

ВЕРОЯТНОСТНО-МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ ОБРАЗОВАНИЯ ИНФОРМАЦИОННЫХ ПОТОКОВ В СИСТЕМЕ СИГНАЛИЗАЦИИ О ПОЖАРЕ НА ВОЗДУШНЫХ СУДАХ

Ключевые слова: источник информации, датчик контролируемых параметров, вероятностно-физическая модель, вероятность необнаружения события, вероятность ложной тревоги.

Введение

Характерной особенностью современного уровня развития авиационного оборудования (АО) является разработка и широкое внедрение высоконадежных информационных систем, выполняющих функции сбора и обработки информации о техническом состоянии функциональных систем воздушных судов (ВС).

К числу информационных систем АО, существенно влияющих на безопасность полетов и эффективность процесса полета, относятся системы сигнализации и пожаротушения (ССП) для своевременного обнаружения пожара и предоставления экипажу достоверной информации.

Для того чтобы разрешить проблему обеспечения надежности информационных систем для повышения достоверности информации о процессе полета и техническом состоянии АО ВС, необходим ряд мероприятий, которые могут рассматриваться как обоснованное введение в структуры таких систем резервирования: структурное, временное, функциональное, эргономическое, алгоритмическое и информационное.

Настоящее исследование посвящено аналитическому обоснованию процессов образования информационных потоков ССП ВС на основе разработанных моделей вероятностных оценок правильного обнаружения, ложной тревоги и необнаружения контролируемого явления.

Анализ литературных источников и постановка проблемы

Анализ структур информационно-управляющих систем (ИУС) воздушных судов показывает, что их эффективность зависит от достоверности информации, на основе которой принимаются решения. Поэтому необходимы соответствующие меры по повышению достоверности информации в ИУС ВС.

Решение проблемы проверки достоверности данных во время передачи и обработки в системах управления технологическими процессами предлагается в работе [1], где рассмотрены принципы и методы использования данных статистической избыточности. При этом вопросы получения достоверной информации оператором в процессе принятия решения не рассматривались. Схема мониторинга надежности для активных отказоустойчивых систем управления с использованием метода стохастического моделирования рассматривается в [2], где вопросы надежности технических систем решаются с точки зрения мониторинга без учета задачи поддержки принятия решения и предоставления экипажу достоверной информации.

Компоненты сбоя, которые могут привести к деградации всей производственной системы, исследуются в [3], где строится вероятностная модель на основе распределения Эрланга, а интенсивность отказов элементов подчинена экспоненциальному закону. При этом не проводится оценка достоверности получаемой информации.

© А. АЛЬ-АММОРИ, А.Н. ДМИТРИЧЕНКО, Х.А. АЛЬ-АММОРИ, 2019

Оценка безопасного времени обнаружения пожара, необходимого для начала проведения процедур пожаротушения, на основе метода оценки времени обнаружения пожара датчиками температуры, скорости повышения температуры, рассеивающих свет датчиков дыма приведена в работе [4]. При этом не решается задача достоверности информации ССП.

Исследование вопросов повышения эффективности информационных систем с помощью последовательного и параллельного информационного резервирования проводится в [5, 6], где показано, что последовательное резервирование позволяет снизить вероятность ложной тревоги, а параллельное — вероятность необнаружения.

В работе [7] рассматривается физико-вероятностная модель надежности, которая учитывает как физические закономерности процессов старения, снижающих работоспособность машины, так и вероятностную природу всех явлений. Однако не описываются процессы формирования отказа как информационной составляющей работы системы в целом. Модель отказов электро-механических систем приводится в [8], где уделяется большое внимание процессам деградации элементов системы с помощью диффузионных процессов, описываемых уравнением Фоккера–Планка–Колмогорова. С помощью этого распределения формируется отказ как процесс с монотонным или немонотонным характером и определяется его пригодность к функционированию.

Несмотря на обширный список работ по надежности и достоверности информации, можно отметить, что отсутствуют работы, в которых рассматриваются вопросы снижения вероятности необнаружения и ложной тревоги в плане предоставления экипажу достоверной информации для принятия решения в усложненных, сложных и опасных полетных ситуациях. Это особо важно при локализации и обработке пожаров авиадвигателей, когда пилоту необходимо принимать решение об отключении двигателя и совершении экстренной посадки. При этом обнаружение пожара приводит к аварийной ситуации и, возможно, к катастрофическим последствиям, а ложная тревога системы сигнализации — к большим экономическим потерям, связанным с отключением работающего двигателя и совершением экстренной посадки и т.д., что может привести к аварии ВС. Поэтому возникает необходимость исследования новых способов формирования структур сигнализации таким образом, чтобы одновременно уменьшить вероятности ложной тревоги и необнаружения отказа. Также можно отметить, что в существующих публикациях не рассматривается информационная природа отказа и не решаются вопросы предоставления экипажу достоверной информации в режиме реального времени.

Известно, что эффективность и качество функционирования ИУС существенно зависят от достоверности информации, поступающей на вход управляемых вычислительных систем от различных измерителей (так называемых источников информации), которые контролируют состояние и параметры функционирования ИУС. Реальные источники информации (ИИ) обладают конечной точностью предоставления контролируемой ими информации. При этом точность и достоверность информации определяется как конструктивными особенностями, так и технической надежностью ИИ и, как правило, не удовлетворяет или не полностью удовлетворяет требованиям точности и достоверности информации, подаваемой на входы вычислительных систем автоматизированных ИУС.

Пожар на ВС, как физическое явление, может проявляться в виде резкого изменения параметров его среды. Очевидно, что наиболее объективную информацию о моменте возникновения пожара может дать система первичных датчиков или комбинированный датчик, мгновенно реагирующий на характерные для пожара изменения параметров ВС.

Поэтому в статье рассматриваются геометрически-вероятностная модель отказа и вероятностно-математическая модель функционирования системы датчиков информации о пожаре на воздушных судах и их применение для формирования информационных потоков таким образом, чтобы обеспечить повышение достоверности принятия решений в опасных полетных ситуациях. Использование этих моделей позволит снизить влияние физических недостатков отдельных источников информации на качество функционирования систем сигнализации о пожаре на воздушных судах.

Основная часть

Предположим, что система первичной обработки информации образована n датчиками. Обозначим каждое из проявлений пожара V_i . Тогда принцип работы реального датчика, регистрирующего изменение i -го проявления пожара V_i , можно записать с помощью диаграммы, представленной на рис. 1.

Принцип работы реального источника информации представлен графически на рис. 1, где с помощью кривых $\alpha(t)$, $\beta(t)$, $\gamma(t)$ и $\sigma(t)$ показаны возможные изменения одного из параметров V_i контролируемого процесса (температуры, давления, вибрации, химического состава или других параметров) в зависимости от времени t [9, 10].

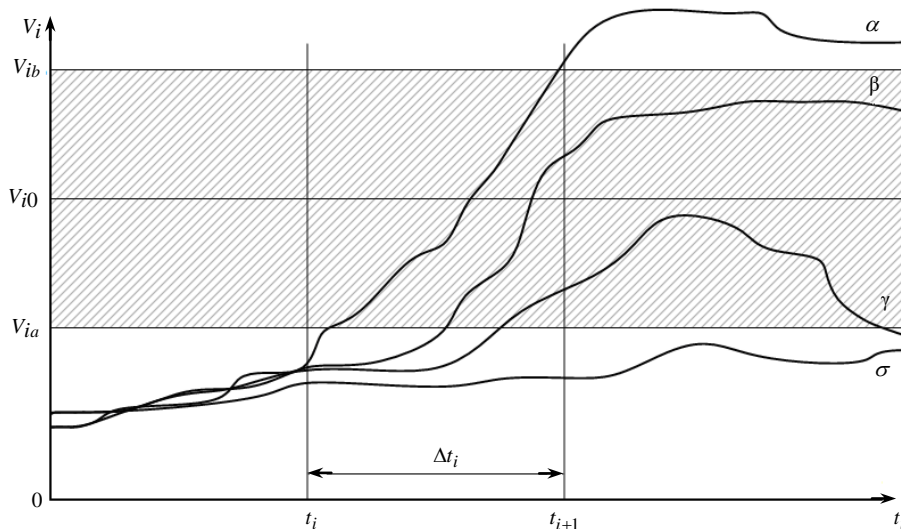


Рис. 1

На временном интервале Δt_i производится контроль параметра $V_i(t)$. Идеальный ИИ V_i срабатывает мгновенно и с высокой степенью достоверности при его превышении порога срабатывания V_{i0} . Причем ИИ сработает при реализациях $\alpha(t)$ и $\beta(t)$ функции $V_i = f(t)$ и не среагирует на реализации $\gamma(t)$ и $\sigma(t)$.

Реальный ИИ вместо идеального порога имеет реальную область срабатывания $S = V_{ib} - V_{ia}$, т.е. реальный ИИ может сработать и на реализацию $\gamma(t)$, когда функция $V_i = f(t)$ не достигла идеального порога V_{i0} контролируемого значения параметра, и это приведет к ошибке первого рода (ложная тревога). Реальный ИИ может также не сработать при реализации $\beta(t)$ функции $V_i(t)$ на временном интервале $\Delta t_i = [t_i, t_{i+1}]$. При этом ИИ покажет отсутствие сигнала о контролируемом явлении, когда в действительности оно существует, т.е. появится ошибка второго рода (необнаружение контролируемого события).

Для реализации α изменения V_i на интервале Δt реальный датчик сработает правильно и зафиксирует пожар, который в действительности и проявился. Для реализации σ изменения проявления V_i на интервале Δt реальный датчик не сработает и зафиксирует факт отсутствия пожара, которого в действительности и не было. Таким образом, только для реализации α и σ изменения проявления V_i реальный датчик выдает достоверную информацию о наличии либо отсутствии пожара на интервал времени.

Кроме того, надо учесть, что сами кривые функции проявлений пожара являются случайными функциями времени. Следовательно, информация от реального датчика всегда поступает с определенной степенью достоверности, которую можно охарактеризовать тремя вероятностными состояниями: a — вероятность правильного обнаружения события, состоящего в наличии либо отсутствии пожара или опасных полетных ситуаций (ОПС); b — вероятность ложной тревоги; d — вероятность необнаружения пожара.

Для повышения достоверности передаваемых сообщений одним из основных методов обеспечения требуемых надежностных характеристик систем сигнализации о пожаре является введение информационного резервирования. Поскольку существуют различные способы информационного резервирования, для сравнения резервированных систем сигнализации о пожаре в качестве основного критерия обычно принимается достоверность обнаружения событий, представляющая собой сумму вероятности обнаружения системой пожара, когда пожар имеет место в действительности, и вероятности необнаружения его, когда пожара нет. Однако статистика летной и технической эксплуатации систем сигнализации о пожаре [11] свидетельствует о значительном удельном объеме среди всех функциональных отказов таких систем, так называемых ложных тревог. По статистическим данным шесть из восьми зарегистрированных срабатываний сигнализации о пожаре оказались ложными [12]. Причиной ложных срабатываний, как и ранее, явилась недостаточная надежность исполнительных блоков и датчиков. Поэтому наряду с достоверностью обнаружения событий критерием качества системы принимается и вероятность ложной тревоги, т.е. вероятность сигнализации о пожаре, когда в действительности его нет.

Работу информационно-резервированной системы сигнализации о пожаре силовых установок ВС, состоящей из реальных датчиков, можно описать с помощью графа, представленного на рис. 2. При этом систему пожарной сигнализации можно представить как бинарный канал связи с помехами [9], когда на передающей стороне, где расположена информационно-резервированная система датчиков, может иметь место явление пожара (событие A) с вероятностью $p(A) = p$ или отсутствие такового (событие B) с вероятностью $p(B) = q = 1 - p$ [13–15].

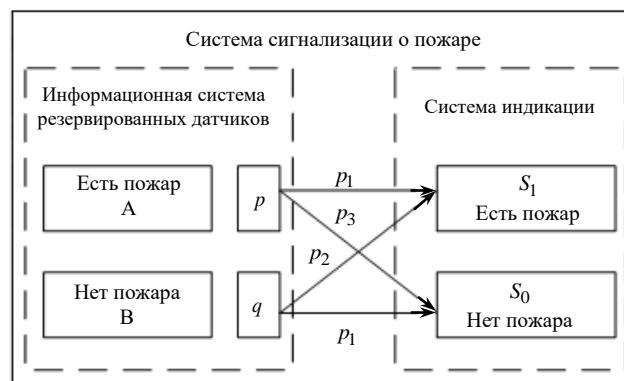


Рис. 2

Полученная с помощью системы из n датчиков информация о наличии или отсутствии пожара передается на принимающую сторону — систему индикации.

В процессе функционирования системы пожарной сигнализации возможны следующие независимые и единственно-возможные события: система обнаруживает пожар, имеющий место в действительности (событие AS_1); система выдает сигнал о наличии пожара, которого в действительности нет (событие BS_1); система не выдает сигнала о пожаре, который в действительности имеет место (событие AS_0); система не выдает сигнала о пожаре, которого в действительности нет (событие BS_0). При этом S_1 — событие, состоящее в выдаче системой сигнала о пожаре, а S_0 — событие, состоящее в отсутствии на выходе системы сигнала о пожаре.

Указанные сложные события составляют полную группу событий, поэтому сумма вероятностей их проявления равна единице:

$$p(AS_1) + p(BS_1) + p(AS_0) + p(BS_0) = 1. \quad (1)$$

По теореме умножения вероятностей имеем

$$\left. \begin{aligned} p(AS_1) &= p(A)p(S_1/A) \\ p(BS_1) &= p(B)p(S_1/B) \\ p(AS_0) &= p(A)p(S_0/A) \\ p(BS_0) &= p(B)p(S_0/B) \end{aligned} \right\}, \quad (2)$$

где $p(S_1/A)$ — условная вероятность выдачи системой сигнала о пожаре при его наличии; $p(S_1/B)$ — условная вероятность выдачи системой сигнала о пожаре при его отсутствии; $p(S_0/A)$ — условная вероятность отсутствия сигнала о пожаре при его наличии; $p(S_0/B)$ — условная вероятность отсутствия сигнала о пожаре при его отсутствии.

Таким образом, выражения, оценивающие вероятности правильного обнаружения событий p_1 , необнаружения пожара p_2 и ложной тревоги p_3 , могут быть представлены как

$$\left. \begin{aligned} p_1 &= p(S_1/A) + p(S_0/B) \\ p_2 &= p(S_1/B) \\ p_3 &= p(S_0/A) \end{aligned} \right\}, \quad (3)$$

причем

$$p_1 + p_2 + p_3 = 1. \quad (4)$$

В системе пожарной сигнализации с резервированными датчиками вероятности p_1, p_2, p_3 функционально зависят от числа датчиков n и от их вероятностных характеристик a, b и d , т.е.

$$\left. \begin{aligned} p_1 &= f_1(n, a, b, d) \\ p_2 &= f_2(n, a, b, d) \\ p_3 &= f_3(n, a, b, d) \end{aligned} \right\}. \quad (5)$$

На рис. 3 изображена область действия ИИ, определяемая площадью прямоугольника $OABC$. Через функцию $y(t)$ обозначается функция изменения во вре-

мени признака контролируемого явления. Иначе говоря, функция $y(t)$ — это физическое проявление параметра контролируемого процесса в зависимости от времени. Линия AB определяет то значение функции $y(t)$, при котором ИИ надежно срабатывает с вероятностью 1 [15].

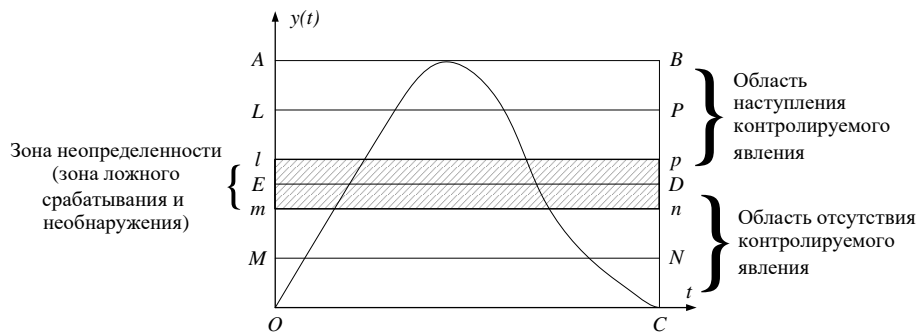


Рис. 3

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

Реально существует зона $lpnm$, определяющая вероятность ложных срабатываний ИИ или необнаружения им контролируемого явления, которое может иметь место. Величина этой зоны неопределенности оценивается факторами A и B .

Фактор A определяется гистерезисным свойством срабатывания ИИ, 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 уровня, определяемого линией mn . В отличие от реального ИИ, идеальный выдаст сигнал о том, что контролируемого явления нет, когда функция $y(t)$ уменьшится до уровня, меньшего уровня, определяемого линией ED . Таким образом, реальный ИИ срабатывает с определенной степенью «запаздывания». Можно показать, что зона $ElpD$ соответствует вероятности несрабатывания ИИ при наличии контролируемого явления, как это показано на рис. 4.

Вероятность определяется соотношением

$$d_a = \frac{k_a}{n_a}, \quad (6)$$

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

$$b_a = \frac{m_a - k_a}{n_a}, \quad (7)$$

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

$$a_a = \frac{n_a - m_a}{n_a}. \quad (8)$$

Причем величина $n_a - m_a$ представляет число случаев превышения функцией $y(t)$ линии lp .

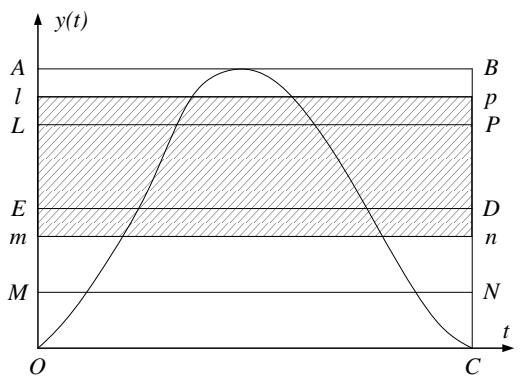


Рис. 4

На основании формул (6)–(8) можно показать, что $a_a + b_a + d_a = 1$.

Очевидно, что можно регулировать датчик и изменять характер его гистерезисной зоны срабатывания, т.е. менять его чувствительность. При этом будет меняться соотношение между вероятностями b_a и d_a . Для более чувствительного датчика вероятность b_a ложных срабатываний будет больше вероятности d_a

необнаружения, а соотношение $d_a > b_a$ будет иметь место для менее чувствительных датчиков.

Таким образом, фактор А учитывает тот вариант, когда функция $y(t)$ детерминирована, а ИИИ имеет явно выраженную гистерезисную характеристику срабатывания и отпускания (рис. 5).

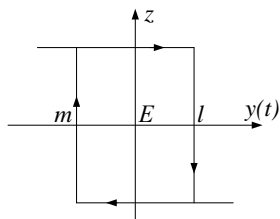


Рис. 5

Фактор В предполагает, что функция $y(t)$ случайная, а ИИИ идеальный, т.е. нет явно выраженного характера гистерезисного срабатывания и отпускания. Срабатывание и отпускание в ИИ происходит на уровне ED . В этом случае зона $ELBD$ 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 $LABP$. При влиянии фактора В снижение вероятностей b_b и d_b зависит не от качества ИИИ, а от их количества n_b . Очевидно, чем больше число n_b ИИИ, тем выше достоверность информации, оцениваемая вероятностями a_b , b_b и d_b .

В реальности оба фактора А и В взаимно накладываются и оказывают совместное влияние на вероятности b (ложной тревоги) и d (необнаружения пожара). На основе теоремы сложения вероятностей [13–15] с учетом вероятности появления хотя бы одного из двух совместных событий для вероятностей b и d получим выражения

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

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

Геометрическое представление вероятностей a , b и d иллюстрирует рис. 6.

Будем считать, что ИИ представляет собой симметричный канал передачи информации, т.е. вероятность правильного обнаружения наличия и отсутствия контролируемого явления равна a . На рис. 6 эти обе вероятности соответствуют площадям фигур $ABPL$ и $OMNC$, т.е. вероятность a можно определить геометрически: $a = \frac{S_{ABPL}}{S_{MABN}} = \frac{S_{OMNC}}{S_{OLPC}}$.

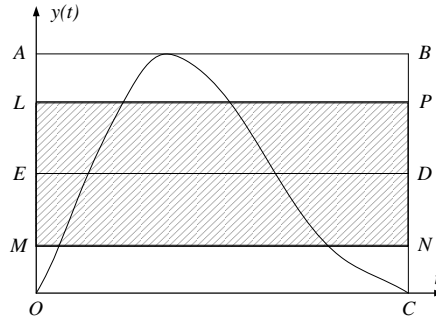


Рис. 6

Вероятности b и d определяются отношением площадей фигур

$$b = \frac{S_{LPDE}}{S_{MABN}}, \quad d = \frac{S_{MEDN}}{S_{MABN}},$$

где S_{ABPL} , S_{MABN} , S_{OMNC} , S_{OLPC} , S_{LPDE} , S_{MABN} , S_{MEDN} , S_{MABN} — площади соответствующих прямоугольников, изображенных на рис. 6.

Геометрическими соотношениями можно представить и вероятности правильного обнаружения p_1 , необнаружения p_2 и ложной тревоги p_3 системы из n ИИ. Соответственно, на рис. 6 площадь фигуры $MLPN$ уменьшается, а площадь фигуры $LAPB$ увеличивается. Вместе с тем вероятность ложной тревоги увеличивается за счет уменьшения вероятности необнаружения p_2 . На рис. 6 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 равными и уменьшались в равной степени с увеличением числа n , можно загроублять резервированные ИИ, поднимая 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 подъема порога срабатывания для каждого ИИ определим с учетом следующего.

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

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

Введем 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

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

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

$$b = (\sqrt[n]{2} - 1)d, \quad (9)$$

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

В соответствии с выражением (9) 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 $b + d = 1 - a$, можно записать

$$(\sqrt[n]{2} - 1)d + d = 1 - a,$$

откуда можно определить

$$d = (1 - a) / \sqrt[n]{2}, \quad (10)$$

$$b = (1 - a)(\sqrt[n]{2} - 1) / \sqrt[n]{2}. \quad (11)$$

Выражения (10) и (11) показывают, 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 $p_2 = p_3$.

Из выражений (10) и (11) можно получить графические зависимости для вероятностей ложной тревоги (рис. 7) и необнаружения (рис. 8).

Из рис. 7 и 8 видно, что с улучшением качества датчиков уменьшаются вероятности необнаружения и ложной тревоги, но вероятность необнаружения уменьшается резко, а вероятность ложной тревоги достигает уровня допуска датчика и его качества.

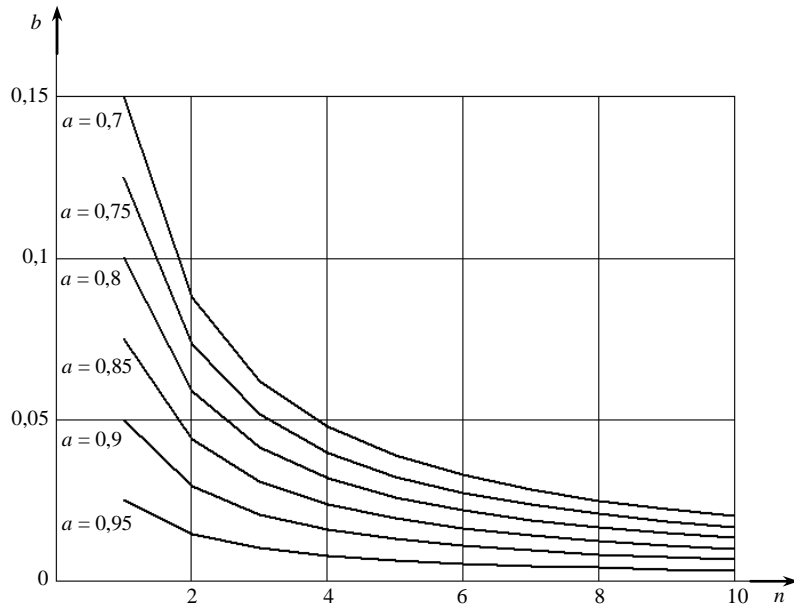


Рис. 7

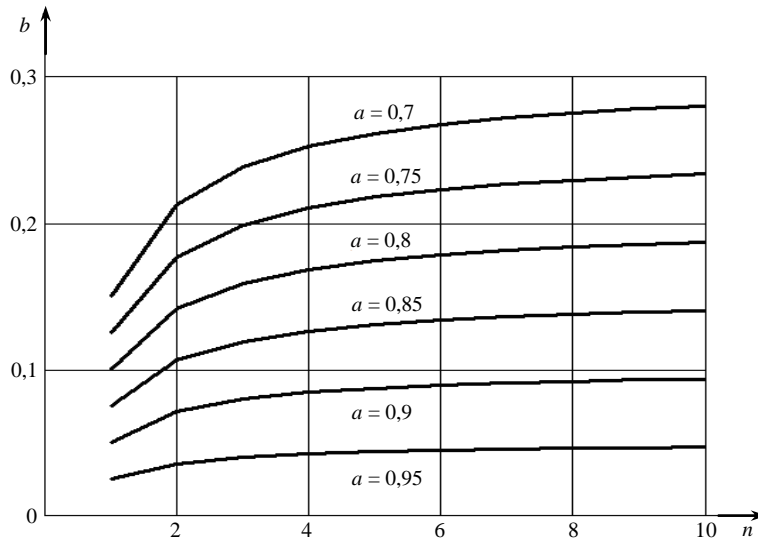


Рис. 8

Если же ИИ такой, что $b = d$, то с увеличением числа n источников информации в системе вероятность p_3 ложной тревоги будет увеличиваться так, что соотношение между вероятностями p_2 и p_3 будет определяться формулой

$$\frac{p_2(n)}{p_3(n)} = 2^n - 1. \quad (12)$$

Последнее соотношение получаем из выражений (10) и (11).

Как видно из (12), с увеличением n вероятность ложной тревоги существенно возрастает по сравнению с вероятностью $p_2(n)$ необнаружения.

Если соблюдается условие $b = d$, то при больших n из выражений (9) и (10) нетрудно найти соотношение

$$\frac{p_1(n)}{p_3(n)} \approx \frac{1}{(1-a)^n} - 1. \quad (13)$$

При соблюдении условий (10) и (11) с учетом большого n и малого d можно записать

$$\frac{p_1(n)}{p_3(n)} \approx \frac{1}{((\sqrt[4]{2}-1)d+d)^n} - 1. \quad (14)$$

Анализ формул (13) и (14) показывает, что при выполнении требований (10) и (11) с увеличением n вероятность $p_1(n)$ правильного сообщения растет быстрее (рис. 9) по сравнению с вероятностью $p_3(n)$, чем при условии $b = d$.

$$M(n) = \frac{(1-a)^n}{((\sqrt[4]{2}-1)d+d)^n}. \quad (15)$$

Здесь $M(n)$ — коэффициент роста вероятности $p_1(n)$ по сравнению с $p_3(n)$ в зависимости от n при выполнении условий (9) и (10).

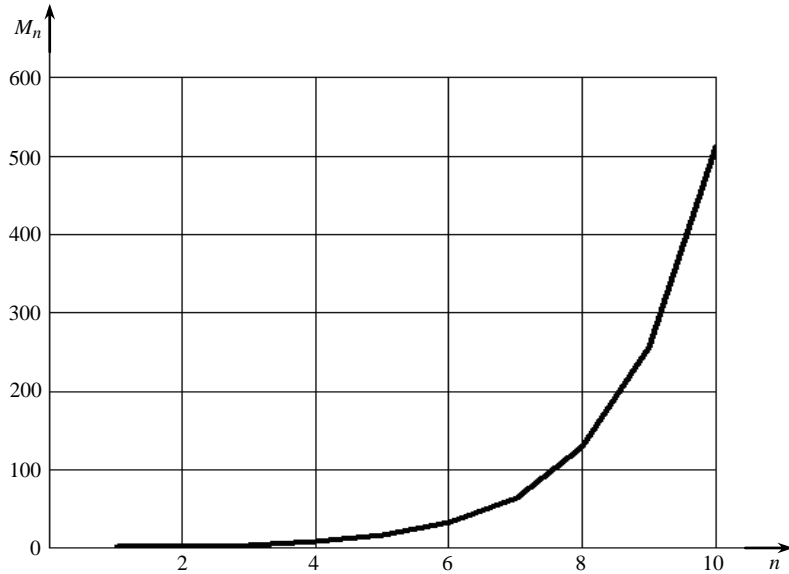


Рис. 9

Таким образом, иногда в конкретных условиях имеет смысл загрублять чувствительность ИИ, повышая их порог срабатывания, с тем чтобы выполнялись требования (10) и (11). При этом вероятность $p_2(n)$ необнаружения будет несколько увеличена, однако, как показывает анализ соотношений (14), (15), с увеличением количества датчиков n [6] этот недостаток можно компенсировать.

Заключение

Сформулированы понятия отказа функциональной системы как случайного отвлеченного события для авиационного оборудования и ВС в целом и увязки его с требованием норм технической документации по производству полетов в ожидаемых и экстремальных условиях эксплуатации.

Разработана геометрически-вероятностная модель отказа, которая позволяет выделить зоны неопределенностей для анализа ошибок контроля ситуации с пожаром на воздушном судне как необнаружения и ложного срабатывания.

Предложена вероятностно-математическая модель функционирования системы датчиков информации, применение которой позволяет существенно уменьшить отрицательные влияния физических недостатков отдельных источников информации на качество функционирования систем сигнализации о пожаре на воздушных судах.

ЙМОВІРНІСНО-МАТЕМАТИЧНІ МОДЕЛІ УТВОРЕННЯ ІНФОРМАЦІЙНИХ ПОТОКІВ У СИСТЕМІ СИГНАЛІЗАЦІЇ ПРО ПОЖЕЖУ НА ПОВІТРЯНИХ СУДНАХ

Вирішується актуальне завдання в авіаційній практиці, яке полягає в наданні екіпажу повітряного судна достовірної інформації від первинних джерел інформації (датчиків контрольованих параметрів) в нормальних і особливих польотних ситуаціях. Для вирішення цього завдання розроблено ймовірнісно-фізичну модель процесів утворення інформаційних потоків систем сигналізації про пожежу повітряних суден. Показано геометричні ймовірнісні характеристики: ймовірності правильного виявлення пожежі, невиявлення пожежі та помилкової тривоги. Математично доведено умови, які забезпечують одночасно рівний ступінь зниження ймовірностей невиявлення і помилкової тривоги, тобто щоб вони одночасно були рівними і мінімальними. Запропоновано розглянути систему пожежогасіння за допомогою структурної схеми графу стану інформаційно-резервованої системи. Проведено аналіз формування та утворення потоків контролю в системі сигналізації про пожежу та доведено, що системні ймовірності формують повну групу подій, яку в подальшому можна розглядати за допомогою математичних і ймовірнісних методів аналізу для прогнозування стану системи сигналізації про пожежу. Отримано математичні формули порівняння ймовірностей невиявлення і помилкової тривоги і показано їх графічні залежності відносно до ймовірності правильного виявлення та кількості датчиків у системі. Визначено математичну залежність коефіцієнта зростання ймовірності правильного виявлення пожежі порівняно з ймовірністю помилкової тривоги з урахуванням кількості датчиків. Доведено, що зі збільшенням кількості датчиків коефіцієнт зростання збільшується за експоненційною функцією. Тому в конкретних умовах можна закругляти чутливість датчиків, підвищуючи поріг спрацьовування і при цьому зберігати умови, які забезпечують мінімальні значення ймовірностей невиявлення і помилкової тривоги систем сигналізації про пожежу.

Ключові слова: джерело інформації, датчик контрольованих параметрів, ймовірнісно-фізична модель, ймовірність невиявлення події, ймовірність помилкової тривоги.

A. Al-Ammori, A.N. Dmytrychenko, H.A. Al-Ammori

PROBABILISTIC-MATHEMATICAL MODELS FOR FORMATION OF THE INFORMATION FLOWS IN THE AIRCRAFT'S FIRE ALARM SYSTEM

The article deals with solving the urgent problem for aviation practice, which is to provide the aircraft crew with reliable information from primary sources of information (sensors of controlled parameters) in normal and special flight situations. To solve this problem a probabilistic-physical model of the processes for formation of the information flows of aircraft's fire alarm system is developed. Geometric probabilistic characteristics are shown: the probabilities of correct fire detection, non-detection and false alarm. Mathematically proved conditions ensuring simultaneously equal degree of reducing the probabilities of non-detection and false alarm, i.e. when they are to be simultaneously equal and minimal. It is proposed to consider the fire extinguishing system using the structural diagram of the state graph of the information-reserve system. The analysis of the formation and creation of the control

flows in the fire alarm system has been carried out and it has been proved that system probabilities form a complete group of events that can be later considered using mathematical and probabilistic analysis methods to predict the state of the fire alarm system. Mathematical formulas for comparing the probabilities of non-detection and false alarms are obtained and their graphical dependencies with respect to the probability of correct detection and the number of sensors in the system are shown. The mathematical dependence of the coefficient growth of the probability of a correct fire detection compared with the probability of a false alarm, taking into account the number of sensors is obtained. It is proved that with an increase in the number of sensors, the coefficient of growth increases in exponential function. Therefore, in specific conditions, it makes sense to decrease the sensitivity of the sensors, raising the response threshold, while maintaining the conditions for ensuring the minimum values of the probabilities of non-detection and false alarm of fire alarm systems.

Keywords: information source, sensor of controlled parameters, probabilistic-physical model, probability of non-detection the event, probability of false alarm.

1. Zaripova G. Increase of information transfer authenticity for non-stationary processes on the basis of neurofuzzy data processing system. *Applied Technologies and Innovations*. 2013. N 9 (1). P. 1–11.
2. Hongbin L., Qing Zh., Zhenyu Y. Reliability monitoring of fault tolerant control systems with demonstration on an aircraft model. *Journal of Control Science and Engineering*. 2008. N 2008. P. 1–10.
3. Gökhan G., Mehmet G. Erlang strength model for exponential effects. *Open Physics*. 2015. N 13 (1). P. 395–399.
4. LI Qiang. Estimation of fire detection time. *Procedia Engineering*. 2011. N11. P. 233–241.
5. Al-Ammouri Ali, 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. N 2.9(86). P. 4–10.
6. Al-Ammouri Ali, Klochan A., Al-Ammori H., Degtiarova A. Logic-mathematical model for recognition the dangerous flight events. Data stream mining & processing (DSMP): *Proceedings of IEEE Second International Conference*. August 21–25, 2018. Lviv, Ukraine. Kyiv. 2018. P. 468–472.
7. Пориников А.С. Параметрическая надежность машин. М. : Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2002. 560 с.
8. Стрельников В.П., Федухин А.В. Оценка и прогнозирование надежности электронных элементов и систем. К. : Логос, 2002. 486 с.
9. Темников Ф.Е., Афонин В.А., Дмитриев В.И. Теоретические основы информационной техники. М. : «Энергия», 1971. 410 с.
10. Левин Б.Р. Теоретические основы статической радиотехники. М. : Радио и связь, 1989. 656 с.
11. Лужецкий В.К. Противопожарная защита самолетов гражданской авиации. М. : Транспорт, 1987. 144 с.
12. Козырев С. А. Тенденции развития мониторинга бортовых подсистем воздушных судов. *Ученые записки УлГУ. Сер. Математика и информационные технологии. УлГУ. Электрон. журн*. 2017. № 1. С. 34–41.
13. Абезгауз Т.Т., Тронь А.П., Копенкин Ю.Н., Коровина И.А. Справочник по вероятностным расчетам. М. : Воениздат, 1989. 656 с.
14. Гнеденко Б.В. Курс теории вероятностей. Учебник: изд.8-е испр. и доп. М. : Едиториал УРСС, 2005. 448 с.
15. Вентцель Е.С., Овчаров Л.А. Теория вероятностей и ее инженерные приложения. М. : Наука, 1988. 480 с.

Получено 05.03.2019