

УДК 656.13-519.17

Информатика**ФОРМАЛИЗАЦИЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ЧЕЛОВЕКА-ОПЕРАТОРА АВИАЦИОННОЙ ЭРГАТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ ВО ВНЕШТАТНЫХ СИТУАЦИЯХ****М.Х.Ильясов¹, Т.Ф.Шмелева², Т.Р. Джафарзаде³, Ю.В.Сикирда⁴**

(Представлено академиком НАН Азербайджана Ф.А.Алиевым)

Представлена четырехуровневая графоаналитическая модель принятия решения человеком-оператором авиационной эргатической системы с учетом влияния профессиональных (уровня знаний, навыков, умений, стажа работы, интуиции) и непрофессиональных (психофизиологических, индивидуально-психологических, социально-психологических) факторов. Предложенная модель позволит своевременно диагностировать и прогнозировать возможные действия человека-оператора в ожидаемых и неожиданных условиях эксплуатации воздушного судна.

Ключевые слова: человек-оператор, формализация, графоаналитическая модель, восприятие информации, идентификация ситуации, принятие решения, действие, эргатическая устойчивость.

Введение

Известно, что человек является наиболее уязвимым звеном в любой технологической цепочке. А для авиации проблема человеческого фактора (ЧФ) стоит острее, чем для большинства опасных для жизнедеятельности отраслей, в силу жесточайших требований, предъявляемых к оператору, высокой скорости происходящих в авиационной эргатической системе (АЭС) процессов, невозможностью вмешательства со стороны их потенциальной опасности для жизни и здоровья людей.

Ошибки человека-оператора (Ч-О) являются причиной 82% тяжелых авиационных происшествий (АП), из которых 33% составляют осознанные нарушения членами экипажей летных законов, правил и инструкций [1]. Причины ошибок Ч-О АЭС могут быть связаны с конструктивными или эргонометрическими недостатками оборудования или с неадекватностью процедур к реальному состоянию эксплуатации, а также с погрешностями в подготовке или в инструктаже перед началом выполнения полетов [2]. Но каковы бы ни были конкрет-

ные причины, главным фактором является человеческая деятельность, поведение и пределы возможностей человека.

Поведенческую деятельность Ч-О во внештатных ситуациях необходимо моделировать с учетом условий эксплуатации воздушного судна (ВС) – ожидаемых (когда действия Ч-О регламентированы нормативными документами) и неожиданных (при отсутствии четких инструкций по парированию внештатных ситуаций). Своевременное диагностирование и прогнозирование возможных действий Ч-О, особенно в неожиданных условиях эксплуатации ВС, которые возникают в 20% случаев [1], является актуальной проблемой для обеспечения безопасности полетов.

Проведенный анализ литературных источников показал, что при решении вопросов безопасности полетов основное внимание уделялось повышению уровня профессиональной подготовки Ч-О [3], приведению в соответствие возможностей и ограничений Ч-О с техническими характеристиками ВС и АЭС [4].

Одним из путей усовершенствования информационного обеспечения Ч-О в усло-

виях жесткого лимита времени на принятие решения (ПР) и его напряженного психофизиологического состояния является использование систем поддержки принятия решений [5]. С помощью компьютерных систем информационной поддержки Ч-О имеется возможность использовать данные, знания, объективные и субъективные модели для анализа и решения плохо структурированных и неструктурированных проблем [6]. Однако, помимо профессиональной подготовки Ч-О, эргономических особенностей АЭС и информационного обеспечения Ч-О, на профессиональную деятельность Ч-О значительное влияние оказывают так называемые непрофессиональные факторы [7].

В статье предложена графоаналитическая модель ПР Ч-О АЭС в ожидаемых и неожиданных условиях эксплуатации ВС с учетом влияния профессиональных и непрофессиональных факторов.

1. Формализация первого уровня графоаналитической модели ПР Ч-О. Модель ситуации M_c и модель процесса ПР Ч-О $M_{ПР}$ представляются в виде ориентированного графа $\bar{G}$. Проведем поуровневую формализацию графоаналитической модели ПР Ч-О.

Первый уровень (восприятие информации) можно описать множеством (1):

$$\bar{G}_i^I = \{\bar{G}_s^I, \bar{G}_e^I, \bar{G}_h^I, \bar{G}_v^I, \bar{G}_{in}^I\}, \quad (1)$$

где $\bar{G}_s^I$ – зрительный канал; $\bar{G}_e^I$ – слуховой канал; $\bar{G}_h^I$ – тактильный канал; $\bar{G}_v^I$ – вербальный канал; $\bar{G}_{in}^I$ – интуиция.

При этом $\bar{G}_i^I$ является N-мерным бинарным вектором (2):

$$\bar{G}_i^I = \begin{cases} 1, \text{если } \bar{G}_i^I \in \bar{Z}_i^I \\ 0, \text{если } \bar{G}_i^I \notin \bar{Z}_i^I \end{cases}, \quad (2)$$

где $\bar{Z}_i^I$ – множество полученных сигналов (через зрительный, слуховой, тактильный, вербальный каналы, а также интуитивно) на уровне восприятия информации.

2. Формализация второго уровня графоаналитической модели ПР Ч-О. Второй уровень (идентификация ситуации) можно представить в виде множества (3):

$$\bar{G}_i^{II} = \{\bar{G}_{pj}^{II}, \bar{G}_{sk}^{II}, \bar{G}_{cr}^{II}\}, \quad (3)$$

где $\bar{G}_{pj}^{II}$ – подмножество этапов функционирования сложного объекта управления (этапов полета ВС); $\bar{G}_{p1}^{II}$ – взлет; $\bar{G}_{p2}^{II}$ – набор высоты; $\bar{G}_{p3}^{II}$ – горизонтальный полет; $\bar{G}_{p4}^{II}$ – снижение; $\bar{G}_{p5}^{II}$ – посадка; $\bar{G}_{p6}^{II}$ – уход на второй круг.

При этом вектор $\bar{G}_{pj}^{II}$ зависит от параметров полета и может быть описан функцией (4):

$$\bar{G}_{pj}^{II} = F(\psi, H, V, V_y, \beta, \gamma, \vartheta, CC), \quad (4)$$

где ψ – курс ВС; H – высота полета ВС; V – горизонтальная скорость полета ВС; V_y – вертикальная скорость полета ВС; β – скольжение ВС; γ – крен ВС; ϑ – тангаж ВС; CC – (crew coordination) выполнение “checklist” (карта контрольных проверок) и “callouts” (ответы на состояние ВС).

Основными критериями для идентификации ситуации по методике выполнения полетов для средне- и дальнемагистральных ВС являются:

– Выполнение стандартных ответов на состояние ВС;

– Выдерживание: Для взлета и первоначального набора: Подъем передней стойки на VR со скоростью 2 - 2.5 °C в секунду и выдерживание ВС на центре полосы. С начала подъема передней стойки до уборки закрылок – скорость ± 5 узлов; высота с выдерживанием необходимого тангажа; курс ± 5 °C. С момента уборки закрылок до высоты горизонтального полета: скорость ± 10 узлов; высота ± 100 футов; курс ± 10 °C; путевой угол на линии пути. Для горизонтального полета, набора и снижения: скорость ± 10 узлов; высота ± 100 футов; курс ± 10 °C; путевой угол на линии пути. Для захода на посадку

ку (по точным системам); *С точки входа в глиссаду до внешнего маркера*: скорость ± 10 узлов; высота ± 100 футов; курс $\pm 5^\circ\text{C}$; путевой угол на линии пути. *С внешнего маркера до высоты принятия решения*: скорость ± 5 узлов; курса 1/2 точка; глиссады 1/2 точка; *С точки первоначального захода на посадку до внешнего маркера*. Для захода на посадку (по неточным системам): скорость ± 10 узлов; путевой угол на линии пути; *С внешнего маркера до высоты принятия решения*: скорость ± 5 узлов; изменение курса $\pm 5^\circ\text{C}$; высота $+ 50/- 0$ футов; *Для ухода на второй круг*; *Начало ухода на второй круг*: скорость ± 5 узлов; высота с выдерживанием необходимого тангажа; курс $\pm 5^\circ\text{C}$. *Выдерживание и разгон скорости на малой высоте и конец ухода на второй круг*: скорость ± 5 узлов; высота ± 100 футов; курс $\pm 5^\circ\text{C}$; путевой угол на линии пути. *Для посадки, с высоты принятия решения до посадки*: скорость ± 5 узлов, но не менее V_{ref} , курс $\pm 5^\circ\text{C}$ [8].

$\bar{G}_{sk}^{\text{II}}$ – подмножество развития полетной ситуации на каждом этапе функционирования объекта управления (ВС);

$\bar{G}_{s1}^{\text{II}}$ – нормальная ситуация; $\bar{G}_{s2}^{\text{II}}$ – условные условия полета; $\bar{G}_{s3}^{\text{II}}$ – сложная ситуация; $\bar{G}_{s4}^{\text{II}}$ – аварийная ситуация; $\bar{G}_{s5}^{\text{II}}$ – катастрофическая ситуация.

$\bar{G}_{cr}^{\text{II}}$ – подмножество условий эксплуатации объекта управления (ВС): $\bar{G}_{c1}^{\text{II}}$ – ожидаемые условия эксплуатации ВС; $\bar{G}_{c2}^{\text{II}}$ – неожиданные условия эксплуатации ВС.

Усложнение условий полета – особая ситуация, характеризующаяся: незначительным увеличением психофизиологической нагрузки на экипаж или незначительным ухудшением характеристик устойчивости и управляемости или летных характеристик. Сложная ситуация – особая ситуация, характеризующаяся: заметным повышением психофизиологической нагрузки на экипаж или заметным ухудшением характеристик устойчивости и управляемости или летных характеристик,

или выходом одного или нескольких параметров полета за эксплуатационные ограничения, но без достижения предельных и (или) расчетных условий. Аварийная ситуация – особая ситуация, характеризующаяся: значительным повышением психофизиологической нагрузки на экипаж или значительным ухудшением характеристик устойчивости и управляемости или летных характеристик, или приводящая к достижению (превышению) предельных ограничений или расчетных условий. Катастрофическая ситуация – особая ситуация, при возникновении которой предотвращение гибели людей и (или) потери воздушного судна оказывается практически невозможным [9].

3. Формализация третьего уровня графоаналитической модели ПР Ч-О. Третий уровень (принятие решения Ч-О) описывается множеством (5):

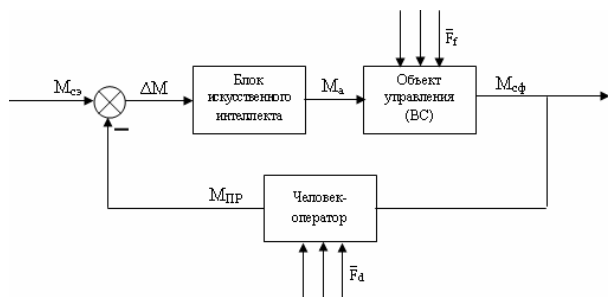
$$\bar{G}_i^{\text{III}} = \{\bar{G}_{M_c}^{\text{III}}, \bar{G}_{M_{\text{пр}}}^{\text{III}}\}, \quad (5)$$

где $\bar{G}_{M_c}^{\text{III}}$ – подмножество стратегий развития ситуации; $\bar{G}_{M_{\text{пр}}}^{\text{III}}$ – подмножество стратегий принятия решений.

Формализация третьего уровня графоаналитической модели ПР Ч-О представлена функциональной схемой системы управления (рисунок).

В любой системе управления, кроме ранее рассмотренных информационных потоков, можно выделить управляемые и управляющие элементы. Управляемым элементом выступает объект управления (ВС, потоки ВС, организационная структура системы УВД), управляющими элементами при этом являются пилот, диспетчер, лицо, принимающее организационно-структурное решение [10].

Система управления отличается от любой другой наличием цели управления и обратной связи. Эргатическая устойчивость системы заключается в способности выполнять установленный минимальный объем своих функций при отказах в информационной, вычислительной, энергетической и биологической частях системы, а также влиянии внешней среды. Эргатическая устойчивость сложной человеко-машинной системы, как ее



Функциональная схема системы „Человек-оператор – ВС”, где $M_{сэ}$, $M_{сф}$ – эталонная и фактическая модели ситуации; $M_{пp}$ – модель процесса принятия решения Ч-О; ΔM – рассогласование эталонной модели ситуации $M_{сэ}$ и моделью процесса принятия решения Ч-О $M_{пp}$; M_a – множество альтернативных решений; F_d – факторы профессиональной и непрофессиональной деятельности Ч-О; F_f – внешние воздействия

особенность, дополняет свойства надежности, отказоустойчивости и живучести [9].

Цель управления в системе управления определяется стратегиями развития ситуации, в случае системы управления воздушным движением – в виде программы полета для отдельных ВС (потокосов ВС), выдерживания характеристик потокосов ВС в определенных соотношениях с другими характеристиками системы УВД [10].

Выработка эффективных управляющих команд и сигналов M_a происходит в блоке искусственного интеллекта на основании информации $M_{пp}$ об анализе Ч-О параметров отклонений действительных состояний объекта управления $M_{сф}$ от заданных состояний $M_{сэ}$: $\Delta M = |M_{сэ} - M_{пp}|$. Концептуальные основы обеспечения эргатической устойчивости системы включают понятия устойчивости и стратегии ее обеспечения, критерии, границы, области и запасы устойчивости.

4. Формализация четвертого уровня графоаналитической модели ПР Ч-О. Четвертый уровень графоаналитической модели ПР Ч-О (действие Ч-О) $\bar{G}_i^{IV}$ состоит в выборе оптимального действия управляющего элемента (Ч-О) и может быть представлен функцией (6):

$$\begin{aligned} \bar{Y} &= F(\bar{G}_i^I, \bar{G}_i^{II}, \bar{G}_i^{III}, \bar{G}_i^{IV}) = \\ &= |\bar{Y}_c - \bar{Y}_{пp}| \rightarrow \min, i = \overline{1, m}, \end{aligned} \quad (6)$$

где $\bar{Y}_c = F(\bar{G})$ – эталонные действия Ч-О, представленные графоаналитической моделью ПР Ч-О $\bar{G}$; $\bar{Y}_{пp} = F(\bar{G}, \bar{G}_0)$ – вектор действия Ч-О с учетом влияния профессиональных и непрофессиональных факторов, представленных подграфом ограничений $\bar{G}_0$.

Вектор действия оператора $\bar{Y}$ является объединением множеств, полученных с помощью графоаналитических моделей $\bar{G}, \bar{G}_0$ в ожидаемых $\bar{G}_{c1}$ (неожидаемых $\bar{G}_{c2}$) условиях эксплуатации ВС:

$$\begin{aligned} \bar{Y}(\bar{G} \cup \bar{G}_0) &= \bar{Y}(\bar{G}(\bar{G}_{c1} \vee \bar{G}_{c2}) \cup \\ &\cup \bar{G}_0(\bar{F})) = Y(\bar{G}(\bar{G}_{c1} \vee \bar{G}_{c2}) \cup \\ &\cup \bar{G}_0(\bar{F}(\bar{F}_{ip} \wedge \bar{F}_{sp} \wedge \bar{F}_{pf}))); \end{aligned} \quad (7)$$

Для определения влияния непрофессиональных факторов различной природы на ПР разработан метод объединения неоднородных факторов, который с помощью теоретико-множественного подхода позволяет учитывать иерархичность, разнородность, динамическую нестабильность факторов [10].

Заключение

В результате проведенной декомпозиции АЭС получена модель развития полетной ситуации с учетом индивидуальных качеств Ч-О. С позиций системного подхода определены факторы, влияющие на ПР Ч-О: факторы профессионального (уровень знаний, навыков, умений, стаж работы, интуиция) и непрофессионального (психофизиологические, индивидуально-психологические, социально-психологические факторы) характера и исследовано влияние факторов непрофессионального характера на профессиональную деятельность Ч-О [7], что позволило получить сведения о таких структурных составляющих личности авиаспециалиста, как мотивы поведения, ценности и приоритеты, иерархию и развитие этих динамических категорий на всех этапах ПР Ч-О: восприятия информации, идентификации ситуации, принятия решения, действия. Применение ро-

бастного подхода (методов анализа и синтеза систем управления при наличии неопределенности) [11] позволит произвести комплексный учет влияния факторов профессионального и непрофессионального характера на процесс принятия решений Ч-О АЭС в ожидаемых и неожиданных условиях эксплуатации ВС.

ЛИТЕРАТУРА

1. Лейченко С. Д. Человеческий фактор в авиации / под ред. А.В. Малышевский, Н.Ф. Михайлик. Кировоград: ИМЕКС, 2006, 512 с.
2. Швец В. А. Анализ состояния аварийности гражданских воздушных судов Украины за период 1998–2007 гг. / В. А. Швец, О. Н. Алексеев. К.: Госавиаадминистрация, 2008, 83 с.
3. Макаров Р. Н. Психологические основы методики летного обучения / Н. А. Нидзий, Ж. К. Шишкин. М.: МАПЧАК, 2000, 534 с.
4. Эргономика [сборник материалов по человеческому фактору № 6 / circ. 238-AN/143]. Канада,

Монреаль: ИКАО, 1992, 467 с.

5. Інтелектуальні системи підтримки прийняття рішень: навч. пос. / Б. М. Герасимов, В. М. Локазюк, О.Г.Оксіюк., О.В.Поморова. К.: Вид-во Європейського університету, 2007, 335 с.
6. Трахтенгерц Э. А. Компьютерная поддержка принятия решений / Э. А. Трахтенгерц. М.: СИНТЕГ, 1998, 376 с.
7. Харченко В.П. Прийняття рішень оператором аеронавігаційної системи: монографія / В.П. Харченко, Т.Ф. Шмельова, Ю.В. Сікірда. Кіровоград: КЛІА НАУ, 2012, 292 с.
8. Flight Crew Operation Manual Boeing 757/767 The Boeing company 2013 Seattle Washington, 2013.
9. Прокофьев А.И. Надежность и безопасность полетов. М.: Машиностроение, 1985, 184с.
10. Управление воздушным движением: учеб. для сред. спец. учеб. заведений / [Ю. П. Дарымов, Г. А. Крыжановский, В. М. Затонский и др.]; под ред. Ю. П. Дарымова. М.: Транспорт, 1989, 327 с.
11. Поляк Б. Т., Щербаков П. С. Робастная устойчивость и управление / Б. Т. Поляк, П. С. Щербаков. М.: Наука, 2002, 303 с.

¹Інститут математики і механіки НАНА

²Національний авіаційний університет. Україна

³Національна академія авіації Азербайджана

⁴Государственная летная академия. Украина

İNSAN-OPERATORUN FƏALİYYƏTİNİN AVİASIYA ERQATİK SİSTEMİNDƏ XÜSUSİ ŞƏRAİTLƏRDƏ FORMALİZASIYASI

M.X.İlyasov, T.F.Şmeleva, T.R.Cəfərzadə, Y.V.Sikirda

İnsanın erqatik sistemdə professional, qeyri profesional(psixofizioloji, individual psixioloji, sosial psixoloji) faktorları nəzərə almaqla operator kimi qərar qəbul etmə fəaliyyətində dördsəviyyəli qrafoanalitik modeli göstərilmişdir. Təklif olunan model insanın operator kimi fəaliyyətini gözlənilən və gözlənilməyən şəraitlərdə vaxtlı-vaxtında diaqnostika və proqnoz etməyə imkan yaradır.

Açar sözlər: insan-operator, formalizasiya, qrafoanalitik model, şəraitin identifikasiyası, insanın qərar qəbul etməsi

FORMALIZATION OF THE AVIATION MAN MACHINE SYSTEM'S OPERATOR ACTIVITY IN EMERGENCY SITUATION

M.X.İlyasov, T.F.Shmelova, T.R.Jafarzade, Y.V.Sikirda

A four-level graph-analytic model of decisions making by the aviation man-machine system's operator with the influence of professional (level of knowledge, skills, abilities, work experience, intuition) and non-professional (psychophysiological, individual-psychological, social-psychological) factors are submitted. The proposed model will allow to diagnose in time and to predict possible actions of the man-operator in expected and unexpected conditions of aircraft operation.

Keywords: man-operator, formalization, graph-analytic model, perception of information, identification of situation, decision making, action, man-machine stability