

УДК 621.396.933(045)

В.П. Харченко, О.Н. Алексеев

Національний авіаційний університет, Київ

## ОБЩИЕ ПРИНЦИПЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ГАРАНТИРОВАННОГО ПОДДЕРЖАНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ ВЫПОЛНЕНИЯ ПРЕДСТОЯЩИХ ПОЛЕТОВ

*В статье рассмотрены актуальные вопросы обеспечения гарантированного обеспечения и поддержания уровня безопасности полетов на приемлемом уровне. Назначение методологии состоит в объединении в единый методологический комплекс задач оценки, обеспечения и верификации безопасности авиационно-транспортной системы, как сложной иерархической структуры с независимыми критическими элементами, а также аппаратных, программных, сетевых и эргатических компонент, которые являются и средством, и объектом обеспечения безопасности.*

**Ключевые слова:** безопасность полетов, опасности, угрозы, риски, приемлемый риск, управляющие решения.

### Введение

Украина входит в первые десять стран мира имеющих полный цикл создания авиационной техники. Учитывая статистику за последнее десятилетие по авиационным событиям (инциденты, аварии, катастрофы), ситуация касательно безопасного выполнения предстоящих полетов, в связи с катастрофой Малазийского Боинга над Донецком 14.06.14, и проведение антитеррористической операции на Юго-востоке Украины вопросы обеспечения гарантированного уровня безопасности полетов является наиболее актуальными [4].

Информационные технологии, являясь одним из действенных инструментов, могут создать дополнительные дефициты безопасности, которые должны быть своевременно выявлены и парированы. Схожесть природы появления рисков и возросшая актуальность их снижения до приемлемого уровня для разных критических приложений обуславливает актуальность создания методологии обеспечения и поддержания гарантированного уровня безопасности предстоящих полетов.

Назначение методологии состоит в объединении в единый методологический комплекс задач оценки, обеспечения и верификации безопасности авиационно-транспортной системы, как сложной иерархической структуры с независимыми критическими элементами, а также аппаратных, программных, сетевых и эргатических компонентов, которые являются и средством, и объектом обеспечения безопасности [1, 2]

Образовательный процесс в Национальном авиационном университете касательно управления безопасностью полетов учитывает все аспекты безопасности выполнения полетов, динамику развития международных стандартов и современные технологии создания компьютеризированных систем, проце-

дуры поддержки принятия решения, однако требуют обновления и специализации учебно-материальная база, компьютерное, сетевое и мультимедийное оборудование, программное и методическое обеспечение; методика последипломного образования, ориентирующегося на повышение технологического уровня специалистов, непосредственно работающих в области обеспечения безопасности (инспектора по расследования авиационных происшествий, инспектора по безопасности полетов, директора летной и технических служб, и.т.д.); организации предоставления образовательных и консультационных услуг для максимально широкого круга авиапредприятий в регионах.

Авиационная деятельность как сложная система является объектом системного исследования, имеет стабильную морфологию, способность к формированию поведения, самоповедение, порождающее функциональную деятельность в соответствии с целевыми функциями [3]. Описание авиационной деятельности будем выполнять в следующих направлениях:

*Функциональное направление которое делится по качественным свойствам взаимодействия с другими инфраструктурами на следующие виды:*

- пассивное функционирование, результатом которого является подготовка материального, энергетического либо информационного материала для других систем;
- обслуживание систем более высокого иерархического уровня;
- противостояние в среде, содержащей иные системы с противоположными интересами и целевыми установками;
- существование, сутью которого является целенаправленная деятельность, связанная с поглощением других систем;
- существование, направленное на преобразование других систем.

*Морфологическое направление.* содержит описание структуры системы, при этом глубина описания является параметром. Само морфологическое описание может иметь иерархический вид. На нижнем уровне иерархии описываются элементы, которые морфологическим описанием не охватываются. В свою очередь, *элементный уровень описания* детализирует структурные свойства используемых в инфраструктурах минимальных структурных единиц.

*Информационное направление* описания содержит описание способов представления, хранения, обмена и обработки информации, форматов используемых данных, используемых информационных технологий.

*Композиционное направление.* Этот уровень определяет способ объединения элементов в системы (подсистемы) инфраструктуры [5]

Реализация обеспечения гарантированного результата состоит в реализации процессов управления таким образом, чтобы не допустить переход инфраструктуры или ее систем в потенциально опасное состояние и заключается в блокировании (выключении) соответствующего технического объекта в случае угрозы перехода или при переходе в опасное (аварийное) состояние и минимизация последствий такого перехода.

При рассмотрении аспектов безопасности принят постулат, что абсолютной безопасности не существует - после принятия защитных мер некоторый остаточный риск всегда остается. Риск это сочетание вероятности события и его последствий. Необходимо отметить, что данный термин используют лишь в том случае, когда существует возможность наступления негативных последствий. Нами рассматривается риск как мера вероятности причинения ущерба безопасному функционированию системы и окружающей её среде, а также тяжести этого ущерба. «Ущерб» определяется как физическое повреждение или нанесение вреда, связанного с ухудшением состояния здоровья или жизненных функций человека, который уменьшает его способности к нормальному полноценному функционированию с точки зрения его физиологии. Ущерб может быть нанесен как прямо, так и косвенно и качественно классифицируется по уровням как катастрофический, критический, граничный, незначительный. В отдельных работах оценку ущерба предлагается выражать в денежных единицах (если это материальный ущерб) и/или количестве человеческих жертв. Кроме того, существуют другие подходы к определению понятия ущерба и оцениванию его количественных размеров. При этом наиболее целесообразным для проведения оценивания ущерба целесообразно использование методологии обеспечения гарантированного результата. В общем случае

безопасность функционирования авиационной деятельности достигается за счет уменьшения риска до некоторого допустимого уровня - допустимого риска, приемлемого в рассматриваемых обстоятельствах.

Современная теория и практика оценивания (анализа) и обеспечения гарантированного уровня (поддержания на заданном уровне) безопасности выделились в отдельную область научных исследований 20-30 лет назад, поэтому являются относительно молодыми и находятся на этапе своего развития и становления, которые включают в себя уже ранее известные методологические подходы, основанные на исследовании операций, теории игр с противоположности интересов, теории возможности [7, 8].

Авиационная деятельность постоянно и многообразно демонстрирует физические и общественные процессы, в которых интересы участников не носят антагонистический характер, хотя отнюдь и не всегда совпадают. Изучение таких процессов в основном необходимо для выработки их участниками способов принятия решений по выбору тех или иных параметров процессов, которые находятся в их распоряжении.

## Результаты исследований

Если  $i$ -й участник выбрал (по каким-то соображениям) значение параметра равным  $X_i = X_i^0$ , то его действия формально могут быть описаны как стремление к максимизации функции

$$f_i = -|x_i - x_i^0|.$$

Поэтому любое принятие решений  $i$ -м участником процесса может трактоваться (хотя бы апостериори) как целеустремленное, направленное к увеличению значения некоторой величины  $w_i$  (критерия эффективности), зависящей в общем случае от выборов всех  $n$  участников процесса, т. е.

$$w_i = f_i(x_1, \dots, x_n), \quad i = 1, \dots, n.$$

Таким образом описан процесс со многими участниками  $x_i \in X_i$ , преследующими различные интересы и ограниченными в свободе выбора.

Деятельность, рассматриваемую только с позиций одного из участников (или с позиций всех тех, у кого критерии  $f_i$ , совпадают), целесообразно называть операцией этого «участника», а его самого – оперирующей стороной [7]. Такое выделение подчеркивает один из  $n$  субъективных подходов к объективно существующей деятельности; во многих случаях этот субъективизм просто неизбежен и хорошо отражает реальное положение дел.

Пусть в операции присутствуют  $\Pi$  игроков, каждый из которых стремится увеличивать свой критерий эффек-

тивности  $w_i(x_1, \dots, x_n), i = 1, \dots, n$ . осуществляя выбор вектора  $x_i$  из некоторого множества  $X_i$ . Отметим простейшие виды связи между этими критериями.

1. **Совпадение интересов**, когда тождественно  $w_i = \phi_i(w)$ , где  $\phi_i(t)$  – монотонно растущие функции, а  $w$  – величина, одинаковая для всех участников.

2. **Противоположность интересов**, когда  $n = 2$  и

$$w_2 = \phi(-w_1), \quad (1)$$

где  $\phi(t)$  – также монотонно растущая функция.

Антагонизм соответствует случаю

$$w_2 = c - w_1.$$

3. **Ситуация полной независимости** критериев когда [6]

$$w_i = f_i(x_i), x_i \in X_i, \quad (2)$$

В общем случае связи между интересами участников, не исчерпываются отмеченными простейшими ситуациями.

Отметим ряд позиций, на основе которых базируются основные постулаты методологии обеспечения гарантированного результата.

### 3.1. Взаимодействие с внешней средой.

Во под взаимодействием с внешней средой будем понимать процесс, в котором имеется оперирующая сторона, стремящийся к увеличению критерия  $w_i = f_i(x, y)$ , где  $y$  – факторы, не выбираемые им и описывающие некоторые объективные явления, влияющие на величину  $w$ . Обычно факторы внешней среды неизвестны или несуществующие, а при выборе вектора  $x$  в расчете на наихудший случай принимаются антагонистическими по отношению к критериям оперирующей стороны. Однако более правильным моделированием поведения среды является ее описание с помощью критерия «безразличия»:

$$w_N = f_N(x, y) = \text{const}. \quad (3)$$

Во многих случаях критерии внешней среды могут считаться реально существующими, известными, не противоположными критериям оперирующей стороны и не описываемыми (3). Именно, разумно полагать, что «критерии внешней среды» состоят в выполнении тех или иных физических законов. Если эти законы даны в вариационном виде то описание внешней среды с вполне определенными критериями непосредственно дано. Если же законы внешней среды имеет вид равенства  $\phi(x, y) = 0$ , определяющего величину  $y$  при любых заданных  $x$ , то введение критерия эффективности для внешней среды  $w_N = \phi^2(x, y)$ , очевидно, вполне заменяет этот закон, если дополнительно предположить, что выбираемое оперирующей стороной значение  $x$  обязательно становится известным опе-

ратору. Именно, в этом случае стремление к увеличению  $w_N$  и приведет к условию  $\phi(x, y) = 0$ . Типичным примером такого подхода является представление дискретной задачи оптимального управления  $\phi(x, y) = 0$ ,  $\max f(x_1, \dots, x^2)$  и виде взаимодействия с критериями:

$$w_i(x_1, \dots, x_n), i = 1, \dots, n, w_N = - \sum_{i=1}^{n-1} \left[ x^{i+1} - \phi^i(x_1, \dots, x^i, u^i) \right]^2,$$

причем оператор соответствует  $u = (u^1, \dots, u^{n-1})$ , внешняя среда будет соответствовать  $x = (x^1, \dots, x^n)$ .

Аналогично, наличие ограничения  $\phi(x, y) \geq 0$ , неоднозначно описывающего выбор  $y$ , легко моделируется критерием эффективности внешней среды:

$$w_N = - \{ \min[\psi(x, y) \geq 0]. \quad (4)$$

Введение критерия эффективности типа (4) означает просто снятие связей между  $x$  и  $y$  и должно сопровождаться обязательным действием оператора по критерию  $x$ .

Не продолжая очевидных обобщений, в том числе и на случай законов дифференциального вида, и не настаивая именно на таком, как в (4), описании критерия эффективности, отметим что не всегда критерии внешней среды следует считать антагонистическими критериями оперирующей стороны; их можно описать, в частности, указанными способами.

### 3.2. Антагонистические взаимодействия с особыми ситуациями.

Рассмотрим взаимодействие с критериями

$$w_1 = f_i(x_1, x_2), w_2 = -f_i(x_1, x_2), \quad (5)$$

при наличии общих ограничений  $\phi(x_1, x_2) \geq 0$  или  $(x_1, x_2) \in P$ . Это взаимодействие с помощью естественных ограничений формально можно привести к взаимодействию с непротивоположными критериями.

$$w_1^* = \begin{cases} f(x_1, x_2), & (x_1, x_2) \in P; \\ -\infty, & (x_1, x_2) \notin P; \end{cases}$$

$$w_2^* = \begin{cases} -f(x_1, x_2), & (x_1, x_2) \in P; \\ -\infty, & (x_1, x_2) \notin P. \end{cases}$$

3.3. **Задача парирования опасных факторов** [1, 2]. Довольно типичным примером антагонистического взаимодействия является взаимодействие:

$$\sum_{j=1}^k X^j - a, \sum_{j=1}^k y^j = b, w_1 = - \sum_{j=1}^k \lambda^j \max[x^j - p^j y^j; 0] = -w_2.$$

И если данное выражение показывает наличие факторов опасности, то для защиты критерий эффективности может быть равным:

$$w_2 = -\sum_{j=1}^k u^j \max[x^i - p^j y^j; 0] = -w_2, \text{ приче } \phi_1 \neq \lambda_i.$$

3.4. Конкурентное взаимодействие выглядит следующим образом [6, 8]:

$$w_1 = \begin{cases} (p-a)x, & p < q; \\ \min[C - px, qy] - ax, & p \geq q; \end{cases}$$

$$w_2 = \begin{cases} (q-a)x, & q < p; \\ \min[C - px, qy] - ay, & q \geq p. \end{cases}$$

Здесь  $a$  и  $y$  – объемы продукции, выпускаемой конкурентами,  $a$  и  $p$  и  $y$  – назначаемые им цены,  $C$  – общее количество денег у покупателей,  $a$  – себестоимость продукции. Установлен максимально возможный объем продукции обоих конкурентов  $K$  и максимальные цены  $b$ , так что

$$0 \leq c \leq K, 0 \leq y \leq k, 0 \leq p \leq b, 0 \leq q \leq b. \quad (6)$$

Кроме того, конечно, выполняются ограничения  $px \leq C, qy \leq C$ .

Данное взаимодействие легко обобщается на любое число операторов (авиакомпаний).

Пусть экономический потенциал двух операторов выражается функциями  $r_i(x_i, t), i = 1, 2$ , где  $t$  – момент времени, в который операторы интересуются потенциалом, а  $x_i$  – способы использования ресурсов (т. е. сырья, рабочей силы и т. д.). Тогда довольно естественно выразить интересы конкурирующих операторов в виде:

$$w_1 = \phi_1[r_1(x_1, t_1) - r_2(x_2, t_1)], \quad (7)$$

$$w_2 = \phi_2[r_2(x_2, t_2) - r_1(x_1, t_2)],$$

где  $\phi_1(u), \phi_2(u)$  – монотонно возрастающие функции. Очевидно, что при  $t_1 = t_2$  интересы операторов в (7) противоположны. Однако они перестают быть таковыми, если  $t_1 \neq t_2$

4. **Непротивоположность взаимодействия** как следствие применения принципа гарантированного результата. Пусть

$$w_1 = f_1(x_1, x_2, y) = -w_2, \quad (8)$$

причем либо  $y$  природный неопределенный фактор так что по 1.3  $w_N \equiv C$ , либо  $y$  выбирается третьей стороной, Тогда для каждого из них придерживается принцип гарантированного результата по отношению к  $y$ , т. е. заменить свои критерии на

$$w_1^* = \min_y f_1(x_1, x_2, y), w_2^* =$$

$$= \min_y \{-f(x_1, x_2, y)\} = -\max_y f(x_1, x_2, y),$$

Непротивоположность интересов игроков поле этого проявляется на таком примере:  $f(x_1, x_2, y) = (x_{-1}, x_2)y$ , приче  $|y| \leq 1$ . Здесь  $w_1^* = |x_1 - x_2| = w_2^*$ , т.е. критерии первого и второго операторов из антагонистических становятся совпадающими. Применение операторами в ситуа-

ции  $w_1 = f_1(x_1, x_2) = -w_2$  таким образом принципа гарантированного результата означает переход к

$$w_1^* = \min_{x_2} f_1(x_1, x_2) = \phi(x_1), w_2^* =$$

$$= \min_{x_2} \{-f(x_1, x_2)\} = \psi(x_2),$$

т. е. к ситуации типа (2).

5. **Иерархические системы** [8] Пусть имеется «центр» (авиационная администрация), управляющий деятельностью  $n$  «операторов». Для простоты примем, что операторы не зависят друг от друга, а только от центра и выбирают соответственно векторы  $x_i$  выражающие их технологическую и ассортиментную политику. Факторы, выбираемые центром, обозначим вектором  $u = \{u_1, \dots, u_n\} \in U$ , где  $U_i$  есть воздействие центра на  $i$ -го производителя (выделение ресурса, установление цен на продукцию, штрафы и поощрения и т. д.).

Если в достаточном соответствии с реальностью считать, что центр сам ничего не производит, но интересуется неким совокупным результатом производства, а производители интересуются лишь своим результатом, то в получающейся игре можно выразить критерий эффективности для центра в виде

$$w_0 = f_0(x_1, \dots, x_n), u \in U, \quad (9)$$

и для производителей

$$w_i = f_i(x_i, \dots, x_i), i = 1, \dots, n, x \in X \quad (10)$$

Существенным свойством модели иерархии (9) – (10) является то, что критерий центра не зависит от собственных стратегий; это обстоятельство, делает нерациональным использование ситуаций равновесия в этой задаче.

Важнейшая особенность иерархических систем состоит в том, что первый ход делает центр. Во многих случаях это обстоятельство дополняется и возможностью для центра следить за действиями производителей, т.е. иметь информацию о  $x_i$ .

Векторный критерий оптимизации.

Во многих задачах принятия решений присутствует одна оперирующая сторона, выбирающий вектор  $x$  из множества  $X$  и интересующийся целым набором критериев (что может быть следствием просто его нерешительности)

$$w_s = f_s(x), s = 1, \dots, S. \quad (11)$$

При этом оператору хотелось бы увеличить значения всех  $w_s$  что, как правило, невозможно. Задача (11), часто называемая задачей векторной оптимизации, легко сводится к обычному взаимодействию, но с наложенными общими ограничениями.

Как и в случае (10), здесь возникают вопросы нахождения компромиссов между составляющими векторного критерия; в данной модели это компромисс между коллективной составляющей  $w_0$  и индивидуальной  $w_i$  для каждого оператора.

## Выводы

В статье представлено общее описание взаимодействия, которое должно включать в себя наряду с критериями эффективности также и ограничения, которые положены на всех операторов с точки зрения морали или жизненной необходимости каждого оператора, и кроме того, природные факторы как неопределенные, так и случайные.

Это общее описание разумно давать в двух вариантах: объективное описание (зачастую неточно известное операторам) и субъективное описание, соответствующее информации о критериях и возможностях операторов, которая у них имеется.

Дана общая постановка задачи для создания методологии определения приемлемого уровня безопасности полетов и поддержание его на гарантированном уровне.

Таким образом, актуализированные цели и задачи по обеспечению гарантированной безопасности и надежности авиационной деятельности формулируются следующим образом:

**Цель** – гарантированное обеспечение заданного уровня безопасности жизни и здоровья людей, природы, материальных ценностей и технических комплексов при реализации авиационной деятельности на всех его стадиях, а также заданного уровня надежности.

### Задачи:

1. Установление и обоснование допустимых уровней рисков и норм на показатели безопасности полетов при формировании нормативно-методической базы с учетом требований международных стандартов.

2. Достижение установленных допустимых уровней рисков и норм на показатели безопасности полетов путем разработки и реализации мероприятий по повышению безопасности полетов.

3. Обеспечение контроля показателей безопасности и уровней рисков, проведение плановых/внеплановых аудитов.

4. Формирование культуры безопасности и развитие системы управления персоналом для обеспечения высокой его квалификации и минимизация влияния человеческого фактора на безопасность полетов.

5. Совершенствование процедур и методов расследования авиационных происшествий и инцидентов и развитие ситуационного мониторинга и управления для прогнозирования и предотвращения и нарушений.

Обновление технико-технологической базы, задействованной в перевозочном процессе и совершенствование информационных технологий в области обеспечения и поддержания гарантированного результата.

## Список литературы

1. Принципи системного підходу до керування безпекою польотів під час організації повітряного руху / В.П. Харченко, І.М. Буцик, О.М. Алексєєв та інші. // Вісник НАУ. – К.: НАУ, 2010. – № 4. – С. 6-11.
2. Алексєєв О.М. Деякі питання аеронавігаційного обслуговування України / О.М. Алексєєв // Всеукраїнська науково-практична конференція «Проблеми навігації та управління рухом». – К.: НАУ, 2015. – С. 48.
3. Руководство по управлению безопасностью полетов (РУБП) (Doc 9859 AN/460). ИКАО. 2006. – 355 с.
4. Алексєєв О.М. Автоматизація процесів управління безпекою польотів в аеронавігаційній системі : дис. .... канд. техн. наук / О.М. Алексєєв. – К.: НАУ, 2009 – 270 с.
5. Глобальный план обеспечения безопасности полетов. - Монреаль, Канада, 2007. – 180 с.
6. Молодов Д.А. Модель Гросса в случае непротивоположных интересов / Д.А. Молодов // ЖВМ и МФ. – 1972. – 12,2. – С. 309-320.
7. Гермейер Ю.Б. Введение в теорию исследования операций / Ю.Б. Гермейер. – М.: Наука. 1971. – 424 с.
8. Гермейер Ю.Б. Игры с противоположными интересами / Ю.Б. Гермейер. – М., Наука, 1976. – 326 с.

Поступила в редколлегию 19.05.2016

**Рецензент:** д-р техн. наук, проф. А.И. Тимочко, Харьковский университет Воздушных Сил им. И. Кожедуба, Харьков.

## ЗАГАЛЬНІ ПРИНЦИПИ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ГАРАНТОВАНОГО ПІДТРИМКИ БЕЗПЕКИ ВИКОНАННЯ МАЙБУТНІХ ПОЛЬОТІВ

В.П. Харченко, О.М. Алексєєв

У статті представлено актуальні питання забезпечення і підтримки гарантованого рівня безпеки польотів на допустимому рівні. Призначення методології полягає в об'єднанні в єдиний методологічний комплекс завдань оцінки, забезпечення та верифікації безпеки авіаційно-транспортної системи, як складної ієрархічної структури з незалежними критичними елементами, а також апаратних, програмних, мережевих і ергатичних компонент, які є і засобом, і об'єктом забезпечення безпеки.

**Ключові слова:** безпека польотів, небезпеки, загрози ризику, допустимі ризику, управлінські рішення.

## GENERAL PRINCIPLES OF SUPPORT GUARANTEED SAFETY OF FUTURE FLIGHTS

V.P. Kharchenko, O.M. Alekseev

The paper presents the current the issue of providing the warranty provision and maintenance of the safety acceptable level. Appointment of the methodology is to combine into a single methodological complex assessment tasks, security and safety verification of aviation transport systems, as a complex hierarchical structure with independent critical elements, as well as hardware, software, network and ergatic make a component, which is the means and the object security.

**Keywords:** safety of flight, danger, hazard, risk, decision making.