

УДК 351.814.2

DOI: 10.26467/2079-0619-2024-27-2-25-42

Орнитологическое обеспечение безопасности полетов как задача принятия решений в условиях неопределенности

П.П. Хачикян¹

¹ *Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики», г. Москва, Россия*

Аннотация: Проблема столкновения воздушных судов с птицами (bird strike) актуализируется с тенденциями роста числа авиационных перевозок. По данным Международной организации гражданской авиации (ИКАО), за семь лет в 105 государствах мира зарегистрирована информация о 97 751 столкновении воздушного судна с животными. Примерно в половине случаев (56 093 инцидента) сообщается о наличии повреждений воздушного судна различного характера. По некоторым оценкам, ежегодный ущерб от столкновений воздушных судов с птицами составляет около 610 млн долларов США. В статье проводится анализ влияния угрозы столкновения воздушного судна с птицами (орнитологической опасности) на безопасность полетов. Рассмотрена статистика авиационных происшествий с птицами за период 2010–2022 гг. по данным ИКАО и Росавиации. Анализируется проблематика оценки риска и обеспечения орнитологической безопасности полетов, существующие работы в данном научном направлении. Выделяются и рассматриваются основные проблемы и недостатки существующих подходов. Автором предложена новая концепция обеспечения орнитологической безопасности полетов с помощью разделения угроз на угрозы в поле частичной неопределенности и угрозы в поле глубокой неопределенности. Принятие решений в том или ином поле требует применения специфических инструментов. Для решения задачи обеспечения орнитологической безопасности полетов при угрозах в поле глубокой неопределенности предложено применение инструмента динамического адаптивного планирования (Dynamic Adaptive Planning), который позволяет разрабатывать и поддерживать работу планов с постоянным отслеживанием качества их выполнения. Приводится пример функционирования алгоритма принятия решений и назначения критических точек (триггеров) для отслеживания эффективности работы плана авиапредприятия с основной целью достижения заданных показателей орнитологической безопасности полетов. Анализ результатов работы показал, что решение задач в поле глубокой неопределенности является сложной научной задачей, однако применение новых инструментов сценарного моделирования позволит повысить качество работы авиапредприятия в направлении обеспечения орнитологической безопасности полетов, что в конечном итоге положительно скажется на снижении риска возникновения авиационных происшествий.

Ключевые слова: столкновения с птицами, чрезвычайные ситуации в авиации, безопасность полетов, орнитологическое обеспечение безопасности полетов, частичная неопределенность, глубокая неопределенность, риски.

Для цитирования: Хачикян П.П. Орнитологическое обеспечение безопасности полетов как задача принятия решений в условиях неопределенности // Научный Вестник МГТУ ГА. 2024. Т. 27, № 2. С. 25–42. DOI: 10.26467/2079-0619-2024-27-2-25-42

Ornithological flight safety as a task of decision making in conditions of uncertainty

P.P. Hachikyan¹

¹ *National Research University “Higher School of Economics” (HSE University), Moscow, Russia*

Abstract: The problem of aircraft collision with birds (bird strike) is becoming more relevant with the growing trends of air transportation. According to the International Civil Aviation Organization (ICAO), over the seven-year period, 97751 aircraft collisions with animals in 105 countries around the world were recorded. In approximately half of the cases (56093 incidents),

damage to the aircraft of various types is reported. According to some estimates, the annual damage from aircraft bird strikes is about 610 million US dollars. The article analyzes the effect of the aircraft bird strike threat (ornithological danger) on flight safety. The statistics of the aviation incidents with birds for the period 2010–2022 according to the figures from ICAO and the Federal Air Transport Agency of Russia are considered. The problems of risk assessment and ornithological flight safety and existing research works in this scientific field are analyzed. The main problems and shortcomings of the existing approaches are emphasized and discussed. A new concept for ornithological flight safety by dividing threats into those in a field of partial uncertainty and those in a field of deep uncertainty is proposed by the author. Making decisions in a particular field requires the use of specific tools. To solve the problem of ornithological flight safety under the threats in a field of deep uncertainty, a Dynamic Adaptive Planning (DAP) tool, that allows to develop and maintain the work of the plans with constant monitoring of the quality of their implementation is proposed. An example of the functioning of a decision-making algorithm and the assignment of critical points (triggers) to monitor the effectiveness of an airline's plan with the aim of achieving specified ornithological flight safety indicators is given. An analysis of the results of the work showed that solving the problems in a field of deep uncertainty is a complex scientific task, however, the use of the new tools for scenario modeling will improve the quality of the Airline operation in providing ornithological flight safety, which will ultimately have a positive effect on reducing the risk of aviation incidents.

Key words: bird strikes, aviation emergencies, flight safety, ornithological flight safety, partial uncertainty, deep uncertainty, risks.

For citation: Hachikyan, P.P. (2024). Ornithological flight safety as a task of decision making in conditions of uncertainty. Civil Aviation High Technologies, vol. 27, no. 2, pp. 25–42. DOI: 10.26467/2079-0619-2024-27-2-25-42

Введение

Безопасность полетов является важнейшим составляющим элементом эксплуатации воздушного транспорта. Обеспечение безопасности пассажиров и членов экипажа, лиц, находящихся на земле и в потенциальной опасности в случае аварийной ситуации, основывается на выполнении значительного числа правил и инструкций, надежности авиационных систем, а также непосредственно от качества принятия решений авиационными специалистами как в воздухе, так и на земле. Среди множества угрожающих воздушному транспорту факторов (неполадки в работе авиационных систем, ошибки диспетчерских служб, акты незаконного вмешательства и др.) выделяются и такие события, которые не могут быть с достаточной вероятностью спрогнозированы, учитывая их природный характер, – столкновения воздушного судна (ВС) с птицами.

Проблема столкновения воздушных судов с птицами (англ. термин – bird strike) актуализируется с тенденциями роста числа авиационных перевозок. По данным ИКАО (Международной организации гражданской авиации, International Civil Aviation Organization, ICAO), за семь лет в 105 государствах мира зарегистрирована информация о 97 751 столкновении воздушного судна с животными. Существует и определенная проблема категори-

вания, при которой в некоторых официальных документах происходит учет не только птиц, но и всех животных, при этом объективно установлено, что контакты с иными животными являются единичными явлениями. Примерно в половине случаев (56 093 инцидента) сообщается о наличии повреждений воздушного судна различного характера после встречи с животными¹. По некоторым оценкам, ежегодный ущерб от столкновений воздушных судов с птицами составляет около 610 млн долларов США [1]. При этом наиболее опасными являются попадания птиц в двигатель ВС, при которых выход из строя двигателя может привести к катастрофическим последствиям. Согласно данным ИКАО, на двигатель приходится около 20 % от числа всех попаданий птиц, но только в редких случаях такие столкновения могут полностью вывести его из строя¹.

Согласно данным Федерального агентства воздушного транспорта Российской Федерации (Росавиация) за 2022 г. было зарегистрировано 941 сообщение об угрозах столкновений ВС с птицами, в том числе 85 из них рассматриваются как авиационные инциденты².

¹ ICAO electronic bulletin: 2008–2015 Wildlife strike analyses (IBIS) [Электронный ресурс] // ICAO, 2017. 30 p. URL: [https://www.icao.int/SAM/eDocuments/EB %2017.25.E %20IBIS\).pdf](https://www.icao.int/SAM/eDocuments/EB%2017.25.E%20IBIS.pdf) (дата обращения: 29.06.2023).

² Статистика столкновений с птицами и другими животными [Электронный ресурс] // ФАВТ. Росавиа-

ИКАО предлагает к ознакомлению ряд нормативных документов³ по обеспечению орнитологической безопасности на аэродромах, а также представляет публичные статистические сведения¹ в этой области. В целях систематизации данных об орнитологической угрозе во всем мире государства – члены ИКАО ведут соответствующий учет и централизованно направляют сведения обо всех случаях контактов ВС с птицами. Для реализации этой цели ИКАО определен порядок систематизации и направления данных о столкновении птиц в соответствии с требованиями о включении сведений в базу данных системы информации ИКАО о столкновениях с птицами (IBIS – ICAO Bird Strike Information System)³.

В России основные положения по орнитологическому обеспечению полетов в гражданской авиации изложены в Руководстве по орнитологическому обеспечению полетов в гражданской авиации⁴. Несмотря на то что этот документ является достаточно устаревшим, до сих пор не принят новый полностью заменяющий его нормативный акт. Так, проект Федеральных авиационных правил «Правила эксплуатации аэродромов гражданской авиации. Борьба с опасностью, создаваемой живой природой»⁵ в 2021 г. получил отрицательное заключение и был направлен на до-

ция. URL: <https://favt.gov.ru/dejatelnost-bezopasnost-poletov-stolknoveniya-ptici-stat/?ysclid=lht0gjsl5z913184832> (дата обращения: 29.06.2023).

³ ICAO Doc 9137: Airport services manual. Part 3: Wildlife Control and Reduction. 4th ed. // ICAO, 2012. 56 p.

⁴ Руководство по орнитологическому обеспечению полетов в гражданской авиации (РООП ГА-89). Приказ МГА № 209 от 26.12.1988 г. [Электронный ресурс] // КонсультантПлюс, 1988. 15 с. URL: https://www.consultant.ru/law/podborki/rukovodstvo_po_ornitologicheskomu_obespecheniyu_poletov_v_grazhdanskoj_aviacii/ (дата обращения: 29.06.2023).

⁵ Проект приказа Минтранса России «Об утверждении федеральных авиационных правил по орнитологическому обеспечению полетов гражданской авиации Российской Федерации» [Электронный ресурс] // КонсультантПлюс. URL: <https://www.consultant.ru/cons/cgi/online.cgi?req=doc&base=PNPA&n=55562#0RcDJ3UshPT9wquQ1> (дата обращения: 29.06.2023).

работку. Минтранс России разрабатывает правила борьбы с опасностью, создаваемой животными на аэродромах, однако в настоящее время такие правила в действие все еще не вступили⁶.

В США Федеральным управлением гражданской авиации (Federal Aviation Administration – FAA) разработаны соответствующие нормативные документы⁷ в сфере обеспечения орнитологической безопасности и приводятся рекомендации для эксплуатантов⁸.

Следует также отметить и различные международные организации (World Bird Strike Association⁹, International Birdstrike Committee¹⁰ и др.), которые изучают орнитологическую безопасность полетов, публикуют соответствующие инструкции и практические советы, которые носят рекомендательный характер.

Рассматривая данные статистики за 2022 г. на примере Российской Федерации, можно выделить, что в 85 случаях инциденты оказывали влияние на безопасность полетов, но не повлекли авиационные происшествия (т.е. ситуации, которые могли повлечь гибель людей, значительный материальный ущерб и другие серьезные последствия).

⁶ Минтранс разработает правила борьбы с опасностью, создаваемой животными на аэродромах. Российская газета [Электронный ресурс] // RG.RU. 2023. URL: <https://rg.ru/2023/03/15/mintrans-razrabotaet-pravila-borby-s-opasnostiu-sozdavaemoj-zhivotnymi-na-aerodromah.html?ysclid=lnzy38cgfh123313629> (дата обращения: 29.06.2023).

⁷ AC 150/5200-33C: Hazardous wildlife attractants on or near airports [Электронный ресурс] // FAA. 2020. URL: https://www.faa.gov/airports/resources/advisory_circulars/index.cfm/go/document.information/documentID/1037215 (дата обращения: 29.06.2023).

⁸ Bird Strike [Электронный ресурс] // SKYbrary. URL: <https://skybrary.aero/articles/bird-strike> (дата обращения: 29.06.2023).

⁹ Mission statement [Электронный ресурс] // World Birdstrike Association. URL: <https://www.worldbirdstrike.com/about/mission-statement> (дата обращения: 16.09.2023).

¹⁰ Standards For Aerodrome Bird / Wildlife Control [Электронный ресурс] // International Birdstrike Committee. Recommended Practices No. 1. 19 p. URL: <https://skybrary.aero/sites/default/files/bookshelf/4217.pdf> (дата обращения: 18.09.2023).

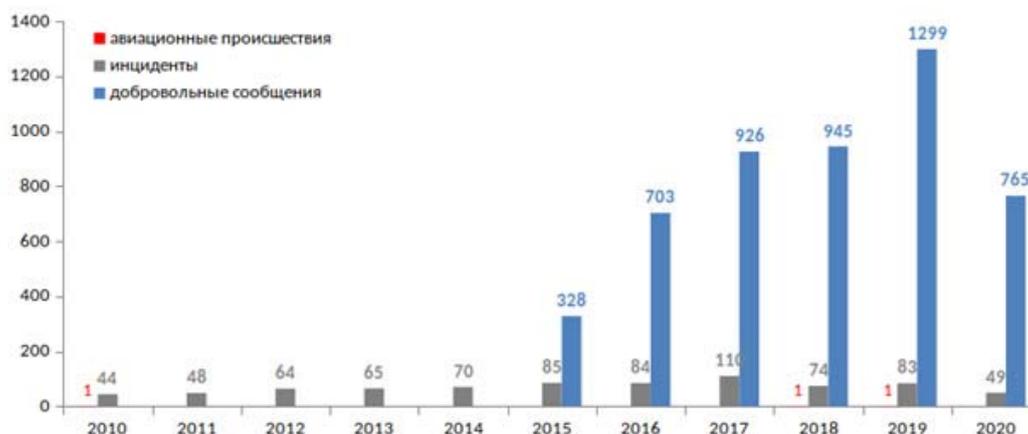


Рис. 1. Сведения о столкновениях (угрозах столкновения) воздушных судов с птицами в России за период 2010–2020 гг.

Fig. 1. Information on collisions (threats of collision) between aircraft and birds in Russia for the period 2010–2020

В 2022 г. в Российской Федерации авиационных происшествий, связанных с орнитологической опасностью, не происходило, при этом есть сведения о таких случаях за другие годы: по одному событию в 2010, 2018, 2019 гг. (рис. 1).

В России распространяется и поддерживается система добровольных сообщений по безопасности полетов (СДС БП), однако в связи с добровольным характером направления сообщений достаточно сложно говорить о полноте и достоверности таких данных. Тем не менее с 2015 г. активность подачи добровольных сообщений можно проследить по данным статистики (рис. 1).

В современной мировой истории гражданской авиации наиболее известны два случая авиационных происшествий, связанных с отказом обоих двигателей по вине столкновения ВС с птицами: аварийная посадка Airbus A320 (р. Гудзон, Нью-Йорк, США, рейс 1549 авиакомпании US Airways (N106US)) 15.01.2009¹¹ и аварийная посадка Airbus A321-211 (в 4 км от взлетно-посадочной по-

лосы (ВВП) аэропорта Жуковский, г. Москва (Россия), рейс U6 178 авиакомпании «Уральские авиалинии») 15.08.2019¹². В обоих случаях обошлось без жертв и серьезного вреда здоровью пассажиров, однако сами ВС восстановлению не подлежали.

Риск столкновения ВС с птицами находится в поле неопределенности в связи со значительным числом факторов. Масштабы воздушного пространства, зоны нахождения в нем птиц, сезонные условия, поведение птиц – все это позволяет определять лишь некоторую статистическую вероятность угрозы, при этом существующие в настоящее время средства снижения риска такой угрозы не позволяют в полной мере ее исключить. Но существует и возможность разделения такой угрозы на две составляющих: так, большинство (75 %) всех столкновений птиц с ВС происходит на высоте ниже 200 м, то есть при взлете и посадке, в непосредственной близости к ВПП, в зоне ответственности действий авиапредприятия, а 25 % – на высоте,

¹¹ Loss of thrust in both engines after encountering a flock of birds and subsequent ditching on the Hudson River US Airways Flight 1549 Airbus A320-214, N106US [Электронный ресурс] // National Transportation Safety Board, 2009. 213 p. URL: <https://www.ntsb.gov/investigations/accidentreports/reports/aar1003.pdf> (дата обращения: 24.09.2023).

¹² «Чудо в кукурузном поле»: как пилоты A321 совершили почти невозможное, действуя не по инструкции [Электронный ресурс] // Правила жизни. 2019. URL: <https://www.pravilamag.ru/articles/118302-chudo-v-kukuruznom-pole-kak-piloty-a321-sovershili-pochti-nevozmozhnoe-deystvuya-ne-po-instrukcii/?ysclid=lnzyqgmwna347986185> (дата обращения: 24.09.2023).

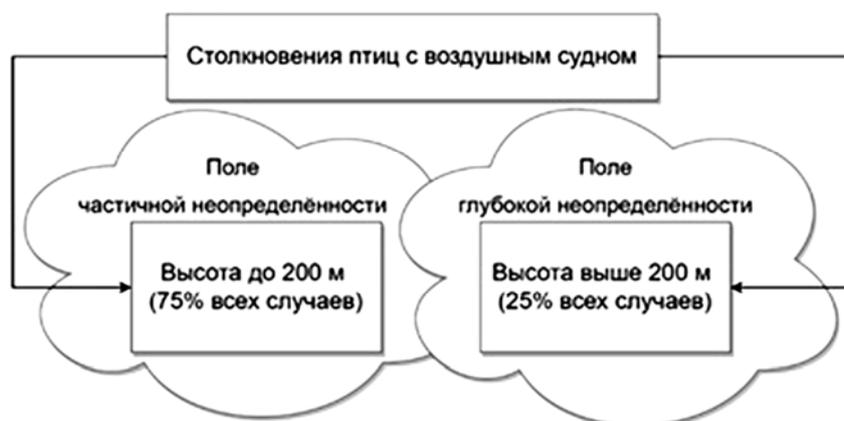


Рис. 2. Представление данных о столкновении с птицами на различной высоте в виде задачи на пересечении частичной и глубокой неопределённостей
Fig. 2. Representing bird strike data at different altitudes as a problem at the intersection of partial and deep uncertainties

где возможность отпугивать птиц или иным образом воздействовать на них отсутствует [1, 2].

Наглядно проблема представлена на рис. 2.

Птиц следует относить к естественной природной опасности, при этом конкретные данные о такой угрозе значительно различаются в зависимости от территориальных и климатических особенностей конкретной местности нахождения ВПП. Стоит также отметить и тот факт, что выход из строя двигателей ВС по вине птиц в США произошел на высоте 975 м¹¹, а в России на высоте 240 м¹², что объективно относит эти инциденты к разным полям неопределенности.

Рассматривая угрозу столкновения ВС с птицами, следует категорировать и уровень такой угрозы. При рассмотрении ситуаций, связанных со столкновениями ВС с птицами, как правило, исходят из основных понятий в порядке возрастания уровня опасности их возникновения: а) добровольное сообщение, при котором столкновение с птицами произошло и не оказало влияния на безопасность полетов (как правило, к таким сообщениям часто относят даже ситуации, при которых контакт птиц с ВС может не иметь физического подтверждения (следы касаний и незначительные повреждения на ВС), а является оценочным визуальным суждением свидетелей события); б) авиационный инцидент,

который характеризуется как событие, которое угрожало или могло угрожать безопасности полета, но не закончилось авиационным происшествием (Приложение 19 к Конвенции ИКАО¹³); в) авиационное происшествие, которое сопровождается пострадавшими, гибелью людей, значительным материальным ущербом (происшествия разделяются: на аварии – ситуации, при которых удалось избежать гибели людей, и на катастрофы, для которых характерна гибель) (Приложение 13 к Конвенции ИКАО¹⁴).

Актуальность исследования в данном направлении определена тем, что разработка новых моделей и методов в оценке риска столкновения птиц с воздушным транспортом позволит с большей вероятностью рассчитать вероятность наступления катастрофических последствий путем применения наиболее оптимальных способов и технических устройств для противодействия ожидаемой угрозе, что в результате сможет сделать авиационные перевозки еще более безопас-

¹³ ICAO Annex 19 Safety Management // ICAO, 2010. 23 p.

¹⁴ ICAO Annex 13 To the convention on international civil aviation [Электронный ресурс] // International standards and recommended practices. URL: [https://www.icao.int/Meetings/AMC/MA/Directors%20General%20of%20Civil%20Aviation%20Conference%20on%20a%20Global%20Strategy%20for%20Aviation%20Safety%20\(DGCA-06\)/Annex13attE_en.pdf](https://www.icao.int/Meetings/AMC/MA/Directors%20General%20of%20Civil%20Aviation%20Conference%20on%20a%20Global%20Strategy%20for%20Aviation%20Safety%20(DGCA-06)/Annex13attE_en.pdf) (дата обращения: 24.09.2023).

ными для пассажиров, предотвратить значительный ущерб, а в некоторых случаях избежать излишних затрат авиапредприятия на меры орнитологической безопасности, если риск возникновения таких опасных ситуаций не слишком высок.

Методы и методология исследования

Орнитологическое обеспечение безопасности полетов находится в поле научных интересов сразу нескольких дисциплин: орнитологии (авиационной орнитологии), биологии, экологии, безопасности полетов и управления воздушным движением. Каждый из специалистов своей отрасли рассматривает в работе, как наилучшим образом применить свои знания для обеспечения безопасности полетов, какие инструменты для этого использовать и как избежать инцидентов, связанных с орнитологической угрозой. Вопросам авиационной орнитологии посвящены труды специалистов как в области биологии и зоологии, так и в области безопасности полетов О.Л. Силаевой, М.В. Холодовой, Т.В. Свиридовой, С.А. Букреева, В.А. Юдкина, М.А. Грабовского, А.Н. Вараксина, А.И. Рогачева, А.М. Лебедева и др. [3, 4]. Анализом и оценкой рисков столкновения птиц с ВС занимались ученые А.Г. Гузий, Л.Н. Елисов, G. van Es, Н.Н. Smit, Isabel C. Metz, Joost Ellerbroek, Thorsten Mühlhausen, Dirk Kügler, Jacco M. Hoekstra и др. [2, 5–9].

Анализируя проблематику и существующие работы, можно выделить следующие основные проблемы орнитологического обеспечения безопасности в авиации.

1. Оценка орнитологической опасности исключительно на основании статистических сведений, полнота и достоверность которых вызывает сомнения (направляются не все сообщения о встречах ВС с птицами по причине халатности; в целях недопущения дискретизации неэффективности действий аэропорта и избегания дальнейших расследований события не регистрируются; по причине возможных репутационных потерь авиакомпании

(лишние сведения о нештатных ситуациях в СМИ ухудшают рейтинг авиакомпании)).

2. Отсутствие достаточных актуальных данных об орнитологической обстановке по ряду регионов и районов (в особенности это затрагивает отдаленные аэропорты, расположенные вдали от крупных населенных пунктов), а также невозможность оперативного сбора таких данных в связи с отсутствием профильных специалистов. Отсутствие при этом сведений (о конкретных птицах, их численности, маршрутах миграции и пр.) не позволяет добавить данные для улучшения качества расчета вероятности возможных угроз.

3. Отсутствие единых выработанных методик и конкретных инструкций по обеспечению орнитологической безопасности полетов (установленных ИКАО, государствами и пр.). В основных нормативных документах^{15,16}, регламентирующих действия по обеспечению орнитологической безопасности полетов, сформулированы требования по оценке интенсивности перелетов птиц, присутствуют понятия «большие скопления птиц», «массовые перелеты», «сложная орнитологическая обстановка» [5]. Ученые также отмечают, что «при этом нигде не представлено разъяснений, по какой методике следует оценивать интенсивность перелетов, нет четких количественных критериев величины скопления птиц, а сложность обстановки рекомендуется оценивать только по количеству задокументированных инцидентов с птицами» [5]. В более широком представлении данный пункт также охватывает проблему отсутствия единых указаний в области ме-

¹⁵ Авиационные правила. Часть 139 «Сертификация аэродромов». Том II «Сертификационные требования к аэродромам» [Электронный ресурс] // Министерство Транспорта РФ, 2014. 163 с. URL: <https://mintrans.gov.ru/documents/8/3973?type=> (дата обращения: 24.09.2023).

¹⁶ Приказ министра обороны РФ № 136, Минтранса РФ № 42, Росавиакосмоса № 51 от 31.03.2002 «Об утверждении Федеральных авиационных правил полетов в воздушном пространстве Российской Федерации» [Электронный ресурс] // Консультант-Плюс. URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_37922/e1a2cebd06bab2805ead383a285e97ca82de4e42/ (дата обращения: 24.09.2023).

недждмента и управления орнитологической безопасностью на уровне руководства авиапредприятия.

Перечисленные проблемы на практике приводят к образованию следующих крайностей в области обеспечения орнитологической безопасности полетов: а) недостаточное внимание к орнитологической безопасности полетов (предполагает недостаточное финансирование этого направления и (или) халатность ведения орнитологической работы в целом), что может повысить риск столкновения ВС с птицами в непосредственной близости к аэродрому, в зоне его условной ответственности; б) избыточное внимание к орнитологической безопасности (предполагает излишнее финансирование) снижает экономическую эффективность авиапредприятия.

Анализируя вышеизложенные факты, следует сделать вывод, что организация мероприятий авиапредприятием (АП) по обеспечению орнитологической безопасности полетов должна производиться соизмеримо с угрозой, вероятность наступления которой должна оцениваться максимально достоверно.

В качестве решений для оценки риска орнитологической опасности аэропорта в настоящее время применяются различные методы оценки угрозы.

1. Метод оценки орнитологической опасности с помощью вычисления вероятности столкновения ВС с птицами [2]. В основе оценки – данные статистического характера о столкновении ВС с птицами, а также сведения о плотности птиц. Если для многих методов важен сам факт оценки риска столкновения, то данный метод примечателен тем, что рассматриваются важнейшие параметры плотности стаи и типа птиц. Плотность стаи птиц серьезно влияет на вероятность негативного воздействия на ВС, а с учетом сведений о массе каждой особи при определенных обстоятельствах столкновение может иметь значительные последствия. Формула, по которой можно рассчитать вероятность столкновения ВС с птицами (на 10 000 полетов) с учетом этих параметров имеет следующий вид:

$$C = 1,5 \cdot 10^{-6} \cdot (B \cdot M_b), \quad (1)$$

где B – число единиц птиц на 1 км^2 ; M_b – усредненная масса одной птицы, кг.

Число птиц на 1 км^2 рассчитывается исходя из особенностей конкретной местности, сезона и вида птиц. Согласно статистическим данным наибольшую долю в общей статистике столкновений птиц с ВС составляют следующие виды: голубь, чайка, ястребиные, грачи, скворцы, ласточки и жаворонки. Голуби и небольшие чайки в среднем имеют вес 200–600 г [4]. Плотность птиц может составлять от незначительных показателей 10–50 экз. на 1 км^2 в зимний период и в удаленных от лесополос, свалок и других опасных объектов аэропортах и до 2 000 экз. и более на 1 км^2 в сезон на оживленной территории аэропорта или вблизи свалок.

В качестве примера приведем расчет частоты столкновения птиц с ВС на примере усредненных данных: плотность птиц 1 000 ед. на 1 км^2 , масса птицы 500 г, что можно выразить в следующем виде:

$$C = 1,5 \cdot 10^{-6} \cdot (1000 \cdot 0,5) = 0,00075.$$

Таким образом, вероятность столкновений птиц с ВС составит 0,00075 на 10 000 полетов, что можно представить в удобном виде: $7,5 \cdot 10^{-8}$ на 1 полет ВС.

Приведенный расчет может применяться для оценки вероятности катастрофического столкновения в качестве универсальной формулы, при этом орнитологическая служба аэропорта, как правило, должна обладать актуальными сведениями о наличии птиц и их видах, численности, что позволит устанавливать более точные цифровые значения вероятности угрозы.

Следует критически отнестись к тому обстоятельству, что приведенная формула расчета вероятности столкновения ВС с птицами хоть и позиционируется как универсальная, но построена авторами исключительно на статистических данных крупных высоконагруженных международных аэропортов им. Джона Кеннеди (США, г. Нью-Йорк), Вены (Австрия, г. Вена), Схипхол (Нидерланды, г. Амстердам), при этом объективно очевидно, что взятая за основу вероятность

может значительно отличаться по сравнению с менее загруженными аэропортами.

2. Метод количественного оценивания риска, обусловленного столкновением воздушных судов с птицами, по работе А.Г. Гузья, А.П. Костина [8]. В основе оценки риска заложено то обстоятельство, что требуется оценка вероятности каждого варианта последствий тех или иных событий. В качестве событий принимаются незначительные повреждения ВС либо отсутствие повреждений при столкновении; авиационный инцидент в результате повреждения ВС при столкновении; серьезный инцидент; авария; катастрофа. Для правильного оценивания риска необходимо одновременное оценивание двух взаимосвязанных компонентов риска: вероятности (частоты) столкновения ВС с птицами и возможной тяжести последствий столкновения с птицами. В этих целях применяются корреляции между количеством событий большей тяжести и количеством событий меньшей тяжести и полученные эмпирическим путем формулы для вычисления вероятности авиационных событий каждого типа тяжести по совокупности причинных факторов с учетом значимости каждой группы причинных факторов [8]. Для этого предлагается применение формул в целях вычисления вероятности авиационных событий любой тяжести, что подробно изложено в работе [9]. Значение условной вероятности инцидента (повреждения ВС) в результате столкновения ВС с птицей ($P_{И/ст.}$) предлагается определять из ежегодной статистики столкновений с птицами страны, для которой производится расчет, используя формулу

$$\hat{P}_{\frac{И}{ст.}} = \frac{n_{И}}{n_{ст.}}, \quad (3)$$

где $P_{И/ст.}$ – условная вероятность инцидента при столкновении ВС с птицей; $n_{И}$ – количество инцидентов; $n_{ст.}$ – количество столкновений.

Для дальнейшей оценки уровня риска предполагается использовать рекомендованную ИКАО матрицу индекса риска¹⁷ формата

¹⁷ Doc 9859: Руководство по управлению безопасностью полетов (РУБП). 4-е изд. // ИКАО, 2018. 218 с.

5×5 и соотношение вероятности событий на 100 000 полетов. Далее, из получаемого по матрице риска набора значений индексов риска следует выбирать максимальное значение. Предложенный метод позволяет повысить достоверность оценки за счет перехода с классического трехуровневого ранжирования риска (приемлемый, допустимый, недопустимый) к 25-уровневому ранжированию, что по совокупности своих преимуществ позволяет более эффективно оценивать целесообразность принятия тех или иных мер в области обеспечения орнитологической безопасности полетов.

Между тем использование матрицы рисков ИКАО в целях управления риском для безопасности при всей своей наглядности и простоте требует повышенного внимания. Так, в научных трудах по безопасности полетов отмечается, что «использовать результаты оценок, сделанных с помощью матрицы ИКАО, нужно с осторожностью и проверять их при любой возможности, применяя количественные методы оценки рисков и систему показателей уровня БП» [7]. Следует также критически подходить и к вопросу расчета частот и вероятностей, так как значения вероятностей и тяжести последствий оцениваются с помощью матрицы в порядковых шкалах, в которых арифметические действия запрещены.

Решение задачи принятия решений в области обеспечения орнитологической безопасности полетов осложнено обстоятельством отсутствия точных данных для возможности расчета вероятностей тех или иных событий. Решение представляется лишь в виде минимизации риска, но судить о возможности его полного исключения невозможно. Недостаточные сведения о возможности появления птиц в конкретный промежуток времени, значительное число второстепенных факторов (влияние человека на поведение птиц, наличие условий для появления птиц вблизи ВПП), а самое важное – непрогнозируемое расположение птиц в воздушном пространстве и их поведение, что обусловлено их живой природой. Перечисленные факторы позволяют применять лишь некоторые моде-

ли расчета вероятностей в отношении примерно известных событий, однако в других случаях расчет таких вероятностей не может показывать удовлетворительную достоверность. Такие обстоятельства относят обеспечение орнитологической безопасности полетов к задачам, принятие решений в которых находится в поле глубокой неопределенности. Глубокая (полная) неопределенность подразумевает маловероятные риски с недооцененными серьезными, а порой и катастрофическими последствиями. Подобные события характеризуются тем, что значения ожидаемого результата не могут быть описаны в рамках вероятностных моделей (в отличие от частичной неопределенности), а в случае попытки их описания могут иметь слишком серьезные погрешности, что делает такие расчеты непригодными для практического применения. Принятие решений в подобных задачах должно основываться на сценарном подходе, когда важно предусмотреть все возможные сценарии развития событий и заблаговременно предусмотреть план действий при их наступлении. В основе сценарного планирования заложены заблаговременное выявление угроз и разработка сценариев действий в ответ на такие угрозы. Рассматривая проблему, следует сразу оговориться, что само определение «угроза» в рамках сценарного планирования может немного отличаться от общепринятого в авиационной безопасности (АБ). Если в авиации угроза является конкретным состоянием, объектом или деятельностью, которые могут быть причиной негативного события, связанного со снижением уровня АБ, то в общем понятии сценарного подхода к «угрозе» можно отнести весь спектр угрожающих факторов (и косвенных), в том числе с чрезвычайно низкой вероятностью их возникновения, что и позволяет отнести их к глубокой неопределенности.

Представим проблему обеспечения орнитологической безопасности полетов как задачу с угрозами в полях частичной и глубокой неопределенностей (рис. 3).

Исходя из построенной концепции можно отметить, что ряд вполне конкретных задач в поле частичной неопределенности может

решаться классическими инструментами: математическим аппаратом, существующими вероятностными моделями, среди которых достаточно известные – критерий Вальда, максимакса, пессимизма, Сэвиджа, Гурвица, инструменты теории ожидаемой полезности Дж. фон Неймана и О. Моргенштерна, теория перспектив Канемана и Тверски и др. [10–12].

Решение задач в поле глубокой неопределенности требует применения специальных инструментов, наиболее известными из которых являются Robust Decision Making (RDM), Multi-Objective Robust Decision Making (MORDM), Dynamic Adaptive Policy Pathways (DAPP), Info-gap (IG) decision theory, Engineering Options Analysis (EOA), Decision Scaling (DS), Adaptation Tipping Point (ATP), Many-Objective Robust Optimization (MORO) [13–17].

Для принятия решений в условиях глубокой неопределенности и оценки эффективности таких решений также успешно применяется сетевой анализ (network analysis) и оболочечный анализ данных (Data Envelopment Analysis – DEA), что показано в работах по принятию решений для обеспечения продовольственной безопасности, борьбы с природными угрозами и при снижении неблагоприятных последствий ликвидации разливов нефти [18–20].

Рассматривая существующие способы принятия решений в условиях глубокой неопределенности, следует обратить внимание на сценарный инструмент, который помогает создавать адаптивные планы – динамическое адаптивное планирование (ДАП, Dynamic Adaptive Planning – DAP) [13]. В основе планирования в рамках ДАП используется типовая схема, которая может быть дополнена и усовершенствована разработчиком плана для наибольшего соответствия решению отраслевых задач и (или) в целях развития применения различных вспомогательных инструментов на каждом из этапов [13]. ДАП успешно применялось для решения ряда стратегических задач при принятии решений в следующих обстоятельствах: управлении рисками при наводнениях в Нидерландах в связи с изменением климата, при планировании внедрения инновационного городского транспорта, при оценке загруженности дорог,

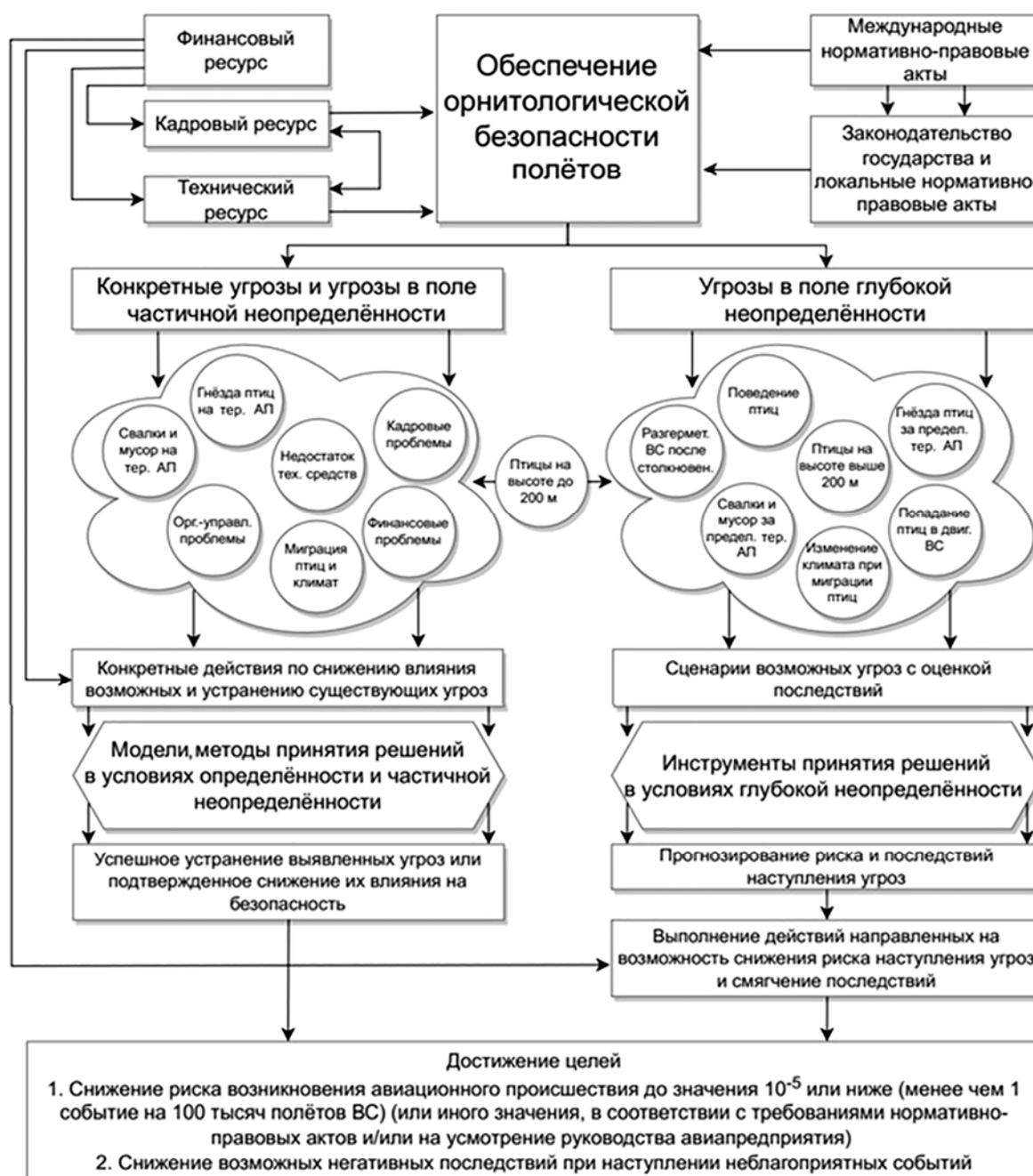


Рис. 3. Концептуальная авторская схема исследования проблемы обеспечения орнитологической безопасности полётов как задачи в поле частичной и глубокой неопределённости
Fig. 3. The author’s conceptual scheme for studying the problem of ornithological flight safety as a task in a field of partial and deep uncertainty

в интеллектуальных системах адаптации скорости, при планировании использования транспорта на магнитной подушке [14–17]. Концепция ДАП и ее применение для принятия решений в условиях глубокой неопределенности также входит в программу курса «Специальные главы теории принятия решений», изучаемого

студентами Национального исследовательского университета «Высшая школа экономики»¹⁸.

¹⁸ Специальные главы теории принятия решений [Электронный ресурс] // Международный центр анализа и выбора решений (МЦАВР) НИУ ВШЭ. URL: <https://www.hse.ru/ba/bi/courses/646476187.html?ysclid=lguid58of586653943> (дата обращения: 24.09.2023).

Характерной особенностью ДАП является наличие полноценной системы мониторинга состояния плана, которая позволяет постоянно отслеживать состояние исполнения плана с помощью триггеров – критических точек. Критические точки назначаются в процессе составления плана (до начала его реализации) и позволяют отслеживать ситуацию с исполнением плана по наиболее важным ориентирам, которые опираются на соответствующие уязвимости и возможности. Триггеры могут сигнализировать как об отрицательных тенденциях исполнения плана, так и о положительных, при этом значительная часть успеха их функционирования зависит от того, насколько адекватно потребностям плана были выбраны диапазоны и значения таких критических точек. На каждую критическую точку следует заблаговременно разработать соответствующие действия (сценарии), выполнение которых позволит плану продолжать дальнейшее надежное функционирование. В отличие от статичных планов, ДАП работает динамично и адаптируется по мере исполнения к новым условиям и тенденциям, в том числе за счет качественной системы мониторинга.

Результаты исследования

Процесс планирования представляет собой достаточно подробное описание всех процессов. В рамках ограниченного объема статьи рассмотрим основные характерные для сценарного подхода особенности обеспечения орнитологической безопасности полетов и представим их в виде схемы (рис. 4). Далее по тексту подробно рассмотрим каждый из этапов и соответствующие действия.

Рассмотрим в качестве примера условный аэропорт X в городе Y и сценарный подход для решения задачи обеспечения орнитологической безопасности полетов, который может быть масштабирован на любой существующий аэродром и реальные числовые значения показателей.

ДАП. Этап 1. Подготовительный этап

Цель: обеспечение орнитологической безопасности (аэропорта X в городе Y).

Ограничения: 1. Организационно-управленческие. 2. Погодно-климатические и территориальные. 3. Финансово-экономические (бюджет). **Показатели успеха:** 1. Количество добровольных сообщений, связанных с птицами на высоте до 200 м, не превышает значение R. 2. Количество авиационных инцидентов ВС с птицами на высоте до 200 м не превышает значение E. 3. Количество авиационных происшествий ВС с птицами на высоте до 200 м не превышает значение U. 4. Количество жалоб жителей ближайших районов на меры и действия, применяемые АП для снижения численности птиц, не превышает значение M. Задание конкретных цифровых значений обусловлено системой мониторинга ДАП, при функционировании которой требуется задавать критические точки (триггеры) для принятия соответствующих действий в рамках функционирования плана.

Дополнительные параметры: наличие разногласий с защитниками животных относительно методов отпугивания птиц и возможного нанесения урона природе (необходимость обеспечения орнитологической безопасности полетов без вреда экосистеме).

ДАП. Этап 2. Составление первоначального плана

Необходимые условия для успеха плана: 1. Наличие орнитологической службы в авиапредприятии (наличие достаточного числа квалифицированных специалистов). 2. Наличие техники и специальных средств для обеспечения орнитологической безопасности полетов. 3. Наличие необходимого и достаточного финансирования. 4. Отсутствие свалок, гнезд и других мест массового скопления птиц вблизи аэродрома. 5. Организованное взаимодействие с администрацией района и эколого-природными службами для совместного контроля за орнитологической обстановкой ближайших территорий.

Внешние ограничительные меры: Отсутствие достаточного выбора специальных технических устройств для борьбы с птицами из-за санкционных ограничений (в том числе запасных частей для ремонта, эксплуатации и обслуживания существующих систем).

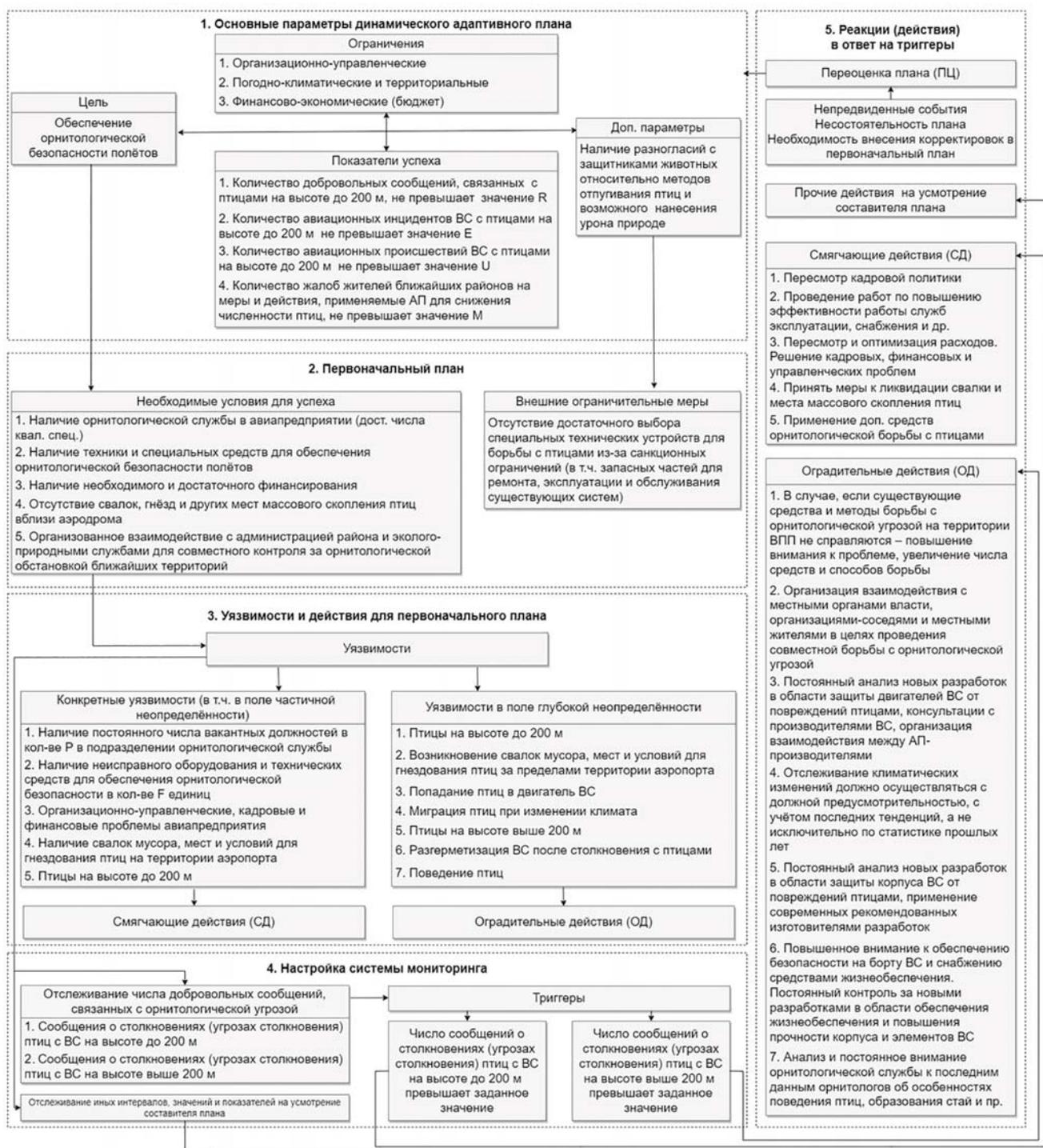


Рис. 4. Схема динамического адаптивного планирования деятельности по обеспечению орнитологической безопасности полетов. Этапы ДАП

Fig. 4. Scheme of Dynamic Adaptive Planning of activities in providing ornithological flight safety. DAP stages

ДАП. Этап 3. Повышение надежности первоначального плана

Конкретные уязвимости и предпринимаемые действия (в том числе уязвимости в поле частичной неопределенности):

1. Наличие постоянного числа вакантных должностей в количестве P в подразделении орнитологической службы. → Смягчающие действия (СД). → Пересмотр кадровой политики. Увеличение эффективности рабо-

ты кадровых органов и служб в целях обеспечения полного укомплектования штата соответствующими специалистами, при необходимости разрешение спорных вопросов, связанных с условиями труда, заработной платой. 2. Наличие неисправного оборудования и технических средств для обеспечения орнитологической безопасности в количестве F единиц. → СД. → Проведение работ по повышению эффективности работы служб эксплуатации, хозяйственного обеспечения в целях проведения оперативного ремонта и снабжения недостающими запчастями. 3. Организационно-управленческие, кадровые и финансовые проблемы авиапредприятия. → СД. → Пересмотр и оптимизация расходов. Решение кадровых, финансовых и управленческих проблем. Изменение политики обслуживания, стоимости услуг и пр. 4. Наличие свалок мусора, мест и условий для гнездования птиц на территории аэропорта. → СД. → Принять меры к ликвидации свалки и места массового скопления птиц. Демонтаж построек и мест возможного гнездования птиц, регулярный контроль за отсутствием гнезд и мест массового скопления. 5. Птицы на высоте до 200 м. → СД. → Применение средств орнитологической борьбы с птицами (технических, визуальных, отпугивающих и пр.).

Уязвимости в поле глубокой неопределенности и предпринимаемые действия.
1. Птицы на высоте до 200 м. → Оградительные действия (ОД). → В случае если существующие средства и методы борьбы с орнитологической угрозой на территории ВПП не справляются – повышение внимания к проблеме, увеличение числа средств и способов борьбы. 2. Возникновение свалок мусора, мест и условий для гнездования птиц за пределами территории аэропорта. → ОД. → Организация взаимодействия с местными органами власти, организациями-соседями и местными жителями в целях проведения совместной борьбы с орнитологической угрозой. 3. Попадание птиц в двигатель ВС. → ОД. → Постоянный анализ новых разработок в области защиты двигателей ВС от повреждений птицами, консультации с производителями

ВС, организация взаимодействия между АП-производителями. 4. Миграция птиц при изменении климата. → ОД. → Отслеживание климатических изменений должно осуществляться с должной предусмотрительностью, с учетом последних тенденций, а не исключительно по статистике прошлых лет. Учет изменений климата при организации орнитологической работы. 5. Птицы на высоте выше 200 м. → ОД. → Постоянный анализ новых разработок в области защиты корпуса ВС от повреждений птицами, применение современных рекомендованных изготовителями разработок. 6. Разгерметизация ВС после столкновения с птицами. → ОД. → Повышенное внимание к обеспечению безопасности на борту ВС и снабжению средствами жизнеобеспечения. Постоянный контроль за новыми разработками в области обеспечения жизнеобеспечения и повышения прочности корпуса и элементов ВС. 7. Поведение птиц. → ОД. → Анализ и постоянное внимание орнитологической службы к последним данным орнитологов об особенностях поведения птиц, образования стай и пр.

ДАП. Этап 4. Настройка системы мониторинга

В качестве системы мониторинга можно предложить вариант отслеживания числа добровольных сообщений, при этом в связи с тем, что значительную часть сообщений составляют сведения от экипажа ВС, который располагает данными о высоте полета (и может ее фиксировать), такие сообщения можно будет разделить для учета: а) на сообщения о столкновениях (угрозах столкновения) птиц с ВС на высоте до 200 м; б) сообщения о столкновениях (угрозах столкновения) птиц с ВС на высоте выше 200 м. В таком случае становится возможным оценивать и эффективность предпринимаемых сценарных мер исходя не просто из существующих статистических показателей, а используя конкретные значения для определенного аэропорта по числу сообщений.

Как это показано на рис. 4, на 4-м этапе ДАП выделяют ряд триггеров, к которым должны быть привязаны определенные действия. Повышение числовых значений доб-

ровольных сообщений в случае с (а) будет являться триггером – основанием для увеличения затрат на связанные с этим мероприятия по борьбе с птицами, как это показано на схеме. Наиболее результативным будет установить конкретные значения для триггеров и предпринимаемых действий (с помощью отслеживания значений переменных, приведенных в показателях успеха выше), что позволит динамично отслеживать ситуацию и предпринимать меры соизмеримо с увеличением угрозы. Следует задать триггеры и для других возможных событий, которые могут иметь значение для успеха плана. Оперативное отслеживание изменений и конкретных реакций в ответ на выход показателей из заданных интервалов позволит предупредить возможность излишних затрат на мероприятия по обеспечению орнитологической безопасности.

Этап 5 ДАП предполагает ряд действий и мер в ответ на триггеры, это могут быть конкретные действия, связанные с кадровым обеспечением, применением новых или иных видов орнитологической борьбы, технических устройств и др. Следует отметить и пункт действий «Переоценка плана (ПЦ)», который применяется в случае, если результаты по работе плана не достигают необходимой эффективности, что свидетельствует о необходимости переработки плана. В случае же нормальной работы плана в циклическом режиме действуют 3–5-й этапы, а благодаря 4-му и 5-му этапам происходит постоянная адаптация плана, что обеспечивает его динамичность.

В случае с ситуацией (б) мы не можем говорить о возможности предотвращения неблагоприятных последствий, однако в некоторых случаях такие сведения можно использовать для избегания опасных маршрутов движения ВС в случаях наличия сведений и достаточно достоверных прогнозов о массовой миграции птиц. Подобный сценарий также возможно включить в одну из угроз-триггеров и предусмотреть для этого определенные действия.

Приведенный пример является теоретической основой и имеет основную цель показать сценарный механизм динамического

адаптивного планирования в области принятия решений при обеспечении орнитологической безопасности полетов для проведения дальнейших детальных исследований в данном направлении.

Обсуждение полученных результатов

Применение рискориентированных подходов является хорошим инструментом приблизительной оценки возможных ситуаций с птицами. Между тем в некоторых случаях оценка таких рисков может иметь слишком формальный характер и проводится исключительно в целях соответствия различным нормативным и установленным законом требованиям государств к авиаперевозчикам в части обеспечения необходимых мер безопасности полетов. Соответствие формальным требованиям не всегда является практическим показателем надежности таких мер. Достаточно часто нормативно установленные требования являются тем самым необходимым минимумом, который может финансово позволить любое авиапредприятие, однако есть и такие компании, которые готовы инвестировать в безопасность гораздо большие средства, что порой оказывается излишним. Для более рационального распределения затрат авиаперевозчиков на обеспечение безопасности полетов (чтобы, как мы уже выше сказали, не допустить одну из двух ситуаций – переизбыток финансирования или недостаточное финансирование на безопасность) также целесообразно применять комбинированные стратегии оценки рисков и принятия мер для обеспечения безопасности полетов, а также инструменты сценарного анализа.

Часть проблемных вопросов орнитологической угрозы не может быть спрогнозирована или устранена, как и не могут быть оценены возможные последствия с приемлемым результатом. Именно в этом и состоит сложность решения задач в поле глубокой неопределенности. Независимо от наших прогнозов и сложности проведенных теоретических расчетов, существует вероятность попадания

стаи птиц на достаточно большой высоте в двигатели воздушного судна, что может привести к катастрофическим последствиям. Отсутствует в настоящее время и техническая возможность спасти и эвакуировать лиц, находящихся на борту ВС гражданской авиации, в случае авиационного происшествия в воздухе, что сразу переводит такие события в разряд авиационных происшествий, приведших к гибели или пропаже без вести кого-либо из пассажиров или членов экипажа (катастрофа). Особую сложность подобной ситуации придает и тот факт, что место и время таких катастроф не могут быть с достаточной вероятностью спрогнозированы, вследствие чего падение воздушного судна может произойти как в открытое море и не повлечь дополнительных жертв, так и на оживленный центр густонаселенного района, при этом число жертв и пострадавших может многократно возрасти.

Как это прослеживается в отчетах (рис. 1), анализ статистических данных не позволяет устанавливать корреляционную зависимость данных по добровольным сообщениям, инцидентам и авиационным происшествиям. Однако в общих показателях прослеживается, что большее число визуальных контактов (добровольных сообщений) ВС с птицами в результате может закончиться катастрофическими последствиями. При использовании этих данных, а также внешнего наблюдения – сведения о перелетах птиц, сезонность, погодные условия – существует возможность выделять более или менее опасные зоны и места движения птиц в воздушном пространстве, однако сам размер и неопределенность воздушного пространства, равно как и поведенческие аспекты птиц, не могут быть с достаточной достоверностью спрогнозированы для того, чтобы с достаточной и необходимой вероятностью исключить контакт птиц с ВС.

Заключение

Несмотря на приведенные в статье особенности и некоторые практически неразрешимые задачи в поле глубокой неопределенности обеспечения орнитологической безопасности полетов, существует ряд ситуаций, когда снизить риск наступления неблагоприятных последствий вполне возможно. Для реализации таких возможностей требуется разделение возможных угроз на угрозы в поле частичной неопределенности и угрозы в поле глубокой неопределенности. Угрозы в каждом из случаев имеют особенности, которые требуют применения специфических инструментов. Если для вполне конкретных угроз и угроз в поле частичной неопределенности может использоваться математический аппарат, известные вероятностные модели и рискориентированные критерии, то угрозы в поле глубокой неопределенности требуют применения сценарного подхода. Обеспечение орнитологической безопасности полетов может быть реализовано с применением основ динамического адаптивного планирования, для чего требуется составление соответствующего плана, который должен включать в себя возможные угрозы и задавать допустимые для них интервалы параметров, которые характеризуют состояние системы. Заблаговременная разработка сценариев действий, выполняемых в ответ на повышение (или понижение) тех или иных показателей, постоянное отслеживание показателей позволят оперативно применять необходимые меры и контролировать орнитологическую безопасность полетов, что при качественной организации процессов даст возможность снизить вероятность встреч ВС с птицами. Концепция сценарного подхода для обеспечения орнитологической безопасности полетов и пример динамического адаптивного плана, представленные в статье, демонстрируют новый взгляд на проблему как на многокритериальную задачу в условиях частичной и глубокой неопределенности, что открывает новый научный задел для проведения дальнейших исследований в данном направлении.

Дальнейшие шаги в области использования сценарного подхода для обеспечения орнитологической безопасности полетов предполагается направить на разработку специализированного программного обеспечения для ЭВМ, позволяющего в режиме реального

времени отслеживать изменение параметров системы обеспечения орнитологической безопасности авиапредприятия и сигнализировать о необходимости применения конкретных мер реагирования в случае, если параметры системы выходят за допустимые интервалы. Повышение внимания к использованию инструментов сценарного анализа и планирования, позволяющих разрабатывать динамические адаптивные планы, направленные на обеспечение орнитологической безопасности полетов, позволит в дальнейшем повысить качество возможных прогнозов о встречах ВС с птицами, что может в конечном счете сделать авиационный транспорт еще более безопасным.

Благодарности

Работа поддержана проектом «Исследование моделей и методов принятия решений в условиях глубокой неопределенности: предупреждение природных угроз и логистических проблем», выполненного в рамках Программы фундаментальных исследований НИУ ВШЭ в 2023 году.

Список литературы

1. Meer Ahmad A.M. Bird-strike aircraft accidents and their prevention [Электронный ресурс] // Asian Journal of Science and Technology. 2019. Vol. 10, iss. 01. Pp. 9251–9257. URL: <https://www.journalajst.com/bird-strike-aircraft-accidents-and-their-prevention> (дата обращения: 29.06.2023).
2. van Es G.W.H., Smit H.H. A Method for predicting fatal bird strike rates at airports // NLR-CR-99322, 1999. 30 p.
3. Ильичев В.Д., Силаева О.Л., Золотарев С.С. и др. Защита самолетов и других объектов от птиц. М.: Товарищество научных изданий КМК, 2007. 320 с.
4. Якоби В.Э. Биологические основы предотвращения столкновений самолетов с птицами. М.: Наука, 1974. 166 с.
5. Юдкин В.А., Грабовский М.А. Количественный метод оценки орнитологи-

ческой обстановки на аэродроме // Научный Вестник МГТУ ГА. 2018. Т. 21, № 4. С. 48–59. DOI: 10.26467/2079-0619-2018-21-4-48-59

6. Елисов Л.Н. Системный подход и человеческий фактор в орнитологической безопасности аэропорта / Л.Н. Елисов, Н.И. Овченко, В.Л. Филиппов, Е.А. Коняев, А.А. Лаптев // Научный вестник ГосНИИ ГА. 2019. № 29. С. 99–106.

7. Шаров В.Д., Воробьев В.В. Ограничения по использованию матрицы ИКАО при оценке рисков для безопасности полетов // Научный Вестник МГТУ ГА. 2016. № 225 (3). С. 179–187.

8. Гузий А.Г., Костина А.П. Методологический подход к количественному оцениванию риска, обусловленного столкновением воздушных судов с птицами // Научный Вестник МГТУ ГА. 2022. Т. 25, № 5. С. 12–24. DOI: 10.26467/2079-0619-2022-25-5-12-24

9. Гузий А.Г. Методология количественного оценивания риска для безопасности полетов в самолетном сегменте коммерческой авиации / А.Г. Гузий, А.Г. Капустин, А.М. Лушкин, А.В. Фокин // Научный Вестник МГТУ ГА. 2019. Т. 22, № 4. С. 33–42. DOI: 10.26467/2079-0619-2019-22-4-33-42

10. Аткинсон Э.А. Управленческий учет / А.А. Аткинсон, Р.Д. Банкер, Р.С. Каплан, С.М. Юнг. 3-е изд. СПб.: Вильямс, 2019. 880 с.

11. Виханский О.С. Стратегическое планирование: учебник для вузов. М.: Гардарики, 1995. 296 с.

12. Kahneman D., Tversky A. Prospect theory: An analysis of decision under risk // Econometrica. 1979. Vol. 47, no. 2. Pp. 263–292. DOI: 10.2307/1914185

13. Marchau V.A.W.J. Decision making under deep uncertainty: From theory to practice / V.A.W.J. Marchau, W.E. Walker, P.J.T.M. Bloemen, S.W. Popper. Publisher: Springer Cham, 2019. 405 p. DOI: 10.1007/978-3-030-05252-2

14. Rahman S.A., Walker W.E., Marchau V.A.W.J. Coping with uncertainties about climate change in infrastructure planning: An adaptive policymaking approach. Final report. Netherlands: Ecorys, 2008. 57 p.

15. Agusdinata D.B., Marchau V.A.W.J., Walker W.E. Adaptive policy approach to im-

plementing intelligent speed adaptation // IET Intelligent Transport Systems. 2007. Vol. 1, iss. 3. Pp. 186–198. DOI: 10.1049/iet-its:20060037

16. **Marchau V.A.W.J., Walker W.E., van Duin R.** An adaptive roach to implementing innovative urban transport solutions // Transport Policy. 2008. Vol. 15, iss. 6. Pp. 405–412. DOI: 10.1016/j.tranpol.2008.12.002

17. **Marchau V.A.W.J., Walker W.E., van Wee G.P.** Dynamic adaptive transport policies for handling deep uncertainty // Technological Forecasting and Social Change. 2010. Vol. 77, iss. 6. Pp. 940–950. DOI: 10.1016/j.techfore.2010.04.006

18. **Aleskerov F., Sergeeva Z., Shvydun S.** Assessment of exporting economies influence on the global food network // Optimization methods and applications / Под ред. S. Butenko, P.M. Pardalos, V. Shylo. Publisher: Springer, 2017. Pp. 1–10. DOI: 10.1007/978-3-319-68640-0_1

19. **Aleskerov F., Demin S.** DEA for the assessment of regions' ability to cope with disasters // Dynamics of disasters, springer optimization and its applications / Под ред. I.S. Kotsireas, A. Nagurney, P.M. Pardalos, A. Tsokas. Publisher: Springer Cham, 2021. Vol. 169. Pp. 31–37. DOI: 10.1007/978-3-030-64973-9_2

20. **Aleskerov F., Demin S.** Modelling possible oil spills in the barents sea and their consequences // Springer optimization and its applications / Под ред. I. Kotsireas, A. Nagurney, P. Pardalos. Publisher: Springer Cham, 2018. Vol. 140. Pp. 47–56. DOI: 10.1007/978-3-319-97442-2_2

References

1. **Meer Ahmad, A.M.** (2019). Bird-strike aircraft accidents and their prevention. *Asian Journal of Science and Technology*, vol. 10, issue 01, pp. 9251–9257. Available at: <https://www.journalajst.com/bird-strike-aircraft-accidents-and-their-prevention> (accessed: 29.06.2023).

2. **van Es, G.W.H., Smit, H.H.** (1999). A Method for predicting fatal bird strike rates at airports. *NLR-CR-99322*, 30 p.

3. **Ilyichev, V.D., Silaeva, O.L., Zolotarev, S.S. et al.** (2007). Protecting aircraft and

other objects from bird strikes. Moscow: Tovari-shchestvo nauchnykh izdaniy KMK, 320 p. (in Russian)

4. **Yakobi, V.E.** (1974). Biological basis for preventing aircraft-bird strikes. Moscow: Nauka, 166 p. (in Russian)

5. **Yudkin, V.A., Grabovski, M.A.** (2018). Quantitative method of estimate of aerodrome birds hazard risk. *Civil Aviation High Technologies*, vol. 21, no. 4, pp. 48–59. DOI: 10.26467/2079-0619-2018-21-4-48-59 (in Russian)

6. **Elisov, L.N., Ovchenkov, N.I., Filipov, V.L., Konyaev, E.A., Laptev, A.A.** (2019). System approach and human factor in ornithological airport security. *Scientific Bulletin of the State Scientific Research Institute of Civil Aviation (GosNII GA)*, no. 29, pp. 99–106. (in Russian)

7. **Sharov, V.D., Vorobyev, V.V.** (2016). Limitations on ICAO risk matrix application in safety risk assessment. *Nauchnyy Vestnik MGTU GA*, no. 225 (3), pp. 179–187. (in Russian)

8. **Guziy, A.G., Kostina, A.P.** (2022). Methodological approach to the quantitative assessment of risk caused by a collision between birds and aircraft. *Civil Aviation High Technologies*, vol. 25, no. 5, pp. 12–24. DOI: 10.26467/2079-0619-2022-25-5-12-24 (in Russian)

9. **Guziy, A.G., Kapustin, A.G., Lushkin, A.M., Fokin, A.V.** (2019). Quantitative risk estimation methodology for flight safety in airline segment of commercial aviation. *Civil Aviation High Technologies*, vol. 22, no. 4, pp. 33–42. DOI: 10.26467/2079-0619-2019-22-4-33-42 (in Russian)

10. **Atkinson, A.A., Banker, R.D., Kaplan, R.S., Young, S.M.** (2001). Management accounting. 3rd ed. Upper Saddle River: NJ: Prentice Hall, 624 p.

11. **Vikhanskiy, O.S.** (1995). Strategic planning: Textbook for Universities. Moscow: Gardarika, 296 p. (in Russian)

12. **Kahneman, D., Tversky, A.** (1979). Prospect theory: An analysis of decision under risk. *Econometrica*, vol. 47, no. 2, pp. 263–292. DOI: 10.2307/1914185

13. Marchau, V.A.W.J., Walker, W.E., Bloemen, P.J.T.M., Popper, S.W. (2019). Decision making under deep uncertainty: From theory to practice. Publisher: Springer Cham, 405 p. DOI: 10.1007/978-3-030-05252-2

14. Rahman, S.A., Walker, W.E., Marchau, V.A.W.J. (2008). Coping with uncertainties about climate change in infrastructure planning: An adaptive policymaking approach. *Final report*. Netherlands: Ecorys, 57 p.

15. Agusdinata, D.B., Marchau, V.A.W.J., Walker, W.E. (2007). Adaptive policy approach to implementing intelligent speed adaptation. *IET Intelligent Transport Systems*, vol. 1, issue 3, pp. 186–198. DOI: 10.1049/iet-its:20060037

16. Marchau, V.A.W.J., Walker, W.E., van Duin, R. (2008). An adaptive roach to implementing innovative urban transport solutions. *Transport Policy*, vol. 15, issue 6, pp. 405–412. DOI: 10.1016/j.tranpol.2008.12.002

17. Marchau, V.A.W.J., Walker, W.E., van Wee, G.P. (2010). Dynamic adaptive transport policies for handling deep uncertainty. *Technological Forecasting and Social Change*,

vol. 77, issue 6, pp. 940–950. DOI: 10.1016/j.techfore.2010.04.006

18. Aleskerov, F., Sergeeva, Z., Shvydun, S. (2017). Assessment of exporting economies influence on the global food network. In: *Optimization methods and applications*, in Butenko S., Pardalos P.M., Shylo V. (eds.). Publisher: Springer, pp. 1–10. DOI: 10.1007/978-3-319-68640-0_1

19. Aleskerov, F., Demin, S. (2021). DEA for the assessment of regions' ability to cope with disasters. In: *Dynamics of disasters. springer optimization and its applications*, in Kotsireas I.S., Nagurney A., Pardalos P.M., Tsokas A. (eds.). Publisher: Springer Cham, vol. 169, pp. 31–37. DOI: 10.1007/978-3-030-64973-9_2

20. Aleskerov, F., Demin, S. (2018). Modelling possible oil spills in the barents sea and their consequences. In: *Springer optimization and its applications*, in Kotsireas I., Nagurney A., Pardalos P. (eds.). Publisher: Springer Cham, vol 140, pp. 47–56. DOI: 10.1007/978-3-319-97442-2_2

Сведения об авторе

Хачикян Павел Павлович, кандидат технических наук, научный сотрудник Международного центра анализа и выбора решений НИУ ВШЭ, pkhachikyan@hse.ru.

Information about the author

Pavel P. Hachikyan, Candidate of Technical Sciences, Research Fellow in the International Center of Decision Making and Analysis of the HSE University, pkhachikyan@hse.ru.

Поступила в редакцию	23.10.2023	Received	23.10.2023
Одобрена после рецензирования	20.12.2023	Approved after reviewing	20.12.2023
Принята в печать	21.03.2024	Accepted for publication	21.03.2024