

УДК 629.052.9

ИНФОРМАЦИОННО-ТЕХНИЧЕСКИЕ СОСТОЯНИЯ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ВОЗДУШНЫМ ДВИЖЕНИЕМ

Э.А. БОЛЕЛОВ, К.Н. МАТЮХИН, А.В. СБИТНЕВ, С.В. ШАЛУПИН

В статье вводится понятие информационно-технического состояния автоматизированной системы управления воздушным движением и определяются виды информационно-технических состояний.

Ключевые слова: информационно-техническое состояние, управление воздушным движением, автоматизированная система.

Введение

Современная автоматизированная система управления воздушным движением (АС УВД) является автоматизированной системой на базе распределенной вычислительной сети (объект информатизации пятого типа) и предназначена для обеспечения безопасности, повышения экономичности и регулярности полетов авиации различных ведомств в районе аэродрома, на воздушных трассах и во внутрассовом воздушном пространстве путем автоматизации процессов текущего планирования, сбора, обработки и отображения радиолокационной информации, информации, полученной по каналам автоматического независимого наблюдения и метеоинформации [1].

К таким АС УВД относится, например, АС УВД «Альфа», которая включает [1]:

- комплекс средств автоматизации управления воздушным движением (КСА УВД) «Альфа-3», который обеспечивает прием, обработку, отображение и интеграцию информации о воздушной обстановке, плановой, метеорологической и аэронавигационной информации на дисплеях высокого разрешения рабочих мест специалистов УВД;
- комплекс средств передачи информации (КСПИ) «Ладога», предназначенный для сбора, обработки и передачи данных от радиолокационных станций, радиопеленгаторов и приемопередающих центров по каналам (линиям) связи в центры УВД, а также для обмена данными между центрами УВД;
- систему коммутации речевой связи (СКРС) «Мегафон», которая предназначена для организации наземной громкоговорящей и телефонной связи, управления радиосвязью с воздушными и наземными объектами;
- комплекс средств автоматизации планирования воздушного движения (КСА ПВД) «Планета», который решает задачи предварительного, суточного и текущего планирования полетов, обеспечивает плановой и аэронавигационной информацией органы единой системы организации воздушного движения, взаимодействующие автоматизированные системы УВД и ПВД;
- программно-аппаратный комплекс (ПАК) «Консультант», предназначенный для решения задач информационно-справочного обеспечения авиационного персонала и возможностей создания единых электронных библиотек, обеспечивающих интеграцию существующих информационных баз, а также создания корпоративных и персональных справочников;
- комплексный диспетчерский тренажер (КДТ) «Эксперт», предназначенный для обучения и тренировки диспетчерского состава в службах УВД и учебных заведениях гражданской авиации.

Кроме того, в состав АС УВД «Альфа» входит система точного времени «Метроном», магнитофон «Гранит», подсистема защиты информации «Сфера».

Отличительной особенностью АС УВД «Альфа» является:

- использование унифицированных изделий для построения системы, обеспечивающей возможность создания конфигурации любой сложности в кратчайшие сроки, ее последующее наращивание и модификацию;
- максимальное использование универсальных аппаратных средств и вычислительной техники широкого применения от ведущих мировых производителей;
- многоплатформенное программное обеспечение;
- дублирование и резервирование всех подсистем и их сегментов;
- автоматизированное техническое управление и контроль;
- защита от несанкционированного доступа.

Все сказанное выше свидетельствует о том, что современная АС УВД является сложной информационно-технической системой и обладает избыточностью, прежде всего структурной (наличие резервных устройств, подсистем и сегментов в системы), функциональной (наличие разнотипных каналов связи) и информационной.

На качество функционирования АС УВД оказывают влияние различные внешние и внутренние информационные и физические дестабилизирующие воздействия, а также характеристики обеспечивающих подсистем (подсистема контроля, диагностики и управления техническим состоянием, подсистема защиты информации).

Целью настоящей работы является описание модели информационно-технического состояния АС УВД и уточнение понятий различных состояний системы.

Модель информационно-технического состояния АС УВД

Под информационно-техническим состоянием (ИТС) АС УВД будем понимать совокупность свойств и признаков как технического, так и информационного характера, присущих системе в определенный момент времени.

В общем виде модель ИТС АС УВД может быть представлена вектором

$$\mathbf{S}(t) = \{\mathbf{S}_u(t), \mathbf{S}_m(t)\}, \quad (1)$$

где $\mathbf{S}_u(t)$ – вектор информационного состояния АС УВД; $\mathbf{S}_m(t)$ – вектор технического состояния АС УВД.

АС УВД, как показано выше, состоит из подсистем, устройств, линий связи и т.д., которые в дальнейшем для простоты будем называть элементами системы. Тогда модель ИТС АС УВД может быть сформирована на основе моделей ИТС составляющих ее элементов. Применительно к элементу АС УВД достаточно полной моделью ИТС является модель [2]:

– с тремя несовместными техническими состояниями $s_{mj}, \tilde{s}_{mj}, \bar{s}_{mj}$, где s_{mj} – работоспособное состояние j -го элемента; \tilde{s}_{mj} – состояние временного отказа j -го элемента; \bar{s}_{mj} – состояние полного устойчивого отказа j -го элемента;

– с тремя несовместными информационными состояниями: $s_{uj}, \tilde{s}_{uj}, \bar{s}_{uj}$, где s_{uj} – безопасное информационное состояние; \tilde{s}_{uj} – потенциально опасное информационное состояние; \bar{s}_{uj} – опасное или критическое информационное состояние.

Учитывая это, вектор ИТС j -го элемента АС УВД имеет вид

$$\mathbf{S}_j(t) = \mathbf{S}_{mj}(t) \otimes \mathbf{S}_{uj}(t), \quad (2)$$

где $\mathbf{S}_{mj}(t) = [s_{mj}(t), \tilde{s}_{mj}(t), \bar{s}_{mj}(t)]^m$ – вектор технического состояния j -го элемента системы; $\mathbf{S}_{uj}(t) = [s_{uj}(t), \tilde{s}_{uj}(t), \bar{s}_{uj}(t)]^m$ – вектор информационного состояния j -го элемента системы; \otimes – символ прямого произведения матриц.

Тогда для j -го элемента системы модель ИТС будет включать девять несовместных состояний

$$\mathbf{S}_j(t) = \begin{bmatrix} s_{uj}(t)s_{mj}(t) \\ s_{uj}(t)\tilde{s}_{mj}(t) \\ s_{uj}(t)\bar{s}_{mj}(t) \\ \tilde{s}_{uj}(t)s_{mj}(t) \\ \tilde{s}_{uj}(t)\tilde{s}_{mj}(t) \\ \tilde{s}_{uj}(t)\bar{s}_{mj}(t) \\ \bar{s}_{uj}(t)s_{mj}(t) \\ \bar{s}_{uj}(t)\tilde{s}_{mj}(t) \\ \bar{s}_{uj}(t)\bar{s}_{mj}(t) \end{bmatrix}. \quad (3)$$

Первое ИТС элемента системы $s_{mj}(t) s_{uj}(t)$ является состоянием, при котором элемент АС УВД находится в работоспособном техническом состоянии и безопасном информационном состоянии, т.е. имеет место его штатное функционирование. Последнее ИТС элемента системы $\bar{s}_{mj}(t) \bar{s}_{uj}(t)$ является состоянием, при котором элемент АС УВД полностью неработоспособен и находится в опасном информационном состоянии. Остальные ИТС элемента системы – это промежуточные состояния, характеризующиеся различной степенью работоспособности и безопасности элемента АС УВД.

Общее число ИТС АС УВД определяется числом элементов системы

$$N = \prod_{j=1}^J q_j^{N_j}, \quad (4)$$

где q_j – число ИТС j -го элемента системы; N_j – число элементов системы, имеющих q_j ИТС; J – количество групп элементов АС УВД.

Выражение (4) учитывает тот факт, что элементы АС УВД могут иметь различное число ИТС. Например, $(j+1)$ -й элемент системы может иметь два несовместных технических $s_{mj+1}(t)$, $\bar{s}_{mj+1}(t)$ состояния и три несовместных информационных $s_{uj+1}(t)$, $\tilde{s}_{uj+1}(t)$, $\bar{s}_{uj+1}(t)$ состояния. Тогда общее число ИТС $(j+1)$ -го элемента в соответствии с (2) будет равно шести. К тому же в АС УВД можно выделить ряд элементов, имеющих только техническую или только информационную компоненту модели ИТС.

Введем конечное множество информационно-технических состояний Ω , которое содержит элементы трех типов. Элементы первого типа принадлежат подмножеству работоспособных ИТС Ω_1 , элементы второго типа принадлежат подмножеству частично работоспособных ИТС Ω_2 , элементы третьего типа принадлежат подмножеству полностью неработоспособных ИТС Ω_3 .

Подмножество работоспособных ИТС Ω_1 характеризуется тем, что значения технических и информационных параметров сохраняются на уровне, который обеспечивает выполнение заданных АС УВД функций в соответствии с предъявляемыми к ней требованиями (включая требования по информационной безопасности)

$$\Omega_1 = \Omega_{mp} \cap \Omega_{u\bar{o}}, \quad (5)$$

где Ω_{mp} – множество технических работоспособных состояний; $\Omega_{u\bar{o}}$ – множество информационных безопасных состояний.

Подмножество частично работоспособных ИТС Ω_2 характеризуется тем, что АС УВД выполняет все жизненно важные функции и не выполняет некоторую допустимую часть иных функций или выполняет функции с худшим качеством

$$\Omega_2 = \Omega_{мчр} \cup \Omega_{ичб}, \quad (6)$$

где $\Omega_{мчр}$ – множество технических частично работоспособных состояний; $\Omega_{ичб}$ – множество информационных частично безопасных состояний.

Подмножество полностью неработоспособных ИТС Ω_3 характеризуется как:

- множество технически неработоспособных, но безопасных состояний $\Omega_{мчр}$;
- множество работоспособных или частично работоспособных технических состояний, но критических информационных состояний $\Omega_{икр}$.

Тогда

$$\Omega_3 = \Omega_{мчр} \cup \Omega_{икр}. \quad (7)$$

Для j -го элемента системы (3) подмножество Ω_1 имеет мощность, равную единице, т.е. включает только один элемент – $s_{mj}(t) s_{ij}(t)$. Подмножество Ω_2 состоит из трех элементов – $s_{тj}(t)\tilde{s}_{ij}(t)$, $\tilde{s}_{тj}(t)s_{ij}(t)$, $\tilde{s}_{mj}(t)\tilde{s}_{uj}(t)$. Остальные элементы принадлежат подмножеству Ω_3 .

Процесс перехода АС УВД из одного ИТС в другое является достаточно сложным. Сложность эта обусловлена прежде всего спецификой функционирования АС УВД, отказами и сбоями в работе АС УВД, которые приводят к полной или частичной потере работоспособности системы, а также к нарушениям информационного обмена между элементами системы и потере хранимой в системе информации, внешними информационными угрозами, человеческим фактором (ошибки персонала, эксплуатирующего АС УВД).

Случайный процесс $S(t)$, характеризующий смену ИТС АС УВД, может принимать в любой момент времени t только какое-либо одно значение из конечного множества Ω и поэтому представляет собой дискретный случайный процесс, смена состояний которого происходит в случайные моменты времени

$$S(t) = F(S, \Xi_{внш}, \Xi_{внт}, t), \quad (8)$$

где $\Xi_{внш} = [\Xi_{внш.инф}, \Xi_{внш.физ}]$ – вектор дестабилизирующих внешних воздействий, включающий в себя вектор дестабилизирующих внешних информационных воздействий $\Xi_{внш.инф}$ и вектор дестабилизирующих внешних физических воздействий $\Xi_{внш.физ}$; $\Xi_{внт}$ – вектор дестабилизирующих внутренних воздействий; $F(\cdot)$ – оператор преобразования.

В выражении (8) $\Xi_{внш}$ и $\Xi_{внт}$ являются независимыми по моменту времени и характеристикам воздействий. Это допущение объясняется различной природой этих воздействий. При более детальном рассмотрении можно говорить о некоторой корреляции между внутренними воздействиями и внешними информационными воздействиями, а также между внутренними воздействиями и внешними физическими воздействиями.

Переходы между состояниями могут быть описаны матрицей вероятностей переходов АС УВД из одного ИТС в другое

$$P_S(t) = [p(t, s_i, s_j)], \quad (9)$$

где $p(t, s_i, s_j)$ – вероятность перехода из i -го состояния в j -е состояние.

С учетом вышесказанного можно ввести понятия вероятности работоспособного ИТС, вероятности потери работоспособного ИТС, интенсивности переходов и т.д., а также уточнить выражения для коэффициента готовности, коэффициента оперативной готовности и других показателей, расчет значений которых может быть сделан с использованием аппарата теории марковских или полумарковских процессов.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Ахмедов Р.М., Бибутов А.А., Васильев А.В.** *Автоматизированные системы управления воздушным движением: Новые информационные технологии в авиации: учеб. пособие / под ред. С.Г. Пятко, А.И. Красова.* СПб.: Политехника, 2004.
2. **Ярлыков М.С., Богачев А.С.** *Авиационные радиоэлектронные комплексы.* М.: ВВИА им. проф. Н.Е. Жуковского, 2000.

INFORMATION AND TECHNICAL STATE
OF THE AUTOMATED SYSTEM OF AIR TRAFFIC CONTROL

Bolelov E.A., Matuhin K.N., Sbitnev A.V., Shalupin S.V.

The article introduces the concept of information technology state of the automated system of air traffic control and defines the types of information and technical conditions.

Keywords: information technology status, air traffic control, automated system.

REFERENCES

1. **Akhmedov R.M., Bibutov A.A., Vasil'ev A.V.** *Avtomatizirovannye sistemy upravleniya vozdushnym dvizheniem: Novye informatsionnye tekhnologii v aviatsii: ucheb. posobie.* Pod red. S.G. Pyatko, A.I. Krasova. SPb.: Politekhnik. 2004. (In Russian).
2. **Yarlykov M.S., Bogachev A.S.** *Aviatsionnye radioelektronnye komplekсы.* M.: VVIA im. prof. N.E. Zhukovskogo. 2000. (In Russian).

Сведения об авторах

Болелов Эдуард Анатольевич, 1967 г.р., окончил ВВИА им. проф. Н.Е. Жуковского (1997), доцент, кандидат технических наук, заведующий кафедрой технической эксплуатации радиоэлектронного оборудования воздушных судов МГТУ ГА, автор 30 научных работ, область научных интересов – эксплуатация сложных технических систем.

Матюхин Константин Николаевич, 1976 г.р., окончил ВВИА им. проф. Н.Е. Жуковского (2005), кандидат технических наук, доцент кафедры основ радиотехники и защиты информации МГТУ ГА, автор 37 научных работ, область научных интересов – эксплуатация сложных технических систем.

Сбитнев Александр Васильевич, 1978 г.р., окончил ВВИА им. проф. Н.Е. Жуковского (2005), кандидат технических наук, доцент кафедры технической эксплуатации радиоэлектронного оборудования воздушного транспорта МГТУ ГА, автор 19 научных работ, область научных интересов – эксплуатация сложных технических систем.

Шалупин Степан Владимирович, 1981 г.р., окончил ВВИА им. проф. Н.Е. Жуковского (2003), аспирант МГТУ ГА, автор 4 научных работ, область научных интересов – навигация и УВД.