

ДИАГНОСТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ НАДЕЖНОСТИ И КАЧЕСТВА СЛОЖНЫХ СИСТЕМ

DIAGNOSTIC METHODS FOR ENSURING RELIABILITY AND QUALITY OF COMPLEX SYSTEMS

УДК 007.51: 658.52.011.56

doi:10.21685/2307-4205-2022-1-5

ЧЕЛОВЕЧЕСКИЙ ФАКТОР И БЕЗОПАСНОСТЬ ПОЛЕТОВ ПРИ УПРАВЛЕНИИ ВОЗДУШНЫМ ДВИЖЕНИЕМ

Е. В. Мамонтов

АО «НПО «Прибор», Санкт-Петербург, Россия
E.Mamontov@npo-pribor.ru

Аннотация. *Актуальность и цели.* Дан анализ авиационных происшествий, который показал, что большинство из них связаны с человеческим фактором. К данному фактору принято относить причины, обусловленные неграмотными, ошибочными или несвоевременными действиями операторов, эксплуатирующих авиационную технику, управляющих воздушным движением или обеспечивающих полеты. *Материалы и методы.* Показано, что системы управления воздушным движением относятся к эргатическим системам, т.е. к системам, в которых предусмотрено функционирование человека-оператора. Современные достижения науки и техники привели к тому, что надежность технической составляющей эргатических систем стала выше, чем надежность операторского звена. Однако отказаться от творческих возможностей человека-оператора, его знаний, опыта пока не представляется возможным. *Результаты и выводы.* При этом решающее значение для обеспечения безопасности полетов при управлении воздушным движением имеет функциональная надежность операторов систем управления воздушным движением.

Ключевые слова: надежность, человеческий фактор, управление воздушным движением, человек-оператор

Для цитирования: Мамонтов Е. В. Человеческий фактор и безопасность полетов при управлении воздушным движением // Надежность и качество сложных систем. 2022. № 1. С. 41–45. doi:10.21685/2307-4205-2022-1-5

THE HUMAN FACTOR AND FLIGHT SAFETY WHEN CONTROLLING AIR TRAFFIC

E.V. Mamontov

NPO Pribor JSC, Saint Petersburg, Russia
E.Mamontov@npo-pribor.ru

Abstract. *Background.* An analysis of aviation accidents is given, which showed that most of them are related to the human factor. It is customary to refer to this factor as reasons due to illiterate, erroneous or untimely actions of operators operating aviation equipment, controlling air traffic or providing flights. *Materials and methods.* It is shown that air traffic control systems are ergatic systems, i.e. to systems in which the functioning of a human operator is provided. Modern achievements in science and technology have led to the fact that the reliability of the technical component of ergatic systems has become higher than the reliability of the operator link. However, it is not yet possible to refuse the creative possibilities of a human operator, his knowledge and experience. *Results and conclusions.* At the same time, the functional reliability of operators of air traffic control systems (ATC) is of decisive importance for ensuring the safety of flights in air traffic control.

Keywords: reliability, human factor, air traffic control, human operator

For citation: Mamontov E.V. The human factor and flight safety when controlling air traffic. *Nadezhnost' i kachestvo slozhnykh sistem = Reliability and quality of complex systems*. 2022;(1):41–45. (In Russ.). doi:10.21685/2307-4205-2022-1-5

Результаты анализа авиационных происшествий показывают, что большинство из них связаны с человеческим фактором. К данному фактору принято относить причины, обусловленные неграмотными, ошибочными или несвоевременными действиями операторов, эксплуатирующих авиационную технику, управляющих воздушным движением или обеспечивающих полеты.

Системы управления воздушным движением относятся к эргатическим системам, т.е. к системам, в которых предусмотрено функционирование человека-оператора. Современные достижения науки и техники привели к тому, что надежность технической составляющей эргатических систем стала выше, чем надежность операторского звена. Однако отказаться от творческих возможностей человека-оператора, его знаний, опыта пока не представляется возможным. При этом решающее значение для обеспечения безопасности полетов при управлении воздушным движением имеет функциональная надежность операторов систем управления воздушным движением (УВД).

Под надежностью человека-оператора понимается совокупность психофизиологических свойств, которые обеспечивают работоспособность регулируемой им системы в диапазоне различных условий ее существования [1].

Управление воздушным движением имеет существенные специфические особенности, обусловленные прежде всего невозможностью остановить воздушные суда или обеспечить их дополнительным топливом в воздухе. Это обуславливает, во-первых, относительно небольшой набор возможных управляющих воздействий оператора, во-вторых, высокую цену ошибки оператора, в-третьих, ограниченное время на анализ сложившейся ситуации и принятие решения. Исходя из этого под функциональной надежностью оператора системы УВД предлагается понимать совокупность психофизиологических свойств человека, которые обеспечивают выполнение задач по управлению воздушным движением с таким запасом внимания и возможностей, который позволяет своевременно выявить нештатную ситуацию и успешно ее парировать.

Таким образом, исследования функциональной надежности операторов систем управления воздушным движением (УВД) являются весьма актуальными для обеспечения безопасности полетов [2].

Для обеспечения безопасности важно функциональную надежность оператора выразить количественно. Известно, что единые взгляды и подходы к определению надежности оператора эргатических систем пока не определены, поэтому методы расчета оценки надежности представляют некоторые трудности и составляют одну из актуальнейших проблем теории эргатических систем управления вообще.

В настоящее время в полиэргатических системах, к которым относятся системы УВД, номенклатура показателей, характеризующих функциональную надежность оператора, пока строго не определена. Исходя из особенностей деятельности операторов УВД, можно предложить следующие группы показателей:

- показатели качества функционирования оператора УВД;
- показатели выходных параметров управляющих воздействий;
- показатели состояния оператора.

Первая группа показателей отражает поведение объекта управления (ОУ) как результат действий оператора. Они характеризуют конечный результат деятельности оператора и его влияние на выполнение объектом управления заданных функций.

Вторая группа показателей характеризует действия оператора, т.е. отвечает на вопрос, насколько рациональными являются действия (операции), выполняемые оператором.

Третья группа показателей характеризует психофизиологическое состояние оператора.

В качестве показателей качества функционирования оператора УВД можно использовать терминальные критерии. Они позволяют оценить выдерживание заданных параметров элементарных операций в контрольных точках. Степень соответствия фактического параметра R_i заданному характеризуется показателем вида [3]

$$R_i = \frac{1}{m} \sum \frac{|x_{эij} - x_{тij}|}{\sigma_{ij}}, \quad (1)$$

где $x_{эj}$ – эталонное значение i -го параметра в j -й точке; x_{Tij} – текущее значение i -го параметра (определяемое действиями оператора); σ_{ij} – нормативное отклонение (определяется условиями обеспечения безопасности); $i = 1, 2, \dots, n$ – номер оцениваемого параметра; $j = 1, 2, \dots, m$ – номер точки контроля.

Основной недостаток терминальных критериев заключается в том, что они предполагают дискретный контроль.

Этого недостатка нет у частотно-временных и интервальных критериев. Для непрерывной оценки функционирования можно применить интервальные критерии, в качестве которых предлагается среднее значение $\Delta x_{ср.м}$ модуля отклонения параметра x от заданного значения:

$$\Delta x_{ср.м} = \frac{1}{t_2 - t_1} \int_{t_1}^{t_2} |\Delta x| dt \quad (2)$$

и среднее квадратическое отклонение

$$\sigma_x = \frac{1}{t_2 - t_1} \int_{t_1}^{t_2} \Delta x^2 dt, \quad (3)$$

где $\Delta x = x_i - x_0$; x_i – значение параметра в i -й момент; x_0 – заданное значение выдерживаемого параметра; $t_2 - t_1$ – длительность интервала.

Показателями качества функционирования также являются терминальный K_T и интервальный K_H показатели, которые вычисляются по следующим соотношениям [4]:

$$K_T = |x_T - x_0|, \quad (8)$$

$$K_H = \frac{1}{n} \sum |x_i - x_0|, \quad (9)$$

где x_T – текущее значение параметра в фиксированной точке; x_i – текущее значение параметра на i -м интервале; x_0 – заданное значение параметра; n – количество измерений на оцениваемом интервале.

В зависимости от характера контролируемого параметра (например, высота) отражается степень безопасности отклонения текущего значения параметра, что позволяет управлять рисками, обусловливающими допустимое отклонение.

Кроме того, в качестве показателей первой группы целесообразно ввести три R -показателя, характеризующих относительные затраты оператора при функционировании по времени, загрузке и их средний R -показатель.

R -показатель по загрузке R_G определяется соотношением

$$R_G = \frac{G_0}{G_p}, \quad (10)$$

где G_0 – оптимальное значение загрузки; G_p – текущее значение загрузки; R – показатель по быстродействию R_t , определяющийся соотношением

$$R_t = \frac{t_0}{t_p}, \quad (11)$$

где t_0 – оптимальное время выполнения операции; t_p – реальное время выполнения операции.

Общий показатель можно определить по выражению

$$R = \frac{R_t + R_G}{2}. \quad (12)$$

Показатели второй группы. Показателем выходных параметров управляющих воздействий может быть величина, характеризующая непродуктивные или ошибочные действия. Непродуктивные («лишние») действия определяются соотношением [5]

$$N(t) = Q(t) - U(t), \quad (4)$$

где $U(t)$ – управляющее воздействие с минимально возможным количеством элементарных операций; $Q(t)$ – управляющее воздействие с фактическим количеством элементарных операций.

Таким образом, величина $N(t)$ будет характеризовать качество деятельности оператора. Информацию о структуре управляющих воздействий оператора предполагается получать с помощью корреляционно-спектрального анализа процессов управления, что позволяет детально исследовать их. Формулы для определения математического ожидания m_i и корреляционной функции $R_i(\tau)$ зависимости отклонений от частоты управляющих воздействий оператора, спектральной плотности $S_i(\omega)$ имеют вид

$$m_i = \frac{1}{T} \int_0^T x_i(t) dt, \quad (5)$$

$$R_i(\tau) = \frac{1}{T-\tau} \int_0^{T-\tau} [x_i(t) - m_i][x_i(t+\tau) - m_i] dt, \quad (6)$$

$$S_i(\omega) = \frac{2}{\pi} \int_0^{\infty} R_i(\tau) \cos \omega \tau \cdot dt, \quad (7)$$

где T – длительность реализации процесса; $x_i(t)$ – управляющее воздействие (максимально допустимое количество элементарных операций в воздействии); τ – аргумент корреляционной функции; ω – частота спектра управляющих воздействий.

Данный метод позволяет определить среднее, среднеквадратическое отклонение процесса от оптимального, степень колебательности процесса управления.

Включение показателей психофизиологического состояния (ПФС) оператора в комплекс показателей, характеризующий его подготовку, необходимо для оценивания их влияния на его функциональную надежность [6].

Любая профессиональная деятельность сопряжена с определенной степенью нервно-эмоциональной напряженности, вызывающей вегетативные сдвиги в организме. В рамках рассматриваемого вопроса предлагается считать, что отсутствие или низкий уровень эмоциональных реакций свидетельствует о достаточной тренированности, а значит, и надежности оператора.

В качестве таких показателей, например, можно предложить: частоту сердечных сокращений; частоту дыхания; минутный объем дыхания; кожно-гальваническую реакцию. Для оценки психофизиологической напряженности (ПФН) оператора в период подготовки достаточно учесть изменение таких вегетативных показателей, как частота сердечных сокращений (ЧСС) и частота дыхания (ЧД). Кроме того, необходимо учесть индивидуальные особенности, что возможно лишь при определении зависимости между исходными значениями показателей (фоновыми значениями) и их значениями при функционировании оператора.

Таким образом, предлагаемый перечень показателей может характеризовать не только качественную сторону деятельности специалиста УВД, но и оценивать, какими затратами достигнут этот результат. Это очень важно как для оценки результатов подготовки и опосредованного определения функциональной надежности, которая оказывает непосредственное влияние на безопасность полетов при управлении воздушным движением, так и для безопасности полетов в целом.

Список литературы

1. Зинченко В. П., Вдовина М. И. Исследования функциональной структуры решения комбинаторных задач // Моторные компоненты зрения. М. : Наука, 1975.
2. Галактионов А. И. Представление информации оператору. М. : Энергия, 1969.
3. Сулаев С. А. Роль человеческого фактора в деятельности единой системы организации воздушного движения : учеб. пособие. М. : ИД Академии Жуковского, 2018. 76 с.
4. Козлов В. В. Человеческий фактор: история, теория и практика в авиации. М. : Полиграф, 2002. 280 с.
5. Романов В. В. Юридическая психология : учебник для академического бакалавриата. 6-е изд., перераб. и доп. М. : Юрайт, 2017. 537 с.
6. Артемов А. Д., Лысаков Н. Д., Лысакова Е. Н. Человеческий фактор в эксплуатации авиационной техники : монография. М., 2018. 156 с.

References

1. Zinchenko V.P., Vdovina M.I. Studies of the functional structure of solving combinatorial problems. *Motornye komponenty zreniya = Motor components of vision*. Moscow: Nauka, 1975. (In Russ.)
2. Galaktionov A.I. *Predstavlenie informatsii operatoru = Presentation of information to the operator*. Moscow: Energiya, 1969. (In Russ.)
3. Sulaev S.A. *Rol' chelovecheskogo faktora v deyatelnosti edinoy sistemy organizatsii vozdušnogo dvizheniya: ucheb. posobie = The role of the human factor in the activities of the unified air traffic management system : textbook*. Moscow: ID Akademii Zhukovskogo, 2018:76. (In Russ.)
4. Kozlov V.V. *Chelovecheskiy faktor: istoriya, teoriya i praktika v aviatsii = The human factor: history, theory and practice in aviation*. Moscow: Poligraf, 2002:280. (In Russ.)
5. Romanov V.V. *Yuridicheskaya psikhologiya: uchebnik dlya akademicheskogo bakalavriata = Legal psychology : textbook for academic bachelor's degree*. 6th ed., rev. and suppl. Moscow: Yurayt, 2017:537. (In Russ.)
6. Artemov A.D., Lysakov N.D., Lysakova E.N. *Chelovecheskiy faktor v ekspluatatsii aviatsionnoy tekhniki: monografiya = The human factor in the operation of aviation equipment: monograph*. Moscow, 2018:156. (In Russ.)

Информация об авторах / Information about the authors

Евгений Вячеславович Мамонтов

кандидат технических наук,
заместитель генерального директора по НИОКР,
НПО «Прибор»
(Россия, г. Санкт-Петербург, 17-я линия В.О., 4-6)
E-mail: E.Mamontov@npo-pribor.ru

Evgeniy V. Mamontov

Candidate of technical sciences,
deputy CEO for R&D,
NPO Pribor
(4-6 17th line V.O., Saint Petersburg, Russia)

**Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов /
The authors declare no conflicts of interests.**

Поступила в редакцию/Received 27.09. 2021

Поступила после рецензирования/Revised 10.10.2021

Принята к публикации/Accepted 10.11.2021