

**MODELLING OF SYSTEMS OF “OPERATOR - VEHICLE -
OUTDOOR ENVIRONMENT”****„OPERATORS - TRANSPORTA LĪDZEKLIS - APKĀRTĒJA
VIDE” SISTĒMU MODELĒŠANA**

Viktors Feofanovs, *Mag. sc. ing. Docents Rīgas Tehniskā universitāte,*
Transportmašīnu tehnoloģiju institūts
Adress: Lomonosova, 1, Rīga, LV-1019, Latvija
E-mail: vfeo@i-net.lv

Alexander Urbach, *RTU prof., Dr.Hab.Sc.ing.*
Riga Technical University, Institute of Transport Vehicles Technologies
Address: Kalku street 1, Riga LV-1658, Latvia
E-mail: Aleksandrs.Urbahs@rtu.lv

Atslēgas vārdi: *transporta sistēmas, lidmašīnas kompleksa trenāžieri, gaisa kuģu apkalpes locekļu darbības novērtējums*

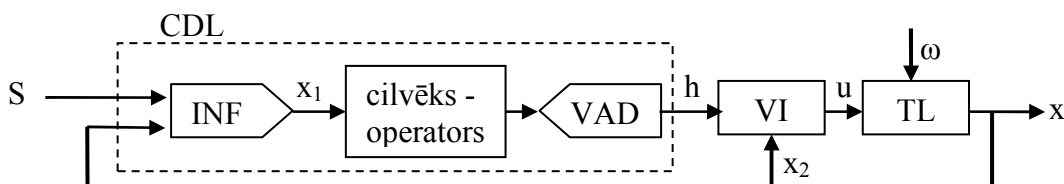
1. Ievads

Komplekso „cilvēks(operators) – transporta līdzeklis – apkārtēja vide” tipa sistēmu drošu funkcionēšanu nosaka transporta līdzekļu (TL) drošība, cilvēciskais faktors un apkārtējās vides apstākļi. Cilvēciska faktora daļa no kopējā negadījumu skaita transporta jomā sastāda 70%. Galvenais negadījumu cēlonis ir saistīts ar operatora kļūdām, kuras ietver sevī nepareizas, nesavlaicīgas darbības vai bezdarbību esošajā pirms avārijas situācijā.

Sakarā ar to viens no svarīgākajiem uzdevumiem ir cilvēka-operatora, kas vada TL, drošības palielināšana. Viens no šī uzdevuma risināšanas ceļiem ir augsta profesionāla līmeņa speciālistu vispusīga sagatavošana. Mūsdienu sasniegumi skaitļošanas tehnikas un programmēšanas nozarē ļauj radīt augstas efektivitātes mācību trenāžierus, kas ar augstu ticamību ļauj imitēt reālo TL darbu, kā arī apkārtējās vides apstākļus, kas ir maksimāli pietuvināti realitātei. Kopā ar to, mūsdienīgu trenāžieru pielietošana pieprasīja izstrādāt jaunas pieejas apmācības procesam, kā arī ļoti efektīvas operatoru darba apmācības un darbības novērtēšanas metodikas. Ir nepieciešams izveidot aprakstāmo sistēmu funkcionēšanas matemātisko modeli (modeļus), kuri ļautu noteikt TL operatoru sagatavotības pakāpes kvantitatīvā vērtējuma kritērijus.

2. Ergatiskas sistēmas „operators – TL – apkārtēja vide” struktūra

Vadot TL, operators sadarbojas gan ar dažādām tehniskajām sistēmām, gan ar apkārtējo vidi. Kopumā sistēmas „operators – TL – apkārtēja vide” pieskaita pie ergatiskas klases sistēmām (ES) [1], kuru atsevišķo elementu sadarbību var attēlot struktūras shēmas veidā, kas ir parādīta att. 1.



1. att. Ergatiskas sistēmas struktūra

Šajā sistēmā „cilvēks - operators” saņem nepieciešamo informāciju par vadīšanas objekta – TL (automobilis, gaisa kuģis u.c.) stāvokli ar informācijas attēlošanas līdzekļu palīdzību (INF – aparāti, tablo, indikatori un tml.). Tālāk, saskaņā ar nostādīto mērķi (S), ar vadīšanas ierīču (VI) palīdzību nepieciešamajā veidā izmaina vadīšanas objekta stāvokli, izmantojot šiem mērķiem vadīšanas orgānus (VAD) (stienis, pārslēdzējs, poga u.c.). ES struktūrā cirkulē sekojoša informācija: $X = X_1 \cup X_2$ – vadīšanas objekta stāvokļu vektori (X_1 – informācija, kas tiek tieši uzrādīta operatoram, X_2 – informācija, kas tiek ievadīta automātisko vadīšanas sistēmu kanālos; $U = u_1, u_2, \dots$ – vadīšanas ierīču stāvokļu vektori); $h = h_1, h_2, \dots$ – cilvēka vadošo darbību vektori; ω – apkārtējas vides ierosošo iedarbību vektori; $S = s_1, s_2, \dots$ – izpildāmā uzdevuma mērķu kopa.

Pētot ES, dažādas tās struktūras sastāvdaļas nepieciešams apskatīt kā funkcionāli līdzvērtīgus elementus, kas operē ar vadīšanas objekta stāvokļa informāciju. Cilvēku-operatoru ir lietderīgi apskatīt kopā ar tehniskiem informācijas attēlošanas līdzekļiem INF un vadīšanas orgāniem VAD, kas nodrošina viņa saskarsmi ar ES tehnisko daļu, un uzrādīt kā integrētu elementu „cilvēks – darbības līdzeklis” (CDL). Tādā veidā, apskatot dažādu transporta līdzekļu ES struktūru, var izdalīt trīs pamatsastāvdaļas: CDL, VI, TL. Saskaņā ar informācijas plūsmu cirkulācijas shēmu ES iekšienē, katrai no tās sastāvdaļām var izcelt mainīgo daudzumu, kas laika sprīdī t nosaka gan atsevišķo sistēmas daļu, gan visas sistēmas kopumā funkcionēšanu:

$$\begin{aligned}
 \text{priekš VO} & - < X, U, \omega, t >; \\
 \text{priekš VI} & - < x_2, h, U, t >; \\
 \text{priekš CDL} & - < x_1, h, S, t >.
 \end{aligned} \tag{1}$$

Mainīgo izmaiņu likumsakarības un apgabalus ierobežo TL un tā sistēmu tehniskie raksturojumi, kā arī normatīvie ekspluatācijas dokumenti.

Attiecībā uz TL vadīšanu operatora darbs reālajā režīmā un uz trenāžiera ietver sevī informācijas uztveršanu, tās analīzi, lēmumu pieņemšanu un to realizāciju. Lēmumu realizācija tiek īstenota, iedarbojoties tieši uz vadīšanas orgāniem ar mērķi nodrošināt TL kustības un vadīšanas sistēmu uzdotos parametrus.

Apskatīsim TL vadīšanas procesu gaisa kuģa (GK) pilotēšanas piemērā. Pilotēšanas process ir laikā nepārtraukts un ietver sevī lidojuma parametru (augstums, ātrums, kurss, sānsvere, pārslodze u.c.) noteikto vērtību uzturēšanu. Lidojuma parametru vērtības uzdod saskaņā ar lidojuma izpildes vadošajiem dokumentiem atkarībā no lidojuma etapa, GK sistēmu stāvokļa un lidojuma situācijas. Katrā lidojuma etapā ekipāžai pēc iespējas precīzāk jānotur rekomendētas lidojuma parametru vērtības, un tā nedrīkst pieļaut šo parametru pirms laika ekspluatācijas robežu pārsniegšanu. Gadījumā, ja notiek neparedzēta parametru vērtību ekspluatācijas robežu pārsniegšana, ekipāžai laicīgi jāiejaucas GK vadīšanā.

GK vadīšanas procesā ekipāža saņem lidojuma informāciju, veic tās analīzi un salīdzināšanu ar prasītām vērtībām, šo darbību pamatā pieņem lēmumu par tālākām rīcībām un realizē tās. Lidojuma izpildes normatīvajos dokumentos ir viennozīmīgi noteikti GK parametru vērtības un apkārtējās vides apstākļi, pie kuriem ekipāžai jāpieņem lēmumu par paredzētas lidojuma izpildes kārtības izmaiņu. GK ekipāžas darba ar sistēmām efektivitātes novērtēšanu veiksīm pēc divām pozīcijām:

- rīcību "pareizības" novērtēšana (piemēram, sistēmu ieslēgšana/izslēgšana bez vajadzības);
- rīcību ar sistēmām „savlaicīguma” novērtēšana.

Pētot ES „operators – TL – apkārtēja vide”, kur cilvēku apskata kā noslēgtas vadīšanas sistēmas elementu, tā operatora darbību nosaka kā ieejošu signālu X_1 , S un izejošo signālu h kopumu (sk. 1. att.). Šo signālu pārveidošana notiek cilvēka sarežģītas psihofiziskas darbības rezultātā, kas ir vērsta uz sistēmas mērķu sasniegšanu, ņemot vērā ES sastāvdaļu informācijas plūsmas. Pamatojoties uz izteiksmi (1), operatora rīcību modeli sistēmas „cilvēks – TL – apkārtēja vide” kontūrā vispārīgā veidā var aprakstīt ar izteiksmi:

$$M_{CDL} : \quad < x_1, h, S, t > ,$$

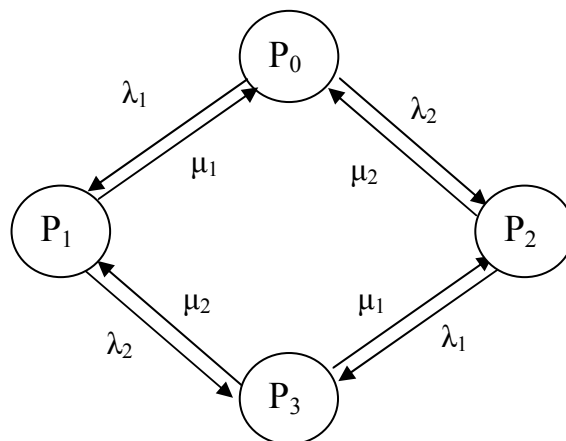
kur $< x_1, h, S, t >$ signālu pārveidošanas algoritms.

Dotais modelis satur acīmredzamus vienkāršojumus, īpaši no cilvēka darbības psihofizioloģisko aspektu skatupunkta, bet dod iespēju salīdzināt to ar ES tehnisko daļu vienotajās koordinātās. Konkrētais modeļa veids, kas apraksta $< x_1, h, S, t >$ signālu pārveidošanu, ir atkarīgs no konkrēta operatora funkcionāla uzdevuma.

3. Ergatiskas sistēmas „operators – TL – apkārtēja vide” drošuma varbūtiskais modelis

Kopējs operatoru trenāžieru apmācības uzdevums ir augstas profesionālas sagatavošanas panākšana, kas nodrošinātu maksimālu ES „operators – TL – apkārtēja vide” funkcionēšanas drošuma sasniegšanu. Vispilnīgāk ekipāžas darbību nosaka tā funkcionāla efektivitāte – raksturojums, kuru sistēmās „cilvēks-mašīna” pieņemts saukt par darba drošumu [1]. Tādējādi, operatora trenāžieru apmācības un novērtēšanas procesa aprakstam ir lietderīgi izmantot ES drošuma varbūtisko modeli.

Sistēmās „cilvēks-mašīna” kopējo drošumu nosaka ar operatora vai vadīšanas objekta gadījuma atteices procesiem un atteices novēršanas iespējām. Gadījuma procesi sistēmās „pilots - GK”, kurus nosaka operatora (pilota) vai vadīšanas objekta atteices, var pietuvināt laikā nepārtrauktam Markova procesam [2]. Sistēmas iespējamo stāvokļu telpu var parādīt shematiski (sk. 2. att.). Shēmā ar bultiņām ir parādīti sistēmas pārejas virzieni no viena stāvokļa uz citu. Pieņemtajā modelī sistēma jebkurā laika momentā var atrasties vienā no sekojošiem stāvokļiem: 0 – operators un vadīšanas objekts funkcionē normāli; 1 – objekta atteice pie operatora normālās funkcionēšanas; 2 – operatora atteice pie



2. att. Sistēmas „pilots - GK” iespējamo stāvokļu telpa

vadīšanas objekta normālās funkcionēšanas; 3 – vadīšanas objekta un operatora atteice.

Stāvoklis ar varbūtību P_1 – sistēmas tehniskās daļas atteice (λ_1 – tehnikas atteices intensitāte). Šis stāvoklis, ņemot vērā atteices sekas, raksturo sistēmas „operators - GK” tehniskās daļas drošumu. Operators saņem informāciju par vadīšanas objekta stāvokli un atjauno to ar atjaunošanas intensitāti μ_1 , kuru vispārīgā gadījumā nosaka ar kontroles sistēmas ātrdarbību, sagatavotības pakāpi un ekipāžas trenējumu atteices noteikšanā un novēršanā. Atjaunošanas intensitāte $\mu_1 = 1/T_{r1}$, kur $T_{r1} = T_{o1} + T_{u1}$; T_{o1} , T_{u1} – attiecīgi vidējais atteices noteikšanas un novēršanas laiks; T_{r1} – vidējais sistēmas atjaunošanas laiks.

Stāvoklis P_2 ir saistīts ar operatora atteici – ar tā darbības pārtraukšanu (λ_2 – operatora atteices intensitāte). Operatora kontroles sistēma fiksē tā atteici un dod signālu autopilota, kas aizstāj operatoru, ieslēgšanai. Operatora funkciju atjaunošanas intensitāte ar tehnisko līdzekļu

palīdzību $\mu_2 = 1/T_{r2}$, kur $T_{r2} = T_{o2} + T_{u2}$; T_{o2} , T_{u2} – attiecīgi vidējais atteices noteikšanas un novēršanas laiks; T_{r2} – vidējais operatora funkciju atjaunošanas laiks.

Pieņemsim, ka atteices un atjaunošanas laiks ir sadalīts pēc eksponenciālā likuma, bet Markova procesi ir stacionāri. Tad sistēmas „operators - GK” aprakstam var izmantot Čepmena – Kolmogovora vienādojumu:

$$\begin{aligned}\frac{dP_0}{dt} &= -(\lambda_1 + \lambda_2)P_0 + \mu_1 P_1 + \mu_2 P_2 ; \\ \frac{dP_1}{dt} &= \lambda_1 P_0 - (\mu_1 + \lambda_2)P_1 + \mu_2 P_3 ; \\ \frac{dP_2}{dt} &= \lambda_2 P_0 - (\mu_2 + \lambda_1)P_2 + \mu_1 P_3 ; \\ \frac{dP_3}{dt} &= \lambda_2 P_1 + \lambda_1 P_2 - (\mu_1 + \mu_2)P_3 ; \\ P_0 + P_1 + P_2 + P_3 &= 1 ,\end{aligned}$$

kur P_0 un P_3 - attiecīgi sistēmas stāvokļu 0 un 3 varbūtības.

Šī vienādojuma atrisinājums pie $t = 0$, $P(0) = 1$ izskatās sekojoši

$$\begin{aligned}P_0(t) &= \frac{1}{\varepsilon_1 \varepsilon_2} (\mu_1 - \lambda_1 e^{-\varepsilon_1 t}) (\mu_2 + \lambda_2 e^{-\varepsilon_2 t}) ; \\ P_1(t) &= \frac{\lambda_1}{\varepsilon_1 \varepsilon_2} (\mu_2 + \lambda_2 e^{-\varepsilon_2 t}) (1 - e^{-\varepsilon_1 t}) ; \\ P_2(t) &= \frac{\lambda_2}{\varepsilon_1 \varepsilon_2} (\mu_1 + \lambda_1 e^{-\varepsilon_1 t}) (1 - e^{-\varepsilon_2 t}) ; \\ P_3(t) &= \frac{\lambda_1 \lambda_2}{\varepsilon_1 \varepsilon_2} (1 - e^{-\varepsilon_1 t}) (1 - e^{-\varepsilon_2 t}) ,\end{aligned} \quad (2)$$

kur $\varepsilon_1 = \mu_1 + \lambda_1$; $\varepsilon_2 = \mu_2 + \lambda_2$.

Uzstādītajā režīmā pie $t \rightarrow \infty$ P_0 , P_1 , P_2 , un P_3 no (2) atrod, ka

$$P_0 = \frac{\mu_1 \mu_2}{\varepsilon_1 \varepsilon_2} ; \quad P_1 = \frac{\lambda_1 \mu_2}{\varepsilon_1 \varepsilon_2} ; \quad P_2 = \frac{\mu_1 \lambda_2}{\varepsilon_1 \varepsilon_2} ; \quad P_3 = \frac{\lambda_1 \lambda_2}{\varepsilon_1 \varepsilon_2} ; \quad (3)$$

Varbūtība P , ka sistēmas veiks savas darba funkcijas, pie niecīgi mazas P_3 vērtības būs vienāda ar:

$$P = P_0 P_{0y} + P_1 P_{1y} + P_2 P_{2y} .$$

Nosacītās varbūtības P_{0y} , P_{1y} un P_{2y} nosaka ar statistiskās modelēšanas metodi. Bet ekipāžām, kuras apmācās uz trenāžieriem, kur sistēmas atteices ievada instruktors un ekipāžas darbības zaudēšanas situāciju modelēšana nav paredzēta, nosacīto varbūtību lielumu vērtības var pieņemt tuvas vieniniekam. Tātad, varbūtība, ka sistēma veiks savas darba funkcijas, ir vienāda ar stāvokļu varbūtību summu:

$$P = P_0 + P_1 + P_2,$$

Ievietojot šajā izteiksmē P_0 , P_1 , un P_2 vērtības no vienādojuma (3) un ņemot vērā (2), saņemsim:

$$P = \frac{\mu_1 \lambda_2 + \mu_2 (\mu_1 + \lambda_1)}{(\mu_1 + \lambda_1)(\mu_2 + \lambda_2)}.$$

Operatora, kas spēj noteikt atteices un novērst to attīstību ($\mu_1 \neq 0$), esamība vadīšanas kontūrā ļauj paaugstināt sistēmas drošumu kopumā. Ar atteicām vispārējā gadījumā jāsaprot gan atteices, kuras ievēd instruktors, gan arī lidojuma parametru noteikto robežo pārsniegšanu. Tādējādi, sagatavojot ekipāžu uz trenāžiera, kopējo ES drošuma paaugstināšanu var panākt uz operatoru sagatavotības un trenējuma kvalitātes paaugstināšanas rēķina (uz operatora atteices atjaunošanas intensitātes vērtības paaugstināšanas rēķina μ_1). Sagatavotības pakāpe raksturo operatora funkcionālu efektivitāti. Pie šāda jautājuma uzstādījuma, ņemot vērā cilvēciska faktora lomu sistēmā „operators - GK”, kļūst acīmredzams, ka pie pilota funkcionālās uzvedības analīzes ir jāpieiet kā pie sistēmas „pilots - GK” atslēgelementa uzvedības analīzes.

4. Pilotēšanas tehnikas novērtēšanas modelis

Izstrādājot pilotēšanas modeli, jāņem vērā, ka pilotēšanas process ir laikā nepārtraukts, pie tam pilotēšanas algoritmu nosaka lidojuma etaps, apkārtējas vides stāvoklis un GK tehniskais stāvoklis. Pie normālas lidojuma norises pilotēšanu realizē pēc standarta algoritma, kura izmaiņas nosaka telpiskas un laika novirzes no normas vadot GK sistēmas, GK sistēmu atteices un faktisko ekspluatācijas apstākļu noteiktu robežu pārsniegšana. Pilotēšanas procesu raksturo ar vispārējo likumsakarību virkni [3]. Piemēram, pie parastās vadīšanas (vienkanāla kompensācijas vērošana), vadīšanas mērķi uzdod kā objekta $S(t)$ koordinātu izmaiņas, bet pilota uzdevums ir nepārtraukti minimizēt starpību $x_1 = |s(t) - x(t)|$ (sk. 1. att.). Šajā gadījumā operatora rīcība ir atkarīga tikai no viena mainīga un to izsaka ar analītisko izteiksmi:

$$W(p) = \frac{H(p)}{X_1(p)}.$$

kur $W(p)$ – operatora pārnese funkcija, kuru aprēķina kā vadošās iedarbības $h(t)$ attiecību pret ieejošo signālu $x_1(t)$ pie nulles sākuma nosacījumiem; p – diferencēšanas simbols.

Reālajos apstākļos pilotēšanas process ir daudz sarežģītāks. Piemēram, pilots reaģē uz regulējamā parametra novirzi un novirzes ātrumu, bet noteiktos apstākļos tiek ievērota reakcija uz regulējamā parametra otro atvasinājumu. Pie tam katrā vadīšanas kanālā tiek ievērota kavēšanās. Tā kā kavējuma laika izmaiņai ir gan sistemātiskas, gan gadījuma sastāvdaļas, tad vadošās iedarbības vērtību noteiks ar pastiprinājuma koeficientu, kura vērtība savukārt ir atkarīga no informācijas lauka struktūras, lidojuma etapa, situācijas un ekipāžas funkcionālās efektivitātes.

Pilotēšanas procesa analītiskam aprakstam pielietosim automātiskās vadīšanas teorijas aparātu. Pilota darbības imitācijai šādā darba režīmā saņemsim pārnese funkciju:

$$W(p) = \frac{k(T_1 p + 1)}{(T_2 p + 1)(T_3 p + 1)} e^{-\tau p}, \quad (4)$$

kur k – pilota pastiprinājuma koeficients; τ – pilota nervu sistēmas reakcijas kavēšanās; T_1 – brīdinājuma laika konstante, kura parādās pilotam pamatojoties uz iepriekšējo pieredzi; T_2 – laika konstante, kas raksturo kaulu-muskuļu sistēmas dinamiku; T_3 – laika konstante, kas ir nepieciešama pilotam vērošanas kvalitātes koriģēšanai.

Parametru vērtības, kas ieiet (4), mainās plašās robežās atkarībā no vadīšanas objekta dinamiskām īpašībām, vides ierosošo spēku iedarbības ω , ieejas signāla $x_1(t)$ mainīšanas rakstura. Saskaņā

ar eksperimentālo pētījumu datiem doto parametru vērtības ir sekojošas: $k = 0,1 - 100$, $T_1 = 0,8 - 1,2$ s., $T_2 \leq 10$ s., $T_3 \geq 0,1$ s.

Lai pilota rīcībās ņemtu vērā gadījuma sastāvdaļu, modeli (4) pierakstīsim šādā veidā:

$$h = W(p) + n(t), \quad (5)$$

kur $n(t)$ – gadījuma funkcija, kas tiek vērsta uz pilota vadošo rīcību regulāro sastāvdaļu.

Vispārējā gadījumā algoritma $h(t)$ veids ir daudz sarežģītāks, tāpēc kā GK vadīšana notiek vairākos kanālos, un pilot darbojas diskrēti, pēc kārtas pārslēdzoties uz dažādiem kanāliem.

Pie zināma pilota darbības algoritma $h(t)$ slēgtas ergatiskas sistēmas „operators – TL – apkārtēja vide” (sk. 1. att.) modeļa izejas parametri atradīsies noteiktajā informācijas laukā saskaņā ar (1):

$$\left. \begin{aligned} M_{VO} &\Rightarrow dx/dt = f(x, u, \omega, t) \\ M_{VI} &\Rightarrow u = \varphi(x_2, h, t) \\ M_{CDL} &\Rightarrow h = \langle x_1, s, t \rangle \end{aligned} \right\} \quad (6)$$

visiem: $x_1, x_2, x \in X$; $u \in U$; $\omega \in W$ intervālā $t \in T = (t_k - t_0)$,

kur M_{VO} , M_{VI} , M_{CDL} - attiecīgi vadīšanas objekta, vadīšanas iekārtas un „cilvēks – darbības līdzekļi” modeļi; t_0 , t_k - attiecīgi ES darba sākuma un darba beigu laiks.

Pilots ES „operators – TL – apkārtēja vide” struktūrā izvēlas konkrētus vadīšanas mērķus $s_k \in s$, analizē objekta $x(t)$ pašreizējo stāvokli, ņemot vērā esošo situāciju ω veido h – vadošo rīcību, vērtē savas rīcības rezultātu, un darbības algoritms atkārtojas. Rezultātā, kad pilots izpilda algoritmu (h), GK darbība pāriet no sākuma stāvokļa $x = x(t_0)$ uz beigu stāvokli $x = x(t_k)$. Pie veismīgas galamērķa sasniegšanas pilota rīcības atradīsies diapazonā:

$$h \rightarrow [x(t_k) \in s_k], \quad \omega \in W. \quad (7)$$

Vadošo darbību algoritma saturs būs atkarīgs no risināmo uzdevuma rakstura, GK tehniskā stāvokļa parametriem, vides stāvokļa un citiem ekspluatācijas apstākļiem. Tāpēc, izpildot uzdevumu s_k , pilots var izvēlēties un realizēt daudz h – darbību algoritmus. Bet starp tiem eksistē tikai noteikta klase h_1 , kas nodrošina galamērķa sasniegšanu pie

noteiktiem ekspluatācijas apstākļiem ω_l . Ja pilota izveidotie darbības algoritmi ir no klases h_r , kas neatbilst dotai l – situācijai, tad to realizācija dotajā vadīšanas etapā novedīs pie nosacījuma (7) neizpildīšanas un tiks vērtēta kā pilota kļūda. Tas nozīmē, ka pilota kļūdu, darbojoties ar ES „operators – TL – apkārtēja vide”, noteiks kā nosacījumu, kas izsaka h – darbību izpildīšanas neatbilstību pašreizējā l – situācijā:

$$h_r \notin \{h_l\}, \quad \omega_l \in W, \quad (8)$$

kur $\{h_l\}$ – algoritmu kopums, kas atbilst l situācijai un s_k mērķiem.

Izvēloties konkrētu h – darbību algoritmu, pilota pienākums, izņemot mērķa sasniegšanu, ir nepieļaut īpašo situāciju, kas noved pie lidojuma drošuma samazināšanas, parādīšanos lidojumā. Dažāda ranga īpašas situācijas rašanās ir saistīta ar parametru, kas raksturo sistēmas „operators – TL – apkārtēja vide”, robežvērtību sasniegšanu un noteikto ierobežojumu pārsniegšanu. Šos ierobežojumus telpā var attēlot ar apgabalu Q_x :

$$Q_x \subset |x_{au}, x_{ap}|,$$

kur x_{au}, x_{ap} – parametru, kas raksturo sistēmas „operators – GK – apkārtēja vide” stāvokli, ierobežojumu sistēmas augšējā un apakšējā robeža saskaņā ar (6).

Normatīvajos dokumentos, kas reglamentē GK ekspluatāciju lidojuma laikā, gaidāmiem ekspluatācijas apstākļiem W nosaka lidojuma parametru, kas ir pieļaujami saskaņā ar drošības nodrošināšanas nosacījumiem, vērtību Q_x apgabalu. Tad pilotēšanas pareizums (tikai h_l – algoritmu realizācija) tiks ierakstīts kā lidojuma drošības nodrošināšanas nepieciešamais nosacījums:

$$x \in Q_x, \text{ для } \omega_l \in W, t \in T. \quad (9)$$

Neizpildot doto nosacījumu sistēmas „operators - GK” darbā parādās bīstamas novirzes, kas rada draudus lidojuma drošībai. Kaut viena parametra robežvērtību pārsniegšanu jāvērtē kā īpašas situācijas rašanos. Tāpēc sistēmas „operators - GK” funkcionēšanas drošības nodrošināšana sastāv no tā, lai, izmantojot prasmi, iemaņas un profesionālo pieredzi, ekipāžas sintezētu tādas h_l – algoritmus, kuri pie rīcībā esošajām GK vadīšanas līdzekļu iespējām „u” nodrošinātu s_k – mērķu sasniegšanu, apejot aizliegtās parametru vērtības $x \notin Q_x$, jebkuros gaidāmajos ekspluatācijas apstākļos.

Literatūra

1. Прокофьев А.И. Надежность и безопасность полетов. Москва: “Машиностроение”, 1985, 1-185.
2. Козлов В.В. Человеческий фактор: история, теория и практика в авиации. - М.: Полиграф, 2002 г.-280 с.
3. Пономаренко В.А., Завалова Н.Д. Авиационная психология. - М.: Институт авиационной и космической медицины, 1992.- 220 с.

Viktors Feofanovs, Aleksandrs Urbahs: „OPERATORS - TRANSPORTA LĪDZEKLIS - APKĀRTĒJĀ VIDE” SISTĒMU MODELĒŠANA. Darbā ir piedāvāts sistēmas “operators – transporta līdzeklis – apkārtējā vide” funkcionēšanas matemātiskais modelis. Modelis ļauj noteikt gaisa kuģa ekipāžas sagatavotības kvantitatīvas novērtēšanas kritērijus.

Modelis satur acīmredzamus vienkāršojumus, īpaši no cilvēka darbības psihofizisko aspektu skatupunkta, bet dod iespēju salīdzināt to ar apskatāmās sistēmas tehnisko daļu vienotajās koordinātās. Konkrēts modeļa veids ir atkarīgs no operatora – ekipāžas locekļa – funkcionālā uzdevuma. Operatora trenāžieru apmācības un novērtēšanas procesa aprakstam piedāvāts apskatāmās ergatiskas sistēmas drošuma iespējamais modelis.

Viktor Feofanov, Alexander Urbach: MODELLING OF SYSTEMS OF “OPERATOR - VEHICLE - OUTDOOR ENVIRONMENT” The work offers a mathematical model of “operator – vehicle – ambient conditions” system functioning. The model gives opportunity to define the quantitative estimation criteria of aircraft crew training.

The model contains some evident simplifications, especially from the point of view of considering psycho physiological aspects of human activity, but it gives the opportunity to correlate the latter with a technical part of the considered system in unified coordinates. A definite kind of model depends on a definite functional task of an operator, or crew member. In order to describe the training process and estimate the operator’s performance on simulators a probability model of the considered ergatic system reliability is offered.

Виктор Феофанов, Александр Урбах: МОДЕЛИРОВАНИЕ СИСТЕМ «ОПЕРАТОР - ТРАНСПОРТНОЕ СРЕДСТВО – ВНЕШНЯЯ СРЕДА» В работе предложена математическая модель функционирования системы «оператор – транспортное средство – окружающая среда». Модель позволяет определить критерии количественной оценки подготовленности экипажей воздушных судов. Модель содержит очевидные упрощения, особенно с точки зрения учета психофизиологических аспектов деятельности человека, но дает возможность сопоставлять ее с технической частью рассматриваемой системы в единых координатах. Конкретный вид модели зависит от конкретной функциональной задачи оператора – члена экипажа. Для описания процесса обучения и оценивания оператора на тренажерах предложена вероятностная модель надежности рассматриваемой эргатической системы.