



УДК 351.814.2
ГРНТИ 73.37.17

ПРИМЕНЕНИЕ НОРМАТИВНО-ЭКВИВАЛЕНТНОГО МЕТОДА ПРИ ОЦЕНКЕ ОБЕСПЕЧЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ АВИАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ СРЕДСТВАМИ ЕЕ ПОДСИСТЕМ

*В.И. ЗОЛОТЫХ, кандидат военных наук, доцент
ВУНЦ ВВС «ВВА имени профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина» (г. Воронеж)*

В статье обоснован нормативно-эквивалентный метод, реализующий системно-информационный подход при оценке обеспечения безопасности эргатической системы. Определены критерии оценки обеспечения безопасности эргатической системы техническими компонентами ее подсистем. На примере оценки обеспечения безопасности авиационной системы средствами аэродрома показаны возможности применения нормативно-эквивалентного метода при оценке защищенности авиационной системы от опасных факторов средствами ее подсистем.

Ключевые слова: эргатическая система, авиационная система, системный анализ, безопасность полетов, аэродром, информация, коэффициент эквивалентности.

APPLICATION OF THE NORMATIVE-EQUIVALENT METHOD IN ASSESSING THE SAFETY OF THE AVIATION SYSTEM BY MEANS OF ITS SUBSYSTEMS

*V.I. ZOLOTYH, Candidate of Military sciences, Associate Professor
MESCAF «N.E. Zhukovsky and Y.A. Gagarin Air Force Academy» (Voronezh)*

The article substantiates a normative-equivalent method that implements a system-information approach to assessing the safety of an ergatic system. The criteria for assessing the safety of the ergatic system by the technical components of its subsystems are determined. The possibilities of applying the normative-equivalent method in assessing the security of the aviation system from dangerous factors by means of its subsystems are shown by the example of evaluating the security of the aviation system by airfield means.

Keywords: ergatic system, aviation system, system analysis, flight safety, airfield, information, equivalence coefficient.

Введение. Концепцией [1] обоснована целесообразность применения системного подхода при обеспечении безопасности полетов (БзП), как наиболее перспективного направления решения задачи кардинального снижения аварийности в авиации Вооруженных Сил, и определена необходимость построения перспективной системы управления безопасностью полетов авиации Вооруженных Сил.

Практикой доказано: эффективно управлять можно тем, что измеримо. Поэтому возникает необходимость в количественной оценке обеспечения безопасности авиационной системы (АС). Для решения этой задачи на кафедре безопасности полетов ВУНЦ ВВС «ВВА» проводится научное исследование методологических основ обеспечения безопасности эргатической системы с целью разработки и обоснования новых подходов и методов, позволяющих в своей совокупности количественно оценивать защищенность любой системы «человек-машина» от угроз ее безаварийного функционирования по предназначению.



В этой связи, целью статьи является ознакомление авиационных специалистов с разработанным инструментом оценки обеспечения технической безопасности эргатической системы, названным «нормативно-эквивалентным методом», а также демонстрация его возможностей для оценки элементов АС в аспекте обеспечения БзП.

Актуальность. Одной из основных форм реализации системного подхода является системный анализ, основное содержание которого – определение внутренних связей системы с целью выявления ее свойств, определяющих поведение системы [2].

Системы, состоящие только из технических устройств, которые длительное время могут самостоятельно функционировать без участия человека, называют техническими.

Сложные системы, элементами которых являются технические системы и люди, управляющие этими системами, называются эргатическими. Основная функция человека в эргатической системе (ЭС) – управление.

Одна из важнейших функций ЭС – защита системы от помех и разрушений [3]. Эта функция реализуется в результате обеспечения безопасности ЭС, под которой понимается защищенность системы от опасных факторов, позволяющая обеспечить целостность системы в процессе ее функционирования по предназначению [4].

В работе [5] обосновано, что эффективность управления обеспечением безопасности ЭС напрямую зависит от количества достоверно известной и учтенной информации о текущем состоянии системы, т.е. чем больше учтено в настоящий момент достоверной информации о состоянии системы, тем более высокая эффективность может быть достигнута при управлении обеспечением ее безопасности.

При обеспечении безопасности ЭС необходимо учитывать ее главную особенность – наличие человеческих и технических компонентов, оказывающих влияние на защищенность системы в целом. Очевидно, что оценка их, в аспекте обеспечения безопасности, потребует применения разных подходов.

При оценке обеспечения безопасности ЭС в отношении человеческих компонентов необходимо в первую очередь рассматривать негативные проявления личностного фактора каждого человека-оператора, взаимодействующего с техническими устройствами ЭС, как источники потенциальных угроз безаварийному функционированию системы. Системный учет таких проявлений требует применения лично-ориентированного подхода к оценке защищенности системы «человек-машина», для реализации которого разработан инструмент оценки, названный в работах [4, 6] «Метод формализации личностного фактора в эргатической системе».

В настоящей статье речь пойдет о численной оценке технических компонентов ЭС в аспекте обеспечения ее безопасности.

Методология исследования. Одним из критериев оценки обеспечения технической безопасности ЭС является соответствие существующих на момент оценки значений параметров и характеристик системы требованиям приказов, наставлений, инструкций и т.п. (нормативным или руководящим документам).

В соответствии с одной из основных закономерностей системы, свойства целого зависят от свойств составляющих его элементов, и изменение свойств одного или нескольких элементов приведет к изменению свойств целого. Поэтому для успешного решения задачи оценки защищенности системы от угроз безопасности (опасных факторов) потребуется «расчленив» систему до неделимого элемента.

На этапе численной оценки состояния каждого элемента системы возникает необходимость применения информационного подхода, в соответствии с которым анализируются прежде всего информационные аспекты, влияющие на поведение исследуемых объектов. За счет этого, такой подход позволяет глубже и быстрее понять основные закономерности изучаемых процессов.



Сочетание информационного и системного подходов при оценке защищенности системы является самостоятельным направлением методологии научного познания – *системно-информационным подходом*.

Суть системно-информационного подхода к оценке защищенности технической системы заключается в сравнении текущих значений параметров исследуемого элемента системы с требуемыми. В результате определяется соответствие этих параметров заданному руководящими документами диапазону. Исследователю остается формализовать это соответствие или несоответствие, задав ему численную величину.

Для реализации системно-информационного подхода, в целях численной оценки обеспечения безопасности ЭС ее техническими компонентами, разработан метод, позволяющий количественно оценить любой элемент технического компонента эргатической системы в аспекте обеспечения ее безопасности. Рассмотрим более подробно основные этапы данного метода.

Необходимым условием обеспечения безопасного функционирования по назначению технической системы является полное и своевременное выполнение требований нормативных документов, регламентирующих порядок подготовки, контроля, устранения неисправностей, хранения, проверки, ремонта и т.п. (далее нормативных документов) каждого технического элемента системы.

Основными критериями оценки обеспечения безопасности ЭС техническими компонентами ее подсистем являются:

- а) законность эксплуатации системы;
- б) соответствие значений параметров элементов системы диапазону, определенному соответствующим нормативным документом.

Законность эксплуатации системы ($Z_{ЭС}$) определяется объемом выполнения процедур, определенных нормативными документами обязательными для безопасного функционирования ЭС (подготовка к эксплуатации, контроль готовности и т.п.). Назовем такую процедуру элементарным событием c . Элементарное событие может иметь два возможных значения – «да» или «нет», 1 или 0. При таком подходе $Z_{ЭС}$ может быть представлена в виде выражения (1):

$$Z_{ЭС} = c_{ЭС1} \cdot c_{ЭС2} \cdot \dots \cdot c_{ЭСi} \cdot \dots \cdot c_{ЭСn} = \prod_{x=1}^n c_{ЭСx}, \quad (1)$$

где $Z_{ЭС}$ – законность функционирования ЭС; $c_{ЭСi}$ – i -тая процедура, обязательная для безопасного функционирования ЭС; n – количество процедур, обязательных для безопасного функционирования ЭС. Из выражения (1) следует, что $Z_{ЭС}$ может иметь два возможных значения – 1 или 0.

Для количественной оценки обеспечения безопасности ЭС в отношении ее технических компонентов применяется показатель, отражающий состояние обеспечения безопасности ЭС – уровень обеспечения технической безопасности ЭС ($U_{ЭСтехн}$).

В [5] обосновано, что получение максимального количества достоверной информации о состоянии каждого элемента системы позволяет повысить эффективность управления состоянием всей системы. Таким образом, возникает необходимость «разделения» системы до условно неделимого элемента. Назовем его простым элементом.

В идеальном варианте, когда параметры простых элементов соответствуют диапазону, определенному соответствующим нормативным документом, значение уровня обеспечения безопасности ЭС будет определяться значением законности ее эксплуатации (2)

$$U_{ЭСтехн} = Z_{ЭС}. \quad (2)$$

В этом случае (при условии $Z_{ЭС} = 1$) достигается максимальное значение $U_{ЭСтехн}$.



Если, в силу препятствий непреодолимой трудности, не удастся достигнуть соответствия параметров одного или нескольких простых элементов требованиям нормативных документов, значение $U_{ЭСтехн}$ будет отличаться от значения $Z_{ЭС}$. В этом случае, как правило, применяются меры, направленные на компенсацию опасных факторов, отраженных существующим несоответствием, и достижение уровня обеспечения безопасности системы эквивалентного максимальному. Формула уровня обеспечения технической безопасности ЭС примет вид (3)

$$U_{ЭСтехн} = K_{эке} \cdot Z_{ЭС}, \quad (3)$$

где $K_{эке}$ – коэффициент эквивалентности.

$K_{эке}$ можно выразить мультипликативной сверткой ряда коэффициентов соответствия параметров подсистем, составляющих ЭС, требованиям нормативных документов (далее коэффициент соответствия), представленной формулой (4):

$$K_{эке} = K_1 \cdot K_2 \dots \cdot K_i \dots \cdot K_n = \prod_{x=1}^n K_x, \quad (4)$$

где K_i – коэффициент соответствия i -той подсистемы ЭС; n – количество подсистем, составляющих ЭС.

Величины коэффициентов соответствия могут изменяться от 1 до 0 в зависимости от соответствия параметров простых элементов требованиям нормативных документов. Это соответствие возможно численно оценивать в результате применения показателей соответствия (e). Если параметры оцениваемого простого элемента соответствуют требованиям и нормам, определенным соответствующим нормативным документом, $e=1$. При несоответствии параметров оцениваемого простого элемента требованиям нормативного документа e изменяется от 1 до 0, в зависимости от степени выявленного несоответствия.

Выражение (5) позволяет рассчитать значение коэффициента соответствия

$$K_i = e_{i1} \cdot e_{i2} \dots \cdot e_{ij} \dots \cdot e_{in} = \prod_{x=1}^n e_{ix}, \quad (5)$$

где K_i – коэффициент соответствия i -той подсистемы ЭС; e_{ij} – показатель соответствия j -того простого элемента i -той подсистемы ЭС; n – количество простых элементов в i -той подсистеме ЭС.

Для определения численного значения показателя e в зависимости от степени соответствия параметра оцениваемого простого элемента требованиям, заданным соответствующим нормативным документом, целесообразно применять методы экспертных оценок (метод опроса, метод порядкового шкалирования или балльных оценок).

Состояние обеспечения безопасности ЭС в зависимости от полученного значения $U_{ЭСтехн}$ следует оценивать с использованием цветовой шкалы (рисунок 1).



Рисунок 1 – Цветовая шкала оценки состояния обеспечения безопасности ЭС

Оценивать состояние обеспечения безопасности ЭС следует в зависимости от величины уровня обеспечения технической безопасности системы. Необходимо распределить значения $U_{ЭСтехн}$ от 1 до 0 по шкале оценки, используя для этой цели экспертные методы (например, метод балльных оценок).



Полученный метод оценки обеспечения технической безопасности эргатической системы назван нормативно-эквивалентным методом (НЭМ). Основные этапы НЭМ показаны на рисунке 2. Разработанный метод является универсальным и позволяет разработать методику численной оценки обеспечения технической безопасности применительно к любой конкретной технической (в т.ч. эргатической) системе.

Для демонстрации возможности практического применения НЭМ, в качестве примера, рассмотрим оценку обеспечения безопасности авиационной системы тактического уровня (авиационной воинской части) средствами аэродрома.

При обеспечении безопасности, применительно к авиационной системе (АС), специалисты оперируют категорией «безопасность полетов».

АС представляет собой сложную эргатическую (человек-машина) иерархию, состоящую из нескольких подсистем и отдельных элементов (рисунок 3) [7]. В свою очередь, каждая подсистема традиционно рассматривается как совокупность сил и средств управления, непосредственного исполнения, соответствующего вида обеспечения и т.д.

Силы – это личный состав, объединенный структурно и функционально в интересах решения задач для достижения определенных целей подсистемы.

К средствам подсистемы относятся все инженерные сооружения, технические и телекоммуникационные устройства, программные продукты и т.д., предназначенные для решения задач соответствующего вида управления или обеспечения системы.

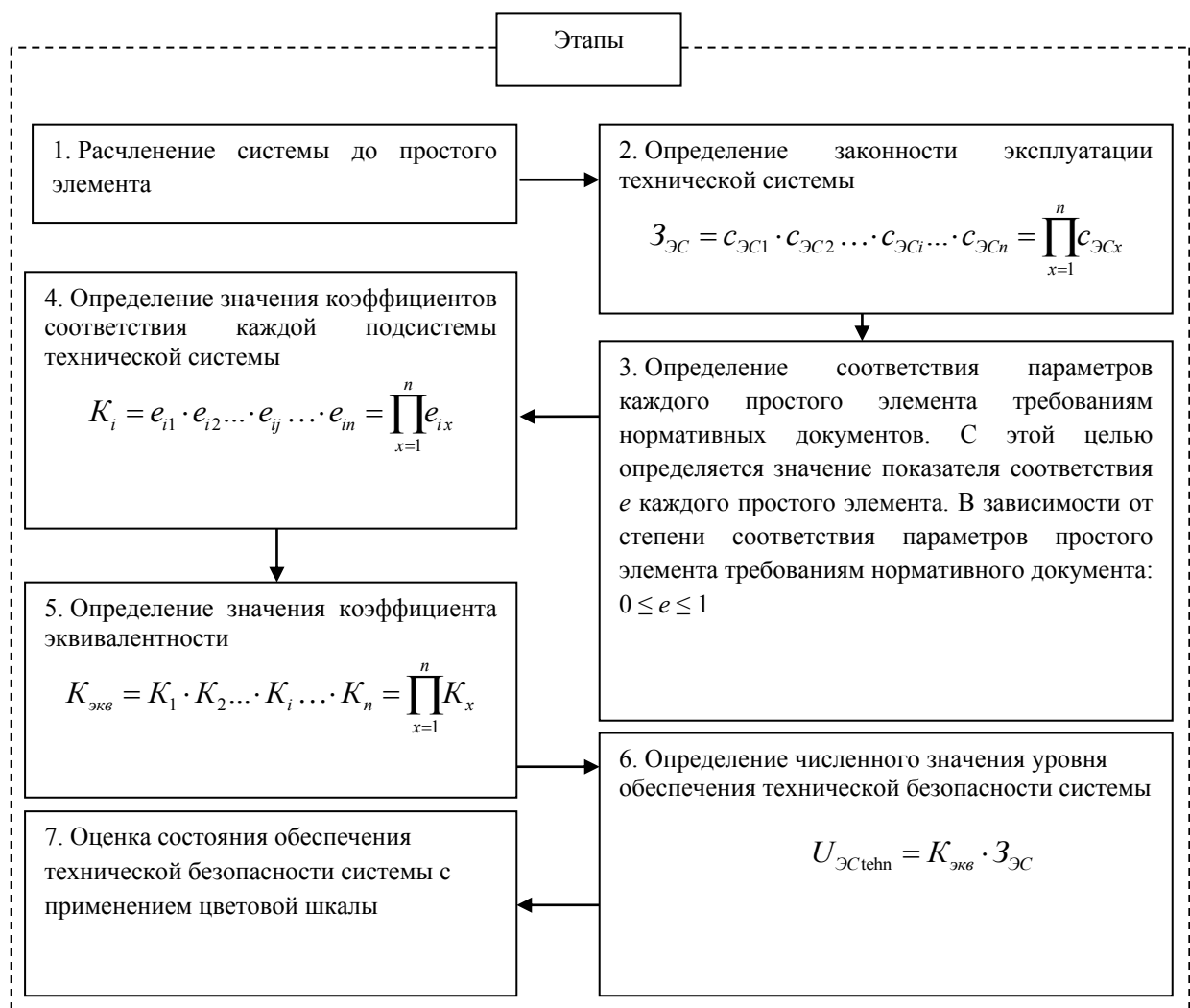


Рисунок 2 – Этапы нормативно-эквивалентного метода



Подсистема обеспечения полетов АС представляет собой сложную систему, одним из основных элементов которой является аэродром. От состояния аэродрома в значительной степени зависит состояние подсистемы обеспечения полетов, следовательно, и состояние обеспечения безопасности полетов АС в целом.

Для того чтобы количественно оценить уровень обеспечения БзП с учетом состояния аэродрома, необходимо применить НЭМ, реализующий системно-информационный подход, обоснованный выше. С этой целью применен показатель, отражающий состояние аэродрома – уровень обеспечения безопасности полетов средствами аэродрома ($U_{АЭР}$) [8].

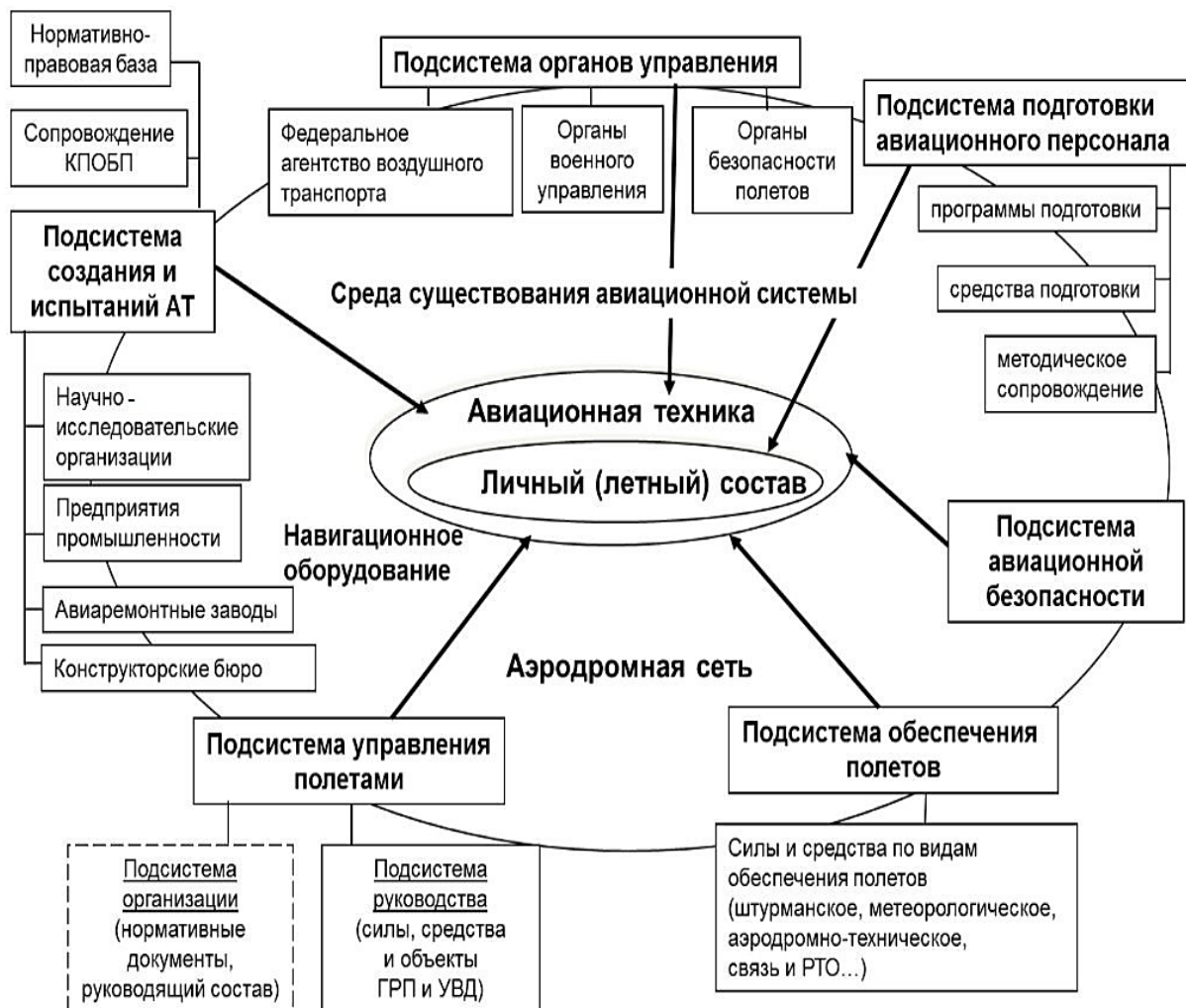


Рисунок 3 – Схема авиационной системы

Величина $U_{АЭР}$ напрямую зависит от законности эксплуатации аэродрома ($Z_{АЭР}$). Законность определяется объемом выполнения процедур, определенных нормативными документами, регламентирующими инженерно-аэродромное обеспечение, обязательными для обеспечения БзП. Для удобства назовем такую процедуру элементарным событием c . Элементарное событие может иметь два возможных значения – 1 или 0. При таком подходе $Z_{АЭР}$ может быть представлена формулой (6):

$$Z_{АЭР} = c_{АЭР1} \cdot c_{АЭР2} \cdot \dots \cdot c_{АЭРi} \cdot \dots \cdot c_{АЭРn} = \prod_{x=1}^n c_{АЭРx}, \quad (6)$$



где $Z_{АЭР}$ – законность эксплуатации аэродрома; $c_{АЭРi}$ – i -тая процедура, обязательная при инженерно-аэродромном обеспечении; n – количество необходимых процедур. Из выражения (6) следует, что $Z_{АЭР}$ может принимать два значения – 1 или 0.

Если аэродром в полной мере соответствует требованиям норм годности к эксплуатации, определенных Правилами [9] – справедливо выражение (7)

$$U_{АЭР} = Z_{АЭР} \cdot \quad (7)$$

Если аэродром, в силу объективных причин, не в полной мере соответствует требованиям норм годности к эксплуатации, применяются меры компенсационного характера для достижения эквивалентного уровня обеспечения БзП. В этом случае нужно определять коэффициент эквивалентности ($K_{эkv}$), используя формулу (8)

$$K_{эkv} = K_{ФХА} \cdot K_{МАП} \cdot K_{СРТО} \cdot K_{МетО} \cdot K_{ЭЛА} \cdot K_{ЛСО}, \quad (8)$$

где $K_{ФХА}$ – коэффициент соответствия физических характеристик аэродрома нормам годности к эксплуатации аэродромов; $K_{МАП}$ – коэффициент соответствия маркировки аэродромных покрытий и препятствий нормам годности к эксплуатации аэродромов; $K_{СРТО}$ – коэффициент соответствия оборудования аэродрома средствами радио и светотехнического обеспечения полетов, связи и управления нормам годности к эксплуатации аэродромов; $K_{МетО}$ – коэффициент соответствия метеорологического оборудования аэродрома нормам годности к эксплуатации аэродромов; $K_{ЭЛА}$ – коэффициент соответствия электроснабжения аэродрома нормам годности к эксплуатации аэродромов; $K_{ЛСО}$ – коэффициент соответствия поисково-спасательных средств аэродрома нормам годности к эксплуатации аэродромов.

Численные значения коэффициентов соответствия нормам годности к эксплуатации аэродромов (далее коэффициент соответствия) могут изменяться от 1 до 0 в зависимости от степени соответствия параметров простых элементов Правилам [9]. Это соответствие может быть формализовано в результате применения показателей соответствия (e). Если параметры оцениваемого элемента соответствуют требованиям и нормам, определенным Правилами [9], $e=1$. При несоответствии параметров оцениваемого элемента требованиям Правил [9] – e изменяется от 1 до 0, в зависимости от степени выявленного несоответствия.

Применительно к каждому из вышеперечисленных коэффициентов соответствия Правилам [9] определен свой набор оцениваемых элементов. В отношении каждого из этих элементов необходимо определять значение показателя соответствия.

Мультипликативная свертка показателей соответствия оцениваемых элементов позволит рассчитать значение коэффициента соответствия. Для $K_{ФХА}$, например, такая свертка отражена выражением (9):

$$K_{ФХА} = e_{ФХА1} \cdot e_{ФХА2} \cdot \dots \cdot e_{ФХАi} \cdot \dots \cdot e_{ФХАn} = \prod_{x=1}^n e_{ФХАx}, \quad (9)$$

где $e_{ФХА1}$ – показатель соответствия длины взлетно-посадочной полосы (ВПП); $e_{ФХА2}$ – показатель соответствия ширины ВПП; $e_{ФХАi}$ – i -ый оцениваемый показатель физических характеристик аэродрома; n – количество оцениваемых показателей физических характеристик аэродрома.

На основании формул (8) и (9) значения $K_{эkv}$ находятся в пределах от 0 до 1. Значение $K_{эkv}$, применительно к конкретному аэродрому, должна определять комиссия, производящая оценку соответствия аэродрома требованиям норм годности к эксплуатации аэродромов. В этом случае уровень обеспечения БзП средствами аэродрома определяется выражением (10)



$$U_{АЭР} = Z_{АЭР} \cdot K_{экв}. \quad (10)$$

Выводы. В результате проведенного исследования определены критерии оценки обеспечения безопасности ЭС техническими компонентами ее подсистем и обоснован нормативно-эквивалентный метод – универсальный инструмент, позволяющий разработать методику численной оценки обеспечения технической безопасности применительно к любой эргатической (человек-машина) системе. Рассмотренная, в подтверждение этому, возможность применения НЭМ при оценке обеспечения безопасности АС тактического уровня средствами аэродрома позволяет с большой долей вероятности предположить, что данный метод может быть успешно применен для численной оценки уровня обеспечения безопасности любым элементом АС из состава средств ее подсистем.

Подводя итог изложенному выше, можно констатировать, что применение НЭМ при оценке обеспечения безопасности АС позволит получить необходимое и достаточное для эффективного управления количество достоверной информации о состоянии каждого элемента АС из состава средств ее подсистем, что, в свою очередь, позволит повысить эффективность управления обеспечением безопасности всей АС.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Концепция безопасности полетов авиации Вооруженных Сил Российской Федерации. М.: СБП А ВС РФ. 2017. 19 с.
2. Чернышев В.Н., Чернышев А.В. Теория систем и системный анализ: учеб. пособие / В.Н. Чернышев, А.В. Чернышов. Тамбов: Изд-во Тамб. гос. техн. ун-та, 2008. 96 с.
3. Климов Е.А. Введение в психологию труда: учебник для вузов / Е.А. Климов. М.: Культура и спорт, ЮНИТИ, 1998. 350 с.
4. Золотых В.И. Личностно ориентированный подход при оценке обеспечения безопасности эргатической системы: Монография. Воронеж: Издательско-полиграфический центр «Научная книга», 2020. 88 с.
5. Бачкало Б.И., Ирмалиев Р.Э. Информационная теория безопасности полетов: Монография. Монино: ВУНЦ ВВС «ВВА», 2011. 98 с.
6. Бачкало Б.И., Золотых В.И. Метод формализации личностного фактора в эргатической системе // Научный вестник МГТУ ГА. 2020. № 1. С. 8–18.
7. Боевая подготовка и безопасность полетов: учебник / С.С. Шамшин. Монино: ВВА, 2011. 716 с.
8. Бачкало Б.И., Золотых В.И. Об эквивалентном уровне обеспечения безопасности полетов // Научный вестник МГТУ ГА. 2020. № 5. С. 8–18.
9. Федеральные авиационные правила «Нормы годности к эксплуатации аэродромов государственной авиации» (Приложение к Пр. МО РФ от 02.11.2006 № 455).

REFERENCES

1. Konceptsiya bezopasnosti poletov aviacii Vooruzhennyh Sil Rossijskoj Federacii. M.: SBP A VS RF. 2017. 19 p.
2. Chernyshev V.N., Chernyshev A.V. Teoriya sistem i sistemnyj analiz: ucheb. posobie / V.N. Chernyshev, A.V. Chernyshov. Tambov: Izd-vo Tamb. gos. tehn. un-ta, 2008. 96 p.
3. Klimov E.A. Vvedenie v psihologiyu truda: uchebnik dlya vuzov / E.A. Klimov. M.: Kul'tura i sport, YuNITI, 1998. 350 p.
4. Zolotyh V.I. Lichnostno orientirovannyj podhod pri ocenke obespecheniya bezopasnosti `ergaticheskoy sistemy: Monografiya. Voronezh: Izdatel'sko-poligraficheskij centr «Nauchnaya kniga», 2020. 88 p.



5. Bachkalo B.I., Irmaliev R.`E. Informacionnaya teoriya bezopasnosti poletov: Monografiya. Monino: VUNC VVS «VVA», 2011. 98 p.
6. Bachkalo B.I., Zolotyh V.I. Metod formalizacii lichnostnogo faktora v `ergaticheskoy sisteme // Nauchnyj vestnik MGTU GA. 2020. № 1. pp. 8–18.
7. Boevaya podgotovka i bezopasnost' poletov: uchebnik / S.S. Shamshin. Monino: VVA, 2011. 716 p.
8. Bachkalo B.I., Zolotyh V.I. Ob `ekvivalentnom urovne obespecheniya bezopasnosti poletov // Nauchnyj vestnik MGTU GA. 2020. № 5. pp. 8–18.
9. Federal'nye aviacionnye pravila «Normy godnosti k `ekspluatacii a`erodromov gosudarstvennoj aviacii» (Prilozhenie k Pr. MO RF ot 02.11.2006 № 455).

© Золотых В.И., 2021

Золотых Валерий Иванович, кандидат военных наук, доцент, доцент кафедры безопасности полетов, Военный учебно-научный центр Военно-воздушных сил «Военно-воздушная академия имени профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина» (г. Воронеж), Россия, 394064, г. Воронеж, ул. Старых Большевиков, 54А, zolotyk-valeri@yandex.ru.