

4. *Atkin R. H.* Combinatorial Connectivities in Social Systems. An Application of Simplicial Complex Structures to the Study of Large Organisations. – Birkhäuser Basel, 1977. – 245 p.

5. Program for cognitive modeling and analysis of socio-economic systems at the regional level. Certificate of state registration of computer programs № 2018661506 dated 09/07/2018.

6. *Gorelova G., Melnik E., Safronenkova I.* The Problem Statement of Cognitive Modeling in Social Robotic Systems / Ronzhin A., Rigoll G., Meshcheryakov R. (eds). Interactive Collaborative Robotics. ICR 2021. Lecture Notes in Computer Science. – Vol 12998. – Springer, 2021. DOI:10.1007/978-3-030-87725-5\_6

---

DOI: 10.25728/iccss.2022.17.54.048

**Мельник Д.М.**

**Моделирование авиационных происшествий на основе анализа нечеткого множества данных и событий эксплуатантов воздушных судов**

**Аннотация:** В данной работе предложен новый метод обеспечения безопасности полетов на основе риск-ориентированного подхода, что в отличие от современных методов оценки эффективности обеспечения безопасности полетов, основанных на усредненных оценках большого множества показателей, позволяет определять приемлемый уровень риска сложной производственной системы эксплуатантов воздушного транспорта. Рассматриваемый метод основан на применении теории нечетких множеств, что в условиях сложной интегрированной производственной системы дает достоверные оценки состояния безопасности полетов и позволяет смоделировать сценарий возможной катастрофы для своевременной разработки корректирующих мероприятий по предотвращению авиационных происшествий таких как катастрофа, авария, чрезвычайное происшествие.

**Ключевые слова:** моделирование, безопасность, уравнение, катастрофа, эксплуатант, риск

## **Введение**

В соответствии с транспортной стратегией РФ [1] одной из форм эффективного и безопасного развития объектов транспортного комплекса государства является моделирование планирования развития транспортной и логистической инфраструктуры за счет прогнозирования на основе интеллектуального анализа большого объема данных и событий.

Следовательно, поиск эффективных методов управления сложных систем, которые используются при организации производства на предприятиях воздушного транспорта должен осуществляться одновременно с эффективным обеспечением безопасности полетов воздушных судов

### **1. Моделирование авиационного происшествия путем построения уравнения катастрофы**

В настоящее время в гражданской авиации работа по обеспечению безопасности полетов проводится с использованием различных методик по усреднению сумм разного рода индикаторов [2]. Такой подход не явно отражает исход возможных негативных событий в сфере гражданской авиации и вносит дополнительную неопределенность при рассмотрении вопросов управления безопасностью полетов. Это объясняется тем, что у современного эксплуатанта воздушных судов существует множество показателей, связанных так или иначе с безопасностью полетов воздушных судов, мощность этих показателей велика  $M_{\Sigma} \gg 100$ . Поиск разного рода усредненных показателей не всегда может дать достаточную и объективную информацию по безопасности полетов воздушных судов.

В данной работе предлагается новый метод обеспечения безопасности полетов, основанный на моделировании авиационного происшествия за счет прогнозирования большого объема данных и событий. Такое моделирование предполагает анализ показателей на основе теории нечетких множеств двух групп показателей  $M_{\Sigma} \sim (M_Q, M_S)$ , а именно множества показателей, связанных с качеством производственных процессов  $M_Q$  и множества показателей, связанных с безопасностью полетов воздушных судов  $M_S$ . Первые измеряются в виде выполняемости процессов, процедур, функций,

вторые измеряются в виде отклонений, ошибок, нарушений, сбоев, отказов, при выполнении указанных процессов, процедур, функций. В основе моделирования авиационного происшествия легло построение уравнения катастрофы в котором выбраны данные, соответствующие неприемлемому уровню риска производственной системы эксплуатанта.

## 2. Составление уравнения катастрофы

Уравнение катастрофы конструируется по методу минимального сечения – в виде конъюнкций критических элементов  $\beta_i$  системы эксплуатанта, приводящих к отклонениям от установленных процедур либо к уязвимости системы под воздействием внешних факторов (1).

$$\hat{R} \rightarrow L_R \Rightarrow U_R = (\beta_1 \wedge \beta_2 \wedge \beta_3 \wedge \dots \wedge \beta_i) = 1, \quad (1)$$

где  $\hat{R}$  – нечеткий уровень риска производственной системы,  $L_R$  – структура цепи сценария,  $U_R$  – условие катастрофы,  $\beta_i$  – название элемента производственной системы (порядковый номер).

Условие  $U_R = 1$  означает возникновение катастрофы.

Критические элементы – это такие элементы производственной системы, цепочка из которых может привести к неблагоприятному событию. Критические элементы определяются путем вычисления комплексных показателей интегрированной системы управления качеством и безопасностью полетов, включающей в себя показатели двух видов: показатели качества  $I_Q$  и показатели безопасности полетов  $I_S$ , путем проведения типового корреляционного анализа между ними, после нормирования их в единое топологическое пространство. Единый комплексный показатель интегрированной системы получил название нечеткого многокритериального показателя эффективности  $\tilde{K}_{Q,S}$ , поскольку степень истинности значения этого показателя является нечетким и измеряется в пределах:  $0 \leq \tilde{K}_{Q,S} \leq 1$ . Таким образом, критичность элемента будет

зависеть от нечеткого многокритериального показателя эффективности (2).

$$\beta^* = f(\tilde{K}_{Q,S}) \quad (2)$$

Набор нечетких многокритериальных показателей эффективности интегрированной системы (НМПЭ) будет представлять собой уровень риска. Набор максимальных значений НМПЭ представляет собой общий риск производственной системы. Критичность нечеткого многокритериального показателя эффективности определяется в соответствии с матрицей оценки нечеткого уровня риска (рисунок 1). Данная матрица разрабатывается экспертным методом, применимо к условиям типового эксплуатанта воздушных судов.

Оценка нечеткого уровня риска ( $\hat{R}$ ) возникновения опасных событий			Категория ущерба				
			A	B	C	D	E
Степень опасности		Множитель	1	0,8	0,6	0,4	0,2
	1-я	1	1	0,8	0,6	0,4	0,2
	2-я	0,8	0,8	0,64	0,48	0,32	0,16
	3-я	0,6	0,6	0,48	0,36	0,24	0,12
	4-я	0,4	0,4	0,32	0,24	0,16	0,08
	5-я	0,2	0,2	0,16	0,16	0,08	0,04

Рисунок 1 – Матрица оценки нечеткого уровня риска возникновения опасных событий

Критичность элементов определяется соотношением (3)

$$\tilde{K}_{Q,S}^* \geq 0.8. \quad (3)$$

Таким образом, осуществляется обеспечение безопасности полетов на основе риск-ориентированного подхода, при котором в интегрированной системе СУК и СУБП на эксплуатанта воздушных

судов следует сначала искать множество НМПЭ ( $\tilde{K}_\Sigma$ ), а затем среди них найти критические значения  $\tilde{K}_{Q,S}^*$  (4)

$$\tilde{K}_\Sigma = \tilde{f}_{01}(\{I_Q\}, \{I_S\} | \Sigma_0, \Phi_0, \Phi_1) \rightarrow \tilde{K}_{Q,S}^*, \quad (4)$$

где  $\{I_Q\}, \{I_S\}$  – показатели качества и безопасности полетов,  $\Phi_0$  – множество факторов опасности, связанных с качеством,  $\Phi_1$  – множество факторов опасности, связанных с безопасностью полетов,  $\Sigma_0$  – условия производственной системы.

### **3. Построение уравнение катастрофы Ту-154 Министерства обороны республики Польша 10 апреля 2010 года на аэродроме Смоленск «Северный»**

10 апреля 2010 года, в 10:41 местного времени днем, в процессе выполнения захода на ВПП 26 аэродрома Смоленск «Северный» и снижения ниже установленной минимальной безопасной высоты (100 м) в метеоусловиях хуже установленного минимума аэродрома, воздушного судна и командира, потерпел катастрофу самолет Ту-154М б/н 101 государственной авиации Республики Польша (36-й специальный транспортный авиаполк ВВС Республики Польша), выполнявший нерегулярный международный рейс PLF 101 по перевозке пассажиров по маршруту Варшава (EPWA) – Смоленск «Северный» (XUBS).

Непосредственной причиной катастрофы явилось непринятие экипажем своевременного решения об уходе на запасной аэродром при неоднократно и своевременно полученной информации о фактических метеоусловиях на аэродроме посадки значительно хуже установленных для этого аэродрома минимумов.

В соответствие с окончательным отчетом об авиационном происшествии, подготовленном Межгосударственным авиационным комитетом [3], было составлено уравнение катастрофы (5)

$$\hat{R} \rightarrow L_R \Rightarrow U_R = (\beta_a \wedge \beta_b \wedge \beta_c \wedge \beta_d \wedge \beta_e \wedge \beta_f \wedge \beta_z \wedge \beta_h \wedge \beta_i \wedge \beta_k \wedge \beta_l \wedge \beta_m \wedge \beta_n \wedge \beta_o \wedge \beta_p) = 1 \quad (5)$$

Описание критических элементов  $\beta^*(I_Q) \subset M_Q$  и их признаков, представляющие собой подробное описание показателей безопасности полетов  $I_S^* \subset M_S$  представлено в таблице 1.

При этом критические элементы 1-7 относятся к организационным факторам и формировались в производственной системе эксплуатанта задолго до возникновения условий катастрофы.

Таким образом, уравнение (5) можно было построить до возникновения условий катастрофы. Так, например за 1 ч. 30 минут до авиационного происшествия на аэродроме Смоленск «Северный» выполнил посадку Як-40 того же эксплуатанта (Министерство обороны республики Польша). Данная посадка была выполнена также с нарушением установленного минимума, что свидетельствует о наличии критического элемента по подготовке и выполнению полетов при минимуме погоды в производственной системе эксплуатанта.

### **Вывод**

Рассмотренный в данной статье метод реализуется при проведении непрерывного мониторинга производственной системы, который проводится с использованием таких мероприятий как аудиты, инспекторские проверки, квалификационные проверки, анализ показателей, анализ обязательных и добровольных сообщений, анализ полетной информации, материалы расследования авиационных событий, с проведением оценки эффективности разработанных мероприятий по снижению общего риска производственной системы эксплуатанта, путем проведения повторного аудита. Такой прием позволяет решить проблемы неопределенности в сложной интегрированной системе эксплуатанта и произвести оценку эффективности обеспечения безопасности полетов на основе теории нечетких множеств (Fuzzy Sets).

Таблица 1 – Критические элементы катастрофы Ту-154 10 апреля 2010 года

$\beta^*$	Название критического элемента $\beta^*(I_Q) \subset M_Q$	Признаки критических элементов в производственной системе эксплуатанта воздушных судов $I_S^* \subset M_S$
1	2	3
$\beta_a$	Переучивание ВС Ту-154	Штурман, второй пилот во время переучивания выполняли полеты на другом типе ВС
$\beta_b$	Тренажная подготовка	Тренажные центры по подготовке на ВС Ту-154 не использовались (тренажная подготовка не проводилась)
$\beta_c$	Подготовка к посадкам при минимуме погоды	Значительный перерыв в полетах в сложных метеоусловиях (соответствующих допуску 60x800) у КВС. В летной книжке КВС имеется необоснованная отметка о подтверждении метеоминимума при заходе на посадку в аэропорту Брюссель 11.02.2010. Проверка метеоусловий на аэродроме Брюссель 11.02.2010 показала, что фактическая погода была: облачность – 900 м, видимость более 10 км
$\beta_d$	Технология работы членов летных экипажей	У эксплуатанта отсутствовала Инструкция по взаимодействию и технология работы членов экипажа самолета Ту-154М для 4-х членного состава (далее Технология работы). По объяснениям польской стороны, полеты выполняются непосредственно с использованием РЛЭ самолета, которая была написана для 3-х членного экипажа
$\beta_e$	Формирование экипажа	К КВС имеющий малый опыт полетов в качестве КВС на Ту-154 (500 часов) назначили экипаж имеющий еще меньший опыт
$\beta_f$	Предварительная подготовка к полетам	Отсутствовал контроль за предварительной подготовкой к полетам, со стороны руководящего состава

Продолжение таблицы 1

1	2	3
$\beta_z$	Предполетная подготовка	<ul style="list-style-type: none"> <li>- перед вылетом отсутствовала метеорологическая информация аэродрома Смоленск «Северный»;</li> <li>- использовалась не актуализированная аэронавигационная информация аэродрома Смоленск «Северный»;</li> <li>- был выбран запасной аэродром Витебск, который не работал 10 апреля 2010 и по нему был просроченный метеопрогноз;</li> <li>- превышение посадочной массы на 4.6 т.</li> </ul>
$\beta_h$	Предпосадочная посадочная подготовка (предпосадочный брифинг)	Согласно РЛЭ Ту-154 п. 4.4.1. (11) «Действия экипажа в крейсерском полете»-экипаж по команде КВС за 10-15 мин до начала снижения приступает к предпосадочной подготовке. Предпосадочная подготовка в течение последних 7 минут 30 секунд крейсерского полета на записи звукового магнитофона не прослушивается. Из ответов на пункты контрольной карты «Перед снижением» (фактически выполнялась во время снижения) можно сделать вывод, что экипаж схему захода на посадку не рассматривал (Шт: «Процедура», КВС: «Еще не известна»).
$\beta_i$	Выполнение карт контрольных проверок	Не была выполнена карта контрольной проверки перед третьим разворотом
$\beta_k$	Навигационные процедуры	Запоздалый перевод самолета на снижение по глиссаде (с ошибкой примерно 1.5 км)
$\beta_l$	Стабилизированный заход на посадку	На предпосадочной прямой полет проходил на повышенных скоростях около 300 км/ч (при расчетной – 265 км/ч). После пролёта ДПРМ экипаж увеличил вертикальную скорость снижения до 8 м/с. Такая вертикальная скорость (8 м/с) сохранялась вплоть до момента начала действий по уходу от препятствий (Нрв=30м)
$\beta_m$	Давление на экипаж	Ожидание наказания в случае ухода на запасной аэродром формировало доминанту «сесть во что бы то ни стало» и толкало на неоправданный риск. Присутствие в кабине экипажа посторонних лиц



Продолжение таблицы 1

1	2	3
$\beta_n$	Посадка при минимуме погоды	КВС, наиболее вероятно, пошел на риск - снижаться ниже высоты принятия решения, в надежде, все – таки, установить визуальный контакт с ВПП и произвести посадку
$\beta_o$	Применение процедур РЛЭ Ту-154	Снижение на посадочной прямой выполнялось с включенным автопилотом в продольном и боковом каналах, а также с включенным автоматом тяги. Управление автопилотом в продольном канале осуществлялось от рукоятки «СПУСК-ПОДЪЁМ». Данный тип захода РЛЭ самолета не предусмотрен
$\beta_p$	Управление ресурсами членов экипажа (CRM)	Со стороны КВС не были распределены обязанности между членами экипажа и порядок ухода на второй круг. Не был определен порядок использования автопилота и минимальная высота отключения АП

Литература:

1. Распоряжение Правительства РФ от 27.11.2021 № 3363-р «О Транспортной стратегии Российской Федерации до 2030 года с прогнозом на период до 2035 года».

2. Методические рекомендации территориальным органам Росавиации по проверкам СУБП поставщиков услуг. – Федеральное агентство воздушного транспорта, 2019. – URL: <https://favt.gov.ru/deyatelnost-bezopasnost-poletov-subp-proverka-postavshikov-uslug-kvp/> (дата обращения 10.10.2022).

3. Межгосударственный авиационный комитет. Окончательный отчет по расследованию авиационного происшествия самолета Ту-154 Министерства обороны республики Польша 10 апреля 2010 года на аэродроме Смоленск «Северный», 2011. – URL: [https://mak-iac.org/upload/iblock/abd/finalreport\\_rus.pdf](https://mak-iac.org/upload/iblock/abd/finalreport_rus.pdf) (дата обращения 10.10.2022).

4. Руководство по управлению безопасностью полетов (DOC 9859 ICAO). – 4-е изд. – ИКАО, 2018. – URL: <https://standart.aero/ru/icao/book/документ-9859-руководство-по-управлению-безопасностью-полетов-рубп-ру-конс> (дата доступа 20.10.2022).

5. *Kuklev E. et al.* Flight Safety & Aviation Risk. – Singapore:

Springer, 2019.

6. Мельник Д.М. Выявление критических элементов авиационного предприятия на основе анализа результатов расследования авиационных событий // Транспортная стратегия. – XXI век. – 2021. – № 47. – С. 28-31.

7. Рухлинский В.М., Куклев Е.А., Мельник Д.М. «Применение теории нечетких множеств при обеспечении безопасности полетов поставщиков обслуживания гражданской авиации в условиях неопределенности состояний авиационной системы». Информационный документ Межгосударственного авиационного комитета на 41 ассамблею Международной гражданской авиации (ИКАО) А41-WP/72, 2022. – URL: [https://www.icao.int/Meetings/a41/Documents/WP/wp\\_072\\_ru.pdf](https://www.icao.int/Meetings/a41/Documents/WP/wp_072_ru.pdf) (дата обращения 10.10.2022).

---

DOI: 10.25728/iccss.2022.38.11.049

**Plotnikov N.I.**

### **Risk prevention strategies of aircraft with wildlife strike**

**Abstract.** The paper presents a set of problems of the complexity of observing strikes of aircraft with wildlife. The study was carried out on the choice of a group of birds with the most significant in terms of the number of species and strike damage. The development of a metric for observing the fuzziness of strike events is aimed at resolving the problem in interpreting data, incomplete, inaccurate information in strike reports. The set of problems consists in the extreme complexity of observing, fixing and registering the facts of strike, identifying groups and types of wildlife, which is required to develop strategies for the ecological balance of aviation and wildlife. Risk prevention strategies of aircraft with wildlife strike are developed.

**Keywords:** aircraft, wildlife, strike, flight safety, avian safety, risk, strategies

**Introduction.** This paper analyzes modern studies of strike of aircraft with objects of wild nature (Wildlife) or air-terrestrial animals: birds, bats, terrestrial mammals, reptiles (Bird/Other Wildlife Strike). The study was