

УДК 331.101.1:519.172:629.7.072

О.М. РЕВА¹, О.М. ДМІТРІЄВ²

¹Кіровоградський національний технічний університет, Кіровоград, Україна,
²Державна льотна академія України, Кіровоград, Україна

ФОРМАЛІЗАЦІЯ ПРОЦЕСІВ ФУНКЦІОНУВАННЯ СИСТЕМИ "ЕКІПАЖ - ПОВІТРЯНЕ СУДНО" МЕТОДАМИ ТЕОРІЇ ГРАФІВ

Враховуючи, що належний рівень безпеки польотів забезпечується вмінням льотного складу ефективно діяти як в очікуваних умовах, так і в особливих ситуаціях польоту, здійснено опис-моделювання процесів функціонування системи "екіпаж – повітряне судно" методами теорії графів. Стан системи у часі інтерпретується точкою у n-мірному просторі відповідного середовища, яке утворюється множиною її експлуатаційних станів. Подані рекомендації для застосування операцій об'єднання підмножин алгоритмів управління системою та проведення її мінімізації, що дало змогу математично описати перелік необхідних дій екіпажу, які є основою організації тренажерної підготовки.

Ключові слова: безпека польотів, рівень професійної підготовленості пілотів, авіаційні тренажери, перелік необхідних дій екіпажу, методи теорії графів.

Вступ

Постановка проблеми. В умовах постійного збільшення впливу людського чиннику (ЛЧ) на безпеку польотів (БП) постає питання необхідності підвищення ефективності професійної підготовки (ПП) пілотів. При цьому природно, що в умовах впливу наслідків економічної кризи на стан матеріально-технічного забезпечення ПП можливість підвищення її ефективності забезпечується лише за рахунок оптимізації тренажерної підготовки (ТП). Також існують певні проблеми у відповідності наявних комплексних тренажерів літаків (КТЛ), програм ТП тощо комплектації та устаткуванню реальних повітряних суден (ПС) [1, 2]. Це унеможливило дотримання двох головних принципів побудови будь-яких навчальних програм, а саме [3]:

а) *адекватності навчання*, що означає досягнення в результаті ТП достатнього рівня ПП пілотів, за умови:

- відповідності ТП рівню знань, вмінь та навичок тих, хто навчається;
- розробки адекватних критеріїв оцінки результатів ТП;

б) *адекватності засвоєного стереотипу професійної діяльності* (ПД), який вказує, наскільки ефективний переніс навичок, набутих під час ТП на реальні польоти за умов наявності адекватних критеріїв і методик оцінки відповідності.

Таким чином, забезпечення високого рівня професійної підготовки пілотів за рахунок вдосконалення програм і методик тренажерної підготовки є актуальною проблемою.

Аналіз досліджень і публікацій. Зрозуміло, що оптимальні програми ТП мають враховувати особливості функціонування системи "екіпаж - ПС" (СЕПС). На теперішній час найбільш розповсюджені такі методи дослідження СЕПС, як: алгоритмічного, структурного, інформаційного, статистичного та динамічного моделювання. Дані методи були узагальнені та розкриті у відомих працях В.О. Боднера [4, 5], Т.Б. Шерідана та У.Р. Феррела (Thomas B. Sheridan & William R. Ferrel) [6], а також Г.П. Шибанова [7].

Однак з аналізу наукових джерел витікає можливість розширення цього спектру шляхом застосування методів теорії графів [8].

Метою статті є застосування сучасної методології теорії графів для формалізації і дослідження процесів функціонування СЕПС.

Модель процесу функціонування системи "екіпаж – повітряне судно"

Загально визнана вимога до побудови програми ТП пов'язана з використанням методології аналізу ПД пілота під час виконання польоту в очікуваних умовах (ОУ) та особливих ситуаціях (ОС) – при різноманітних робочих навантаженнях, рівнях емоційної напруги та в умовах несприятливого впливу фактору обмеженого часу та зовнішнього середовища.

З метою визначення навичок пілотів, що необхідні для своєчасного, безпомилкового виконання ними функціональних обов'язків формується перелік необхідних дій (ПНД). На рис. 1 поданий алгоритм визначення ПНД із застосуванням математичного апарату теорії множин і теорії графів [8 – 12].

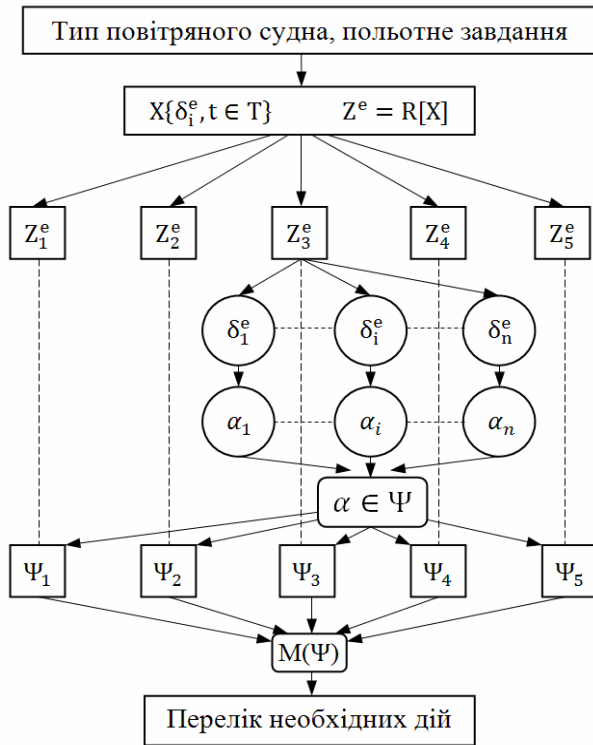


Рис. 1. Схема виявлення переліку необхідних дій

В процесі виконання польотів екіпаж ПС постійно вирішує задачу оцінки відповідності інформаційної та концептуальної моделі польоту з прийняттям та реалізацією рішення з управління СЕПС в цілому [13]. При цьому зміст ПНД залежить від складності процесу управління функціональними системами (ФС) ПС та умов польоту.

Процес функціонування СЕПС можна інтерпретувати як послідовну просторово-часову зміну її станів. Кожному фіксованому моменту часу польоту відповідає деякий стан СЕПС, який можна описати набором значень величин $a_1, a_2, a_3 \dots a_{n-1}, a_n$, що визначають основні параметри і властивості досліджуваної системи. Якщо ці величини інтерпретувати як координати точки в n-мірному просторі, тоді кожна точка в цьому просторі буде характеризувати експлуатаційний стан СЕПС в цілому. Умовно позначимо цей стан як $\delta_i^e(a_1, a_2, \dots, a_{n-1}, a_n)$. Тоді зміну величин $a_1, a_2, a_3 \dots a_{n-1}, a_n$ у часі можна інтерпретувати як зміну координат точки в n-мірному просторі, тим самим побудувавши граф станів СЕПС.

Таким чином, в структурно-інформаційному плані процес функціонування СЕПС достатньо адекватно можна охарактеризувати множиною експлуатаційних станів СЕПС:

$$Z^e = \{ \delta_1^e, \delta_2^e, \dots, \delta_{n-1}^e, \delta_n^e \}$$

і описати функціоналом $X\{ \delta_i^e, t \in T \}$, де T – період виконання польоту.

Множина Z^e є областю зміни функціонала $X\{ \delta_i^e, t \in T \}$, тобто $Z^e = R[X]$.

На практиці політ може виконуватись як в ОУ, так і в ОС, які в залежності від ступеню впливу на зниження рівня БП поділяються на [14]: ускладнення умов польоту (УУП), складну ситуацію (СС) та аварійну ситуацію (АС). У відповідності з наведеним розподілом у множині експлуатаційних станів Z^e виділяються підмножини основних експлуатаційних станів СЕПС:

- Z_1^e – підготовка та готовність СЕПС до польоту;
- Z_2^e – виконання польоту в ОУ;
- Z_3^e – виконання польоту в УУП;
- Z_4^e – виконання польоту в СС;
- Z_5^e – виконання польоту в АС.

Перелічені підмножини задовольняють таким умовам:

$$Z_1^e \cap Z_2^e = Z_1^e \cap Z_3^e = Z_1^e \cap Z_4^e = Z_1^e \cap Z_5^e = Z_2^e \cap Z_3^e = Z_2^e \cap Z_4^e = Z_2^e \cap Z_5^e =$$

$$= Z_3^e \cap Z_4^e = Z_3^e \cap Z_5^e = Z_4^e \cap Z_5^e = \emptyset;$$

$$Z_1^e \cup Z_2^e \cup Z_3^e \cup Z_4^e \cup Z_5^e = Z^e;$$

$$Z^e | pZ_j^e(t_0, t),$$

де \emptyset – пуста множина.

При цьому кожна з виділених підмножин Z_j^e характеризується функціональною належністю, яка кожному елементу δ_i^e з множини Z^e привласнює відповідне число pZ_j^e на відрізку (t_0, t) , як вірогідність належності δ_i^e до підмножини Z_j^e . Тобто:

$$Z_j^e = \{ | pZ_j^e(t_0, t) \}, t \in T.$$

Найбільш сприятливим станом системи є базовий експлуатаційний стан Z_2^e . Під час знаходження СЕПС в стані Z_2^e вона функціонує без порушення встановлених норм та правил.

Якщо екіпаж завершує політ, утримуючи СЕПС у стані Z_2^e , тобто без порушень, система переходить до стану Z_1^e . Але, знаходження СЕПС в стані Z_2^e не завжди гарантує безпечного завершення польоту.

Внаслідок впливу на систему множини факторів зовнішнього та внутрішнього характеру, під час виконання польоту в стані Z_2^e , можуть виникнути обставини, що ускладнюють нормальний процес функціонування СЕПС. У такому разі система може перейти зі стану Z_2^e до стану Z_3^e або Z_4^e , або Z_5^e , в залежності від характеру та ступеня ускладнення.

У випадку якщо система перейде до стану Z_3^e стане можливим реалізація чотирьох варіантів переходів до інших станів. З них бажаними є перехід до станів Z_1^e , Z_2^e , небажаними – до станів Z_4^e , Z_5^e . Яскравим прикладом небажаного розвитку ситуації є миттєве ускладнення погодних умов під час виконання заходу на посадку (найбільш напруженому етапі польоту, який характеризується лімітом часу на прийняття та реалізацію рішень), що може сприяти виникненню помилок в діяльності членів льотної екіпажу (ЧЛЕ) та, як наслідок, – розвитку СС або навіть АС. Інші два переходи системи до станів Z_2^e та Z_1^e залежать від своєчасних і вірних дій ЧЛЕ. Якщо ліквідація наслідків УУП виконана до завершального етапу польоту, тоді розглядається перехід системи до стану Z_2^e , якщо на завершальному етапі – до стану Z_1^e . Подібні судження, щодо можливих переходів до інших станів, є припустимими і для початкового знаходження системи в стані Z_4^e .

Перехід системи до стану Z_5^e можливий за умови як поступового ускладнення ОС (скажімо внаслідок недостатньої ПП пілотів, недисциплінованості та ін.), так і безпосереднього переходу з Z_2^e до Z_5^e (наприклад, у разі відмови або пожежі двигуна). В залежності від успішності дій ЧЛЕ та ефективності функціонування СЕПС в цілому політ буде закінчений у стані Z_1^e з готовністю до наступного польоту рівною нулю (авіаційна подія), або одиниці.

З урахуванням зазначеної методики побудованний граф станів СЕПС (рис. 2), який дає можливість абстрагуватись від специфіки досліджуваного об'єкту та розглянути його як структуру, тим самим спростивши сам процес дослідження.

Як було вказано вище, кожне з підмножин Z_j^e є сукупністю (n) експлуатаційних станів δ_i^e в яких буде знаходитися СЕПС при даних умовах її функціонування. Тоді у відповідності до окремо розглянутого елемента δ_i^e мають бути розроблені відповідні алгоритми управління α_i процесом функціонування СЕПС.

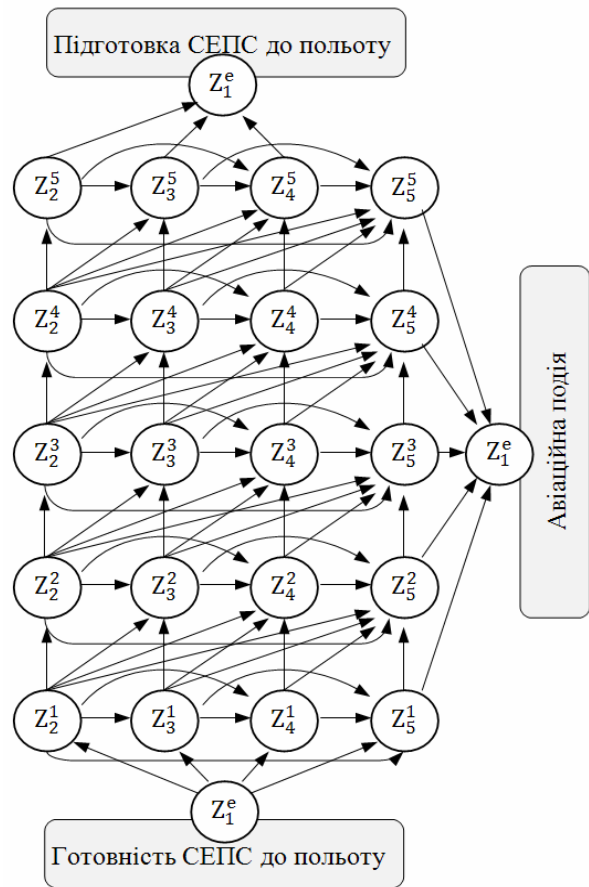


Рис. 2. Граф станів системи "екіпаж – повітряне судно" під час польоту:

Z_1^1 – на етапі зльоту; Z_j^2 – на етапі набору висоти; Z_j^3 – на етапі крейсерського польоту; Z_j^4 – на етапі зниження; Z_j^5 – на етапі посадки.

Таким чином, для множини експлуатаційних станів СЕПС Z^e можна отримати множину Ψ алгоритмів управління процесом функціонування СЕПС.

У відповідності до розподілу множини Z^e на підмножини Z_1^e, \dots, Z_5^e відокремимо підмножини алгоритмів управління Ψ_1, \dots, Ψ_5 , що відповідають таким умовам:

$$\Psi_j = \{ \alpha_j | p\Psi_j(t_0, t) \}, \quad t \in T, \quad (4)$$

$$\begin{aligned} & (\forall \alpha_i \in \Psi_1 \exists \delta_i^e \in Z_1^e) \wedge (\forall \alpha_i \in \Psi_2 \exists \delta_i^e \in Z_2^e) \wedge \\ & \wedge (\forall \alpha_i \in \Psi_3 \exists \delta_i^e \in Z_3^e) \wedge (\forall \alpha_i \in \Psi_4 \exists \delta_i^e \in Z_4^e) \wedge \\ & \wedge (\forall \alpha_i \in \Psi_5 \exists \delta_i^e \in Z_5^e). \end{aligned} \quad (5)$$

При цьому кожна з підмножин Ψ_j є об'єднання множин алгоритмів α_i :

$$\Psi_j = \sum_{i=1}^n p_i / \alpha_i,$$

де p_i – вірогідність належності α_i до підмножини Ψ_j .

Оскільки окремі алгоритми управління можуть повторюватись, то для виявлення переліку необхідних (таких, що не повторюються) алгоритмів необхідно виконати мінімізацію множини Ψ . Це здійснюється шляхом застосування операції об'єднання:

$$\Psi = \Psi_1 \cup \Psi_2 \cup \Psi_3 \cup \Psi_4 \cup \Psi_5.$$

Множина алгоритмів, що була отримана нами, дає загальне уявлення про ПНД. Для отримання об'єктивних можливостей визначення ПНД необхідно відокремити алгоритми управління деталізувати до рівня необхідних дій. В результаті чого отримуємо деяку множину M необхідних дій, для якої множина Ψ є її відображенням.

У зв'язку з тим, що в алгоритмах, належних до множини Ψ , необхідні дії можуть повторюватись, для виявлення ПНД необхідно здійснити мінімізацію множини M . Якщо множина Ψ складається з N алгоритмів, та кожний алгоритм має відповідно Ω_i членів (необхідних дій), то мінімізована множина необхідних дій $M(\Psi)$ буде дорівнювати:

$$M(\Psi) = \bigcup_{i \in N} \Omega_i. \quad (6)$$

Таким чином, множина $M(\Psi)$, що отримується згідно виразу (6), і є шуканим переліком необхідних дій.

Висновки

1. Удосконалення ТП пілотів, неможливо без формування переліку необхідних дій, які мають формуватися з урахуванням ступеня подібності КТЛ й ПС, тобто можливості переносу/інтерференції навичок.

2. З аналізу наукових джерел витікає можливість застосування для моделювання процесів функціонування СЕПС методів теорії графів, які суттєвим чином розширюють відомий спектр відповідних методів.

3. Застосування методу теорії графів дозволяє інтерпретувати експлуатаційний стан як точку в n -мірному просторі середовища.

4. Сформовані моделі алгоритмів управління повітряних суден під час виконання польоту в ОУ та ОС, які є основою переліку необхідних дій.

5. Подальші дослідження слід проводити у напрямку адаптації розроблених теоретичних положень для організації ТП пілотів на конкретних типах повітряних суден.

Література

1. Васильев О. Для подготовки пилотов требуется новое оборудование и новые методики / О. Васильев // *Авиатранспортное обозрение*. – 2008. – № 87. – С. 47-49.
2. Меденков А. Тренажер без психологии – деньги на ветер! / А. Меденков // *Авиационная панорама*. – 2008. – №4. – С. 28-31.
3. Холдинг Д. Человеческий фактор. В 6-ти т. Т.3. Моделирование деятельности, профессиональное обучение и отбор операторов: пер. с англ. / Д. Холдинг, И. Голдстейн, Р. Эбертс и др. – Ч. II. Профессиональное обучение и отбор операторов. – М.: Мир, 1991. – 302 с.
4. Боднер В.А. Оператор и летательный аппарат / В.А. Боднер. – М.: Машиностроение, 1976. – 224 с.
5. Боднер В.А. Авиационные тренажеры / В.А. Боднер, Р.А. Закиров, И.И. Смирнова. – М.: Машиностроение, 1978. – 192 с.
6. Шеридан Т.Б. Системы «человек – машина»: Модели обработки информации, управления и принятия решения человеком-оператором: пер. с англ. / Т.Б. Шеридан, У.Р. Феррел; под ред К.В. Фролова. – М.: Машиностроение, 1980. – 400 с.
7. Шибанов Г.П. Количественная оценка деятельности человека в системах «человек-техника» / Г.П. Шибанов. – М.: Машиностроение, 1983. – 263 с.
8. Герасимов Б.М. Организация эргономика: методы и алгоритмы исследования та проектирования / Б.М. Герасимов, В.В. Камишин. – К., Инфосистем, 2009. – 212 с.
9. Губанов А.А. Введение в системный анализ: учеб. пособ. / А.А. Губанов, В.В. Захаров, А.Н. Коваленко; науч. ред. Л.А. Петросян. – Л.: ЛГУ, 1988. – 288 с.
10. Клар Дж. Системология: Автоматизация решения системных задач: пер. с англ. М.А. Зуева / Дж. Клар; под ред. А.И. Горлина. – М.: Радио и связь, 1990. – 544 с.
11. Сурмин Ю.П. Теория систем и системный анализ: учеб. пособ. / Ю.П. Сурмин. – К.: МАУП, 2003. – 368 с.
12. Громов Ю.Ю. Системный анализ в информационных технологиях: учеб. пос. / Ю.Ю. Громов, Н.А. Земская, А.В. Лагутин и др. – 2-е изд, стереотип. – Тамбов: Изд-во Тамб. гос. техн. ун-та, 2007. – 176 с.
13. Коваленко Г.В. Летная эксплуатация: учеб. пос. / Г.В. Коваленко, А.Л. Микинелов, В.Е. Чепига. – М.: Машиностроение, 2007. – 416 с.
14. Руководство по предотвращению авиационных происшествий, Doc ICAO 9422-AM/923. – Монреаль, Канада, 1984. – 150 с.

Надійшла до редакції 26.04.2010

Рецензент: д-р техн. наук, проф., завідувач кафедри проектування авіаційних двигунів С.В. Єпіфанов, Національний аерокосмічний університет ім. М.Є. Жуковського "ХАІ", Харків

ФОРМАЛИЗАЦИЯ ПРОЦЕССОВ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ СИСТЕМЫ "ЭКИПАЖ – ВОЗДУШНОЕ СУДНО" МЕТОДОМ ТЕОРИИ ГРАФОВ

А.Н. Рева, О.Н. Дмитриев

Учитывая, что надлежащий уровень безопасности полетов обеспечивается умением летного состава эффективно действовать как в ожидаемых условиях, так и в особых ситуациях в полете выполнено описание-моделирование процессов функционирования системы "экипаж – воздушное судно" методом теории графов. Состояние системы во времени интерпретируется точкой в n-мерном пространстве соответствующей среды, которая создается множеством ее эксплуатационных состояний. Представлены рекомендации для использования операций объединения подмножеств алгоритмов управления системой и проведения ее минимизации, что дало возможность математически описать перечень необходимых действий экипажа.

Ключевые слова: безопасность полетов, уровень профессиональной подготовленности пилотов, авиационные тренажеры, перечень необходимых действий, методы теории графов.

FORMALIZATION OF PROCESS OPERATION OF THE SYSTEM "CREW – AIRCRAFT" BY THE METHOD OF THE GRAPH'S THEORY

O.M. Reva, O.M. Dmitriev

Given that the appropriate level of flights safety is provided with flight crew to operate effectively in expected conditions as well as in emergency situations in flight, the description-modelling of processes operation of the system "crew –aircraft" by the method of the graph's theory completed. Condition system in time is interpreted the point in n-dimensional space corresponding to an environment which creates a lot of its operational states. Presented recommendations for the use of the operations of union of subsets of control algorithms system and for its minimization, which made it possible to describe mathematically the list of the necessary crew actions.

Key words: flight safety, a professional standard, pilots' simulator training, the necessary actions list, methods of the theory of graphs.

Рева Олексій Миколайович, - доктор технічних наук, професор; професор кафедри автоматизації виробничих процесів Кіровоградського національного технічного університету, e-mail: ran54@meta.ua.

Дмитрієв Олег Миколайович – старший викладач кафедри льотної експлуатації Державної льотної академії України, e-mail: Dmitronik1970@rambler.ru.