

УДК 007.629.735

А. АЛЬ-АММОРИ, Х.А. АЛЬ-АММОРИ, А.Е. КЛОЧАН, А.М. АЛЬ-АХМАД  
Национальный транспортный университет

**ВЕРОЯТНОСТНАЯ МОДЕЛЬ КОНТРОЛЯ ПАРАМЕТРОВ  
ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ИНФОРМАЦИОННО-УПРАВЛЯЮЩИХ СИСТЕМ  
ВОЗДУШНЫХ СУДОВ**

*В статье доказано, что эффективность и качество автоматического управления процессом полёта существенно зависит от достоверности информации, поступающей на вход управляемых вычислительных систем, от различного рода измерителей (так называемых датчиков информации), которые контролируют состояние и ход выполнения процесса полёта.*

*Предлагается методика оценок повышения точности и достоверности информации при информационном резервировании с учётом влияния физических недостатков реальных источников информации на качество функционирования информационно-управляющих систем воздушных судов.*

*Разработана вероятностная модель оценка влияния физических недостатков источников информации на качество функционирования ИУС ВС и способы уменьшения таких влияний на безопасность, регулярность и эффективность полётов.*

*Ключевые слова: вероятностная модель, эффективность, достоверность информации, источники информации.*

А. АЛЬ-АММОРИ, Х.А. АЛЬ-АММОРИ, А.Е. КЛОЧАН, А.М. АЛЬ-АХМАД  
Национальный транспортный университет

**ЙМОВІРНІСНА МОДЕЛЬ КОНТРОЛЮ ПАРАМЕТРІВ  
ФУНКЦІОНУВАННЯ ІНФОРМАЦІЙНО-УПРАВЛЯЮЧИХ СИСТЕМ  
ПОВІТРЯНИХ СУДЕН**

*У статті доведено, що ефективність і якість автоматичного керування процесів польоту істотно залежить від достовірності інформації, яка надходить на вхід керованих обчислювальних систем, від різного роду систем вимірювання (так званих датчиків інформації), які контролюють стан і хід виконання процесу польоту.*

*Пропонується методика оцінок підвищення точності і достовірності інформації при інформаційному резервуванні з урахуванням впливу фізичних недоліків реальних джерел інформації на якість функціонування інформаційно-керуючих систем повітряних суден. Розроблено імовірнісна модель оцінка впливу фізичних вад джерел інформації на якість функціонування ІКС ВС і способи зменшення таких впливів на безпеку, регулярність і ефективність польотів.*

*Ключові слова: імовірнісна модель, ефективність, достовірність інформації, джерела інформації.*

A. AL-AMMOURI, H.A. AL-AMMORI, A.E. KLOCHAN, A.M. AL-AKHMAD  
National Transport University

**PROBABILITY MODEL FOR CONTROL PARAMETERS IN THE  
AIRCRAFT'S INFORMATION AND CONTROL SYSTEMS**

*Improving flight safety and operational efficiency of aircraft is largely determined by the quality of operation onboard information management systems. At the same time, special*

*attention should be paid to the assessment of the redundancy level of alarm systems and the control of malfunctions, as well as failures of vital functional systems: operation modes of aircraft engines, flight, autonomous warning systems of dangerous modes (aircraft engine fires, icing of control system elements, proximity to the ground, etc.). In such flight situations, the further development of faults must be localized in a timely manner, since these situations are associated with the survivability of aircraft. Recognition of such situations is possible on the basis of the disclosure of the mechanisms, axiomatic representations and realizations. For this purpose, a theoretical framework has been developed for estimating the probability of occurrence the events (true event, "false" alarm, non-detection), for adjusting information sources by changing the trigger threshold ED, so that at given n a given system OBTAIN providing an equal degree of reduction of false alarm probability  $p_3$  and non-detection  $p_2$  that is ensure equality  $p_2 = p_3$ .*

*When applying the proposed method, it is possible to significantly reduce the negative effects of the physical deficiencies of individual information sources on the quality of operation of information and control systems of aircraft.*

*The article proved that the efficiency and quality of automatic control of flight processes essentially depends on the reliability of information received at the input of controlled computing systems, on various meters (so-called information sensors) that monitor the status and progress of the flight process.*

*A methodology for assessing the accuracy and reliability of information with information redundancy is proposed, taking into account the influence of physical deficiencies of real information sources on the quality of operation of aircraft information and control systems (ICS).*

*A probabilistic model has been developed to assess the impact of physical deficiencies of information sources on the quality of ICS of the aircraft and ways to reduce such effects on safety, regularity and efficiency of flights.*

*Keywords: probabilistic model, efficiency, accuracy of information, information sources.*

### **Постановка проблемы**

Известно, что эффективность и качество функционирования ИУС существенно зависит от достоверности информации, поступающей на вход управляемых вычислительных систем, от различного рода измерителей (так называемых, источников информации), которые контролируют состояние и параметры функционирования ИУС воздушных судов (ВС).

Реальные источники информации (ИИ) обладают конечной точностью представления контролируемой ими информации. При этом точность и достоверность информации определяются как конструктивными особенностями, так и технической надёжностью ИИ и, как правило, не удовлетворяют или неполностью удовлетворяют требованиям нормативно-технической документации на точность и достоверность информации, подаваемой на входы вычислительных систем ИУС.

Поэтому появилась необходимость решения вопроса о точном представлении информации и раскрыть механизмы возникновения ошибок контролируемых явлений в ИУС ВС. Таким образом можно повысить вероятность правильного обнаружения опасных полётных ситуации, как пожар двигателя, опасного сближения с землёй, обледенения элементов системы управления самолётами нового поколения (СНП).

### Анализ последних исследований и публикаций

При переходе от самолётов старого поколения к СНП особенно важно при решении проблемы безопасности полётов (БП) и человеческого фактора (ЧФ) рассматривать переходы в ИУС как переходы от аналоговой к цифровой и микропроцессорной технике. Особенную сложность внесли новые ИУС такие, как КИСС – комплексная информационная система сигнализации, КИНО – комплексная индикационная система обстановки, КПИ – комплексные пилотажные индикаторы, КПРТС – комплексные пульта радиотехнических средств и, в целом, КСПНО – комплекс стандартного пилотажно-навигационного оборудования [1–4]. Это потребовало качественной доработки многоканальных систем регистрации и управления параметров полёта.

Для обеспечения надёжности и эффективности процессов полёта необходимо представить экипажу достоверную информацию с ИУС. Поэтому изучение проблемы обеспечения эффективности функционирования ИУС является многосторонней и актуальной задачей, требующей новых принципов исследования.

Известно, что как точность, так и достоверность контролируемой информации можно существенно повысить путём её статистической обработки, если подавать на вычислительные управляемые системы информацию одновременно от нескольких ИИ [5–7], подключаемых параллельно. Такой способ ввода информации называют параллельным информационным резервированием, который, в принципе, позволяет существенно повысить точность и достоверность контролируемой информации, поступающей от некачественных и технически ненадёжных ИИ [8–10].

### Цель исследования

Целью работы является снижение влияния физических недостатков ИИ на качество ИУС ВС и разработка математической модели для оценки влияния этих недостатков и способы их уменьшения для повышения безопасности, регулярности и эффективности полётов.

Для достижения поставленной цели необходимо разработать вероятностную модель механизма формирования ошибки в ИУС и раскрыть основные причины появления зон неопределённости срабатывания датчиков, приводящих к опасным полетим ситуациям (ОПС).

### Изложение основного материала исследования

На рис. 1 изображена область действия ИИ, определяемая площадью прямоугольника  $OABC$ . Функция  $y(t)$  – это физическое проявление параметра контролируемого процесса в зависимости от времени. Линия  $AB$  определяет то значение функции  $y(t)$ , при котором ИИ надёжно срабатывает с вероятностью  $P[y(t)] = 1$  [5, 6].

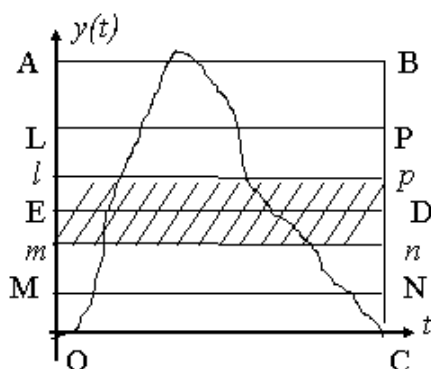


Рис. 1. Зона неопределённости срабатывания реального ИИ

В идеальном варианте область  $ABDE$  определяет то значение функции  $y(t)$ , при котором наступает явление контролируемого события, а область  $EDCO$ , соответственно, определяет его отсутствие. При этом порог срабатывания ИИ определяется линией  $ED$ .

Существует зона  $LPNM$ , определяющая вероятность ложных срабатываний ИИ или же необнаруженные им контролируемого явления, которое может иметь место. Величина этой зоны неопределённости оценивается факторами  $A$  и  $B$ .

Фактор  $A$  определяется гистерезисным свойством срабатывания ИИ [8], т.е. реальный ИИ сработает тогда, когда функция признака  $y(t)$  превысит порог  $lp$  (а не порог  $ED$ , как это имело бы место для идеального ИИ). И, наоборот, реальный ИИ выдаст сигнал об отсутствии контролируемого явления тогда, когда функция  $y(t)$  понизится до уровня, меньшего чем линия  $mn$ . В отличие от реального ИИ, идеальный выдаст сигнал о том, что контролируемого явления нет, когда функция  $y(t)$  уменьшится до уровня, меньшего, чем уровень, определяемый линией  $ED$ . Таким образом, реальный ИИ срабатывает с определённой степенью "затяжки". Можно показать, что зона  $ElpD$  соответствует вероятности несрабатывания ИИ при наличии контролируемого явления. Вероятность определяется соотношением:

$$d_a = \frac{k_a}{n_a},$$

где  $k_a$  – число случаев изменений функции  $y(t)$ , не превышающих порог  $lp$ , при наличии события;  $n_a$  – общее число случаев превышения функцией  $y(t)$  порога  $mn$ .

Зона  $mEDn$ , в свою очередь, определяет вероятность  $b_a$  ложного срабатывания ИИ при отсутствии контролируемого явления и равна

$$b_a = \frac{m_a - k_a}{n_a};$$

где  $m_a$  – число случаев изменений функции  $y(t)$ , не выходящих из зоны  $lpnm$ .

Зона  $lABp$  соответствует вероятности  $a_a$  правильного обнаружения контролируемого явления и равна

$$a_a = \frac{n_a - m_a}{n_a},$$

причём, величина  $n_a - m_a$  – представляет число случаев превышения функцией  $y(t)$  линии  $lp$ . Таким образом, фактор  $A$  учитывает тот вариант, когда функция  $y(t)$  детерминирована, а ИИ имеет явно выраженную гистерезисную характеристику срабатывания и отпускания.

Фактор  $B$  предполагает, что функция  $y(t)$  случайная, а ИИ – идеальный, т.е. нет явно выраженного характера гистерезисного срабатывания и отпускания. Срабатывание и отпускание в ИИ происходит на уровне  $ED$ . В этом случае зона  $ELPD$  соответствует вероятности  $b_b$  ложной тревоги, т.е. учитывает те случаи, когда контролируемого явления нет, а функция  $y(t)$  случайно превышает порог  $ED$ , но не превышает линию  $LP$ . Это определяется вероятностью

$$b_b = \frac{m_b - k_b}{n_b},$$

где  $n_b$  – общее число случаев превышения линии  $MN$ ;  $k_b$  – число случаев распределения случайной функции  $y(t)$  в зоне  $MEDN$ ;  $m_b$  – число случаев распределения случайной функции  $y(t)$  в зоне  $ELPD$ .

Вероятность  $d_b = k_b/n_b$  учитывает случаи распределения случайной функции в зоне  $MEDN$ , когда контролируемое явление есть, а случайная функция  $y(t)$  не превышает порога  $ED$ . Вероятность  $a_b = (n_b - m_b)/n_b$  учитывает все случаи правильного распознавания контролируемого явления, когда случайная функция  $y(t)$  находится в зоне  $LAPB$ . При наличии фактора  $B$  снижение вероятностей  $b_b$  и  $d_b$  не зависит от качества ИИ, а зависит от их количества  $n$ . Чем больше число  $n$  ИИ, тем выше будет вероятность правильного обнаружения и тем меньше вероятности  $b_b + d_b$ .

Можно показать, что оба фактора взаимно накладываются и оказывают совместное влияние на вероятности  $b_b$  и  $d_b$ , которые можно определить из выражений

$$b = b_a + b_b - b_a b_b$$

$$d = d_a + d_b - d_a d_b$$

Если предположить, что ИИ имеют высокие качественные характеристики и схема соединения такова, что индекс мажоританости  $Q = 1$ , то можно считать, что  $b \approx b_b$ ,  $d \approx d_b$ .

Будем считать, что ИИ представляет собой симметричный канал передачи информации, т.е. вероятность правильного обнаружения наличия и отсутствия контролируемого явления равна  $a$ . На рис.1 эти обе вероятности соответствуют площадям фигур  $ABPL$  и  $OMNC$ , т.е. вероятность  $a$  можно определить геометрически [11]:

$$a = S(ABPL)/S(MABN) = S(OMNC)/S(OLPC)$$

Вероятности  $b$  и  $d$  определяются отношением площадей фигур:

$$b = S(LPDE)/S(MABN) \quad d = S(MEDN)/S(MABN),$$

где  $S(ABPL)$ ,  $S(MABN)$ ,  $S(OMNC)$ ,  $S(OLPC)$ ,  $S(LPDE)$ ,  $S(MABN)$ ,  $S(MEDN)$ ,  $S(MABN)$  – площади соответствующих прямоугольников, изображённых на рис. 1.

Таковыми же геометрическими соотношениями можно представить и вероятности правильного обнаружения  $p_1$ , необнаружения  $p_2$  и ложной тревоги  $p_3$  системы из  $n$  ИИ. Вероятность ложной тревоги системы из  $n$  ИИ  $p_3$  и вероятность необнаружения  $p_2$  уменьшаются, а вероятность  $p_1$  увеличивается. Соответственно, на рис. 1 площадь фигуры  $MLPN$  уменьшается, а площадь фигуры  $LAPB$  увеличивается. Вместе с тем, вероятность ложной тревоги увеличивается за счёт уменьшения вероятности необнаружения  $p_2$ . На рис.1 это соответствует тому, что площадь фигуры  $MEDN$  уменьшается при одновременном уменьшении общей площади фигуры  $MLPN$ .

Для того, чтобы вероятности  $p_2$  и  $p_3$  были всегда равны, т.е. уменьшались в равной степени с увеличением числа  $n$ , можно "загружать" резервированные ИИ,

подняв порог срабатывания  $ED$  на более высокий уровень для каждого ИИ. При этом порог срабатывания для комбинированного ИИ, состоящего из системы  $n$  ИИ, должен разделить площадь фигуры  $MLPN$  на две равновеликие части и проходить по линии  $ED$ . Уровень подъёма порога срабатывания для каждого ИИ определим с учётом следующих соображений.

Приравняем вероятности  $p_2$  и  $p_3$ , образовав уравнение ( $n = 2$ )

$$b^2 - 2bd = d^2$$

Введём новую переменную  $x = b/d$  и решим уравнение  $x^2 + 2x - 1 = 0$ . Положительным решением этого уравнения будет  $x_2 = \sqrt{2} - 1$

При  $n = 3$  подобным способом составим кубическое уравнение

$$x^3 + 2x^2 + 3x - 1 = 0.$$

Положительным решением его будет  $x_3 = \sqrt[3]{2} - 1$

При  $n = 4$  подобным способом составим уравнение

$$x^4 + 4x^3 + 6x^2 + 4x - 1 = 0.$$

Положительным решением его будет  $x_4 = \sqrt[4]{2} - 1$ .

Таким образом, для любого  $n$  можно вывести рекуррентное соотношение

$$x_n = \sqrt[n]{2} - 1 = b/d \quad (1)$$

т.е. можно утверждать, что для любого числа ИИ  $n$  существует зависимость

$$b = (\sqrt[n]{2} - 1)d$$

при которой вероятности  $p_2$  и  $p_3$  будут уменьшаться в равной степени с увеличением  $n$ .

В соответствии с выражением (1) необходимо повышать порог срабатывания для каждого ИИ в зависимости от  $n$  для того, чтобы вероятности  $p_2$  и  $p_3$  были равны для данного числа  $n$ .

Поскольку  $b + d = 1 - a$ , то можно записать  $(\sqrt[n]{2} - 1)d + d = 1 - a$ , откуда можно определить:  $d = (1 - a)/\sqrt[n]{2}$  и  $b = (1 - a)(\sqrt[n]{2} - 1)/\sqrt[n]{2}$

Выражение показывает, как надо отрегулировать ИИ путем изменения порога срабатывания  $ED$ , чтобы при заданном  $n$  получить систему, обеспечивающую равную степень снижения вероятностей  $p_2$  и  $p_3$ , т.е. обеспечить равенство  $p_2 = p_3$ .

#### Выводы

Из проведённого исследования можно сделать следующий вывод:

- информация от реального ИИ всегда поступает с определённой степенью достоверности, которую можно охарактеризовать тремя вероятностными состояниями  $a$  – вероятность правильного обнаружения;  $b$  – вероятность ложной тревоги;  $d$  – вероятность необнаруженные события;

- при увеличении числа  $n$  ИИ можно создать эффективную систему контроля ситуации в функциональном смысле с помощью простых по конструкции, технически надёжных и недорогостоящих ИИ.

#### **Список использованной литературы**

1. Федоров С. М., Михайлов О. И., Сухих Н. Н. Бортовые информационно-управляющие системы / Под ред. С.М. Федорова. Москва: Транспорт, 1994. 262 с.
2. Прозоров С. Е. Цифровые вычислительные системы авиационных комплексов. Киев: КИИГА, 1990. 160 с.
3. Al-Ammouri Ali, Al-Ammori H. A., Klochan A. E., Degtiarova A. O. Probabilistic models reliability of information and control systems. *Journal of Sustainable Development of Transport and Logistics*. 2018. № 3(1). P. 60-69. doi:10.14254/jsdtl.2018.3-1.6.
4. Al-Ammouri A., Dyachenko P., Degtiarova A. Development of a mathematical model of information serial redundancy of management information systems of the aircraft fire alarm. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2017. Vol. 2, Issue 9 (86). P. 4–10. doi: 10.15587/1729-4061.2017.96296
5. Темников Ф. Е., Афонин В. А., Дмитриев В. И. Теоретические основы информационной техники. Москва: Энергия, 1971. 410 с.
6. Левин Б. Р. Теоретические основы статической радиотехники. М. Радио и связь, 1989. 656 с.
7. Лужецкий В. К. Противопожарная защита самолетов гражданской авиации. Москва: Транспорт, 1987. 144с.
8. Аль-Аммори Али. Исследование влияние реальной технической надежности на эффективность информационного резервирования. *Искусственный интеллект*. 2006. №4. С. 660-663.
9. Аль-Аммори Али. Механизмы развития особых случаев полета при пожарах ВС и вероятностно-статистические методы их оценок. *Методы управления системной эффективностью функционирования электрифицированных и пилотажно-навигационных комплексов: тез. док. II Международной научно-технической конференции*. (Киев, 15-17 май 1993 г.), Киев: КИИГА, 1993. С. 82.
10. Аль-Аммори А. Н. Исследование способов повышения надежности контроля пожарной ситуации на борту воздушного судна. *Проблемы эксплуатации и надежности авиационной техники: Сб. науч. тр.* Киев: КМУГА, 1998. С.128-131.
11. Абезгаус Т. Т., Тронь А. П. и др. Справочник по вероятностным расчетам. М.: Воениздат, 1989. 656 с.
12. Соченко П. С., Аль-Аммори О. М., Аль-Аммори Али. Способы повышения достоверности информации в системах управления. Киев, 1998. 30с. (Препр. НАН Украины, ин-т Кибернетики им. В.М.Глушкова).

#### **References**

1. Fedorov, S. M., Mihaylov, O. I., & Suhih, N. N. (1994) Bortovyye informatsionno-upravlyayuschie sistemyi (Pod red. S.M. Fedorova). Moscow: Transport.
2. Prozorov, S. E. (1990) Tsifrovyie vyichislitelnyie sistemyi aviatsionnyih kompleksov. Kiev: KIIGA, 1990.
3. Al-Ammouri, Ali, Al-Ammori, H. A., Klochan, A. E., & Degtiarova, A. O. (2018) Probabilistic models reliability of information and control systems. *Journal of Sustainable Development of Transport and Logistics*. **3** (1), 60-69. doi:10.14254/jsdtl.2018.3-1.6.

4. Al-Ammouri, A., Dyachenko, P., & Degtiarova, A. (2017) Development of a mathematical model of information serial redundancy of management information systems of the aircraft fire alarm. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. **2**, 9 (86), 4-10. doi: 10.15587/1729-4061.2017.96296
5. Temnikov, F. E., Afonin, V. A., & Dmitriev, V. I. (1971) *Teoreticheskie osnovy informatsionnoy tehniky*. Moscow: Energiya.
6. Levin, B. R. (1989) *Teoreticheskie osnovy staticheskoy radiotekhniki*. Moscow: Radio i svyaz.
7. Luzhetskyy, V. K. (1987) *Protivopozharnaya zaschita samoletov grazhdanskoj aviatsii*. Moscow: Transport.
8. Al-Ammori, Ali. (2006) Issledovanie vliyaniya realnoy tehnikoskoy nadezhnosti na effektivnost informatsionnogo rezervirovaniya. *Iskusstvennyy intellekt*. **4**, 660-663.
9. Al-Ammori, Ali. (1993) *Mehanizmy razvitiya osobnykh sluchaev poleta pri pozharakh VS i veroyatnostno-statisticheskie metody ih otsenok*. Proceedings of the *Metody upravleniya sistemnoy effektivnostyu funktsionirovaniya elektrofitsirovannykh i pilotazhno-navigatsionnykh kompleksov*: Tez. dok. II Mezhdunarodnoy nauchno-tehnicheskoy konferentsii. (Ukraine, Kiev, May 15-17, 1993), Kiev: KIIGA, pp. 82.
10. Al-Ammori, A. N. (1998) Issledovanie sposobov povysheniya nadezhnosti kontrolya pozharoy situatsii na bortu vozdushnogo sudna. *Problemy i ekspluatatsii i nadezhnosti aviatsionnoy tehniky*: Sb. nauch. tr. Kiev. KMUGA, pp. 128-131.
11. Abezgaus, T. T., & Tron, A. P. i dr. (1989) *Spravochnik po veroyatnostnyim raschetam*. M.: Voenizdat, 1989.
12. Sochenko, P. S., Al-Ammori, O. M., & Al-Ammori, Ali. (1998) *Sposoby povysheniya dostovernosti informatsii v sistemah upravleniya*. Kiev. (Prepr. NAN Ukrainy, in-t Kibernetiki im. V.M. Glushkova).