

УДК 681.5 + 629.7.07

В.А.ШУЛЬГІН

*Кіровоградська льотна академія
Національного авіаційного університету*

ІНФОРМАЦІЙНІ ЛАНЦЮГИ ПОСТІЙНОГО СТРУМУ У МОДЕЛЯХ ДІЯЛЬНОСТІ ЛЬОТНОГО ЕКІПАЖУ

Враховуючи вплив пілотів як операторів «переднього краю» на безпеку польотів, кібернетичними методами інформаційних ланцюгів проф. А.О. Денисова розробтані «електричні» моделі взаємодії у трьохчленному льотному екіпажі, що організовані за схемою «зірка» та «трикутник». Моделі враховують професійні розумові здібності пілотів як інформаційну рушійну логіку, тобто потенціал, складність вирішення польотної задачі – через відповідний час, який має сенс інформаційного опору. Моделі-схеми розв'язуються за допомогою інформаційних законів Кирхгофа для постійного інформаційного струму.

Учитывая влияние пилотов как операторов «переднего края» на безопасность полетов, кибернетическими методами информационных цепей А.А. Денисова разработаны «электрические» модели-схемы взаимодействия в трехчленном летном экипаже. Одна из них организована по аналогии со схемой «звезда», другая – «треугольник». Модели учитывают профессиональные умственные способности пилотов как информационную движущую логику, т.е. потенциал, сложность решения полетной задачи – через соответствующее время, имеющее смысл информационного сопротивления. Модели-схемы развязываются с помощью информационных законов Кирхгофа.

Having in view the influence of pilots as «first line» operators upon the safety of flight, there have been developed «electrical» models of interaction in a three member flight crew on the basis of professor A.A. Denisov's information circuit cybernetics methods. One of the models has been organized by analogy with the «star» scheme, the other – with «triangular» scheme. The models take into account pilots professional mental faculties as information moving logic, that is, the potential, the complexity of flight task solution – after passing the corresponding amount of time, having sense of information resistance. The model-schemes are solved with the help of Kirchhoff information laws.

Ключові слова: безпека польотів, людський чинник, методи інформаційних ланцюгів, модель взаємодії у льотному екіпажі за схемою «зірка» та «трикутник».

Не дивлячись на безрадісну статистику негативного впливу людського чиннику (ЛЧ) на безпеку польотів (БП), яка спостерігається впродовж кількох десятиліть, саме дякуючи пілоту (льотному екіпажу в цілому) – це ще і найбільш сильна ланка цілеспрямованої складної авіаційної поліергатиической системи управління (ЦСАПЕСУ) «пілот (екіпаж) – повітряне судно (ПС) – орган обслуговування повітряного руху (ОПР) – середовище», тому що може активно втручатися в компенсацію наслідків відмов її технічних складових. Так, пілот при деяких, навіть дуже складних відмовах функціональних систем (ФС) ПС, здатний на 16%, а за наявності аварійної сигналізації – і на 25% підвищити загальну надійність досліджуваної ЦСАПЕСУ [1]. Більш того,

існують емпіричні твердження щодо компенсаторної надійності авіаційного оператора, яка дорівнює чотирикратному резервуванню технічних пристроїв [2, 3]. Саме тому зовсім не випадково на одному з Симпозіумів ІКАО з проблем ЛЧ і БП капітан Гунар К. Фалгрєн, член Робочої групи ІАТА з ЛЧ, наголосив: «Ми часто чуємо та вважаємо, що 75% всіх авіаційних пригод пов'язано з людським чинником. Однак, можна також вважати, що завдяки саме людському чиннику інші причини авіаційних пригод складають на теперішній час всього 25%». Тому ІКАО розглядає людину як «останній рубіж оборони» в справі забезпечення БП [4].

Зрозуміло, що належний рівень БП може забезпечити тільки добре професійно підготовлений екіпаж, тому компетенції авіаційної освіти і професійної підготовки (ПП) вважають неодмінним атрибутом забезпечення БП (рис. 1). Вважається також, що одним з найбільш ефективних практичних правил ПП екіпажів ПС (ЕПС) є вибір такої її моделі, яка має риси, адекватні навичкам, вмінням, знанням, що потрібні для надійного здійснення професійної діяльності [5]. Ефективність такого моделювання підтверджують актуальні до цих пір дані Генерального конструктора О.К. Антонова, що були отримані понад 40 років тому. Ним встановлено, що тільки ергономічне моделювання при проектуванні сучасних ПС різних класів дозволяє:

- зменшити завантаженість ЕПС на 20-40%;
- збільшити відносний час, який мають в своєму розпорядженні ЕПС для пілотування, при одночасному поліпшенні умов праці на 30-60%;
- підвищити оперативну готовність ПС до польоту на 15-20%;
- зменшити імовірність помилкових дій ЕПС і збільшити надійність його роботи в аварійних ситуаціях;

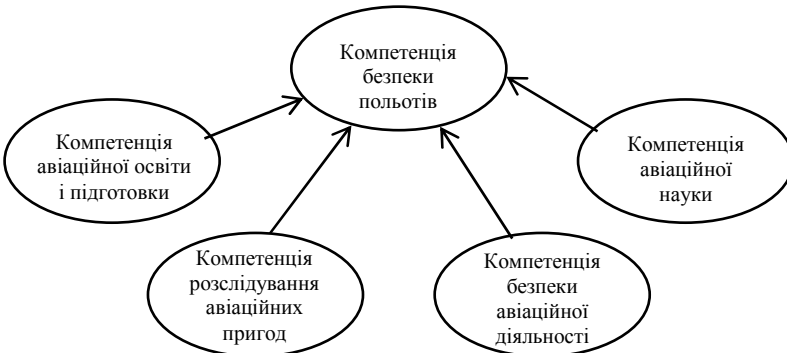


Рис. 1 – Ключові компетенції безпеки польотів (С.Д. Байнєтов, РФ)

– оптимізувати процеси ПП ЕПС.

Досвід льотної роботи свідчить про наявність значних резервів в підвищенні ефективності діяльності ЕПС без істотних додаткових матеріальних витрат за рахунок оптимізації технології взаємодії в рамках системи «екіпаж – ПС» в різних умовах експлуатації. У зв'язку з цим теоретичні і практичні роботи, направлені на підвищення безпеки льотної експлуатації (ЛЕ) ПС шляхом оптимізації діяльності льотного екіпажа в очікуваних умовах польоту і особливих ситуаціях мають перманентну актуальність.

Загальноприйняте, що якщо кожний окремий член ЕПС буде добре професійно підготовлений, то і на весь льотний екіпаж в цілому буде нібито «автоматично» розповсюджена системна властивість емерджентності, яка перетворюється на синергетичний ефект [6]. Тоді, скажімо, для трьохчленного ЕПС цей ефект у нормальних умовах польоту можна подати як $1 + 1 + 1 > 3$. Однак, для складних чи особливих випадків польоту, особливо коли йдеться про розпливчасту границю між аварійною та катастрофічною ситуаціями, вимагається мультиплікація результату спільної діяльності, що призводить до так званого «синергетичного вибуху»: $1 + 1 + 1 > 3^3$! Однак, у загальному випадку такого «автоматичного» утворення ЕПС як колективного оператора не відбувається, що вимагає проведення відповідних досліджень.

Значний внесок до розробки даної проблеми внесли Н.Д. Завалова та В.О. Пономаренко [7], В.Т. Юсов [8], які розкрили вплив соціально-психологічних чинників колективної діяльності ЕПС на БП. Різні аспекти урахування міжособових зв'язків в колективній діяльності авіаторів розглядаються в роботах С.К. Богачева [9], К.К. Платонова та Б.М. Гольдштейна [10], В.О. Бодрова [11], Б.Л. Покровського [12], О.М. Рєви [13] та ін. При цьому спостерігається набагато менше результатів досліджень з формально-математичного опису і оптимізації діяльності льотного екіпажу, що не дозволяє повною мірою отримати усі очікувані від моделювання позитиви, що були визначені Генеральним конструктором О.К. Антоновим.

Таким чином, виходячи з вищезазначеного, для забезпечення надійності льотного екіпажу необхідно розробити формально-математичну модель його діяльності, яка б враховувала б як суворий розподіл професійних обов'язків і чітко встановлений статус кожного з його членів, так і їх психофізіологічні і психологічні властивості [14]. Вважаємо, що найбільш придатними для цього є методи кібернетичних інформаційних ланцюгів проф. А.О. Денисова [15], які, на жаль, знайшли на теренах СНД невелику кількість прихильників [16-19 та

небагато ін.]. Для моделювання спільної діяльності ЕПС ці методи застосовуються уперше.

В контексті досліджень цієї публікації під *інформаційним ланцюгом* в загальному випадку будемо розуміти сукупність взаємодіючих джерел, перетворювачів і споживачів інформації (рис. 2). Такі інформаційні ланцюги завжди замкнуті на джерело або за допомогою каналів прямого і зворотного зв'язку, або (у відсутність одного з них) за допомогою логічних зв'язків між джерелом і навантаженням.

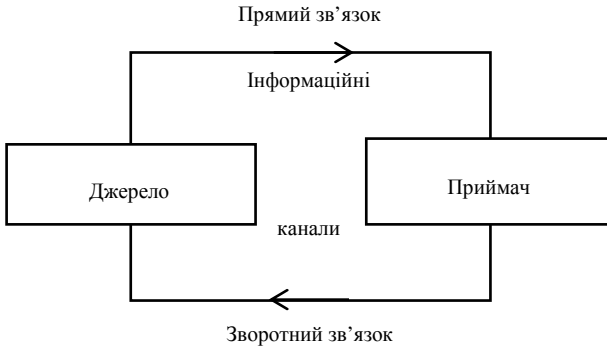


Рис. 2 – Загальна структура інформаційного ланцюга

Як відомо, стан матерії, що нас оточує, характеризується деякою *невизначеністю*, або *ентропією*, $H_0 = -\log P_0$, яка виступає в ролі *інформаційного потенціалу* (суті) події, апіорна імовірність якої дорівнює P_0 . Метою і сенсом всякого управління є зміна в той чи інший бік цієї апіорної імовірності події до деякого нового значення $P_{ум.}$, якому відповідає нове значення потенціалу $H_{ум.} = -\log P_{ум.}$, де $P_{ум.}$ – імовірність події за умови управління нею. Таким чином, суть управління, здійснюваного джерелом інформації, може бути охарактеризована деякою *інформаційною напругою*:

$$\Delta H = H_0 - H_{ум.} = \log \frac{P_{ум.}}{P_0}. \quad (1)$$

В процесах ЛЕ ПС джерелом інформації є зазвичай люди (члени екіпажу чи авіадиспетчери (А/Д), що здійснюють ОНР) або технічні пристрої (прилади пілотської кабіни). Скажімо, авіаційний прилад є джерелом керуючої інформації, напруга якого дорівнює логарифму відношення імовірностей успішної роботи екіпажу за умов функціону-

вання та відмови цього приладу. З виразу (1) витікає логічний висновок, що інформаційна напруга (суть) джерела ΔH може бути як позитивною, коли його метою є збільшення імовірності події, так і негативною, коли його метою є зниження імовірності події. Якщо ж $P_{ум.} = P_0$, то напруга джерела рівна нулю, тобто його роль в управлінні неістотна і він не має сенсу. Інформаційну напругу, як і ентропію, можна вимірювати в різних одиницях залежно від вибору основи логарифма в (1) або від схильності дослідника до тих або інших інтерпретацій. Інформаційну ентропію ототожнюють з термодинамічною ентропією, вимірюючи їх в однакових одиницях; однак надалі користуватимемося у якості одиниці напруги *бітами*, які можна отримати, якщо в виразі (1) застосовувати двійкові логарифми, оскільки це забезпечує таку розмірність всіх інших інформаційних величин, що добре інтерпретується [15, 20].

Якщо виконавча система не володіє ні пам'яттю, ні звичками, то єдиною її характеристикою в даному аспекті є *інформаційний опір*, тобто час її реакції на отриману інформацію (час виконання), який обчислюється від моменту виходу керуючої інформації з джерела до моменту отримання джерелом сигналу зворотного зв'язку про досягнення поставленої мети. Так, в ЕПС як *гуманістичній* (згідно Л. Заде [21]) системі управління, де розпорядження віддаються в усній формі безпосередньо або через радіозв'язок з А/Д інформаційний опір системи виконання рівний часу виконання від моменту, коли розпорядження сформульоване, до моменту, коли поступила доповідь про виконання. При цьому час, необхідний для прийняття самого рішення, для його викладу і для осмисленого сприйняття доповіді про виконання, є внутрішнім інформаційним опором джерела інформації, зворотним його пропускній спроможності I_{max} . Таким чином, для системи без звичок і пам'яті (рис. 3) має місце інформаційний закон Ома:

$$I = \frac{\Delta H}{\tau_n} \quad (2)$$

де I – інформаційний струм в ланцюзі навантаження; $\tau_n = \tau - \tau_{от.}$ – інформаційний опір навантаження; τ і $\tau_{от.}$ – інформаційні опори відповідно всього ланцюга і джерела (внутрішній).

З формули (2) витікає, що при однократному досягненні мети через систему проходить інформація J_u , що дорівнює напрузі джерела:

$$J_u = I \cdot \tau_n = \Delta H \quad (3)$$

При тривалій роботі системи продовж часу T скрізь неї протікає інформація:

$$J = \int_0^T Idt = \int_0^T \frac{\Delta H}{\tau} dt. \quad (4)$$

Наприклад, якщо під час посадки ПС в його салоні протягом часу T світиться табло «Застебнути ремені», а для виконання команди потрібний час τ , то пасажирі встигають отримати інформацію

$$J = -\frac{T}{\tau} \log P,$$

де P – імовірність мимовільного виконання команди, якщо табло раптово зіпсувалося, і відсутні інші засоби доведення команди до дисциплінованих ($P_{ум} = 1$) пасажирів.

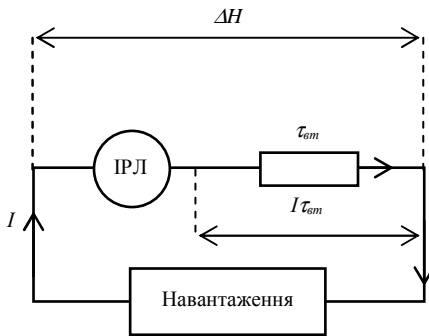


Рис. 3 – Простіший інформаційний ланцюг:
ІРЛ – інформаційна рушійна логіка

Формула (4) справедлива, звичайно, тільки в тих випадках, коли напруга і струм не змінюють знак при розгляді табло, що світиться в салоні ПС. У тих же вельми частих випадках, коли напруга і струм періодично змінюють знак, у формулі (4) слід підставляти діюче значення струму, яке може бути визначене так:

$$I_{\delta} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T i^2 dt} = \sigma(i), \quad (5)$$

де i – миттєве значення інформаційного струму; T – період зміни струму.

Наприклад, якщо в кабіні ПС передається послідовність команд «вмикнути» / «вимкнути» якийсь тумблер з періодом T і тривалістю $t_{вм}$ і $t_{вим}$ кожна (рис. 4), то відповідні їм позитивна і негативна інформаційна на пруга $\Delta H_{вм}$ і $\Delta H_{вим}$ визначаються відповідною апріорною імо-

вірністю цих станів об'єкту управління до подачі команд. При цьому, якщо час включення інформаційний опір об'єкту складає $t_{вм}$, а час відключення – t_0 , то вищенаведеній напрузі відповідають струми $i_{вм} = \Delta H_{вм} / \tau_{вм}$ протягом часу $t_{вм}$ і $i_0 = \Delta H_0 / \tau_0$ продовж часу t_0 .

Природно, що ефективність джерела залежить від того, наскільки швидко воно видає керуючу інформацію при зміні стану навантаження. Запізнювання, наявне в джерелі, знецінює видану їм керуючу інформацію і виконує функції внутрішнього інформаційного опору джерела. Напругу джерела, яку воно має на холостому ходу без інформаційного навантаження, іншими словами, без урахування внутрішнього опору, називають *інформаційно-рушійною логікою* (ІРЛ) джерела. За наявності ж навантаження інформаційний струм I створює падіння напруги на внутрішньому опорі $\tau_{вм}$ (див. рис. 3), яке знижує ІРЛ до робочої напруги на величину $I\tau_{вм}$, так, що:

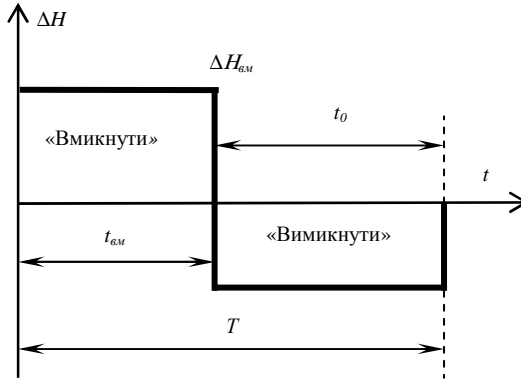


Рис. 4 – Знакозмінна ентропія

$$\Delta H = h - I\tau_{вм}, \quad (6)$$

де h – ІРЛ джерела.

Отже, чим більше запізнювання в джерелі, тобто чим більше часу займає процес переробки інформації і прийняття рішення (ІР), тим згідно (6) менше його напруга в порівнянні з ІРЛ, а значить, тим менше воно здатне змінити імовірність досягнення мети керування. Ця властивість більш посилюється у міру збільшення навантаження, тобто у міру зростання інформаційного струму. Тому при проектуванні джерела для роботи на певне навантаження (на заданий інформаційний струм) необхідно з урахуванням його внутрішнього опору завищувати

його ІРЛ на $I\tau_{em}$ з метою забезпечити задану імовірність потрібної події. Переписавши (6) у формі:

$$P_{ум.} = P_n \exp(-I\tau_{em} \ln 2), \quad (7)$$

отримаємо, що для великих інформаційних струмів джерела з помітним внутрішнім опором (запізнюванням) τ_{em} можуть забезпечити лише порівняно низьку імовірність $P_{ум.}$ бажаної події. І оскільки будь-які реальні джерела інформації (члени ЕПС, А/Д, БЦЕОМ) володіють кінцевим інформаційним опором, розглянемо способи його зменшення за допомогою схемних перетворень; поки ж відзначимо, що стосовно людини ІРЛ характеризує її потенційні творчі можливості при практично необмеженому часі, відведеному для ПР.

Що стосується внутрішнього інформаційного опору членів екіпажу, то він характеризує тільки швидкість міркування, наприклад швидкість арифметичних операцій, незалежно від потенційних можливостей індивіда. Інформаційна ж напруга людини як джерела інформації визначається згідно (6) сукупною дією чинників. В результаті частого дуже обдаровані, але із сповільненою реакцією члени екіпажу виявляються безпорадними при оперативному управлінні швидкозмінними польотними ситуаціями, забезпечуючи згідно (7) лише порівняно низьку імовірність досягнення мети управління. Навпаки, люди навіть дуже обмежені, але рішучі і з хорошою реакцією, володіючи низьким інформаційним опором, здатні при обмежених значеннях інформаційних струмів забезпечити відповідно до (7) досить успішне оперативне управління ПС.

Реальні інформаційні ланцюги нерідко є складними переплетеннями джерел і приймачів, що не зводяться тільки до послідовних або паралельних з'єднань. Стосовно льотного екіпажу йдеться про те, що кожний його член, будучи одночасно приймачем і джерелом інформації, обмінюється інформацією практично з кожним з решти членів, утворюючи складне переплетення інформаційних зв'язків. Ось чому до подібних ланцюгів застосовні інформаційні закони Кирхгофа, перший з яких відображає закон збереження інформації почуттів (принцип безперервності струму) і формулюється таким чином: сума струмів, що протікають через будь-який вузол схеми, рівна нулю (під вузлом розуміється будь-який перетин або розгалуження провідників інформації). Другий закон Кирхгофа розглядає основну властивість логічної інформації: сумарні падіння напруги по будь-яких шляхах між двома вузлами рівні між собою (не залежать від шляху), тобто мета не залежить від засобів. Розглянемо застосування цих законів на прикладі управління діяльністю трьохчленного льотного екіпажу у складі командира (КПС), другого пілота (ДП) та інженер-механіка бортового

(ІБМ). Припускаючи, що усі перелічені члени екіпажу є особами відповідальними і враховуючи взаємний зв'язок і органічну єдність сфер їх діяльності в кабіні, можна уявити всього два варіанти схем управління (рис. 5).

На рис. 5 ІРЛ кожного члена екіпажу поставлені у відповідність інформаційні опори τ_{12} , τ_{13} , τ_{23} . При цьому схема на рис. 5 а) відповідає випадку, коли кожний з членів ЕПС відповідає безпосередньо за дві з трьох сфер діяльності (пілотування, навігація, ФС). Причому всі вони здійснюють ЛЕ ПС в безпосередньому контакті один з одним, так що рішення, підготовлене одним з них, доводиться погоджувати щонайменше з одним з тих, хто залишилися, бо по відношенню до кожного навантаження ці особи сполучені попарно послідовно. На відміну від цього схема на рис. 5 б) допускає незалежний (паралельний) вихід кожного з них на свої сфери управління по деяких питаннях, залишаючи решту питань для узгодженого (послідовного) управління.

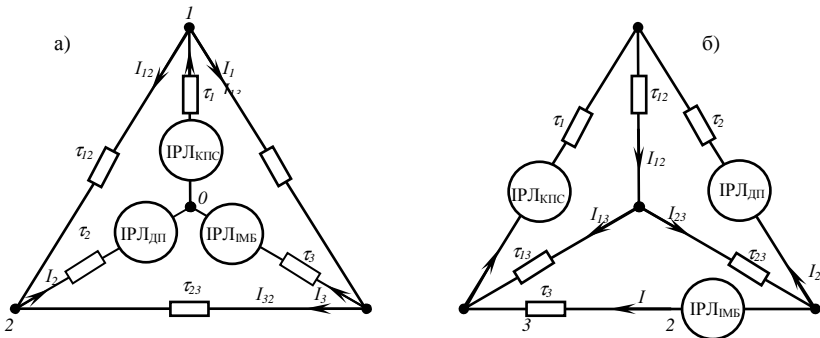


Рис. 5 – Схеми керування льотним екіпажем:
а) – послідовна; б) – паралельна

Звернемося спочатку до першої з цих схем, застосувавши до неї закони Кирхгофа. При цьому умовимось, що напрями струмів, які довільно позначені на рис. 5 а), будемо вважати позитивними, коли вони направлені до вузла, і негативними, коли вони направлені від вузла. Тоді перший закон Кирхгофа стосовно вузла 1 розгалуження струмів дає $I_1 = I_{12} + I_{13}$. Так само маємо для вузлів 2, 3, 0: $I_2 = I_{12} + I_{23}$; $I_3 = I_{23} - I_{13}$; $I_0 = I_1 + I_3$.

Застосовуючи другий закон Кирхгофа до всіх ланцюгів між вузлами 1 і 2 та вважаючи, що напрям ІРЛ джерел співпадає з напрямом

струмів в ланцюгах, отримаємо:

$$\begin{aligned} \Delta H_{12} = I_{12} \tau_{12} = h_1 + h_2 - I_1 \tau_1 - I_2 \tau_2 = h_1 - h_3 - I_1 \tau_1 + I_3 \tau_3 + I_{23} \tau_{23} = \\ = I_{13} \tau_{13} + I_{23} \tau_{23}. \end{aligned}$$

В принципі, цю процедуру можна продовжувати для пар вузлів: 1 і 3, 2 і 3, 0 і 1, 0 і 2, 0 і 3. Однак в цьому немає анінайменшої необхідності, оскільки для визначення шести невідомих струмів нам потрібно всього шість рівнянь, а ми їх вже отримали значно більше, причому до них увійшли всі параметри схеми. Вирішуючи отриману систему рівнянь, можна знайти струми у всіх гілках схеми. При цьому, враховуючи громіздкість виразів, що виходять, розглянемо спрощений варіант завдання управління, коли $h_1 = h_2 = h_3 = h$: $\tau_1 = \tau_2 = \tau_3 = \tau_{em}$ і $\tau_{12} = \tau_{13} = \tau_{23} = \tau_H$. В цьому випадку, легко отримати таке:

$$I_{13} = 0; \tag{8}$$

$$I_1 = I_3 = I_{12} = I_{23} = 0,5I_2; \tag{9}$$

$$\Delta H_{12} = \Delta H_{32} = I_{12} \tau_H = 2h - (I_1 + I_2) \tau_{em} = I_{23} \tau_H. \tag{10}$$

Враховуючи (8) – (10), отримуємо:

$$I_2 = \frac{4h}{\tau_H + 3\tau_{em}}; \tag{11}$$

$$I_1 = I_3 - I_{12} = I_{23} = 2h (\tau_H + 3\tau_{em}). \tag{12}$$

Таким чином, якщо припустити, що всі інформаційні навантаження приблизно однакові, а члени екіпажа володіють зрівняними РПЛ і внутрішніми опорами, то при праці за схемою рис. 5 а) виникає реальна загроза, що одна з сфер управління (на схемі τ_{13}) виявиться некеруваною.

Застосовуючи тепер закони Кирхгофа до тих же вузлів і гілок схеми на рис. 5 б), отримаємо:

$$I_{12} = I_1 + I_2; \quad I_1 = I_{13} + I_3; \quad I_{23} = I_2 + I_3; \quad I_{12} = I_{12} + I_{23}; \tag{13}$$

$$\begin{aligned} \Delta H_{12} = h_1 - I_1 \tau_1 = I_{12} \tau_{12} + I_{13} \tau_{13} = I_{12} \tau_{12} + I_{23} \tau_{23} - h_3 + I_3 \tau_3 = \\ = h_2 - I_2 \tau_2 - h_3 + I_3 \tau_3. \end{aligned} \tag{14}$$

Вирішуючи систему рівнянь (11), отримуємо вирази для струмів у всіх гілках схеми. Знов звернемося до спрощень задачі за тих же умов, що і в першому випадку. Відзначимо відразу, що, не дивлячись на рівність напруги джерел і подібність навантажень, в схемі рис. 5 б) ніякій симетрії струмів в гілках не наступає, оскільки симетрія будь-яких двох джерел завжди порушується третім джерелом. Проте, як легко переконатися, складена для схеми рис. 5 б) система рівнянь при прийнятних допущеннях сумісна тільки, якщо $I_{13} = 0$.

$$I_{12} = I_{23} = \frac{2h}{3\tau_n + \tau_{em}}; I_1 = I_3 = \frac{h(\tau_n + \tau_{em})}{\tau_{em}(3\tau_n + \tau_{em})}; \quad (15)$$

$$I_2 = \frac{h(\tau_{em} + \tau_n)}{\tau_{em}(3\tau_n + \tau_{em})}.$$

Порівнюючи схеми а) і б) рис. 5, можна дійти висновку, що обидві вони при рівності ІРЛ і внутрішніх опорів джерел і при однакових навантаженнях приводять до некерованості однієї з сфер діяльності екіпажу. При цьому, якщо $\tau_n \gg \tau_{em}$, тобто якщо для ПР потрібно значно менше часу, чим для його виконання, то схема а) дає в три рази більші струми інформації в навантаженнях, ніж схема б), що забезпечує їй кращу керованість. Зате при цьому джерела ІРЛ_{КПС} і ІРЛ_{ІМБ} в схемі а) завантажені в 6 разів більше, ніж в схемі б), а джерело ІРЛ_{ДП} - навіть у 8 разів більше.

Якщо ж $\tau_{em} \gg \tau_n$, тобто якщо процедура вироблення і узгодження управлінських рішень вимагає значно більше часу, чим їх виконання, то тепер вже схема б) забезпечує в 3 рази більші струми в сферах управління, ніж схема а). Відповідно завантаження джерел ІРЛ_{КПС} і ІРЛ_{ІМБ} в схемі б) на третину більше, ніж їх завантаження в схемі а), а завантаження джерела ІРЛ_{ДП} в схемі б) на третину менше, ніж в схемі а), хоча і рівна завантаженню джерел ІРЛ_{КПС} і ІРЛ_{ІМБ} в своїй схемі.

На завершення подамо обидва закони Кирхгофа у вигляді універсальних формул. Отже, для будь-якого вузла інформаційного ланцюга:

$$\sum_{k=1}^n I_k = 0, \quad (16)$$

а для будь-якого замкнутого контура

$$\sum_{k=1}^n \Delta H_k = 0. \quad (17)$$

Висновки

Підсумовуючи отримані і подані в цій статті нові наукові результати з моделювання діяльності льотних екіпажів, виділимо такі найбільш суттєві положення.

1. Уперше в практиці досліджень професійної діяльності льотних екіпажів, як невеликих груп авіаційних операторів, застосовані кібернетичні методи інформаційних ланцюгів, які дозволяють при моделюванні врахувати як суворий розподіл професійних обов'язків і чітко встановлений статус кожного з членів ЕПС, так і їх психофізіологічні і

психологічні властивості. В моделях розумові здібності членів екіпажу розглядаються як ІРЛ, тобто певний розумовий потенціал, а час, що витрачається на вирішення польотної задачі як інформаційний струм, що дозволяє засувати в дослідженнях інформаційний закон Ома.

2. Узавши за основу три основних елементи ЛЕ ПС (пілотування, навігація, експлуатація ФС), побудовані дві електричні схеми-моделі діяльності екіпажу у вигляді «зірка» і «трикутник» і здійснений їх опис відповідними рівняннями. Рівняння розв'язуються за допомогою інформаційних законів Кирхгофа.

3. Встановлено, що при рівності ІРЛ і внутрішніх опорів джерел і при однакових навантаженнях обидві схеми взаємодії можуть привести до некерованості однієї з сфер діяльності екіпажу. При цьому, якщо для ІРЛ потрібно значно менше часу, чим для його виконання, то «зірка» дає в 3 рази більші струми інформації в навантаженнях, ніж схема «трикутник», що забезпечує кращу їй керованість. Зате при цьому джерела ІРЛ_{КПС} і ІРЛ_{ІМБ} в «зірці» завантажені в 6 разів більше, ніж в схемі «трикутнику», а джерело ІРЛ_{ДП} – навіть у 8 разів більше. Якщо ж процедура вироблення і узгодження рішень вимагає значно більше часу, чим їх виконання, то вже «трикутник» забезпечує в 3 рази більші струми в сферах управління, ніж «зірка». Відповідно завантаження джерел ІРЛ_{КПС} і ІРЛ_{ІМБ} в «трикутнику» на ½ більше, ніж їх завантаження в «зірці», а завантаження джерела ІРЛ_{ДП} в схемі «трикутнику» на ½ менше, ніж в схемі а), хоча і рівна завантаженню джерел ІРЛ_{КПС} і ІРЛ_{ІМБ} в своїй схемі.

4. Подальші дослідження з моделювання діяльності ЕПС слід проводити методами мінливих інформаційних струмів, враховуючи у відповідних схемах пам'ять члена екіпажу за допомогою інформаційного конденсатора, а також його ригідність – за допомогою інформаційної індуктивності.

1. Рева А.Н. Человеческий фактор и безопасность полетов: (Проактивное исследование влияния): монография / А.Н. Рева, К.М. Тумышев, А.А. Бекмухамбетов; науч. ред. А.Н. Рева, К.М. Тумышев. – Алматы: КазГУ, 2007. – 242 с.

2. Котик М.А. Курс инженерной психологии: учеб. пособ. / М.А. Котик. – Таллин: Валгус, 1978. – 364 с.

3. Чапанис А. О распределении функций между людьми и машинами / А. Чапанис // Инженерно-психологическое проектирование. – М., 1970. – Вып. 1. – С. 166.

4. Рева А.Н. Последний рубеж обороны (Человеческий фактор: фундаментальные концепции ИКАО) / М.Ф. Давиденко, А.Н. Рева // Авиакомпания. – М., 1995 (пробный номер). – С. 23-28.

5. Человеческий фактор. В 6 т. Т.1. Эргономика – комплексная научно-техническая дисциплина: пер. с англ. / Ж. Кристенсен, Д. Мейстер, П. Фоули [и др.] / под. ред. Г. Салвенди. – М.: Мир, 1991. – 599 с.

6. Шурдукова Т.И. Экипаж воздушного судна как социальная группа / Т.И. Шурдукова // Научный Вестник МТУ ГА. – М., 2011. – № 167. – С. 110-116.
7. Пономаренко В.А. Практическая психология. Проблемы безопасности летного труда / В.А. Пономаренко, Н.Д. Завалова. – М.: Наука, 1994. – 204 с.
8. Юсов В.Т. Психолого-педагогические аспекты обеспечения безаварийности полетов (предотвращение летных происшествий) в авиационных частях. – М.: Воениздат, 1993. – 169 с.
9. Богачев С.К. Авиационная эргономика / С.К. Богачев. – М.: Машиностроение, 1978. – 140 с.
10. Платонов К.К. Основы авиационной психологии: учеб. пособ. / К.К. Платонов, Б.М. Гольдштейн. – М.: Транспорт, 1987. – 222 с.
11. Бодров В.А. Психология профессиональной деятельности. Теоретические и прикладные проблемы. – М.: ИП РАН, 2006. – 624 с.
12. Покровский Б.Л. Лечтику о психологии. / Б.Л. Покровский. – 2-е изд. перераб. и доп. – М.: Воениздат, 1984. – 100 с.
13. Рева О.М. Оцінка ефективності структурної організації екіпажів повітряних суден як невеликих груп операторів / О.М. Рева, С.А. Иванов, І.В. Коцарь, Я.В. Лішанков // Наукові праці академії. – Кіровоград: ДІАУ. 2000. – Вип. V. – Ч. I. – С.240-251.
14. Журавлева Л.А. Проблемы моделирования деятельности авиационного специалиста в контуре «ВС – экипаж – среда» / Л.А. Журавлева, А.Н. Рева // Проблемы аэронавигации: тематич. зб. наук. пр. – Кіровоград: ДІАУ, 1996. – Вип. II. – С. 90-95.
15. Денисов А.А. Теория больших систем управления: учеб. пособ. / А.А. Денисов, Д.Н. Колесников. – Л.: Энергоиздат, 1982. – 288 с.
16. Горячев В.А. Эргономические основы создания и применения авиационных тренажеров: дисс. ... д-ра техн. наук по специальности 05.22.14 «Эксплуатация воздушного транспорта» / В.А. Горячев. – Л.: ОЛАГА, 1986. – 384 с.
17. Рева А.Н. Информационные цепи в исследовании летной деятельности / А.А. Комаров, А.Н. Рева, М.А. Бухарбаев // Методы управления системной эффективностью электрифицированных и пилотажно-навигационных комплексов: тез. докл. II Междун. науч.-практ. конф.; г. Киев, 18-21 мая 1993 г. – К.: КИИГА, 1993. – С. 71-72.
18. Рева О.М. Методи прикладної теорії інформації в оцінці ефективності структурної організації невеликої групи авіаційних операторів / О.М. Рева, Н.В. Борота // Вісник Київського міжнародного ун-ту цивільної авіації. – К.: КМУЦА, 1999. – № 2. – С. 272-278.
19. Жабреев В.С. Модели и оценка человеческого фактора больших систем: учеб. пособ. / В.С. Жабреев, О.О. Павловская, К.В. Фадеев; под ред. В.С. Жабреева. – Челябинск: ЧИПСУ УрГУПС, 2007. – 219 с.
20. Бриллюэн Л. Научная неопределенность и информация / Л. Бриллюэн. – М.: Мир, 1966. – 272 с.
21. Заде Л. Понятие лингвистической переменной и его применение к принятию приближенных решений / Л. Заде; пер. с англ. Н.И. Ринго / под ред. Н.Н. Моисеева, С.А. Орловского. – М.: Мир, 1986. – 167 с.

Отримано 26.02.2013