

ПРИНЯТИЕ РЕШЕНИЙ ПО ОБЕСПЕЧЕНИЮ БЕЗОПАСНОСТИ ПОЛЕТОВ В УСЛОВИЯХ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ НА ОСНОВЕ МОНИТОРИНГА НЕЧЕТКОГО МНОЖЕСТВА ПОКАЗАТЕЛЕЙ ИНТЕГРИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ КАЧЕСТВОМ И БЕЗОПАСНОСТЬЮ ПОЛЕТОВ ПОСТАВЩИКА УСЛУГ ГРАЖДАНСКОЙ АВИАЦИИ

Мельник Д.М.

Авиакомпания «РусДжет», Жуковский, Россия

melnikdm@mail.ru

Аннотация. В данной статье рассматриваются вопросы обеспечения безопасности полетов поставщика услуг гражданской авиации, решаемые путем исследования области неопределенности состояния авиационной системы на основе полученных в результате мониторинга множества показателей интегрированной системы качества и безопасности полетов. Представлены современные способы анализа нечетко измеримой неопределенности, что позволяет определять уровень риска авиационной системы заранее до возникновения условий неблагоприятного события.

Ключевые слова: безопасность, полетов, область, неопределенность, нечеткая, риск, система, интеграция, событие, сценарий, катастрофа, уравнение.

Введение

В основе исследования области неопределенности состояния производственной системы поставщика услуг гражданской авиации лежит практическое применение теории нечетких множеств (Fuzzy Sets). При этом под неопределенностью понимается состояние полного или частичного отсутствия информации, необходимой для понимания событий, их последствий и возможности их проявления [1], а производственная система представляет собой комплекс взаимосвязанных процедур и процессов поставщика услуг гражданской авиации. В контексте управления качеством и безопасностью полетов производственная система, в настоящее время, рассматривается как интегрированная система множества взаимозависимостей функциональных систем поставщика услуг операции с которой, в соответствии с концепцией Международной организации гражданской авиации (ИКАО), получили название «интегрированное управление риском» (IRM)[2]. IRM предполагает в себе анализ и оценку производственной системы и принятие эффективных корректирующих мер, направленных на обеспечение безопасности полетов до возникновения условий возможного неблагоприятного события в гражданской авиации. Т.е. обеспечение безопасности полетов, в случае исследования области неопределенности производственной системы поставщика услуг, на основе теории нечетких множеств, приобретает новый подход, основанный на риск-ориентированном мышлении (риск-ориентированный подход).

1. Три вида неопределенности состояния авиационной системы поставщика услуг гражданской авиации

При интеграции любых систем управления возникают разного рода противоречия, порой не разрешимых, что существенно усложняет управление интегрированными системами и сказывается на эффективности управления в целом. Источником возникшего противоречия является понимание двусмысленности проявления неопределенности. С одной стороны, факторы неопределенности являются источником опасности, с другой стороны, они являются источником развития, в данном случае – источником развития поставщика услуг гражданской авиации. В этой связи возникает необходимость установления идентичных свойств и состояний внутренней внешней среды интегрированных систем, которые принято использовать в системах управления [3]. Ограниченная статистика оценок вышеуказанных свойств и состояний открывает возможности для применения теории нечетких множеств с целью исследования области неопределенности производственной системы.

Поставщики услуг гражданской авиации в своей деятельности используют обязательные требования, которые изложены в первую очередь в федеральных авиационных правилах, иных нормативно-правовых документах, регламентирующих деятельность в области гражданской авиации. Для поставщиков услуг гражданской авиации РФ обязательны к применению как система управления качеством, так и система управления безопасностью полетов. Международная организация гражданской авиации рекомендует интегрировать обе эти системы без ущерба для

функционирования каждой из них, поскольку в этом случае процессы управления качеством и управления безопасностью полетов будут в значительной степени взаимодополняющими и способствующими достижению общих целей в области обеспечения безопасности полетов [2]. Следовательно, область неопределенности поставщика услуг гражданской авиации можно исследовать на основе интегрированной системы управления качеством и безопасностью полетов поставщика услуг.

В соответствии с классификацией Ф. Найта [4] выделяют три вида неопределенности: «исчисляемая определенность», «исчисляемая неопределенность» и «неисчисляемая неопределенность». С точки зрения авиации, неопределенность первого вида не содержит в себе непосредственной угрозы для обеспечения безопасности полетов. Задача, решаемая в данном виде неопределенности состоит в построении бизнес модели организации, установлении функциональных обязанностей персонала, подразделений. Т.е. процессы, процедуры изначально разрабатываются и планируются в теоретической среде. На практике это воплощается в руководствах, положениях о подразделениях, должностных инструкциях персонала, картах процессов, регламентах и т.д. В этом случае, вопросы неопределенности разрешаются непосредственно человеком, что создает в себе основу для дальнейшей производственной деятельности поставщика услуг гражданской авиации. Данный вид неопределенности относится к системе управления качеством (рис. 1).



Рис. 1. Три вида неопределенности поставщика услуг гражданской авиации

Второй вид неопределенности – это исчисляемая неопределенность, лежащая в сфере ответственности системы управления безопасностью полетов. Проблема обеспечения безопасности полетов воздушных судов в условиях неопределенности состоит в том, что значения второго вида исчисляемой неопределенности можно получить только после произошедшего события.

Между первым и вторым видами неопределенности существует третий вид неопределенности это неисчисляемая неопределенность, лежащая на стыке взаимодействия двух систем, системы управления качеством и системы управления безопасностью полетов. *В силу своей неразличимости факторы с показателями «неисчисляемой неопределенности» являются основным источником опасности, единственная возможность справиться с которыми состоит в использовании средств, обеспечивающих преобразование «неисчисляемой неопределенности» в «нечетко исчисляемую неопределенность».* Таким образом, с точки зрения проактивного обеспечения безопасности полетов, значения нечетко исчисляемой неопределенности требуется получить до возникновения условий, способствующих возникновению события. Такая задача может решаться путем вычисления комплексного (обобщенного) показателя развития интегрированной системы, который в работах [3,5] получил название нечеткий многокритериальный показатель эффективности интегрированной системы. Степень истинности значения указанного показателя является нечетким и измеряется в пределах: $0 \leq \tilde{K}_{Q,S} \leq 1$, что соответствует концепции теории нечетких множеств.

Аналогичные показатели можно также выстраивать при интеллектуальном анализе данных, например при машинном обучении, с использованием весовых коэффициентов нейронной сети, построенной на двух массивах данных интегрированной системы поставщика услуг. В общем виде задача по определению обобщенных критериев интегрированных систем управления решается на основе методов многокритериальных оценок сложных систем [6].

2. Мониторинг интегрированной системы управления качеством и безопасностью полетов поставщика услуг гражданской авиации

Основу метода измерения нечеткой неопределенности составляют процедуры обработки массивов результатов двух наиболее важных модулей системы управления качеством и системы управления безопасностью полетов, получаемых при типовом мониторинге деятельности поставщика услуг в интегрированной системе управления качеством и безопасностью полетов.

В рамках интеграции системы управления качеством и системы управления безопасностью полетов предлагается разделять показатели на авиационном предприятии на показатели качества и на показатели безопасности полетов по следующему принципу: показатели качества устанавливают степень выполнимости процедур, показатели безопасности полетов определяются в виде отклонений (ошибок, нарушений) от установленных процедур. В этом случае, между двумя видами показателей возникает «область неопределенности», выражающаяся в степени взаимосвязи, т. е. в доказательстве существовании «обратной связи» между показателями.

Для нахождения нечеткого многокритериального показателя эффективности оцениваются обратные связи между факторами, влияющими на безопасность полетов, путем проведения типового корреляционного анализа множеств показателей, полученных при непрерывном мониторинге деятельности поставщика услуг гражданской авиации за определенный период.

Непрерывный мониторинг деятельности поставщика услуг гражданской авиации может включать в себя следующие процедуры (не ограничиваются данным списком):

- Аудиты (внутренние, внешние);
- Материалы расследования авиационных событий;
- Обязательные и добровольные сообщения от персонала;
- Материалы полетной информации;
- Материалы квалификационных проверок, проверок на тренажере;
- Акты инспекторских проверок (инспекций) воздушных судов.

Материалы проверок Росавиации, Ространснадзора.

Задача непрерывного мониторинга заключается в выявлении факторов опасности с целью обеспечения безопасности полетов. В том случае, если проводится мониторинг интегрированной системы управления качеством и безопасностью полетов, мероприятия по обеспечению безопасности полетов разрабатываются до возникновения условий для неблагоприятного события и являются наиболее эффективными, в отличие от традиционных методов, основанных как правило на усредненных оценках состояния безопасности полетов по случившимся событиям. На рис. 2 представлена схема интеграции системы управления качеством и системы управления безопасностью полетов.

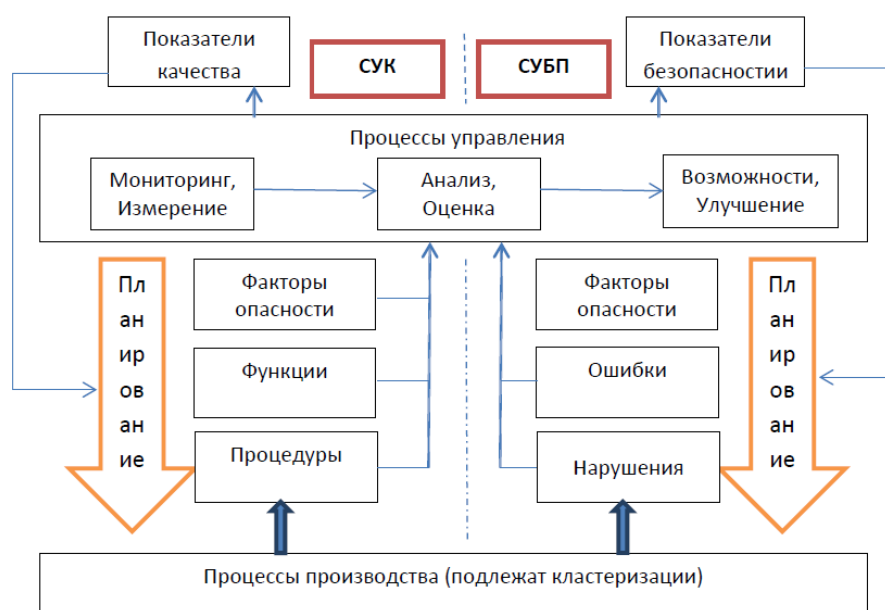


Рис. 2. Схема интегрированной системы управления качеством и безопасностью полетов

В основе схемы системы интегрированной системы управления качеством и безопасностью полетов (рис. 2) лежат показатели качества и показатели безопасности полетов, которые обрабатываются такими процессами управления, как мониторинг и измерение, анализ и оценка, определение возможностей для улучшения. Одним из условий достоверности информации о взаимосвязях показателей является кластеризация процессов, т.е. разделение процессов производства по функциональным признакам. В процессах производства имеются как факторы опасности, связанные с качеством (φ_1), так и факторы опасности, связанные с безопасностью полетов (φ_2). Невыполнение установленных процедур есть факторы опасности, приводящие к рисковому событиям в производственной деятельности поставщика услуг гражданской авиации:

$$f(\varphi_1 \Rightarrow \varphi_2) \Big| P_{mm}, P_{re}, P_{pi} \rightarrow \sum_{i=1}^n p_i \quad (1)$$

Принимается, что $\varphi_1 : Q_i \in C_A$, $\varphi_2 : S_i \in C_A$, тогда формула интеграции СУК и СУБП примет вид:

$$C_A = \{Q_i \cup S_i \Big| P_{mm}, P_{re}, P_{pi}\}, \quad (2)$$

где C_A - производственная система (в авиации), Q_i - показатели качества, S_i - показатели безопасности полетов воздушных судов, P_{mm} - процессы мониторинга и измерения, P_{re} - процессы анализа и оценки, P_{pi} - процессы определения возможностей для улучшения, φ_1 - факторы опасности, связанные с качеством, φ_2 - факторы опасности, связанные с безопасностью полетов, p_i - процессы производства.

3. Критические элементы интегрированной системы качеством и безопасностью полетов поставщика услуг гражданской авиации

Исходя из того, что в интегрированной системе качества и безопасностью полетов поставщика услуг гражданской авиации существуют два множества показателей, элементы области неопределенность можно условно разделить на два вида, как это представлено на рис. 3.

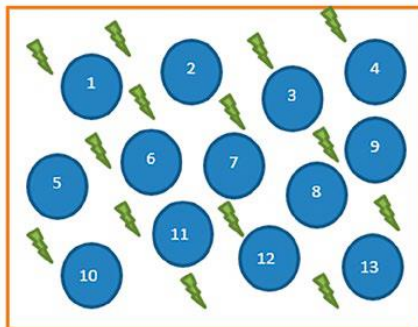


Рис. 3. Расположение элементов в области неопределенности системы

На рис. 3 условно представлены элементы системы, характеризующие показатели качества (шары синего цвета), относящиеся к первому типу неопределенности «исчисляемая определенность», и показатели безопасности (иголки зеленого цвета), относящиеся ко второму типу неопределенности «исчисляемая неопределенность». В производственной деятельности взаимодействие показателей качества и показателей безопасности полетов поставщика услуг может указывать на слабые элементы системы. На рис. 4 показана слабая защищенность некоторых элементов системы. Эти элементы, связанные с показателями качества, имеют слабую защиту. Если такие элементы образуют цепь, то вся система подвергается опасности. Таким образом, в области неопределенности производственной системы поставщика услуг могут создаваться условия для формирования критических элементов, цепочка из которых может привести к неблагоприятному событию.

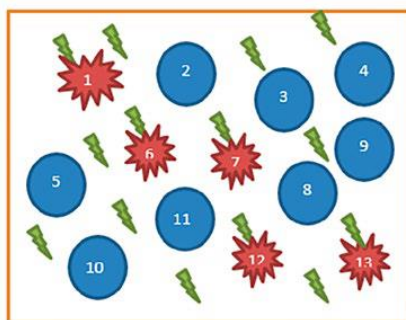


Рис. 4. Критические элементы системы в области неопределенности

Следовательно, цепочка из критических элементов системы является третьим типом неопределенности «неисчисляемая неопределенность», которая может привести к такому событию как катастрофа, авария, серьезный авиационный инцидент, чрезвычайное происшествие (рис. 5).

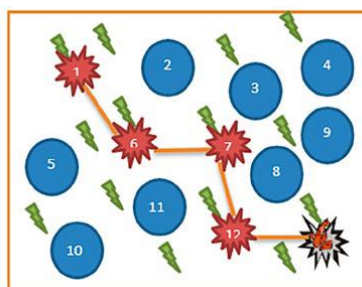


Рис. 5. Условие неблагоприятного события в области неопределенности

Таким образом, необходим инструмент для преобразования неисчисляемой неопределенности в исчисляемую неопределенность через обобщенный критерий развития системы, который можно найти через взаимосвязи между показателями СУК и показателями СУБП. В этом случае последовательные взаимосвязи элементов системы характеризуются уровнем риска. На рис. 6 показаны условия возникновения неблагоприятного события при различных взаимосвязях условных элементов системы, характерных для рисунков 3-5.

Расположение элементов в области неопределенности	Уровень риска	Формула события
	Не приемлемый	$\hat{R}_* \rightarrow L_R \Rightarrow U_R = (1 \wedge 6 \wedge 7 \wedge 12 \wedge 13) = 1.$
	Допустимый	$\hat{R} \rightarrow L_R \Rightarrow U_R = (2 \wedge 6 \wedge 8 \wedge 11 \wedge 13) = 0.$
	Приемлемый	$\hat{R} \rightarrow L_R \Rightarrow U_R = (2 \wedge 3 \wedge 8 \wedge 11 \wedge 12) = 0.$

Рис. 6. Уровни риска в области неопределенности

Каждое условие соответствует определенному уровню риска. Указанная классификация уровней риска соответствует документу ИКАО [2] и широко применяется в организациях гражданской авиации РФ. На рис. 5 и 6 показаны пять критических элементов (№ 1, 6, 7, 12, 13), цепочка из которых L_R может привести к катастрофе. Задача – найти эти критические элементы системы до возникновения условия катастрофы U_R .

4. Сценарный анализ возможного события поставщика услуг гражданской авиации

Одним из методов получения информации о состоянии безопасности полетов являются сценарии. В теории управления сценарий следует рассматривать, прежде всего как инструмент формального

анализа альтернативных вариантов срабатывания цепи факторов опасности, способных привести к авиационному событию до создания условия для его возникновения [7]. Для поставщика услуг сценарный анализ предусматривает применение проактивного подхода в управлении безопасностью полетов. Основная задача, решаемая в рамках сценарного анализа, заключается в формировании необходимых исходных данных для подготовки и принятия эффективных опережающих решений с целью контроля и поддержания приемлемого уровня риска для безопасности полетов.

Уровень риска отличный от приемлемого требует проведения корректирующих мероприятий (рис. 6). Своевременное определение уровня риска производственной системы поставщика услуг заключается в определении значений нечеткого многокритериального показателя интегрированной системы управления качеством и безопасностью полетов в области «нечетко исчисляемой неопределенности» (рис. 1).

Нечеткий многокритериальный показатель эффективности определяется путем проведения типового корреляционного анализа, используемого в методах факторного анализа двух производных множеств [6]:

$$\tilde{K}_{00} = f(S, Q). \quad (3)$$

Значение нечеткого многокритериального показателя эффективности, после проведения мониторинга производственной системы, превышающее установленную величину $\tilde{K}_{Q,S}^* \geq 0,8$ указывает на отсутствие развития системы в определенной ее области (в недостигнутом остатке {0.2} от полного диапазона) и определяет критичность элемента в системе.

$$\tilde{K}_{Q,S}^* \sim (\varphi_1, \varphi_2 | \tilde{K}_{00}) = \beta^*, \quad (4)$$

где β^* – критический элемент.

Множество значений нечеткого многокритериального показателя эффективности формирует уровень риска системы, включая неприемлемый уровень риска при негативных условиях развития системы. При неприемлемом уровне риска производственной системы можно построить «уравнение катастрофы», сконструированное по методу минимального сечения, которое будет представлять собой набор конъюнкций критических элементов производственной системы поставщика услуг, приводящих к отклонениям от установленных процедур либо к уязвимости системы под воздействием внешних факторов.

$$\hat{R} \rightarrow L_R \Rightarrow U_R = (\beta^*_1 \wedge \beta^*_2 \wedge \beta^*_3 \wedge \dots \wedge \beta^*_i) = 1, \quad (5)$$

где \hat{R} – нечеткий уровень риска производственной системы; L_R – структура цепи сценария; U_R – условие катастрофы; β^*_i – название элемента производственной системы (порядковый номер).

Это обозначает, что при вполне определенном источнике опасности, возникающем в точке уязвимости и определяющем нечеткую длину интервала уязвимости, в конце каждого интервала происходит бифуркация (разветвление и обрыв процесса) в виде события R – неудачи (катастрофы, аварии, серьезного авиационного инцидента, чрезвычайного происшествия), или не возникновения этого события, но возникновения события обратного – в виде удачи (шанса выживания).

Таким образом, прогнозируемое количество опасности \hat{R} всегда соответствует выделенной угрозе, и оно должно быть найдено заранее до прогнозируемого момента времени возникновения бифуркации, т.е. до неблагоприятного события.

В результате проведенных корректирующих мероприятий, в конкретном сценарии катастрофы было устранена бифуркация (разветвление и обрыв процесса), что позволяет утверждать об исключении возникновения события \hat{R} – неудачи (катастрофы, аварии) в дальнейшей поставщика услуг гражданской авиации (6).

$$\hat{R} \rightarrow L_R \Rightarrow U_R = 0. \quad (6)$$

5. Заключение

Таким образом, потенциальные условия возможности возникновения у поставщиков услуг гражданской авиации неблагоприятного события (*катастрофы, аварии, серьезного авиационного инцидента, чрезвычайного происшествия*), могут быть определены проактивно на основе оценки

состояния элементов в нечетких множествах производственной системы – до наступления такого события путем применения способов нечеткой измеримости неопределенности состояния элементов по концепции (Fuzzy Sets) с помощью «*уравнения катастрофы*». Такой подход в обеспечении безопасности полетов предполагает в себе оценку риска производственной системы (риск-ориентированный подход) и позволяет разработать эффективные корректирующие мероприятия по предотвращению негативного события в производственной деятельности поставщика услуг гражданской авиации.

Литература

1. ГОСТ Р ИСО 31000-2019 «Менеджмент риска. Принципы и руководство». – 19 с.
2. Руководство по управлению безопасностью полетов (DOC 9859 ICAO). – 4-е изд. Международная организация гражданской авиации, Монреаль, Канада, 2018. – 216 с.
3. *Балясников В.В., Куклев Е.А., Мельник Д.М.* Определение критических сочетаний элементов в области неопределенности состояний авиационной системы на примере Авиакомпании «Сириус-Аэро // Спецвыпуск – приложение к журналу «Транспортная стратегия XXI век», № 1(48), 2021 - С. 44-50.
4. *Найт Фрэнк Хейнеман.* Риск, неопределенность и прибыль. – М.: Дело, 2003. – 360 с.
5. *Мельник Д.М.* Метод выявления критических сочетаний элементов систем качества и безопасности полетов при аудите и мониторинге деятельности авиационного предприятия на основе нечеткого многокритериального показателя эффективности. – Диссертация канд. техн. н. – ФГБОУ ВО Санкт-Петербургский государственный университет гражданской авиации, Санкт-Петербург, 2022. – 142 с.
6. *Kuklev E. et al.* Flight Safety & Aviation Risk. Singapore: Springer, 2019. – 258 p.
7. *Шульц В.Л., Кульба В.В., Шелков А.Б., Чернов И.В.* «Сценарный анализ в управлении геополитическим информационным противоборством». Москва, ИПУ РАН, 2015. 590 – с.
8. Электронный ресурс: сайт Международной гражданской авиации (ИКАО): A41-WP/72, Application of the fuzzy sets theory for ensuring flight safety of the Civil aviation service providers in the conditions of the uncertainty statuses of the aviation system, Assembly 41st session ICAO, from September 27 to October 7, 2022, Montreal, Canada: https://www.icao.int/Meetings/a41/Documents/WP/wp_072_en.pdf, дата обращения 22.06.2023.