

Куклев Е.А., Мельник Д.М.

Интеллектуальная поддержка принятий решений при управлении безопасностью полетов поставщиков услуг гражданской авиации на основе сценарного моделирования редких событий

Аннотация: Рассматриваются вопросы применения технологий искусственного интеллекта при управлении безопасностью полетов в гражданской авиации РФ. Предлагается принять к сведению импортозамещающую разработку «Код управления безопасностью полетов», проходящую в настоящее время экспертизу в Техническом комитете по стандартизации ТК323 «Авиационная техника», в рамках работ по национальной стандартизации.

Ключевые слова: моделирование, поставщики услуг, интегральный уровень риска, редкие события, уравнение катастрофы

Введение

В настоящее время некоторые методы по обеспечению безопасности полетов, разработанные за рубежом закрыты для авиационной деятельности в Российской Федерации, а такие методы исследования проблем безопасности полетов воздушных судов, как «Монте-Карло» или «Марковский процесс» и даже «Метод Байеса» практически непригодны при анализе свойств «редких событий», какими являются «рисковые» события в высоконадежных системах типа катастроф, аварий и серьезных авиационных инцидентов.

В этой связи предлагается создание единой формы или шаблона для конструирования типовой системы управления безопасностью полетов (СУБП) на основе риск-ориентированного подхода, в том числе и при использовании сценарного моделирования редких событий [1].

1. Сравнительный анализ критериев принадлежности к искусственному интеллекту и компонентов СУБП по ИКАО

В отношении СУБП в гражданской авиации РФ внедрение и использование «Кода управления безопасностью полетов» возможно с помощью применения технологий по интеллектуальным поддержкам принятия решений, которые в свою очередь должны отвечать определенным критериям принадлежности к искусственному интеллекту, установленных Минэкономразвития России [2].

Учитывая то, что в соответствии с Приложением 19 к Конвенции о международной гражданской авиации (ИКАО) [3], СУБП включает в себя 4 компонента, сравнительный анализ критериев принадлежности к искусственному интеллекту с компонентами СУБП можно представить в следующем виде (таблица 1).

Таблица 1 – Сравнительный анализ критериев принадлежности к искусственному интеллекту и компонентов СУБП по ИКАО

№	Критерии принадлежности к искусственному интеллекту, в соответствии с приказом Минэкономразвития России	Процессы СУБП	Компоненты СУБП по ИКАО
1.	Выявление аномалий производственных процессов и поиск их причин	Реализация положений Политики безопасности полетов	Политика и цели обеспечения безопасности полетов
2.	Предективный и прескриптивный анализ, позволяющий предсказывать развитие ситуации на основе анализа данных и	Выявление источников опасности на основе реактивных (предективный анализ) и проактивных	Управление рисками для безопасности полетов *

№	Критерии принадлежности к искусственному интеллекту, в соответствии с приказом Минэкономразвития России	Процессы СУБП	Компоненты СУБП по ИКАО
	автоматизированное принятие решений в режиме реального времени	(прескриптивный анализ) методов, анализ и оценка риска, разработка мероприятий по снижению риска контроль эффективности этих мероприятий	
3.	Сверхкраткосрочное прогнозирование, анализ потока данных в режиме реального времени и прогнозирование нештатных ситуаций	Обеспечение безопасности полетов на основе оценки функционирования СУБП	Обеспечение безопасности полетов
4.	Контроль и обеспечение производственной безопасности, основанные на анализе и моделировании поведения сотрудников	Популяризация СУБП, формирование позитивной культуры безопасности полетов	Популяризация вопросов безопасности полетов

** Примечание: Формулировка ИКАО в Приложении 19 к Конвенции о международной гражданской авиации [3] не соответствует современной концепции по управлению безопасностью полетов. Управлять рисками нельзя, поскольку*

риск – это мера опасности, управлять необходимо состоянием системы для безопасности полетов на основе анализа и оценки рисков.

2. Интегральный уровень риска поставщика услуг ГА

Уровень риска может быть определен на основе методов многокритериальных оценок высоконадежных систем [4] с помощью «уравнения катастрофы», разработанному профессором Куклевым Е.А. [5] которое формально конструируется по методу «**минимального сечения отказов**» в виде конъюнкций факторов опасности отказов (1).

$$R \rightarrow L_R \Rightarrow U_R = (\varphi_0 \wedge \varphi_1 \wedge \varphi_2 \wedge \dots \wedge \varphi_k) = 1, \quad (1)$$

где R – уровень риска;

L_R – сценарий;

U_R – условия производственной системы;

φ_i – признаки критичности состояний элементов производственной системы.

Значение функции $U_R=1$ (т.е. набор высказываний истинности состояний) обозначает, что «катастрофа» возможна для конкретного набора признаков состояний элементов, обозначающих «катастрофу», в указанном смысле с определенным прогнозируемым уровнем риска по Алгоритму Мамдани [4].

При нескольких рисковом событиях, например $R1, R2, R3, R4$, данное утверждение записывается в форме «дизъюнкции» альтернатив возможных действий операторов в виде цепей – Li – сценариев:

$$\hat{U}_{R\Sigma^*} = (R_1 \vee R_2 \vee R_3 \vee R_4) \Leftrightarrow (L_{R1} \vee L_{R2} \vee L_{R3} \vee L_{R4}), \quad (2)$$

где знак (*) обозначает критичность;

L_R – обозначают цепи событий, в минимальных сечениях отказов из теории надежности систем.

Общая смысловая формула «уравнения катастрофы» заключается в изучении свойств и комбинаций событий, которые еще не произошли, но могут произойти в обозримом будущем.

Практическое применение (1), (2) основывается на результатах аудита производственной системы поставщика услуг гражданской авиации и применении цифрового двойника системы (ЦДС). При этом под ЦДС понимается цифровое описание интегрированной системы, которое в применении с определенным программным обеспечением, установленным на компьютере, используется для моделирования функций, смены состояний, взаимосвязи элементов производственной системы в реальном времени.

Обработка данных и информации, полученных в ходе такого аудита, заключается в формировании двух множеств нормируемых показателей:

– первое множество – показатели качества

$Q = \{q_1, q_2, q_3, \dots, q_n\}$, отнесенные к данному множеству по функции принадлежности, характеризующей степень выполнения процедур (процессов), регламентированных системой управления качеством;

– второе множество – показатели безопасности полетов,

$S = \{s_1, s_2, s_3, \dots, s_n\}$, связанные с показателями качества или зависящие от них и отнесенные к данному множеству по функции принадлежности, характеризующей количество отклонений от регламентированных процедур (процессов) системы управления качеством, в том числе обусловленных их невыполнением.

Взаимосвязь q_n и s_n лежит в области нечетко исчисляемой неопределенности и позволяет определить нечетко выраженную возможность возникновения рисков события при определенном сочетании (комбинации) переменных с маркерами нечеткой оценки производственной системы поставщика услуг гражданской авиации [6].

С целью учета условий и факторов внешней среды производственной системы поставщика услуг вводится показатель из комплекса факторов и условий функционирования системы Σ_n .

Показатели q_n, s_n, \sum_n определяют так называемый «универсум» в СУБП и измеряются в диапазоне параметров своих двойников, что соответствует концепции из теории нечетких множеств (*Fuzzy Sets*).

Возникновение рискового события R (или возникновение угрозы безопасности полетов F) сопряжено с риском причинения определенного ущерба, который измеряется четкой или нечеткой мерой ущерба H .

Для полноты учета всех возможных сочетаний факторов (возможных сценариев L_R), приводящих к возникновению рискового события R , а также в целях снижения трудоемкости, анализ факторов опасности, рекомендовано проводить путем моделирования функциональных процессов с помощью ЦДС.

3. Код управления безопасностью полетов

Результатом анализа или выходными данными процесса моделирования с помощью ЦДС является «код управления безопасностью полетов». Подобный код был предложен автором Куклевым Е.А. для оценки интегрального (нечеткого) уровня риска \hat{R} (с крышкой) каждого сценария, приводящего к рисковому событию R с четкой меры ущерба H .

Оценка интегрального уровня риска \hat{R} на основе «кода управления безопасностью полетов» описывается «уравнением катастрофы». Например, для недопустимого уровня риска уравнение катастрофы имеет вид:

$$\hat{R}_* \rightarrow L_R \Rightarrow U_R = (z_1 \wedge z_2 \wedge z_3 \wedge \dots \wedge z_n) = 1, \quad (3)$$

где \hat{R}_* – недопустимый уровень риска;

L_R – сценарий рискового события;

U_R – условие, при котором возможна катастрофа;

$z_1 - z_n$ – факторы опасности, полученные на выходе из цифрового двойника.

При этом «код управления безопасности полетов» позволяет выбрать сценарии с приемлемым или допустимым уровнем риска и избежать сценарии с недопустимым уровнем риска.

Вывод

Таким образом, видится необходимость распространения в РФ технологий искусственного интеллекта для управления безопасностью полетов воздушных судов. В этом случае можно ожидать повышение эффективности при обеспечении безопасности полетов у поставщиков услуг ГА в обозримом будущем.

Литература:

1. *Кульба В.В., Шульц В.Л., Шелков А.Б., Чернов И.В., Кононов Д.А., Сомов Д.С.* Управление безопасностью и живучестью объектов инфраструктуры железнодорожного транспорта на основе индикаторного подхода // Экономика, тренды и управление. – 2013. – № 2. – С. 1-107.
2. Приказ Минэкономразвития РФ от 29.06.2021 № 392 «Об утверждении критериев определения принадлежности проектов к проектам в сфере искусственного интеллекта».
3. Приложение 19 к Конвенции о международной гражданской авиации «Руководство по управлению безопасностью полетов». Издание второе, июль 2016 года. – ИКАО, 2016.
4. *Kuklev E. et al.* Flight Safety & Aviation Risk. – Singapore: Springer, 2019. – 258 p.
5. *Куклев Е.А.* Модель «спящей катастрофы Ризона» в качестве элемента СУБП в гражданской авиации / Проблемы управления безопасностью сложных систем: материалы XXXI Международной научной конференции. – Москва: ИПУ РАН, 2023. – С. 62-71.
6. *Мамдани Э.Х., Ассилиан С.* «Эксперимент по лингвистическому синтезу с контроллером нечеткой логики» // Международный журнал человеко-машинных исследований. – 1975. – № 1. – С. 1-13.
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 (дата обращения 20.09.2024).

8. Международный отраслевой стандарт «Внедрение системы управления безопасностью полетов в организациях-разработчиках, производственных организациях и организациях по техническому обслуживанию», SM-0001_издание А, Ассоциация аэрокосмической промышленности Америки (AIA), Ассоциация аэрокосмической промышленности Бразилии (AIA-B), Ассоциация аэрокосмической промышленности Канады (AIA-C), Европейская ассоциация аэрокосмической и оборонной промышленности (ASD), Ассоциация фирм производителей авиации общего назначения (GAMA), 2018. – 94 с.

Фуругян М.Г.

Планирование работ в системе автоматизации проектирования вычислительных систем реального времени

Аннотация: В работе рассматриваются некоторые задачи составления расписаний в системе автоматизации проектирования вычислительных системах реального времени. Представлены полиномиальные алгоритмы построения допустимого расписания с прерываниями в задаче с директивными интервалами для однопроцессорной системы с отношениями предшествования и для многопроцессорной системы без отношений предшествования со смещенным набором ресурсов. Даны оценки вычислительной сложности описанных алгоритмов.

Ключевые слова: система реального времени, допустимое расписание с прерываниями, директивные интервалы, возобновляемые и невозобновляемые ресурсы, потоковая сеть

Введение

Вычислительные системы реального времени имеют чрезвычайно широкую область применения. Они используются там, где на обработку информации накладываются временные ограничения. В некоторых случаях такие ограничения могут составлять доли секунды. Например, подобная ситуация возникает