

УДК 623.55

В.А. ШУЛЬГІН

*Державна льотна академія України, Кіровоград, Україна*

### СИСТЕМНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСІВ УПРАВЛІННЯ ПРОФЕСІЙНОЮ ПІДГОТОВКОЮ ЛЬОТНОГО ПЕРСОНАЛУ

Використовуючи методи складних (великих) систем управління з позицій системного підходу розроблено загальнотеоретичну модель управління системою професійної підготовки льотного персоналу.

**ергатична система управління, льотний персонал, множина, сигнал, професійна підготовка, оператор, модель, людський фактор**

Аналіз безпеки польотів (БП) як комплексної характеристики і найважливішої властивості авіаційної транспортної системи, що був комплексно проведений у роботі [1], вказує на нагальну потребу, насамперед, більш ретельного підходу до проблем оптимізації ергатичної системи управління (ЕСУ) «пілот – повітряне судно – навколишнє середовище». При цьому рівень професійної підготовки (ПП) льотного персоналу (ЛП) є одним з основних показників надійності функціонування цієї системи, оскільки:

– з одного боку, людський фактор (ЛФ) вже тривалі десятиріччя стабільно є першопричиною переважної більшості авіаційних подій [2];

– з іншого боку, добре підготовлений ЛП, активно втручаючись у локалізацію відмов авіаційної техніки, може суттєво збільшити загальну надійність системи, що розглядається [3]. Саме тому капітан Гунар К. Фалгрєн, представник Робочої групи ІАТА з людського фактору, виступаючи на одному з Симпозіумів ІКАО з проблем впливу людського фактору на безпеку польотів, заявив [4]: «Ми часто чуємо і вважаємо, що 75% всіх авіаційних подій пов'язані з людським фактором. Але ж можна також стверджувати, що завдяки саме людському фактору інші причини авіаційних подій зараз складають всього 25%».

Природно, що найбільшої ефективності функціонування навчальної ергатичної системи управління

«інструктор – повітряне судно (тренажер) – екіпаж (пілот)», де власне й відбувається професійна підготовка льотного персоналу, можна досягти за рахунок системного її дослідження. Відповідні методи були докладно розглянуті у роботах В.Д. Шадрікова, В.А. Горячева, А.А. Губанова, В.В. Захарова, О.М. Коваленка, Ф.І. Перегудова, Ф.П. Тарасенка [5 – 8]. З них випливає необхідність аналізу діяльності на декількох рівнях, що згідно [9] відповідає «вертикальній декомпозиції». Відмічено також особливості двох сторін підготовки:

*по-перше*, як об'єктивно потрібного процесу, що спрямований на досягнення певних, нормативно визначених цілей, і незалежного від індивідуальних властивостей людини, яка приймає у ньому участь;

*по-друге*, як проявлення активності конкретних осіб, які надають діяльності і підготовці суто індивідуальний характер.

При зазначеному підході аналіз відносно простої діяльності, навіть її окремих елементів, уявляє собою складну задачу. В той же час для вирішення деяких окремих проблем може бути достатнім проведення аналізу на тих рівнях, вибір яких має визначатися конкретними цілями і умовами вирішення цих проблем.

Природно також, що оптимізацією будь-якого процесу зручно займатись, маючи його модель, чому присвячена велика кількість наукових праць. На

наш погляд, найбільш вдале узагальнення цих моделей, спираючись на особисто-мотиваційний, компонентно-ціловий, інформаційний, структурно-функціональний, індивідуально-психологічний та психофізіологічний аналіз діяльності, було проведено Г.П. Шибановим [10]. Проте всі ці моделі, з одного боку, тільки опосередковано враховують управління процесом підготовки, а, з іншого боку, є похідними, як ми вважаємо, загально - теоретичної моделі, яку можливо сформулювати, спираючись на методи теорії складних (великих) систем управління [11 – 13]. Саме розробка такої моделі є метою цієї публікації.

Виходячи з теорії складних (великих) систем управління, процеси функціонування системи професійної підготовки авіаційних операторів можуть бути формалізованими на базі таких положень:

1) система функціонує у часі і у кожний момент часу знаходиться у одному із множини станів підготовленості авіаційних операторів;

2) система взаємодіє із зовнішнім середовищем (ЗС), внаслідок чого на вхід системи можуть поступати управляючі сигнали. Система реагує на вплив ЗС шляхом видачі сигналу виходу (реакції);

3) стан системи у кожний момент часу визначається попередніми станами і вхідними сигналами, що поступили на даний момент і раніше;

4) сигнал виходу в даний момент часу визначається станами системи і вхідними сигналами, що стосуються теперішнього і попереднього станів.

Позначимо символом  $T$  множину окремих моментів часу  $t$  ( $t \in T$ ), коли розглядається функціонування системи ПП.

Множину можливих станів системи, яку називають *простором станів*. Причому кожний з можливих станів у загальному випадку описується набором характеристик  $s_i \in S_i$ ,  $i = \overline{1, k}$ , де  $S_i$  – множині характеристик, що були задані.

Множина станів  $S$  визначається як пряме перемноження множин  $S_i$ :

$$S = S_1 \times S_2 \times \dots \times S_i \times \dots \times S_k. \quad (1)$$

У загальному випадку стан системи  $s(t)$  у момент часу  $t$  є точка  $S$  системи з координатами  $S_1, S_2, \dots, S_i, S_k$ .

Множину окремих вхідних сигналів  $X$  позначимо через  $X$ ,  $x \in X$ .

Вхідний сигнал, що поступає до системи в момент  $t$ , позначимо через  $x(t)$ . У загальному випадку вхідний сигнал описується набором характеристик  $x_i \in X$ ,  $i = \overline{1, m}$ , де  $X_i$  – безперервні або дискретні множини, що задані.

Тоді прямий добуток

$$X = X_1 \times X_2 \times \dots \times X_m \quad (2)$$

називають простором вхідних сигналів, в котрій вхідний сигнал  $x$  являє собою точку з координатами  $x_1, x_2, x_3, \dots, x_m$ .

Множині  $X$  належать всі вхідні сигнали  $x(t)$ , а також «пустий» сигнал  $x_\emptyset$ , який означає відсутність сигналу зовнішнього управління в момент  $t$ .

Відображення  $x = L(t)$ , яке ставить у відповідність кожному  $t \in T$ ,  $x \in X$ , прийнято називати вхідним процесом  $L(t)$ .

За аналогією зі вхідними сигналами позначимо множину сигналів реакції на них через  $Y$ ,  $y \in Y$ .

Цей сигнал  $y(t)$ , який видається системою в момент часу  $t$ , описується набором характеристик  $y_1, y_2, \dots, y_n$ , таких, що  $y_i \in Y_i$ ,  $i = \overline{1, n}$ , де  $Y_i$  – множини, що задані. Тоді прямий добуток виду

$$Y = Y_1 \times Y_2 \times \dots \times Y_n \quad (3)$$

називають *простором вихідних сигналів*.

Відображення  $y = K(t)$ , яке ставить у відповідність кожному  $t \in T$  певний сигнал  $y \in Y$ , будемо називати вихідним процесом  $K(t)$ .

Щоб визначитися з поведінкою системи у будь-який момент часу, необхідно ввести співвідношення, з одного боку, між станом системи і вихідним сигналом реакції у заданий момент часу  $t$ , а, з ін-

шого боку, між її станом та вихідними сигналами у момент часу, що передреє  $t$ .

Обмовимось, що більшість динамічних систем управління, до яких, безумовно, належить система професійної підготовки льотного персоналу, може бути віднесеною до класу так названих систем без післядії. Властивістю таких систем є те, що її поведінка у майбутньому визначається теперішнім станом і не залежить від попередніх станів.

У реальних системах післядія має місце, але ж вона розповсюджується на відносно невеликий відрізок часу. Тому при аналізі поведінки системи можна вибирати величину елементарного відрізка часу  $\Delta t$  таким чином, щоб при переході від моменту  $t_0$  (теперішній, поточний час) до моменту  $t_0 + \Delta t$  вплив стану системи в момент часу  $t_0 - \Delta t$  на її стан у момент  $t_0 + \Delta t$  не буде помітним.

Розрізняють системи без післядії двох типів: детерміністичні і стохастичні. Для систем першого типу їх поведінка може бути визначеною, якщо задані оператор руху  $M$  і оператор виходів  $N$ . Оператор руху визначає динаміку переходу системи з одного стану в інший

$$s(t) = M[t_0, t, s(t_0), (t, x_L)_{t_0}^t], \quad (4)$$

де  $s(t_0)$  – початковий стан,  $s(t_0) \in Z$ ,  $t_0 \in T$ ;

$(t, x_L)_{t_0}^t \in L(t)$  – ділянка вихідного процесу, що відповідає інтервалу  $(t_0, t)$ .

При фіксованих  $t_0, s(t_0)$  і  $(t, x_L)_t^t$  оператор  $M$  реалізує відображення  $s = M(t)$  або  $s = s(t)$  множини  $T$  у множину  $S$ , яке й називається *рухом системи*.

Сукупність впорядкованих пар  $(t, s), \forall t \in T$ , де  $s$  визначається заданим рухом  $s = s(t)$ , називається *фазовою траєкторією системи*. Сукупність точок простору  $S$ , які відповідають в силу відображення  $s = s(t)$  всім  $t \in T$ , називається *траєкторією системи у просторі станів*.

Оператор руху має задовольняти умовам:

1) рефлексивності

$$M[t_0, t_0, s(t_0), (t, x_L)_{t_0}^{t_0}] = s(t_0); \quad (5)$$

2) однозначності

$$\begin{aligned} M[t_0, t_1, s(t_0), (t, x_L)_{t_0}^{t_1}] &= \\ &= M[t_1, t_2, s(t_1), (t, x_L)_{t_1}^{t_2}], \end{aligned} \quad (6)$$

де  $t_0 \in T, s(t_0) \in S, s(t_1) \in S, (t, x_L)_{t_0}^{t_1}$  – результат зчленування ділянок вхідного процесу  $(t, x_L)_{t_0}^{t_1}$  і  $(t, x_L)_{t_1}^{t_2}$ .

Оператор виходів системи  $N$  визначає динаміку вихідних сигналів:

$$y(t) = N[t_0, t, s(t_0), (t, x_L)_{t_0}^t] = N[t, s(t)]. \quad (7)$$

Відмітимо, що вихідні сигнали не обов'язково можуть видаватися у кожний момент часу  $t$ . Тому вважається, що множина  $Y$  вміщує в себе ще й “пустий” сигнал  $Y_\emptyset$ , що відповідає відсутності вихідного сигналу в момент  $t$ .

Оператори  $M$  і  $N$  можуть бути поєднані у вигляді оператора  $F = M \times N$ , котрий визначається як оператор функціонування системи. Сукупність точок  $[s(t), y(t)]$  простору  $S \times Y$ , який відповідає всім  $t \in T$ , розглядається як *траєкторія функціонування*.

Функціонування стохастичної системи без післядії визначається дією випадкових факторів. Тому для опису поведінки такої системи вводиться поняття *випадкових операторів*:

$$\begin{aligned} s(t) &= M^*[t_0, t, s(t_0, \varpi_0), (t, x_L)_{t_0}^t, \varpi_1] \\ y(t) &= N^*[t, s(t), \varpi_2] \end{aligned} \quad (8)$$

де  $\varpi_0, \varpi_1, \varpi_2$  – елементарні випадкові події, що належать простору випадкових подій  $\Omega$ , яким відповідають такі стохастичні міри  $P_{s_0}(\varpi_0), P_s(\varpi_1), P_y(\varpi_2)$ .

Якщо фіксовані  $\varpi_1$  і  $\varpi_2$ , то таку систему називають *системою з випадковими початковими ста-*

нами, якщо  $\varpi_0$  і  $\varpi_2$ , то маємо так звану систему з випадковими переходами. Якщо фіксовані  $\varpi_0$  і  $\varpi_1$ , йдеться про систему з випадковими виходами.

Динаміка стохастичної системи у просторі станів описується поведінкою випадкового процесу  $s(t, \varpi)$  з областю значень станів системи  $S$ . Дослідженнями [14] доказана практична можливість реалізації випадкових процесів для аналізу динаміки формування професійних навичок льотного персоналу.

### Висновки

1. Розглянутий і адаптований апарат теорії складних (великих) систем для опису загальних закономірностей, що притаманні процесам функціонування навчальної ЕСУ «інструктор – повітряне судно (тренажер) – екіпаж (пілот)».

2. Для вирішення конкретних задач управління ПП ЛП потребуються певні уточнення моделі, що розроблена, на базі особливостей фізичної сутності процесів, що вивчаються. Причому, деякі з них можуть розглядатися як процеси масового обслуговування, інші – як взаємодія великої кількості зчленованих елементів – агрегатів, треті – як процеси прийняття рішення, четверті – як марковські процеси і т. ін.

### Література

1. Безпека авіації / В.П. Бабак, В.П. Марченко, В.О. Максимов та ін.; За ред. В.П. Бабака. – К.: Техніка, 2004. – 584 с.
2. Давиденко М.Ф., Рева А.Н. Последний рубеж обороны (Человеческий фактор: фундаментальные концепции ИКАО) // Авиакомпания. – М., 1995 (пробный номер). – С. 23-28.
3. Рева О.М., Бекмухамбетов А.А., Селезньов Г.М. Влияние на безопасность полетов особенностей взаимодействия элементов эргатической системы «экипаж (пилот) – воздушное судно - орган управления воздушным рухом» // Научные работы академии. – Кировоград: ДЛИАУ, 2002. – Вып. VI, Ч. I. – С. 147-155.

4. Фалгрэн Г.К. Требования к знаниям в области человеческого фактора // Симпозиум ИКАО по проблемам безопасности полетов и человеческого фактора: Тез. докл. – Вашингтон, округ Колумбия, США, 12-15 апр. 1993 г. – С. 8.

5. Шадриков В.Д. Проблемы системогенеза профессиональной деятельности. – М.: Наука, 1982. – 185 с.

6. Горячев В.А. Эргономические основы создания и применения авиационных тренажеров: Дис. ... д.т.н. по специальности 05.22.14 «Эксплуатация воздушного транспорта». – Л.: ОЛАГА, 1986. – 358 с.

7. Губанов А.А., Захаров В.В., Коваленко А.Н. Введение в системный анализ: Учеб. пособ. / Науч. ред. Л.А. Петросян. – Л.: ЛГУ, 1988. – 288 с.

8. Перегудов Ф.И., Тарасенко Ф. П. Введение в системный анализ. – М.: Высшая школа, 1989. – 367 с.

9. Надежность и эффективность в технике: Справочник в 10 т. Т.3. Эффективность технических систем / Под общ. ред. В.Ф. Уткина, Ю.В. Крюкова. – М.: Машиностроение, 1988. – 328 с.

10. Шибанов Г.П. Количественная оценка деятельности человека в системах «человек-техника». – М.: Машиностроение, 1983. – 263 с.

11. Бусленко Н.П., Калашников В.В., Коваленко И.Н. Лекции по теории сложных систем. – М.: Советское радио, 1973. – 440 с.

12. Каллман Р., Фалб П., Арбиб М. Почерки по математической теории систем: Пер. с англ. / Под ред. Я.З. Цыпкина. – М.: Мир, 1971. – 400 с.

13. Денисов А.А., Колесников Д.Н. Теория больших систем управления. – Л.: Энергоиздат, 1981. – 288 с.

14. Рева О.М. Мікропідхід в моделі професійної підготовки та прогнозування техніки пілотування // Наукові праці академії. – Кировоград: ДЛИАУ, 2000. – Вып. V, Ч. I. – С. 170-188.

Надійшла до редакції 2.06.2006

**Рецензент:** д-р техн. наук, проф. В.В. Буланов, Харьковский университет Воздушных Сил им. И.Кожедуба, Харьков.