rādītājos, kas pašlaik notiek.



6.9. att. θ tendenču rādītāju izmaiņas ceturkšņu grafiks pēc faktoriem A, B, C, A + B + C.



6.11. att. Lidmašīnu flotes elektroiekārtu lidojumu drošības indikatora un tā parametru izmaiņu grafiki pēc koeficientiem A un B.

Kopsavilkums

Par aviokompānijas kopējās vadības informācijas bāzi var uzskatīt izstrādāto sistēmu risku datu identificēšanai, vākšanai, apstrādei, analīzei un izmantošanai, kas rodas, ja dažādu aviokompānijas struktūru un personāla darbībā novērojamas atkāpes no standartiem. Tā ir balstīta uz kvalitātes sistēmu kā aviokompānijas integrētās vadības sistēmas neatņemamu sastāvdaļu.

Analizētajā aviokompānijā kvalitātes sistēma tika izstrādāta un ieviesta atbilstoši *ISO 9001:2008* prasībām, pamatojoties uz vispārējo kvalitātes vadības sistēmu. Tas ir universāls modelis, kas vislabāk atbilst visu ieinteresēto pušu (akcionāru, vadības, personāla, patērētāju) prasībām un tādējādi ļauj gan vispārēji pārvaldīt, gan koncentrēties uz individuālo prasību izpildi. Arī drošības vadības sistēma ir ieviesta un veiksmīgi darbojas atbilstoši *ICAO* un *EASA* prasībām, par pamatu izmantojot esošos resursus, izvērtējot uzņēmuma pašreizējās iespējas lidojumu drošības vadības jomā (t. sk. pieredzi, zināšanas, procesus, procedūras, resursus utt.).

Lidojumu drošības un kvalitātes uzraudzības nodaļām ir noteiktas konkrētas funkcijas, tās saskaņo savu darbību gan savstarpēji, gan ar nodaļu vadītājiem, atvieglojiet viņiem veikt noteiktās nodaļu un lēmumu pieņēmēju funkcijas. Informācijas bāzes izveide piedāvātajā formā ļauj:

- paplašināt aviokompānijas sistēmu vadības „ģeogrāfiju”, tādējādi veicinot tās uzlabošanu;
- nodrošina lielāku darbību koordināciju aviokompānijas iekšienē, tādējādi pastiprinot sinerģisko efektu, kas sastāv no tā, ka kopējais saskaņoto darbību rezultāts ir lielāks nekā atsevišķo rezultātu vienkārša summa;
- samazina funkcionālās nesaskaņas aviokompānijā, kas izriet no autonomu vadības sistēmu attīstības;
- tā pārvaldība ir daudz mazāk darbietilpīga, nekā tāda pati vairākām paralēlām sistēmām;
- šīs sistēmas ieviešana paaugstina korporatīvo kultūru, kurā kvalitāte un drošība tiek uzskatītas par vienādām pamatvērtībām, kas atbilst *ICAO* prasībām šajā jomā, ņemot vērā to, ka 2021. gads *ICAO* ir pasludināts par Lidojumu drošības kultūras gadu.

Secinājumi

1. Izstrādāts informācijas datubāzes modelis, kas ļauj savlaicīgi identificēt, apstrādāt un sniegt objektīvu informāciju struktūrvienībām un lēmumu pieņēmējiem aviokompānijā par jomām, kurās ir nevēlamu notikumu risks, kā arī ļauj identificēt lidojumu drošības rādītāju izmaiņu tendences, pamatojoties uz informācijas plūsmām no dažādām aviokompānijas darbības jomām ar integrētu vadības sistēmu, kas ļauj savlaicīgi un saprātīgi noteikt paredzamo lidojumu drošības līmeni. Tas ļauj samazināt risku līdz minimumam un uzturēt aviokompānijai pieņemamu lidojumu drošības līmeni, kā arī prognozēt lidojumu drošības rādītājus nākamajam periodam. Šo pieeju var uzskatīt par pāreju uz jaunu drošības pārvaldības līmeni aviosabiedrību līmenī.
2. Izstrādāts algoritms struktūrvienību pārkāpumu un aviokompāniju personāla kļūdu noteikšanai un analīzei nenoteiktības apstākļos, kas ļauj analizēt drošības aspektus, pamatojoties uz faktisko informāciju, kas no dažādiem avotiem nonāk aviokompānijas informācijas bāzē, kurā to apkopo, klasificē, glabā un analizē, izmantojot analītiskās metodes un paņēmienus. Uz šī algoritma pamata ir izstrādāta programmatūra informācijas automatizētai apstrādei un analīzei.
3. Lidojumu drošības novērtēšanai izstrādāta rādītāju sistēma – sešas rādītāju grupas aviokompānijas darbības vispārējiem virzieniem, no kuriem katrs ietver konkrētu rādītāju kopumu, kā arī to novērtēšanas metodiku.
4. Izstrādāta metodika lidojuma drošības līmeņa noteikšanai, izmantojot C grupas rādītājus, kas saistīti ar gaisakuģi un tā ekspluatāciju, novērtējot lidmašīnu kā daudzlīmeņu funkcionālu sistēmu, ņemot vērā katra līmeņa atteices varbūtību un tās seku smagumu.
5. Izstrādātā metodika pārbaudīta, pamatojoties uz aviokompānijas darbības rezultātiem. Tie liecina, ka šīs sistēmas ieviešana aviokompānijas praksē ļaus savlaicīgi sniegt nepieciešamo informāciju aviokompānijā esošajām struktūrām un lēmumu pieņēmējiem tajās jomās, kurās nevēlamu notikumu risks ir vislielākais, kā arī ļaus identificēt lidojumu drošības rādītāju izmaiņu tendences, balstoties uz informācijas plūsmām no dažādām aviokompānijas darbības jomām ar integrētu vadības sistēmu, kas ļauj savlaicīgi noteikt paredzamo riska līmeni un nodrošināt lidojumu drošību.

Šo pieeju var uzskatīt par pāreju uz jaunu lidojumu drošības pārvaldības konceptu aviokompānijas līmenī.

Literatūras saraksts

1. Andris Vaivads, zinātniskais vadītājs: profesors Dr. habil. sc. ing. V. Šestakovs. Promocijas darbs. Lidojumu drošības un regularitātes uzlabošana aviokompānijā, pamatojoties uz gaisakuģu tehnisko ekspluatācijas procesu uzlabošanu, Rīga, 2016.
2. Aviācijas noteikumu 25. daļa (ФАП Федеральные Фвиационные Правила) Transporta kategorijas gaisakuģu starpvalstu aviācijas komitejas lidojumderīguma standarti, 5. izdevums, ar grozījumiem 2015. gada 25. augustā 1.–8.
3. Certification Specifications and Guidance Material for Master Minimum Equipment List (CS-MMEL) Issue 3 31 May 2021.
4. Commission Regulation (EU) No 965/2012 of 5 October 2012 – Air Operations.
5. EASA Certification Specification Large Aircrafts CS-25 Amendment 26.
6. Dissanayake V.B, Shestakov V. Estimation of aircraft state inflight under the influence of adverse factor, Sērija 5., sējums 12., Rīga, 2002.
7. FAA Proposes New Part 23 “Airworthiness Certification Standards”. National Business Aviation Association. March 14, 2016. <https://nbaa.org/aircraft-operations/safety/faa-proposes-new-part-23-airworthiness-certification-standards/>
8. Heinrich Revisited: Truisms or Myths by Fred A. Manuele, 2002, ISBN 0-87912-245-5, US National Safety Council.
9. <https://studfile.net/preview/4534017/page:18/>.
10. ICAO, 2018, Safety Management Manual (ICAO Doc 9859), 4th Edition, pages 2-12 -2-18.
11. ICAO Annex 19 - Safety Management 2nd Edition, July 2016.
12. H.W.Heinrich Industrial Accident Prevention: A Scientific Approach 1931 Addition 1941.
13. Jastrebinskis A., Šestakovs V. The Method for Assessing the Level of Flight Safety in Airline with Small and Medium Operations. In: 4. Starptautiskā zinātniskā konference „Transporta sistēmas, loģistika un inženierija-2016”: rakstu krājums, Latvia, Rīga, 30 Jun–1 Jul., 2016. Rīga: Rīgas Aeronavigācijas institūts, 2016, pp. 20–30.
14. Official Publication Certification Specifications: (CSs) CS-FSTD(A) Aeroplane Flight Simulation Training Devices <https://www.easa.europa.eu/official-publication/certification-specifications>.
15. R.Bogdane, zinātniskais vadītājs profesors Dr. habil. sc. ing. V. Šestakovs Promocijas darbs Lidojumu Drošības Līmeņa Likumsakarību Ar Ražošanas Faktoriem Aviokompānijā Analīzes Modeļa Izstrāde 2019.
16. Smartlynx Airlines A320 Minimun Equipment List Issue Date 24 Feb21.
17. Smartlynx Airlines OM-A Ch. 8.8 Rev. 36, pp. 397–403.
18. Smartlynx Airlines Aircraft Maintenance Program Issue 42 Rev. 0 23.07.2021.
19. William, B. Johnson, M., Maddox, E. (2007). A model to explain human factors in aviation maintenance. Avionics News, 2, pp. 1–5.
20. Vaivads, V.Shestakov, L. Vinogradov. (2010). „Search and Emergency – Rescue Organization and Realization at Aviation Accidents in the Airport Responsibility Area” 4th International Conference on Scientific Aspects of Unmanned Aerial Vehicle, Kielce, Poland, May 5–7, pp. 78–87.
21. V. Shestakovs. (2012). „Airplanes Incidents Analysis because of Aviation Personnel and Evaluating the Effectiveness of Measures to Prevent Accidents” – Kielce: Polish Academy of Sciences: 240 p. ISBN: 9788388906749 Publikācija indeksēta: SCOPUS ISI Web of Science.
22. V. Shestakov, O. Gorbachev, K. Stefański, 2019, „Assessment of Professionally Important Qualities Aviation Technical Staff”. AIP Conference Proceedings, 2077 (1), 020022 (2019) pp. 31–39. DOI:10.1063/1.5091883.
23. Богатырев В. Д. Основы теории управления экономическими системами: учебное пособие / В. Д. Богатырев, Б. Н. Герасимов. Федеральное агентство по образованию планирования, СГАУ. – Самара: Изд-во СГАУ, 2008. – 259 с.
24. Зубков Б. В., Шаров В. Д. Теория и практика определения рисков в авиапредприятии при разработке системы управления безопасностью полетов. [Theory and practice of determining risks in air transport in the development of a flight safety control system], MGTU GA, 174, pp. 18–25.
25. Бешелев С. Д., Гурвич Ф. Г. Математико-статистические методы экспертных оценок. – М.: Статистика, 1980, – 263 с.

26. ГОСТ Р 55980-2014 Управление рисками на железнодорожном транспорте. Классификация опасных событий.
27. Зыков А. А. Основы теории графов. – М.: Наука, 1987, – 384 с.
28. Литвак Б. Г. Экспертная информация. – М.: Радио и связь, 1982, – 184 с.
29. Отчет о НИР Разработка методов предотвращения АП и их предпосылок на основе причинно-факторного анализа опасностей функционирования системы „кипаж-ВС-АТБ-УВД” (на базе ОАО). Анализ функционирования служб ЛаУГА: АТБ, летной, инспекции, УВД (ДСП), РКИИГА, № гос. регистр. 01.860086709, – 122 с.
30. Отчет о НИР Разработка методов предотвращения АП и их предпосылок на основе причинно-факторного анализа опасностей функционирования системы „Экипаж-ВС-АТБ-УВД”(на базе ОАО). Анализ функционирования системы „Экипаж-ВС-АТБ- УВД” (на базе ОАО) (ДСП), РКИИГА, № гос. регистр. 01.860086709, 1987, – 127 с.
31. Петров В. И., Севастьянов Н. П. Основы построения АСУ. Лабораторный практикум. – Рига: РКИИГА, 1985, – 102 с.
32. Статистические методы анализа экспертных оценок. – М.: Наука, 1977, – 262 с.
33. Смирнов Н. П., Дунин И.В , Барковский И. Б. Курс теории вероятностей и математической статистики для технических приложений. М.: Наука, 1969, – 511 с.
34. Берж К. Теория графов и ее применение. Перевод с французского. – М.: Мир, 1982, – 319 с.
35. Кендэл М. Ранговые корреляции. Пер. с англ. – М.: Статистика,1975, – 414 с.
36. А. А. Боровков, Теория Вероятностей М.: Наука, 1977, – 29 с.
37. Smartlynx Airlines Management Manual Revision 31 no 29.07.2021.
38. RAF Avia Safety Management System Manual Revision 1 no 25.10.2021.
39. Aleksandrs Bitiņš, Maklakovs, Ruta Bogdane, Rafał Chatys, Vladimir Shestakov. Using Adverse Event Pyramids to Assess Probabilities in Airline Safety Management. Transactions on Aerospace Research No. 1 (262) 2021 DOI: <https://doi.org/10.2478/tar-2021-0012>, 71.–83. lpp.
40. Vladimirs Šestakovs, Jevgēnijs Tereščenko, Juris Maklakovs, Aleksandrs Bitiņš, Rafał Andrzej Chatys. Algorithm for Analyzing Deviations and Irregularities in the Functioning of the Airline’s Structural Units and Personnel in the Face of Uncertainty (2020) Vilnius TECH Journal Aviation Volume 24 Issue 2 DOI: 10.3846/aviation.2020.12375, 51.–56. lpp.
41. Aleksandrs Bitiņš, Juris Maklakovs, Vladimir Shestakov, Konrad Stefański. Positive Culture As Element Of Safety And Efficiency Of Airline Operation Selected Issues Of Modern Aviation Technologies Kelce (2021) Conference paper, 9.–25. lpp.
42. Vladimirs Šestakovs, Aleksandrs Bitiņš, Juris Maklakovs, Konrad Stefanski. Development of Information Database for the Evaluation of Flight Safety Level of Aviation Companies Using the Integrated System of Management (2019) 2nd Aviation and Space Congress KLiK 2019 Conference paper, 22.–23. lpp.
43. Juris Maklakovs, Aleksandrs Bitiņš, Vladimirs Šestakovs, Rafał Andrzej Chatys. Positive Culture as an Element of Safety and Effectiveness of Functioning of Aviation Company (2019) 2nd Aviation and Space Congress KLiK 2019 Conference paper, 124.–125. lpp.
44. Jevgēnijs Tereščenko, Aleksandrs Bitiņš, Vladimirs Šestakovs, Rafał Andrzej Chatys. Relationship of Reliability and Safety of Aircraft Flights in Airlines (2019) 2nd Aviation and Space Congress KLiK 2019 Conference paper, 202.–203. lpp.
45. Ruta Bogdane, Aleksandrs Bitiņš, Vladimirs Šestakovs, Yasaratne Bandara. Airline Quality Assessment Methodology Taking Into Account the Flight Safety Level Based on Factor Analysis (2018) DOI: 10.2478/tae-2018-0002 Part of ISSN: 2255-9876 Transport and Aerospace Engineering RTU Press Vol1., 362.–366. lpp.
46. Aleksandrs Bitiņš, Artūrs Suharevs, Lauris Miķelsons. Development of Methodology for Safety Risk – Based Airline (2018) Transports. Izglītība. Loģistika un Inženierija. Rakstu krājums, 23.–30. lpp.
47. Ruta Bogdane, Yasaratne Bandara Dissanayake, Silva Andersone, Aleksandrs Bitiņš. Development of an Information Database for the Integrated Airline Management System (IAMS) (2017) Transport and Aerospace Engineering RTU Press Vol4 DOI: 10.1515/tae-2017-0002 Part of ISSN: 2255-9876, 11.–21. lpp.
48. Juris Maklakovs, Aleksandrs Bitins, Ruta Bogdane, Vladimir Shestakov. Using Heinrich’s (Bird’s) pyramid of adverse events to assessthe level of safety in an airline (2021) TRANSACTIONS ON AEROSPACE RESEARCH 4(265) 2021, pp.11-20 DOI: 10.2478/tar-2021-0020 eISSN 2545-2835,

- 11.–20. lpp.
49. IATA, 2020, IOSA Standards Manual, 14th Edition, Montreal-Geneva. ISBN 978-92-9264-172-6.
 50. Sidney Dekker, „The Safety Anarchist. Relying on Human Expertise and Innovation, Reducing Bureaucracy and Compliance”, 2018.
 51. Helmreich R. L., Klinect J. R. and Wilhelm J. A., 1999, „Models of threat, error, and CRM in flight operations.” In *Proceedings of the Tenth International Symposium on Aviation Psychology*, The Ohio State University, Columbus, OH. 83.–91. lpp.
 52. Federal Aviation Administration, Department of Transportation, 2008, *Aviation regulations. Part 25. Standards of airworthiness of aircraft of the transport category*, Russia. Available at <https://www.law.cornell.edu/cfr/text/14/part-25>.
 53. Lukashin A. M. Methodology for probabilistic estimation of the current level of accidents based on the results of factorial analysis of aviation events. Scientific Bulletin of Moscow State Technical University, No. 21. 10.–15. lpp.
 54. Sokolov S. S. Automated management of transport systems St. Petersburg: GUMRF, 2013, 325 lpp.
 55. Sokolov S. S. Automation of transportation management // Bulletin of the State University of Marine and River Fleet // 2013. Vol. 2. 74.–78. lpp.
 56. Davies, John; Ross, Alastair; Wallace, Brendan (2003). Safety Management: A Qualitative Systems Approach. CRC Press. 45 lpp. ISBN 9780415303712.
 57. Bellamy, Linda J. „Exploring the relationship between major hazard, fatal and non-fatal accidents through outcomes and causes”, 2015., Safety Science 71:93–103.
 58. Guziy A. G., Lushkin A. M., „Quantitative assessment of indicators of the current level of flight safety of an aircraft operator”, Problems of flight safety. 2008 No. 10. 3.–12. lpp.
 59. ECO Airlines Management System Manual Rev.0 23.12.2021, 43.–55. lpp.
 60. Centrix Technical Overview Ver. 3.0 2021.
 61. Quality management software Q-pulse <https://www.ideagen.com/products/q-pulse-qms> 01.03.2022.
 62. Home page Avex <https://avex.pro> 01.02.2022.
 63. Open Aviation Strategic Engineering System Oases <https://oases.aero/oases-modules/> 01.03.2022.
 64. AMOS MRO software <https://www.swiss-as.com/amos-mro> 01.03.2022.
 65. ISO 9000 un ISO 14000 Standarts. Kvalitātes nodrošināšanas sistēma, www.iso.ch. 01.03.2022.
 66. Leilands J. Jaunā ISO 9001:2009 standarta prasību skaidrojums. – Rīga: Latvijas Vēstnesis, 2009. – 176 lpp.
 67. Commission Regulation (EU) No 748/2012 of 3 August 2012 – Airworthiness and Environmental Certification.
 68. Commission Regulation (EU) No 1321/2014 of 26 November 2014 – Continuing Airworthiness.
 69. Šestakovs V., Vinogradovs L., Vaivods A. Оценка уровня безопасности полетов при отказах авиационной техники // 4th International Conference on SAUAV2010, Polija, Suhedinov, 5.–7. maijs, 2010. 602.–609. lpp. ISBN: 9788388592706.
 70. ICAO Doc 9734 AN/959 (2017) „Safety Oversight Manual”.
 71. Chris R. Glaeser. How to Employ Risk Management at a Major Air Carrier. 2004, p. 57.
 72. M. Gdalevitch, „Aviation Maintenance Technology,” MSG-3, The Intelligent Maintenance, November 2000 <http://www.aviationpros.com/article/10388498/msg-3-the-intelligent-maintenance> 01.03.2022.
 73. Matthew J. W. Thomas, Renee M. Petrilli and Drew Dawson An Exploratory Study of Error Detection Processes During Normal Line Operations. Centre for Applied Behavioural Science, University of South Australia, 2013.
 74. Safety Management Systems in Aviation Alan J. Stolzer, Carl D. Halford and John J. Goglia, 2008.
 75. Adrian J. Xavier (2005) „Managing human factors in aircraft maintenance through a performance excellence framework”. Embry-Riddle Aeronautical University: 35.–37. lpp.
 76. Safety Management Systems in Aviation Alan J. Stolzer, Carl D. Halford and John J. Goglia, 2008. Chapter 4 Hazards 109 Chapter 5 Risks 129 Chapter 6 Controls 153 Published 15 October 2017, <https://www.taylorfrancis.com/books/9781351149631> 01.02.2022.
 77. James J. H. Liou, LeonYen, Gwo-Hshiung Tzeng „Building an effective safety management system for airlines” Journal of Air Transport Management, Volume 14, Issue 1, 2008 <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S096969970700097X>.



Aleksandrs Bitiņš dzimis 1977. gadā Daugavpilī. Rīgas Aviācijas universitātē ieguvis bakalaura grādu (1999) aviācijas transportā, absolvējis Nacionālo aizsardzības akadēmiju. Studējis Rīgas Tehniskās universitātes Aviācijas institūtā, ko absolvējis 2002. gadā.

No 1999. līdz 2009. gadam dienējis Latvijas Nacionālo bruņoto spēku Gaisa spēkos. No 2011. gada strādājis vairākos Latvijas un starptautiskos aviācijas uzņēmumos. Patlaban ir „RAF Avia” kvalitātes uzraudzības vadītājs tehniskās apkopes organizācijā.