

УДК 629.735.33:004.021

DOI: 10.26467/2079-0619-2023-26-1-58-71

О применении нечетких нейронных сетей в рамках рискоориентированного подхода к контрольно-надзорной деятельности в гражданской авиации

Р.А. Образцов¹, В.Д. Шаров²

¹*Центральное межрегиональное территориальное управление воздушного транспорта Центральных районов Федерального агентства воздушного транспорта. Министерство транспорта Российской Федерации, г. Москва, Россия*

²*Московский государственный технический университет гражданской авиации, г. Москва, Россия*

Аннотация: Рискоориентированный подход, реализуемый при проведении контрольно-надзорных мероприятий в организациях гражданской авиации, позволяет повысить эффективность таких мероприятий, объективность оценок, снизить расходы и дополнительную нагрузку на бизнес. Основные положения, регулирующие деятельность органов контроля и надзора, в том числе и в вопросах оценки рисков, в целом указаны в нормативных документах. Однако остается неопределенность в части использования так называемых индикаторов риска, которые предназначены для прогнозирования рисков для безопасности полетов. В настоящее время нет каких-либо указаний по количеству и составу таких индикаторов, отсутствуют методики их использования по назначению. В статье предлагается решение этого вопроса с использованием элементов искусственного интеллекта. На примере индикаторов риска, характерных для организаций обслуживания воздушного движения, показана возможность прогнозировать уровень риска посредством нечеткой (гибридной) нейронной сети. Как известно, такие гибридные структуры, объединяющие в себе нейронные сети и нечеткую логику, собирают наилучшие свойства обоих методов. Формирование набора индикаторов риска и исходных данных для обучения сети проводится с привлечением квалифицированных экспертов с большим опытом управления безопасностью полетов и контрольно-надзорной работы. Обученная сеть позволяет количественно оценить прогнозируемый уровень риска на авиапредприятии на основании выявленных индикаторов риска с учетом степени их проявления. Показаны все этапы построения и использования сети в редакторе ANFIS программного пакета Matlab. Предлагаемый метод может использоваться также и в системах управления безопасностью полетов различных поставщиков авиационных услуг.

Ключевые слова: риск для безопасности полетов, обслуживание воздушного движения, рискоориентированный подход, индикатор риска, нечеткая нейронная сеть.

Для цитирования: Образцов Р.А., Шаров В.Д. О применении нечетких нейронных сетей в рамках рискоориентированного подхода к контрольно-надзорной деятельности в гражданской авиации // Научный Вестник МГТУ ГА. 2023. Т. 26, № 1. С. 58–71. DOI: 10.26467/2079-0619-2023-26-1-58-71

On the use of fuzzy neural networks in the framework of a risk-based approach in control and supervisory activities in civil aviation

R.A. Obratsov¹, V.D. Sharov²

¹*Central Interregional Territorial Administration Office of Air Transport of Central Regions of the Federal Air Transport Agency, Ministry of Transport of the Russian Federation, Moscow, Russia*

²*Moscow State Technical University of Civil Aviation, Moscow, Russia*

Abstract: A risk-oriented approach implemented in conducting control and supervisory activities in Civil Aviation organizations makes it possible to increase the effectiveness of such activities, the objectivity of assessments, to reduce costs and the additional burden on business. The main provisions, regulating the activities of control and supervision bodies, including the issues of risk

assessment, are generally specified in regulatory documents. However, uncertainty remains regarding the use of so-called risk indicators, which are designed to forecast risks for flight safety. Currently, there are no guidelines on the number and composition of such indicators, there are no methods to use them for the intended purpose. The article proposes a solution to this problem using elements of artificial intelligence. Based on the example of risk indicators distinctive for air traffic service organizations, the feasibility of forecasting the level of risk through a fuzzy (hybrid) neural network is shown. As is well known, such hybrid structures, combining neural networks and fuzzy logic, collect the best properties of both methods. The formation of a set of risk indicators and initial data for network training is carried out with the involvement of qualified experts with extensive experience in flight safety management and control and supervisory activities. The trained network allows us to quantify a forecasted level of risk in an airline based on the identified risk indicators considering the degree of their manifestation. All the stages of building and using the network in the ANFIS editor of the MATLAB software package are shown. The proposed method can also be used in the flight safety management systems for various providers of aviation services.

Key words: safety risk, air traffic service, risk-oriented approach, risk indicator, fuzzy neural network.

For citation: Obratsov, R.A. & Sharov, V.D. (2023). On the use of fuzzy neural networks in the framework of a risk-based approach in control and supervisory activities in civil aviation. *Civil Aviation High Technologies*, vol. 26, no. 1, pp. 58–71. DOI: 10.26467/2079-0619-2023-26-1-58-71

Введение

В настоящее время надзорная деятельность базируется на рискориентированном подходе, который может рассматриваться в широком и узком смысле [1, 2].

По отношению к гражданской авиации (ГА) его применение в широком смысле предполагает включение упреждающего управления рисками в государственную программу (систему) безопасности полетов. Эта задача как долгосрочная была поставлена ИКАО перед государствами в перспективном плане до 2027 года¹. Снижение эксплуатационных рисков заявлено как задача номер один и в действующем плане ИКАО на период 2020–2022 годов². Эта деятельность государства должна обеспечить выполнение стандарта из Приложения 19 ИКАО³ по критическому элементу 8 ГосПБП и предполагает реализацию требований Постановления Правительства РФ 1215⁴ (утратило силу) и пришедшего ему на сме-

ну Постановления 642⁵ на основе сбора и обработки информации о факторах опасности (ФО) и связанных с ними рисках от основных поставщиков авиационных услуг.

Рискориентированный подход по регулированию государством деятельности ГА в узком смысле опирается на положения ФЗ-248⁶, в котором под управлением рисками понимается «осуществление на основе оценки рисков причинения вреда (ущерба) профилактических мероприятий и контрольных (надзорных) мероприятий в целях обеспечения допустимого уровня риска причинения вреда (ущерба) в соответствующей сфере деятельности» (с. 22, п. 4). Периодичность, объем и глубина мероприятий зависит от категории риска, к которой отнесен конкретный объект государственного или муниципального контроля.

Закон содержит общие рекомендации по установлению категории риска для различ-

¹ Дос. 10004: Глобальный план безопасности полетов. ИКАО 2014–2016 // ИКАО, 2014. 76 с.

² Дос. 10004: Глобальный план безопасности полетов. ИКАО 2020–2022 // ИКАО, 2020. 162 с.

³ Управление безопасностью полетов. Приложение 19 к Конвенции о международной ГА. 2-е изд. // ИКАО, 2016. 48 с.

⁴ Постановление Правительства РФ от 18.11.2014 № 1215 «О порядке разработки и применения систем управления безопасностью полетов воздушных судов, а также сбора и анализа данных о факторах опасности и риска, создающих угрозу безопасности полетов гражданских воздушных судов, хранения этих данных и обмена ими» [Электронный ресурс] // КонсультантПлюс. 2014. 6 с. URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_171133/92d969e26a4326c5d02fa79b8f9cf4994ee5633b/ (дата обращения: 15.08.2022).

⁵ Постановление Правительства РФ от 12.04.2022 № 642 «Об утверждении Правил разработки и применения систем управления безопасностью полетов воздушных судов, а также сбора и анализа данных о факторах опасности и риска, создающих угрозу безопасности полетов гражданских воздушных судов, хранения этих данных и обмена ими в соответствии с международными стандартами Международной организации гражданской авиации и признании утратившими силу некоторых актов Правительства Российской Федерации» [Электронный ресурс] // КонсультантПлюс. 2022. 7 с. URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_414577/92d969e26a4326c5d02fa79b8f9cf4994ee5633b/ (дата обращения: 15.08.2022).

⁶ Федеральный закон от 31 июля 2020 г. № 248-ФЗ «О государственном контроле (надзоре) и муниципальном контроле в Российской Федерации» [Электронный ресурс] // ГАРАНТ. 2020. 78 с. URL: <https://base.garant.ru/74449814/> (дата обращения: 15.08.2022).

ных объектов контроля. Некоторая конкретизация этой процедуры применительно к деятельности надзорного органа ГА – Госавианадзора содержится в Постановлении Правительства РФ от 30.06.2021 № 1064⁷. Однако при проведении проверок и разработке профилактических мероприятий надзорному органу всегда желательно иметь количественные оценки (индикаторы) риска.

В настоящее время отсутствуют какие-либо указания по описанию, составу и количеству таких индикаторов для прогнозирования риска при проведении проверок в тех случаях, когда ФО еще не проявились в виде событий. Это означает, что «проактивность» риск-менеджмента в понимании ИКАО⁸ при проведении проверок реализуется недостаточно. Отсутствуют и научно обоснованные методики выполнения таких прогнозов.

Очевидно, что набор индикаторов будет различным для разных поставщиков авиационных услуг, но подходы к прогнозированию рисков могут быть общими.

Перспективным выглядит использование для решения данной задачи элементов искусственного интеллекта в виде нейронных сетей, в частности нечетких (гибридных), как в наибольшей степени соответствующих специфике решаемых задач.

1. Основные положения рискориентированного подхода и их применимость к надзорной и контрольной деятельности в ГА

Рискориентированный подход – это способ организации надзора, который предполагает снижение числа государственных проверок бизнеса там, где риск нарушений ниже. Такой подход применяют для оптимального использования ресурсов организации, снижения издержек юридических лиц и повышения ре-

зультативности деятельности государственных надзорных органов.

Понятие рискориентированного подхода впервые появилось в 2015 году с введением ФЗ-246, статья 8.1. Перечень видов государственного контроля с применением рискориентированного подхода и правила отнесения деятельности к категории риска устанавливались постановлениями Правительства № 806⁹ и № 245¹⁰ в 2016–2017 годах. Однако, как отмечается в [3], подобная система управления рисками использовалась в таможенном и налоговом контроле гораздо раньше – с 2003 года. Это обусловлено доминированием фискальных управленческих функций государства в определенный период и необходимостью укрепления финансовой дисциплины подконтрольных субъектов при одновременном стимулировании их активности.

Рискориентированный подход базируется на широко и давно обсуждаемых идеях гибкого регулирования (*Responsive regulation*) [4–6], состоящих в поиске оптимального соотношения между жестким государственным контролем деловой активности и самостоятельной деятельностью предприятий и организаций.

Подход опирается на результаты исследований и международную практику, доказавшие его эффективность. В статье [7] приводятся несколько примеров. В частности, в Дании контроль за рынком пищевых продуктов осуществляется по пяти группам опасности, и стандартная частота проверок составляет 2 раза в год. Если в последних четырех отчетах по проверкам не было штрафных санкций, компания получает статус элитной и количество проверок сокращается с 5 до 3 в самой высокой группе риска и с 3 до 1 – в самой низкой.

⁷ Постановление Правительства РФ от 30 июня 2021 г. № 1064 «Об утверждении Положения о федеральном государственном контроле (надзоре) в области гражданской авиации» [Электронный ресурс] // ГАРАНТ. 2021. 20 с. URL: <https://base.garant.ru/401423120/> (дата обращения: 15.08.2022).

⁸ Дос. 9859: Руководство по управлению безопасностью полетов (РУБП). 4-е изд. // ИКАО, 2018. 218 с.

⁹ Постановление Правительства РФ от 17 августа 2016 г. № 806 «О применении риск-ориентированного подхода при организации отдельных видов государственного контроля (надзора) и внесении изменений в некоторые акты Правительства Российской Федерации» [Электронный ресурс] // ГАРАНТ. 2016. 14 с. URL: <https://base.garant.ru/71473944/> (дата обращения: 15.08.2022).

¹⁰ Постановление Правительства РФ от 2 марта 2017 г. № 245 «О внесении изменений в постановление Правительства Российской Федерации от 17 августа 2016 г. № 806» [Электронный ресурс] // ГАРАНТ. 2017. 6 с. URL: <https://base.garant.ru/71625910/> (дата обращения: 15.08.2022).

В документе¹¹ показано, как рискориентированный подход помогает бороться с отмыванием денег и коррупцией.

В ФЗ-248 вопросам рискориентированного подхода посвящена глава 5. Определение понятия не дается, но указано, что под риском причинения вреда (ущерба) в целях настоящего федерального закона понимается вероятность наступления событий, следствием которых может стать причинение вреда (ущерба) различного масштаба и тяжести охраняемым законом ценностям. Это определение соответствует «технократической концепции риска» [8] и пониманию риска для безопасности полетов по стандарту ИКАО из Приложения 19.

Устанавливаются 6 категорий риска от низкого до чрезвычайно высокого, вводится понятие критерия риска как оценочная мера вероятности наступления негативного события и его тяжести. Определение критериев вероятности и тяжести выполняется с учетом сведений о предшествующих событиях, вызванных определенными причинами, с учетом их наблюдаемой частоты и тяжести последствий. При определении критериев особо подчеркивается необходимость оценки добросовестности контролируемых с учетом реализации ими мероприятий по снижению риска, наличию систем контроля, предоставления доступа к информации, прохождения добровольной сертификации и заключения договоров страхования.

Отнесение объекта к категории риска при государственном контроле производится федеральным органом исполнительной власти, осуществляющим функции по нормативно-правовому регулированию в установленной сфере деятельности. В ГА таким органом является Госавианадзор, в деятельности которого переход на рискориентированную модель осуществлялся с 2017 года, как отмечено в статье [9]. При этом в числе прочих ставились задачи, кратко формулируемые как:

- категорирование субъектов контроля по категориям рисков в соответствии с методикой, утвержденной Постановлением Правительства РФ от 17.08.2016 № 806;

- формирование требований для создания «динамической модели» категорирования субъектов контроля, основанных на данных статистики и показателях деятельности субъектов контроля;
- разработка методики оценки показателей конечных общественно значимых результатов для контролируемых видов деятельности.

Необходимо отметить, что методика постановления 806 предусматривала, как и ФЗ-248, шесть категорий риска или классов опасности. Соответственно и были обозначены особенности проведения надзорных мероприятий. Однако вышедшее позже постановление 1064 уменьшило количество категорий риска до четырех: высокий, значительный, средний и низкий.

Отнесение объекта к одной из категорий выполняется в зависимости от сочетания составляющих риска – вероятности негативного события и его тяжести по таблице приложения 1 этого постановления. Эту таблицу легко преобразовать в матрицу (рис. 1) по типу используемой в методе «последствий и вероятностей» по ГОСТ Р-58771-2019¹², часто называемой в авиационных кругах «матрицей ИКАО», поскольку этот метод управления рисками рекомендуется в РУБП ИКАО.

Дополнительно при принятии решения о виде внепланового контрольного мероприя-

		Группа вероятности			
		1	2	3	4
Группа тяжести	А	Высокий	Значительный	Средний	Средний
	Б	Высокий	Значительный	Средний	Средний
	В	Значительный	Значительный	Средний	Средний
	Г	Средний	Средний	Низкий	Низкий

Рис. 1. Матрица категорий риска объектов контроля (надзора) в ГА

Fig. 1. Matrix of risk categories for control (oversight) of objects in CA

¹¹ Руководство по применению риск-ориентированного подхода в надзорной деятельности. FATF. Paris. Неофициальный перевод АНОМУМЦФМ. [Электронный ресурс] // FATF. Paris. Март 2021. 124 с. URL: https://www.fedsfm.ru/content/files/documents/fatf/2021/nadzor_web.pdf (дата обращения 15.08.2022).

¹² ГОСТ Р 58771-2019 (ISO 3110-2019 NEQ). Менеджмент риска. Технологии оценки риска. М.: Стандартинформ, 2020. 85 с.

Таблица 1
Table 1

Индикаторы риска и их характеристики
Risk indicators and their characteristics

№	Индикатор	Возможные последствия	Нормативный акт
1	Отсутствие радиолокационного контроля	1. Повышаются риски столкновений между ВС и ВС с препятствиями. 2. Затруднен контроль воздушного движения. 3. Снижен контроль соблюдения правил ИВП	Воздушный кодекс в части контроля за соблюдением правил ИВП. ФАП 216, несоответствие свидетельству в части наличия средств наблюдения
2	Нарушение требований при проведении стажировки и проверки персонала	1. Системные ошибки при обслуживании воздушного движения. 2. Выполнение конкретных процедур с ошибками	Приказ Минтранса РФ от 14.04.2010 № 93 ¹³ в части функционирования системы профессиональной подготовки, освидетельствования, стажировки
3	СУБП не в полной мере соответствует требованиям воздушного законодательства	Увеличиваются риски отсутствия информации о фактических или потенциально опасных для БП ситуациях или недостатках, связанных с ОВД	ПП-642 и ФАП-293 в части осуществления анализа на регулярной и систематической основе квалифицированными специалистами и обеспечения безопасности полетов при обслуживании воздушного движения
4	Недостатки в поддержании работоспособности средств РТОП и авиаэлектросвязи	Возможна частичная и/или неполная выдача информации диспетчеру, отказы оборудования и средств авиационной электросвязи	ФАП-297 в части технической эксплуатации объектов и средств РТОП и авиационной электросвязи

тия контрольный орган разрабатывает индикаторы риска нарушения обязательных требований. Индикаторы – это несоответствия или отклонения от параметров объекта контроля, по которым можно судить об уровне риска. Такой подход близок к «проактивной методике» выявления факторов опасности в системе управления безопасностью полетов ИКАО.

Особое внимание в [9] уделено надзорной деятельности в области ОВД, которое включает организацию и обслуживание воздушного движения, радиотехническое обеспечение полетов и авиационную электросвязь, предоставление аэронавигационной и метеорологической информации, авиационный поиск и спасание на всех этапах полета.

В рамках настоящего исследования специалистами территориальных органов Росавиации и Ространснадзора были предложены четыре индикатора риска для организаций ОВД, которые приведены в табл. 1.

Для разработки метода прогнозирования риска, при условии что в процессе проверки

установлено «срабатывание» («проявление») данных индикаторов, предлагается использовать нечеткую нейронную сеть.¹³

2. Построение нечеткой нейронной сети для прогнозирования рисков

2.1. Основные особенности нечетких нейронных сетей

Для решения задач, связанных с управлением рисками, в том числе и в авиационной деятельности, ввиду высокой степени неопределенности применяются приложения теории нечетких множеств, что отражено в ряде работ по данной тематике [10–12].

¹³ Приказ Минтранса РФ от 14 апреля 2010 г. N 93 "Об утверждении Порядка функционирования непрерывной системы профессиональной подготовки, включая вопросы освидетельствования, стажировки, порядка допуска к работе, периодичности повышения квалификации руководящего и диспетчерского персонала" [Электронный ресурс] // Система ГАРАНТ. 2010. 15 с. URL: <https://base.garant.ru/199197/> (дата обращения: 15.08.2022).

Однако имеются трудности, основные из которых возникают из-за необходимости априорно определять компоненты моделей (функции принадлежности (ФП), структуры базы нечетких правил). Это делает невозможным адаптацию и обучение системы [13].

Нейронные сети обладают способностью к обучению и адаптации и могут обучиться управлять объектом, не требуя при этом полной информации о нем, такой как математическая модель. Они состоят из большого числа взаимосвязанных элементов (нейронов), каждый из которых выполняет обработку сигналов, что позволяет получить огромную вычислительную мощность и отказоустойчивость. Однако не существует четкого алгоритма для расчета необходимого количества слоев сети и количества нейронов в каждом слое, что приводит к проектированию сети на интуиции. Также знания, накопленные сетью, распределяются между всеми ее элементами, что затрудняет представление функциональной зависимости между входом и выходом объекта в явном виде [14, 15].

Для объединения достоинств и нивелирования недостатков этих двух методов J-S. R. Jang в 1992 году была предложена адаптивная нейронечеткая система вывода (*Adaptive Network-based Fuzzy Inference System – ANFIS*), подробно описанная в его работе [16]. Это искусственная нейронная сеть, основанная на нечеткой системе вывода Сугено.

Такие гибридные структуры, объединяющие в себе нейронные сети и нечеткую логику, собирают наилучшие свойства обоих методов и в то же время освобождаются от их проблем. С одной стороны, они включают вычислительную мощность и способность к обучению нейронных сетей, а с другой стороны, интеллектуальные возможности нейронных сетей усиливаются свойственными «человеческому» способу мышления нечеткими правилами выработки решений. В нечетких нейронных сетях вывод осуществляется на основе аппарата нечеткой логики, а параметры функций принадлежности настраиваются при помощи алгоритмов обучения нейронной сети.

Рассмотрим кратко особенности построения такой сети по [15–17]. Как известно, в «обычной» нейронной сети (рис. 2) входные сигналы x_i «взаимодействуют» с весами w_i , и сумма их произведений p_i образует вход net нейрона:

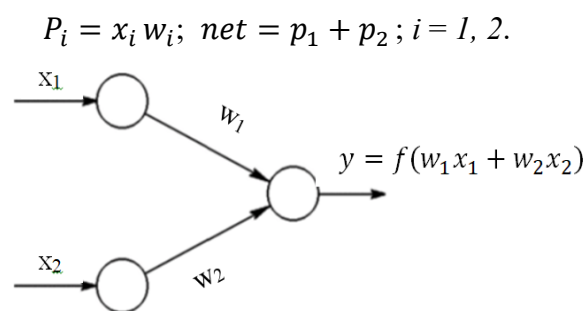


Рис. 2. Простейшая однослойная нейронная сеть
Fig. 2. The simplest single-layer neural network

Выходной сигнал нейрона – это преобразование входа net некоторой активационной функцией f .

$$y = f(net) = f(w_1x_1 + w_2x_2).$$

Нечеткая (гибридная) нейронная сеть – это сеть, в которой параметры x , w , p объединяются не простым сложением и умножением, а с использованием t-нормы, t-конормы¹⁴ или других непрерывных операций. Нечеткая нейронная сеть обычно строится многослойной с использованием И-, ИЛИ-нейронов.

Для нечеткого нейрона И (рис. 3) сигналы x_i и веса w_i объединяются с помощью треугольной конормы $p_i = S(x_i w_i)$, $i = 1, 2$. Выход образуется с применением треугольной нормы:

$$y = (p_1 \cdot p_2) = T(p_1 \cdot p_2) = T(S(w_1 \cdot x_1), S(w_2 \cdot x_2)).$$

Если принять $T = \min$, $S = \max$, то нечеткий нейрон И реализует композицию min-max: $y = \min(w_1 \vee x_1, w_2 \vee x_2)$.

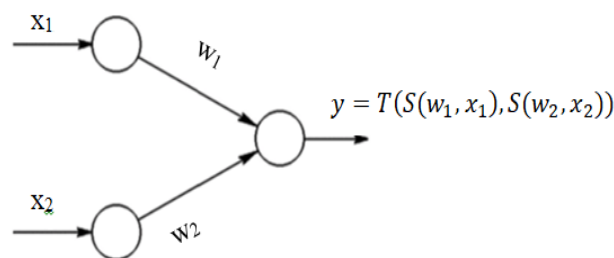


Рис. 3. Структура нечеткого нейрона И
Fig. 3. The structure of the fuzzy neuron AND

¹⁴ Определение понятий «t-норма» и «t-конорма» [Электронный ресурс] // Викинаука. URL: https://science.fandom.com/ru/wiki/T-нормы,t-конормы_и_порядковые_суммы (дата обращения: 15.08.2022).

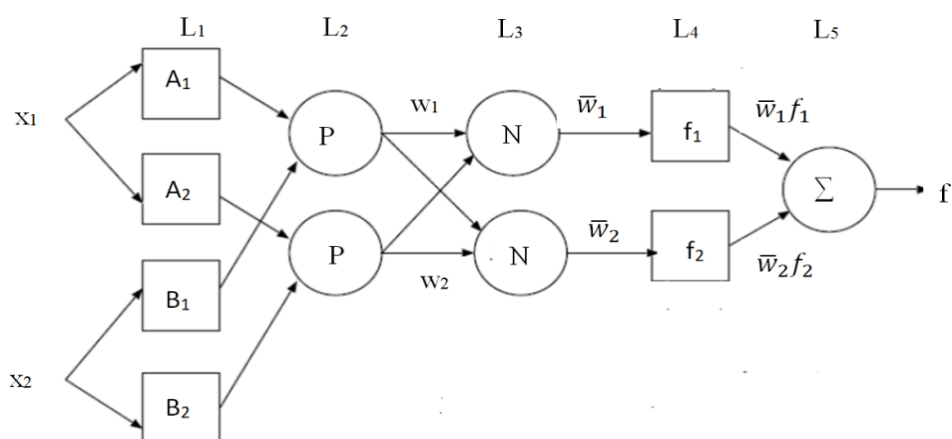


Рис. 5. Архитектура нечеткой (гибридной) нейронной сети
Fig. 5. Fuzzy (hybrid) neural network architecture

В нечетком нейроне «ИЛИ» (рис. 4) сигналы также объединяются с помощью треугольной нормы $p_i = T, i = 1, 2$, а выход образуется с применением треугольной конормы.

$$y = (p_1 \cdot p_2) = S(p_1 \cdot p_2) = S(T(w_1 \cdot x_1), T(w_2 \cdot x_2)).$$

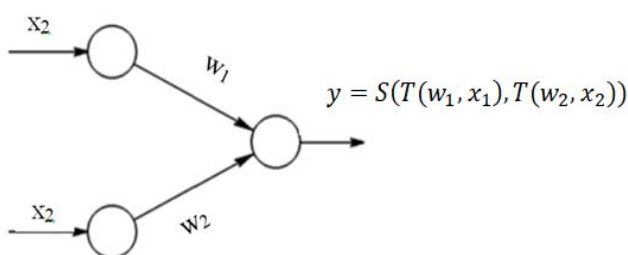


Рис. 4. Структура нечеткого нейрона ИЛИ
Fig. 4. The structure of the fuzzy neuron OR

Если принять $T = \min, S = \max$, тогда нечеткий нейрон ИЛИ реализует композицию типа $\max\text{-min}$.

Структуру сети поясним на примере системы с двумя входами x_1, x_2 и одним выходом. Модель нечеткого вывода Сугено использует правила вида:

если x_1 есть A_1 и x_2 есть B_1 , то $y = f_1 = p_1 x_1 + q_1 x_2 + r_1$;

если x_1 есть A_2 и x_2 есть B_2 , то $y = f_2 = p_2 x_1 + q_2 x_2 + r_2$.

ANFIS, реализующая данную модель, представлена на рис. 5.

Обычно нечеткая сеть состоит из 5 слоев ($L_1\text{--}L_5$). Нейроны в сети имеют разную

структуру и назначение. Обозначим $V_{L, i}$ – выход i -го нейрона слоя L .

Нейроны первого слоя вычисляют ФП нечетких термов:

$$V_{1,i} = \mu_{A_i}(x_1), \text{ для } i = 1, 2;$$

$$V_{1,i} = \mu_{B_{i-2}}(x_2), \text{ для } i = 3, 4.$$

Каждый нейрон второго слоя вычисляет произведение

$$V_{2,i} = w_i = \mu_{A_i}(x_1) \cdot \mu_{B_i}(x_2) \text{ для } i = 1, 2.$$

Выход нейрона представляет уровень активации правила.

Слой 3 нормирует уровни активации правила:

$$V_{3,i} = \bar{w}_i = \frac{w_i}{w_1 + w_2} \text{ для } i = 1, 2.$$

Слой 4 вычисляет заключение правил:

$$V_{4,i} = \bar{w}_i f_i = w_i(p_i x_1 + q_i x_2 + r_i) \text{ для } i = 1, 2,$$

где p_i, q_i, r_i – параметры узла.

Слой 5 вычисляет результат нечеткого вывода как сумму аргументов:

$$V_{5,1} = \sum_i \bar{w}_i f_i = \frac{\sum_i w_i f_i}{\sum_i w_i}.$$

Слои 1 и 4 адаптивные и обеспечивают обучение сети, остальные слои являются фиксированными.

Таблица 2
Table 2

Фрагмент таблицы экспертного опроса
Fragment of the expert survey table

№	ИНДИКАТОРЫ				Уровень риска
	1. Отсутствие р/л контроля	2. Нарушение требований стажировки и проверки	3. СУБП не соответствует требованиям	4. Недостатки в подержании состояния РТОП, связи	
1	Да	Нет	Да	Да	
2	Нет	Нет	Да	Да	
3	Нет	Да	Нет	Нет	

Таблица 3
Table 3

Фрагмент матрицы данных для обучения нейронной сети
Fragment of a data matrix for training a neural network

ИНДИКАТОРЫ				РИСК
1	2	3	4	
1	0	1	1	4
0	0	1	1	2
0	1	0	0	2

2.2. Методика построения сети ANFIS для решения поставленной задачи

Сеть ANFIS может быть построена с использованием пакета Matlab. Цель – получить инструмент прогнозирования риска организации при выявленных при проверках признаках наличия одного или нескольких индикаторов с различными уровнями серьезности их проявления.

Для формирования обучающего набора данных экспертам было предложено оценить предполагаемый уровень риска организации при различных сочетаниях проявления индикаторов из табл. 1. Для этого была сформирована таблица, четыре столбца которой соответствовали индикаторам, а в каждой строке было задано одно из сочетаний их проявлений: «Да» означает, что индикатор проявился, «Нет» – индикатор отсутствует.

Задача эксперта состояла в том, чтобы записать в ячейках столбца 5 предполагаемый уровень риска, соответствующий сочетанию проявлений индикаторов в данной строке.

Уровень риска следовало обозначить в соответствии с Постановлением Правительства РФ 1064: «высокий», «значительный», «средний» или «низкий».

Фрагмент опросника приведен в табл. 2.

Общее количество сочетаний да/нет при четырех индикаторах равно $2^4 = 16$, в экспертном опросе участвовали 5 квалифицированных экспертов-специалистов, таким образом, было получено $16 \times 5 = 80$ оценок риска в зависимости от наблюдаемых индикаторов.

При построении сети в Matlab использовано пособие [18]. Для загрузки в редактор ANFIS собранные данные были преобразованы в матрицу 80×5 , фрагмент которой приведен в табл. 3. В матрице единица соответствует варианту «Да» (наличие индикатора), ноль – варианту «Нет» (отсутствие индикатора).

Индикаторам присвоены номера в соответствии с табл. 1, а уровням риска, которые назначили эксперты, – численные значения: «высокий» – 4, «значительный» – 3, «средний» – 2, «низкий» – 1.

Файл с набором данных для обучения формируется командой *edit* и сохраняется с расширением *.dat*. Окно редактора гибридных систем вызываем командой *anfisedit* (рис. 5) и загружаем матрицу обучающих данных. Далее генерируем структуру нечеткого вывода FIS типа Сугено, выбрав количество ФП для термов входных переменных равное 2 и тип ФП Гаусса.

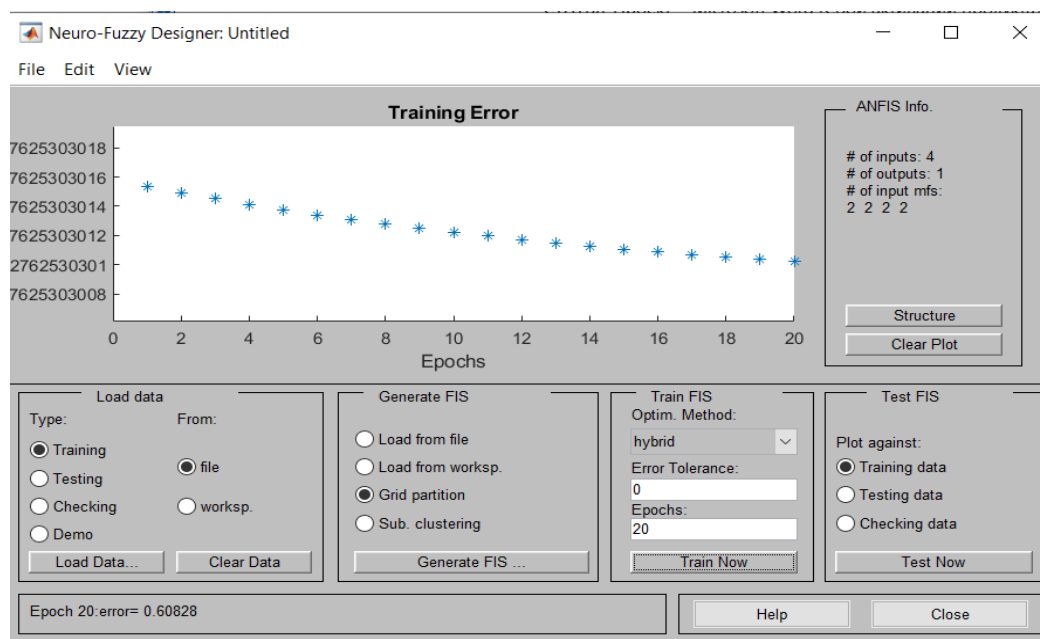


Рис. 6. Результаты обучения сети в окне редактора гибридных систем
Fig. 6. Results of the network training in the Hybrid Systems Editor window

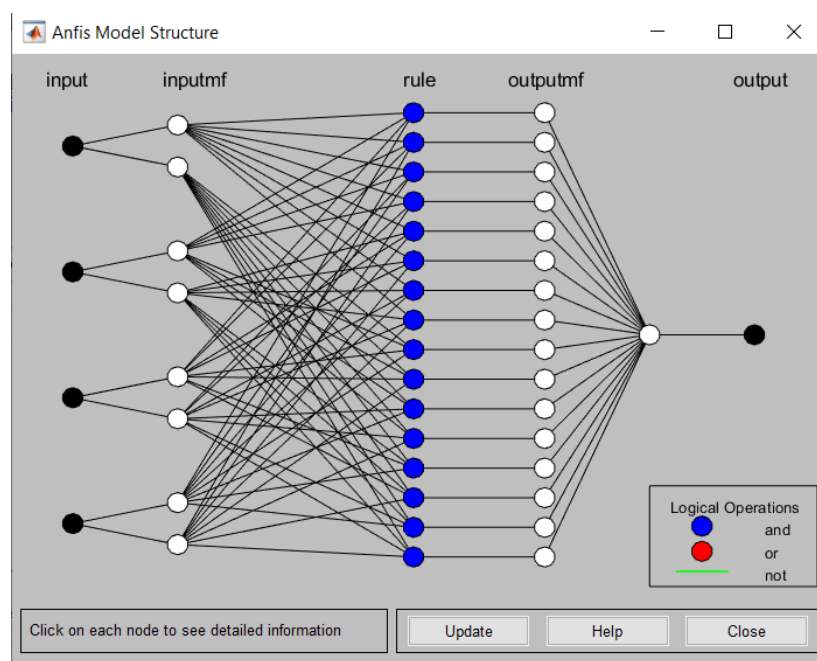


Рис. 7. Структура сгенерированной нечеткой нейронной сети
Fig. 7. The structure of the generated fuzzy neural network

Задаем параметры обучения сети. Уровень ошибки (*Error Tolerance*) по умолчанию 0, и менять его не рекомендуется, количество циклов обучения (*Epochs*) установим 20.

Метод обучения выберем гибридный (*hybrid*), который представляет собой комбинацию метода наименьших квадратов и метода

убывания градиента. Проводим обучение сети (рис. 6).

Структура построенной сети (рис. 7) вызывается кнопкой *Structure*.

На рисунке наглядно видно количество нейронов в каждом слое, тип нейронов

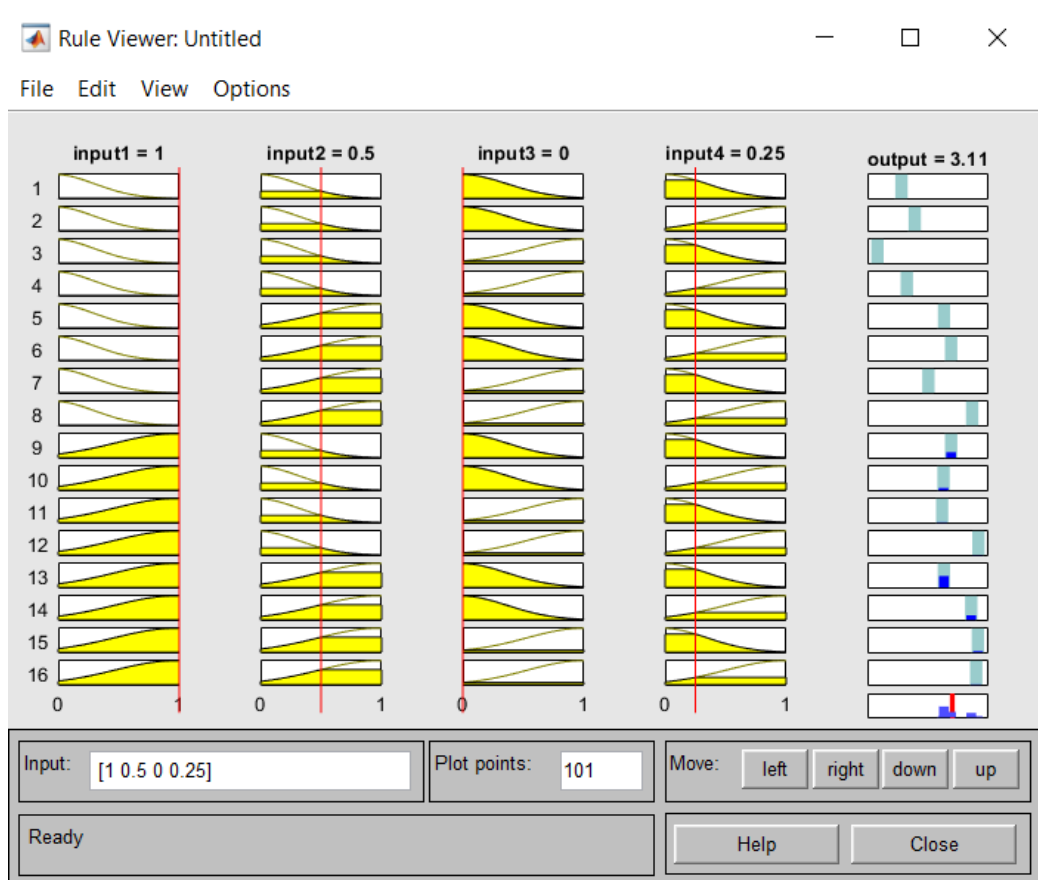


Рис. 8. Вывод результатов прогнозирования рисков объекта на основе выявленных проявлений индикаторов риска

Fig. 8. Output of the results of forecasting risks for the object based on the identified manifestations of risk indicators

(в данном случае нейронов И нет) и видны связи между нейронами и слоями.

Решить поставленную задачу прогнозирования риска при любых сочетаниях индикаторов и любой степени их проявления позволяет использование интерфейса просмотра правил сгенерированной системы нечеткого вывода, который показан на рис. 8.

Вводим показатель «Степень проявления индикатора риска X » как действительное число от 0 до 1, которое показывает, в какой степени данный индикатор проявил себя по результатам проверки. Например, если индикатор 1 четко и однозначно наблюдается, то считаем, что $X_1 = 1$. Если же наличие индикатора 2 можно оценить как проявляющегося на 50 %, то $X_2 = 0,5$ и т. д. Значение этого показателя X для каждого наблюдаемого индикатора риска устанавливает проверяющий. Так учитывается часто присутствующая на практике различная степень проявления и,

соответственно, разная степень опасности имеющихся недостатков и несоответствий, их «нечеткость».

Сгенерированная и обученная нечеткая нейронная сеть позволяет, задавая значения всех $X_i = 1-4$, получить количественную оценку прогноза риска R в диапазоне от 1 до 4, т. е. от низкого риска до высокого. Для этого необходимо в окне *Input* в нижней левой части формы *Rule Viewer* задать подряд через пробелы значения X_i для индикаторов с 1 по 4 либо переместить в соответствующие положения красные курсоры в столбцах ФП.

Например, на рис. 8 заданы $X_1 = 1$; $X_2 = 0,5$; $X_3 = 0$; $X_4 = 0,25$. Эти значения (*Input* 1, 2, 3, 4) можно видеть над соответствующими столбцами ФП. Над правым крайним столбцом результатов (*Output*) имеем рассчитанную системой оценку риска $R = 3,11$. Это значит, что в данном случае прогнозируемый риск несколько больше, чем

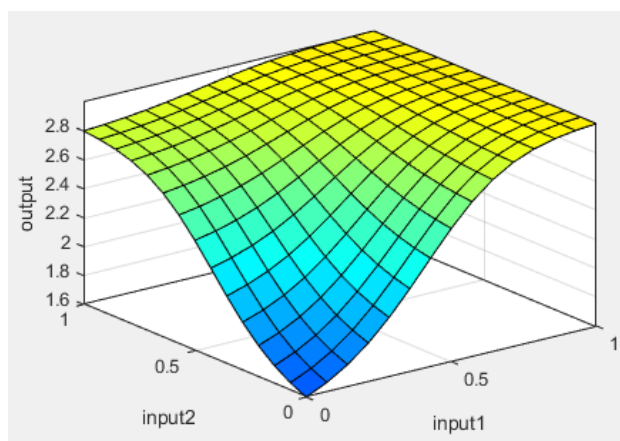


Рис. 9. Поверхность уровня риска в координатах X_1/X_2 при $X_3 = X_4 = 0$
Fig. 9. The surface of the risk level in coordinates X_1/X_2 if $X_3 = X_4 = 0$

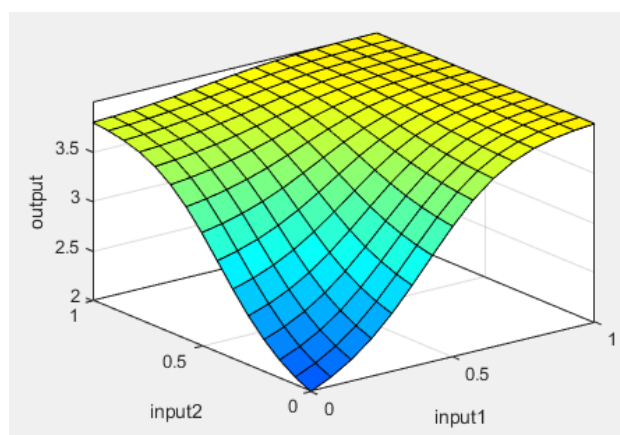


Рис. 10. Поверхность уровня риска в координатах X_1/X_2 при $X_3 = X_4 = 1$
Fig. 10. The surface of the risk level in coordinates X_1/X_2 if $X_3 = X_4 = 1$

значительный, однако существенно меньше, чем высокий.

В общем случае интерпретация полученного результата – это уже задача специалиста, выполняющего контрольно-надзорные функции. При этом, разумеется, необходимо учитывать ошибку системы.

В качестве дополнительной опции Matlab позволяет получить графический интерфейс для просмотра поверхности сгенерированной системы. На рис. 9 и 10 представлены поверхности результата прогноза риска в координатах X_1/X_2 при разных фиксированных значениях X_3 и X_4 .

Заключение

При проведении контрольно-надзорных мероприятий на авиапредприятиях для оцен-

ки уровня риска объекта необходимо учитывать проявления индикаторов риска. Это позволит усилить «проактивную» (в смысле ИКАО) составляющую рискориентированного подхода к проверкам организаций.

Инструментом прогнозирования могут быть нейронные сети. Показана возможность использования адаптивной нейронечеткой системы вывода (ANFIS), имеющей преимущества для решения данной задачи перед другими сетями. Метод позволяет получить обоснованные количественные оценки риска в зависимости от «степени проявления индикатора риска». Обучение сети может выполняться как на основе данных экспертных опросов, как в данном исследовании, так и на фактических результатах проверок и расследований авиационных событий по мере их накопления.

Применение сети показано на примере индикаторов риска для организации ОВД, но методика может использоваться в любой организации ГА, и не только при проверке, но и при самоконтроле в рамках действующей СУБП организации.

Генерирование и практическое применение сети в программном пакете Matlab может выполняться специалистами контролирующих органов и инспекций (отделов) по безопасности полетов авиапредприятий, не имеющих специальных математических знаний и навыков в области программирования.

Список литературы

1. Соловьев А.И. Риск-ориентированный подход в системе государственного контроля и надзора в налоговой сфере // Экономика. Налоги. Право. 2017. Т. 10, № 6. С. 139–146.
2. Авдийский В.И., Безденежных В.М. Экономическая безопасность современной России: риск-ориентированный подход к ее обеспечению // Экономика. Налоги. Право. 2016. Т. 9, № 3. С. 6–13.
3. Агамагамедова С.А. Риск-ориентированный подход при осуществлении контрольно-надзорной деятельности: теоретическое обоснование и проблемы применения // Сибирское юридическое обозрение. 2021. Т. 18, № 4. С. 460–470. DOI: 10.19073/2658-7602-2021-18-4-460-470
4. Ayres I., Braithwaite J. Responsive regulation. Transcending the deregulation debate. Oxford: Oxford University Press, 1992. 216 p.
5. Braithwaite J. Responsive regulation and developing economies world development // World Development. 2006. Vol. 34, no. 5. Pp. 884–898. DOI: 10.1016/j.worlddev.2005.04.021
6. Ahmad N. Responsive regulation and resiliency: the renewable fuel standard and advanced biofuels [Электронный ресурс] // Virginia Environmental Law Journal. 2018. Vol. 36, iss. 2. P. 40. URL: <https://ssrn.com/abstract=3106907> (дата обращения: 11.08.2022).
7. Куниен В.А., Уварова И.В. Риск-ориентированный подход в контрольно-надзорной деятельности: международный опыт и особенности применения в российских условиях // Экономика и управление. 2019. № 2 (160). С. 59–68.
8. Махутов Н.А., Пуликовский К.Б., Шойгу С.К. Безопасность России. Правовые социально-экономические и научно-технические аспекты. Анализ рисков и управление безопасностью: методические рекомендации. М.: МГФ «Знание», 2008. 672 с.
9. Черток В.Б. Риск-ориентированная модель контрольно-надзорной деятельности в сфере гражданской авиации // Транспорт Российской Федерации. 2017. № 6 (73). С. 27–30.
10. Hadjimichael M. A fuzzy expert system for aviation risk assessment // Expert Systems with Applications. 2009. Vol. 36, no. 3. Pp. 6512–6519. DOI: 10.1016/j.eswa.2008.07.081
11. Jenab K., Pineau J. Automation of air traffic management using fuzzy logic algorithm to integrate unmanned aerial systems into the national airspace // International Journal of Electrical and Computer Engineering (IJECE). 2018. Vol. 8, no. 5. Pp. 3169–3178. DOI: 10.11591/IJECE.V8I5.PP3169-3178
12. Sharov V.D., Vorobyov V.V. Fuzzy risk assessment of aviation events // Научный Вестник МГТУ ГА. 2017. Т. 20, № 3. С. 6–12.
13. Борисов В.В., Круглов В.В., Федюлов А.С. Нечеткие модели и сети. 2-е изд., стер. М.: Горячая линия – Телеком, 2007. 284 с.
14. Осовский С. Нейронные сети для обработки информации / Пер. с пол. И.Д. Рудинского. М.: Финансы и статистика, 2002. 344 с.
15. Рутковская Д., Пилиньский М., Рутковский Л. Нейронные сети, генетические алгоритмы и нечеткие системы / Пер. с пол. И.Д. Рудинского. М.: Горячая линия – Телеком, 2006. 452 с.
16. Jang J-S.R. ANFIS: Adaptive-network-based fuzzy inference system // IEEE Transactions on System, Man, and Cybernetics. 1993. Vol. 23, no. 3, pp. 665–685. DOI:10.1109/21.256541

17. Горбаченко В.И., Ахметов Б.С., Кузнецова О.Ю. Интеллектуальные системы: нечеткие системы и сети: учеб. пособие для вузов. 2-е изд., испр. и доп. М.: Юрайт, 2019. 105 с.

18. Богатилов В.Н., Дранишников Л.В., Прокопов А.Е. Построение систем управления на основе нейронных сетей: учеб.-методическое пособие. Апатиты: Изд-во КФ ПетрГУ, 2011. 41 с.

References

1. Soloviev, A.I. (2017). *Risk-oriented approach in the system of government control and supervision in the tax sphere*. *Ekonomika. Nalogi. Pravo*, vol. 10, no. 6, pp. 139–146. (in Russian)

2. Avdiyskiy, V.I. & Bezdenezhnykh, V.M. (2016). *The economic security of modern russia: the risk-based approach to its assurance*. *Ekonomika. Nalogi. Pravo*, vol. 10, no. 3, pp. 6–13. (in Russian)

3. Agamagomedova, S.A. (2021). *Risk-oriented approach in the implementation of control and supervision activities: theoretical justification and problems of application*. *Siberian Law Review*, vol. 18, no. 4, pp. 460–470. DOI: 10.19073/2658-7602-2021-18-4-460-470 (in Russian)

4. Ayres, I. & Braithwaite, J. (1992). *Responsive regulation. transcending the deregulation debate*. Oxford: Oxford University Press, 216 p.

5. Braithwaite, J. (2006). *Responsive Regulation and Developing Economies*. *World Development*, vol. 34, no. 5, pp. 884–898. DOI: 10.1016/j.worlddev.2005.04.021

6. Ahmad, N. (2018). *Responsive regulation and resiliency: the renewable fuel standard and advanced biofuels*. *Virginia Environmental Law Journal*, vol. 36, issue 2, p. 40. Available at: <https://ssrn.com/abstract=3106907> (accessed: 11.08.2022).

7. Kuniien, V.A. & Uvarova, I.V. (2019). *Towards a risk-orientated model of control and supervision activities in the civil aviation sphere*.

Economics and Management, no. 2 (160), pp. 59–68. (in Russian)

8. Mahutov, N.A., Pulikovskiy, K.B. & Shoygu, S.K. (2008). [*Safety of Russia. Legal social economical scientific and technical aspects. Risk analysis and security management. (Guidelines)*]. Moscow: MGF «Znaniye», 672 p. (in Russian)

9. Chertok, V.B. (2017). *Towards a risk-orientated model of control and supervision activities in the civil aviation sphere*. *Transport Rossiyskoy Federatsii*, no. 6 (73), pp. 27–30. (in Russian)

10. Hadjimichael, M. (2009). *A fuzzy expert system for aviation risk assessment*. *Expert Systems with Applications*, vol. 36, no. 3, pp. 6512–6519. DOI: 10.1016/j.eswa.2008.07.081

11. Jenab, K. & Pineau, J. (2018). *Automation of air traffic management using fuzzy logic algorithm to integrate unmanned aerial systems into the national airspace*. *International Journal of Electrical and Computer Engineering (IJECE)*, vol. 8, no. 5, pp. 3169–3178. DOI: 10.11591/IJECE.V8I5.PP3169-3178

12. Sharov, V.D. & Vorobyov, V.V. (2017). *Fuzzy risk assessment of aviation events*. *Civil Aviation High Technologies*, vol. 20, no. 3, pp. 6–12.

13. Borisov, V.V., Kruglov, V.V. & Fedulov, A.S. (2007). [*Fuzzy models and networks*]. Moscow: Goryachaya liniya – Telekom, 284 p. (in Russian)

14. Osovskiy, S. (2002). [*Neural networks for information processing*]. Translated from Polish I.D. Rudinsky. Moscow: Finansy i statistika, 344 p. Available at: <https://bookree.org/reader?file=555814&pg=4> (accessed: 12.08.2022). (in Russian)

15. Rutkovskaya, D., Pilinsky, M. & Rutkovsky, L. (2006). [*Neural networks for information processing*]. Translated from Polish I.D. Rudinsky. Moscow: Goryachaya liniya – Telekom, 452 p. (in Russian)

16. Jang, J-S.R. (1993). *ANFIS: Adaptive-network-based fuzzy inference system*. *IEEE Transactions on System, Man, and Cybernetics*, vol. 23, no. 3, pp. 665–685. DOI:10.1109/21.256541

17. Gorbachenko, V.I., Akhmetov, B.S. & Kuznetsova, O.Yu. (2019). [*Intelligent systems: fuzzy systems and networks: Tutorial*]. Moscow: Izdatelstvo Yurayt, 105 p. (in Russian)

18. Bogatikov, V.N., Dranishnikov, L.V. & Prorokov, A.E. (2011). [*Construction of control systems based on neural networks: study guide*]. Apatity: Izdatelstvo KF PetrGU, 41 p. (in Russian)

Сведения об авторах

Образцов Роман Александрович, начальник отдела организации использования воздушного пространства и радиотехнического обеспечения полетов Центрального межрегионального территориального управления воздушного транспорта Центральных районов Федерального агентства воздушного транспорта. Министерство транспорта Российской Федерации, obrazcov1311@mail.ru.

Шаров Валерий Дмитриевич, доктор технических наук, доцент, профессор кафедры безопасности полетов и жизнедеятельности МГТУ ГА, v.sharov@mstuca.aero.

Information about the authors

Roman A. Obraztsov, The Head of the Department for the Organization of the Use of Airspace and Radio Engineering Support of Flights of the Central Interregional Territorial Air Transport Department of the Central Regions of the Federal Air Transport Agency, Ministry of Transport of the Russian Federation, obrazcov1311@mail.ru.

Valeriy D. Sharov, Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Professor of the Life and Flight Safety Chair, Moscow State Technical University of Civil Aviation, v.sharov@mstuca.aero.

Поступила в редакцию 28.08.2022
Принята в печать 26.01.2023

Received 28.08.2022
Accepted for publication 26.01.2023