

УДК 351.814.24:347.822.4

DOI 10.51955/2312-1327_2024_4_18

МЕТОДИКА АВТОМАТИЧЕСКОЙ ОЦЕНКИ ОПАСНОСТИ СБЛИЖЕНИЯ ВОЗДУШНЫХ СУДОВ ПРИ НАРУШЕНИИ ИНТЕРВАЛОВ ЭШЕЛОНИРОВАНИЯ

*Александр Петрович Плясовских,
orcid.org/0000-0003-2250-8852,
доктор технических наук, профессор
Санкт-Петербургский государственный университет гражданской авиации
имени Главного маршала авиации А.А. Новикова,
ул. Пилотов, д. 38
Санкт-Петербург, 196210, Россия
al.plyasovskih@yandex.ru*

*Артем Юрьевич Винников,
orcid.org/0009-0000-4208-7448,
аспирант
Санкт-Петербургский государственный университет гражданской авиации
имени Главного маршала авиации А.А. Новикова,
ул. Пилотов, д. 38
Санкт-Петербург, 196210, Россия
art-vinnikov@yandex.ru*

*Владимир Юрьевич Топилин,
orcid.org/0009-0005-9930-7479,
Всероссийский научно-исследовательский институт радиоаппаратуры,
пр. Обуховской обороны, д. 120
Санкт-Петербург, 192012, Россия
v.topilin2010@yandex.ru*

Аннотация. В статье предлагается методика автоматической высокоточной оценки опасности сближения воздушных судов (ВС) при нарушении установленных норм эшелонирования по непрерывной 100-балльной шкале. Методика представляет собой пошаговый поиск максимальной опасности сближения ВС от момента начала нарушения интервалов эшелонирования до окончания конфликтной ситуации (КС). В качестве основного критерия для оценки используется линейная функциональная зависимость взвешенных в установленных нормах эшелонирования значений минимальных расстояний между ВС. 100-балльная оценка позволит производить сопоставление и сравнение потенциальной опасности между разными фактами нарушений норм эшелонирования, степени серьезности содержащихся в них угроз и рисков для безопасности полетов (БП).

Использование в качестве одной из точек отсчета «воспринимаемой опасности авиационного события» создает возможность оценивания уровня БП даже в случае отсутствия фактов нарушения интервалов эшелонирования за выбранный отчетный период. Анализ полученных с помощью методики оценок поможет своевременно принять превентивные меры по устранению потенциальных угроз еще до возникновения реальных авиационных событий.

Предлагаемую методику целесообразно использовать при решении задач автоматизации оценки практических навыков персонала управления воздушным движением (УВД) и создании автоматической системы управления БП.

Ключевые слова: нормированная система координат, нормированное расстояние, нарушение интервалов эшелонирования, опасность сближения, методика оценки опасности сближения.

METHODOLOGY FOR AUTOMATIC ASSESSMENT OF THE CONVERGENCING AIRCRAFT HAZARD IN THE EVENT OF SEPARATION INTERVALS VIOLATION

*Alexander P. Plyasovskih,
orcid.org/0000-0003-2250-8852,
Doctor of Technical Sciences, Professor
Saint-Petersburg State University of Civil Aviation
named after Air Chief Marshal A.A. Novikov,
38, street of Pilots
Saint-Petersburg, 196210, Russia
al.plyasovskih@yandex.ru*

*Artem Yu. Vinnikov,
orcid.org/0009-0000-4208-7448,
Graduate Student,
Saint-Petersburg State University of Civil Aviation
named after Air Chief Marshal A.A. Novikov,
38, street of Pilots
Saint-Petersburg, 196210, Russia
art-vinnikov@yandex.ru*

*Vladimir Yu. Topilin,
orcid.org/0009-0005-9930-7479,
All-Russian Scientific Research Institute of Radio Equipment,
120, Obukhovskoy Oborony Avenue
Saint-Petersburg, 192012, Russia
v.topilin2010@yandex.ru*

Abstract. The article proposes a method for automated high-precision assessment of the danger of approaching aircraft in case of violation of established separation standards on a continuous 100-point scale. The technique is a step-by-step search for the maximum hazard of approaching aircraft from the moment of the beginning of the violation of separation intervals to the end of the conflict situation. The main criterion for assessment is the linear functional dependence of the values of the minimum distances between aircraft, weighted in the established separation standards. A 100-point assessment will allow for the comparison and comparison of potential hazard between different facts of violations of separation standards, the severity of the threats and risks to flight safety contained therein.

Using "perceived hazard" as a reference points allows assessing the level of flight safety even in the absence of violations of separation intervals for the selected reporting period. The analysis of the estimates obtained using the methodology will help to take timely preventive measures to eliminate potential threats even before the occurrence of real aviation events.

It is advisable to use this methodology in solving the tasks of automating the assessment of practical skills of air traffic control personnel and creating an automatic flight safety management system.

Keywords: normalized coordinate system, normalized distance, violation of separation intervals, hazard of convergence, methodology for assessing the hazard of convergence.

Введение

Определение текущего уровня БП не представляется возможным без оценки «опасности» как сопутствующих деятельности авиации факторов, так и происходящих авиационных событий. Именно «опасность» по своей сути является важнейшей имманентной характеристикой, присущей процессам оценки БП.

В настоящее время оценка опасности сближения ВС при опасных сближениях ВС, нарушении интервалов эшелонирования, при срабатывании систем предупреждения столкновений TCAS или же при срабатывании сигнализации краткосрочных конфликтов STCA осуществляется «ручным» (не автоматическим и не автоматизированным) способом. При этом оценка опасности сближения ВС осуществляется опытным экспертом или группой экспертов.

Оценка опасности сближения ВС производится при выполнении упражнений на диспетчерском тренажере, в процессе непосредственного УВД на рабочем месте диспетчера, а также при расследовании авиационных происшествий в соответствии с руководящими документами (ПРАПИ).

В результате оценки опасности сближения ВС авиационное событие относят к одной из следующих категорий:

1. Авиационное происшествие (столкновение ВС);
2. Серьезный инцидент (опасное сближение);
3. Инцидент (нарушение установленных интервалов эшелонирования ВС);
4. Незначительный инцидент (срабатывание сигнализации краткосрочного конфликта без нарушения норм эшелонирования).

Таким образом, оценка опасности сближения ВС осуществляется с использованием качественной шкалы оценки, называемой шкалой порядка [РМГ 83-2007..., 2008].

Образно говоря, существующие методики оценки опасности сближения ВС в чем-то подобны методике ручного измерения массы тел с привлечением грузчиков-экспертов, которые бы вручную сравнивали вес груза с некоторыми эталонами и распределяли бы грузы по категориям «легкий», «средний», «тяжелый», «очень тяжелый». Данное сравнение, может быть, несколько гиперболизировано, но все же отражает суть недостатков ручной оценки опасности авиационных событий.

В идеале оценка опасности сближения ВС в воздухе при наличии систем авиационного наблюдения, удовлетворяющих современным требованиям, должна производиться автоматически.

В настоящей работе предлагается методика автоматической оценки опасности сближения ВС при нарушении интервалов эшелонирования, которая может быть реализована в автоматической или автоматизированной системе мониторинга воздушного движения. В задачи такой системы [Плясовских, 2020а; Плясовских и др., 2022] могут входить автоматический сбор информации наблюдения в процессе выполнения полетов ВС в определенном регионе или в стране в целом; автоматическая регистрация STCA, нарушений установленных

интервалов между ВС, опасных сближений, срабатываний TCAS; и автоматическая высокоточная оценка опасности всех этих событий по непрерывной шкале от 0 до 100 единиц опасности.

Вопросы схожей тематики научным сообществом затрагивались не часто. Проблемами проведения расследования авиационных инцидентов (АИ), мерами повышения их качества и эффективности, а также вопросами интеграции их результатов в систему управления БП занимались А. Г. Гузий, А. В. Мишин, Б. П. Елисеев, Ю. А. Майорова, А. М. Лушкин, В. А. Свиркин. Данные авторы в своих работах предлагают глубокий качественный анализ тенденций в нормативно-правовой базе, регламентирующей расследования авиационных происшествий и инцидентов, выступающих квинтэссенцией тенденций оценки уровня БП [Фундаментальные ..., 2017, с. 2329–2336; Елисеев и др., 2017; Мишин, 2017; Свиркин, 2019; Свиркин, 2008]. Г. А. Крыжановский, В. В. Купин изучали вопросы моделирования процессов принятия решений в системе обслуживания воздушного движения [Крыжановский и др., 2010]. В. Е. Борисов, Д. А. Евсевичев исследовали автоматизацию управления процессом обучения и оценивания уровня теоретической подготовки авиадиспетчеров [Борисов и др., 2018; Борисов, 2022]. Один из авторов статьи ранее предлагал математический подход для определения критерия опасности сближения ВС [Плясовских, 2020]. Зарубежные исследователи занимались анализом работы системы TCAS и определением оптимальных траекторий ВС для обхода препятствий [Optimization methods..., 2022], вопросами применимости искусственных нейронных сетей для поддержки принятия решений [Beliatckaia et al., 2021]. В работе [Williams, 1992] разработана теория для своевременного обнаружения и предупреждения столкновений, в основе которой лежит математическое описание области неопределенности коридора ВС, учитывающее пропущенные, запоздалые, либо ложные сигналы о положении ВС. Многие авторы уделяли внимание вопросам определения риска БП [Netjasov, 2008], моделирования и оценки рисков столкновения ВС [Brooker, 2003; Risk Analysis..., 2020], в том числе, с помощью имитационного моделирования методом Монте-Карло [Blom et al., 2006].

Вопросами оценки опасности сближения ВС и ее автоматизации ранее занимался наш коллектив авторов. Данное исследование является продолжением разработок авторов, представленных в работе [Винников и др., 2023].

Особенности существующих практик оценки опасности сближения воздушных судов при нарушении интервалов эшелонирования

Предотвращение столкновений между воздушными судами является основной задачей профессии авиадиспетчера. В процессе работы он перманентно анализирует параметры движения ВС в закрепленной за ним части воздушного пространства, прогнозирует возникновение потенциально-конфликтных ситуаций (ПКС) этого движения, принимает необходимые меры для изменения траектории движения данных ВС и своевременного предотвращения конфликтов. Оценивание предпринятых им действий в случаях, когда нарушения интервалов избежать не удалось, осуществляется либо в рамках

проведения расследования АИ, либо при выставлении оценок диспетчером-инструктором при выполнении упражнений на диспетчерском тренажере. Кроме того, даже если нарушения интервалов не произошло (нет АИ и его расследования), действия диспетчера все равно являются объектом оценивания с точки зрения умения решать им ПКС.

Устоявшаяся на данный момент практика анализа причин нарушения норм эшелонирования, как правило, сводится к перечислению нарушенных пунктов руководящих нормативно-правовых документов и субъективной оценке правильности выполнения технологических операций авиационным персоналом без применения какой-либо количественной оценки выявляемых отклонений или нарушений. Практика оценивания персонала ОВД безусловным выполнением действующих регламентов, с одной стороны, может быть справедлива только при абсолютном совершенстве действующих нормативных актов, что в настоящее время таковым не является; с другой стороны, порождает мотивацию скрывать как различные аспекты расследуемых событий, так и сами факты происходящих нарушений, поскольку данная информация будет определять рамки ответственности и степень вины «нарушителей».

Умение проводить анализ воздушной обстановки и решать возможные конфликтные ситуации является обязательным оценочным параметром при проверке практических навыков диспетчера УВД на диспетчерском тренажере (п. 60 ФАП 93). При осуществлении проверок на рабочем месте данный параметр может быть оценен условно, но не является обязательным (п. 44 данного ФАПа). Тренажер позволяет смоделировать достаточное количество проблемных и потенциально-конфликтных ситуаций при выполнении упражнения, чтобы полноценно оценить диспетчера по этому параметру, в то время как на рабочем месте в основном оценивается правильность выполнения технологии работы, а диспетчер с такими ситуациями может и не столкнуться, что будет исключать возможность произвести полноценную оценку.

Процедура оценки практических навыков диспетчера УВД как на рабочем месте, так и на диспетчерском тренажере, также представляет собой проведение лицом, осуществляющим проверку, качественного ранжирования действий диспетчера по двум критериям – замечания и нарушения. Практика применения такого оценивания на данный момент сводится к тому, что если диспетчером не допущено нарушений, то его действия оцениваются как правильные, а при наличии нарушений – неправильные. При этом с целью установления единых правил выставления оценок разрабатываются правила, на основании которых то или иное количество зафиксированных нарушений и замечаний соответствуют выставляемому баллу.

Получаемая таким образом итоговая оценка, несмотря на использование 5-балльной шкалы, по сути является системой именно качественной оценки, с более характерными для нее результатами – «отлично», «хорошо» или «удовлетворительно». Такой способ ранжирования оцениваемых навыков содержит в себе высокую неоднородность и неравномерность в нарастании содержания используемого критерия оценки для разных технологических операций. Ведь нельзя утверждать, что диспетчер, получивший 2 против 4

баллов другого диспетчера, справился именно в 2 раза хуже, просто у него было больше замечаний/нарушений. Налицо явная количественная неопределенность в сравнении результатов выставленных оценок.

Согласно «Положению об организации и проведении тренажерной подготовки персонала ОВД» в качестве критериев оценки умения анализировать и решать КС используются несколько видов событий:

- опасное сближение (сближение ВС на расстояние менее половины установленного интервала эшелонирования);
- нарушение интервала эшелонирования (сближение ВС на расстояние менее установленного интервала эшелонирования);
- конфликтная ситуация своевременно не обнаружена, но решена (обнаружению возможного нарушения интервала эшелонирования помогают средства автоматизации, например, STCA);
- конфликтная ситуация своевременно обнаружена (самостоятельное предотвращение возможного нарушения интервала эшелонирования).

Все эти события очевидно имеют разный «вес» в рамках оценки обеспечения диспетчером БП. Однако сравнение «весов» названных событий происходит только качественно. «Несвоевременное обнаружение конфликтной ситуации» по сравнению с «опасным сближением» явно имеет меньшую опасность. Но можно ли сравнить разных диспетчеров, если оба они или допустили, или не допустили нарушения интервала при выполнении тренажерного упражнения. На данный момент это может быть только субъективная оценка диспетчера-инструктора о том, кто, по его мнению, поступил более «грамотно» при выполнении упражнения.

Опасное сближение и нарушение интервала эшелонирования по своей внутренней сути также представляют собой одинаковый вид событий и различаются только минимальным расстоянием нахождения ВС друг относительно друга в момент события. Тем не менее количественных методов соизмерения опасного сближения с нарушением интервала эшелонирования не существует. Существует только качественное соотношение – опасное сближение, исходя из самого названия, представляет большую опасность ввиду большей угрозы столкновения ВС. Однако, что представляет большую опасность для авиации – одно опасное сближение или два нарушения интервалов эшелонирования? Ответ на этот вопрос невозможно дать с помощью существующего инструментария оценки БП. Для этого необходима разработка более дифференцированного количественного способа оценки опасности сближения ВС.

Материалы и методы

Одной из основных задач диспетчера УВД является безопасное эшелонирование ВС, иначе говоря, диспетчер обязан не допускать нарушения установленных законодательно горизонтальных и вертикальных интервалов между ВС (норм эшелонирования). Современные средства автоматизации способны фиксировать любой факт нарушения этих норм, что является основанием для проведения расследования об АИ (п. 24, приложение 1 ПРАПИ).

Согласно данным анализов по БП, нарушения норм эшелонирования составляют более 80% от общего числа АИ, связанных с недостатками при ОВД [Анализ безопасности ..., 2023].

Однако средства автоматизации, помимо самой фиксации факта нарушения интервала, позволяют измерить множество иных параметров нарушения. Учет данных параметров может способствовать сравнению аналогичных нарушений между собой и на основе выработанных алгоритмов позволить сравнивать последствия действий диспетчеров УВД, оценивать их дифференцированно и намного более точно.

Очевидно, что угрозы и риски для БП для всех случаев нарушения интервалов эшелонирования будут разными. Если ВС сблизилась на интервал менее половины установленной нормы эшелонирования («опасное сближение»), то, поскольку значение опасности данного сближения будет явно выше, речь уже можно будет вести о «серьезном авиационном инциденте». Именно степень допущенной опасности и возможных потенциальных последствий может служить основой для более дифференцированной оценки работы персонала ОВД, не ограничиваясь только фактами допущенных нарушений.

В работе [Плясовских и др., 2024] предложено понятие воспринимаемой опасности авиационного события, под которой понимается численная мера степени субъективной (воспринимаемой авиационными специалистами) угрозы катастрофы, которая могла произойти в результате авиационного события.

Воспринимаемая опасность авиационного события, как показали проведенные автором эксперименты [Плясовских и др., 2024], имеет очень высокую корреляцию (силу связи) с величиной минимального расстояния между конфликтующими ВС в процессе нарушения норм эшелонирования. Это дает основание и возможность автоматически вычислить оценку воспринимаемой опасности сближения ВС при нарушении интервалов эшелонирования между ними.

Воспринимаемая опасность авиационного события H_p (**Perceived Hazard**) связана с минимальным нормированным расстоянием между ВС $r_{\min}^N$

$$\text{соотношением } H_p = \begin{cases} (100 * (1 - k * r_{\min}^N)) & \text{при } r_{\min}^N > 1/k \\ 0 & \text{при } r_{\min}^N \leq 1/k \end{cases}, \quad (1)$$

где $k \leq 1$ – эмпирический коэффициент, определяемый с использованием экспертного опроса авиационных специалистов.

Физический смысл выражения (1) заключается в том, что при минимальном нормированном расстоянии между ВС, равном нулю, то есть при $r_{\min}^N = 0$ (в этом случае имеет место столкновение ВС) воспринимаемая опасность сближения равна 100 единиц опасности по непрерывной 100-балльной шкале. При минимальном нормированном расстоянии между ВС $r_{\min}^N$, большем или равном единице, то есть при $r_{\min}^N \geq 1/k$ (в этом случае нормированное расстояние между ВС больше или равно норме эшелонирования), воспринимаемая опасность сближения равна нулю.

В работе [Плясовских, 2020б] предложено использование коэффициента $k = \frac{1}{\sqrt{2}} = 0,707$, что согласуется с результатами экспертных опросов авиационных специалистов. В общем случае коэффициент k может быть функцией от $r_{\min}^N$, то есть $k = f(r_{\min}^N)$.

В работе [Плясовских, 2020б] приведены формулы, позволяющие в процессе непосредственного УВД рассчитать минимальное нормированное расстояние между ВС $r_{\min}^N$.

Определив по формуле (1) воспринимаемую опасность сближения ВС с использованием закона воспринимаемой опасности авиационных событий, представленного в работе [Плясовских и др., 2024], можно вычислить оценку вероятности (возможности) столкновения ВС, которая имела место в процессе нарушения норм эшелонирования

$$P_{PC} = e^{H_p/4-25}. \quad (2)$$

Описанный подход к оценке воспринимаемой опасности сближения ВС и вероятности (возможности) столкновения ВС лежит в основе предложенной в настоящей работе методики автоматической оценки опасности сближения ВС при нарушении интервалов эшелонирования.

Методика автоматической оценки опасности сближения воздушных судов при нарушении интервалов эшелонирования

Предлагаемая методика разработана для применяемой в настоящее время системы эшелонирования ВС в РФ, а именно единого интервала горизонтального эшелонирования вне зависимости от углов нахождения ВС друг относительно друга. Тем не менее на заложенной в ней основной идее можно легко разработать методики для иных систем эшелонирования.

В методике используется нормированная система отсчета, которая более предпочтительна для целей количественной оценки опасности сближения ВС, поскольку в ней выражается степень допущенного нарушения интервала, и, в отличие от абсолютных значений расстояний между ВС, такое выражение уже содержит в себе оценочный потенциал. Данная система отсчета более подробно описана в работах [Плясовских, 2020б].

Этапы предлагаемой методики:

1. Исходными данными методики являются полученные от средств наблюдения динамично изменяющиеся координаты ВС в трехмерном пространстве с некоторого начального момента до наступления конфликта (t), а также в процессе развития конфликта, и установленные нормы эшелонирования между ними. Поступление информации о координатах ВС происходит с равномерным временным интервалом (Δt), который определяет шаг хода предлагаемой методики. Данная временная дискретность наблюдений может быть установлена, например, в 1, 6, 10 или 20 секунд, в зависимости от технических характеристик средств наблюдения.

Исходные данные:

H_s – установленная норма вертикального эшелонирования (H – height, s – separation);

D_s – установленная норма горизонтального эшелонирования (D – distance, s – separation);

h_i^n, h_j^n – высота i -го и j -го ВС;

$x_i^n, y_i^n, x_j^n, y_j^n$ – координаты i -го и j -го ВС в горизонтальной плоскости,

где:

n – номер шага в ходе методики, определяющий местоположение всех ВС в конкретный момент времени t^n (где $t^n = (t^{(n-1)} + \Delta t)$);

i – индекс первого из конфликтующих ВС;

j – индекс второго из конфликтующих ВС.

Искомая в методике максимальная опасность сближения (CH – CollisionHazard) конфликтующих ВС изначально, до наступления конфликта, равна нулю ($MaxCH_{i,j} = 0$).

2. Находят разницу в координатах между конфликтующими ВС ($dx_{i,j}^n, dy_{i,j}^n, dh_{i,j}^n$), находящимися на управлении диспетчера (в зоне ответственности диспетчерского пункта) в момент времени, соответствующий текущему значению шага методики – текущего n (начальное значение $n=0$, что соответствует исходному положению ВС):

$$dx_{i,j}^n = x_i^n - x_j^n \quad (3)$$

$$dy_{i,j}^n = y_i^n - y_j^n \quad (4)$$

$$dh_{i,j}^n = h_i^n - h_j^n \quad (5)$$

3. Определяют расстояние между конфликтующими ВС в горизонтальной плоскости ($Rxy_{i,j}^n$) в текущий момент времени (для соответствующего значения шага методики - n):

$$Rxy_{i,j}^n = \sqrt{dx_{i,j}^{n^2} + dy_{i,j}^{n^2}} \quad (6)$$

4. Определяют значения горизонтального и вертикального расстояний между конфликтующими ВС в нормированной системе отсчета ($Rxy_{i,j-N}^n, dh_{i,j-N}^n$) при текущем значении шага методики (n):

$$Rxy_{i,j-N}^n = \frac{Rxy_{i,j}^n}{D_s} \quad (7)$$

$$dh_{i,j-N}^n = \frac{dh_{i,j}^n}{H_s} \quad (8)$$

5. Если оба из полученных значений нормированных расстояний между ВС меньше единицы

$$\begin{cases} Rxy_{i,j-N}^n < 1 \\ dh_{i,j-N}^n < 1 \end{cases}, \quad (9)$$

то в данный момент времени (на данном шаге n) имеет место нарушение интервалов эшелонирования, поэтому переходят к пункту 7.

Если хотя бы одно из полученных значений нормированных расстояний между ВС больше или равно единице, т. е. условие (9) не выполняется, то на данном шаге n нарушения интервала нет, тогда переходят к пункту 6.

6. Отсутствие нарушения интервалов эшелонирования при применении данной методики может быть либо до начала конфликтной ситуации (КС) между ВС, либо после ее завершения. На момент начала анализа, до установления факта нарушения интервалов эшелонирования, согласно методике, $MaxCH_{i,j} = 0$. В дальнейшем значение $MaxCH_{i,j}$ будет увеличиваться до момента начала расхождения конфликтующих ВС.

Таким образом, если не выполняется условие $MaxCH_{i,j} > 0$, то КС еще не началась, переходят к пункту 9.

Если условие $MaxCH_{i,j} > 0$ выполняется, то КС между ВС закончилась, переходят к пункту 10.

7. При нарушении интервалов эшелонирования определяют текущую ОС конфликтующих ВС – $CH_{i,j}^n$ (*CollisionHazard*) в рассматриваемый момент времени (при текущем значении шага методики – n) по формуле:

$$CH_{i,j}^n = \left(1 - \sqrt{\frac{Rxy_{i,j-N}^n{}^2 + dh_{i,j-N}^n{}^2}{2}} \right) * 100. \quad (10)$$

8. Поскольку необходимо найти наибольшее значение опасности сближения рассматриваемых конфликтующих ВС, то текущее значение $MaxCH_{i,j}$ сравнивают с полученным в пункте 7 значением $CH_{i,j}^n$.

На момент начала анализа, до установления факта нарушения интервалов эшелонирования, $MaxCH_{i,j} = 0$. В дальнейшем значение $MaxCH_{i,j}$ будет увеличиваться до момента начала расхождения конфликтующих ВС.

Если $CH_{i,j}^n > MaxCH_{i,j}$, то на текущем шаге методики, при данном относительном положении ВС, значение $MaxCH_{i,j}$ увеличивается и ему присваивается текущее значение $CH_{i,j}^n$ ($MaxCH_{i,j} = CH_{i,j}^n$).

Если $CH_{i,j}^n \leq MaxCH_{i,j}$, то значение $MaxCH_{i,j}$ не изменяется.

Переходят к пункту 9.

9. Переходят к следующему циклу методики, возвращаясь к пункту 1:

$$n = n + 1 \quad (11)$$

$$t = t + \Delta t \quad (12)$$

10. После окончания КС, т. е. при прекращении нарушения интервалов эшелонирования, можно констатировать, что искомое максимальное значение $MaxCH_{i,j}$ для рассматриваемого конфликта ВС определено. Значение опасности сближения ВС $H_p = MaxCH_{i,j}$ вносят в базу данных СУБД (системы управления безопасностью полетов), в которой регистрируют авиационные события.

Результаты и обсуждение

В статье обоснована необходимость автоматической непрерывной оценки опасности сближения ВС при нарушении интервалов эшелонирования. Предложена новая методика высокоточной оценки опасности сближения ВС по непрерывной 100-балльной шкале.

Уровень БП при ОВД на данный момент оценивается количеством произошедших авиационных происшествий и АИ, в том числе количеством произошедших опасных сближений ВС и количеством произошедших нарушений интервала эшелонирования. Таким образом, «опасность» происходящих на данный момент авиационных событий характеризуется качественно, а общее состояние БП их дифференцированным количеством.

Реализация задач по принятию мер для предотвращения в будущем АИ, аналогичных уже произошедшим, что и является основной целью анализов БП и расследований АИ (ПРАПИ), не представляется возможной без внедрения автоматической количественной оценки АИ нарушения интервалов эшелонирования.

Для реализации такого подхода в статье предлагается использование 100-балльной оценки опасности сближения между ВС. Поскольку потенциальные риски для безопасности полетов для всех случаев нарушения интервалов эшелонирования будут разными, предлагается более точно и дифференцированно оценивать опасность сближения ВС в таких АИ. В качестве критерия для оценки опасности сближения предлагается использование минимально допущенного при нарушении интервалов расстояния между ВС, поскольку, чем ближе ВС находились друг к другу, тем выше опасность и риск их столкновения. Количественная оценка может производиться путем сопоставления фактических расстояний между ВС в момент их минимальных значений (до начала их расхождения) с нарушенными нормами эшелонирования в соответствующих плоскостях.

В рамках стремления авиационного сообщества к переходу от реагирующего подхода к обеспечению БП к проактивному необходимо осознавать, что требуется принципиальная смена методологических основ деятельности оценивающих и контролирующих органов. Одной из таких основ должна стать новая методика оценки опасности допущенных при ОВД нарушений интервалов эшелонирования. Такая методика должна быть основана на количественных методах оценивания, позволяющих производить сравнительный анализ различных АИ и определять пути снижения рисков авиационной деятельности в будущем. Предлагаемая в статье методика представляет собой пошаговое нахождение максимальной опасности сближения ВС от момента начала нарушения интервалов эшелонирования до окончания КС. Опасность сближения ВС как основной критерий оценки в предлагаемой методике определяется как линейная функциональная зависимость взвешенных в установленных нормах эшелонирования значений расстояний между ВС в горизонтальной и вертикальной плоскостях (10).

Научная новизна проведенного исследования.

Впервые предлагается методика автоматической высокоточной непрерывной оценки опасности сближения ВС при нарушении интервалов эшелонирования.

Преимущества предлагаемой методики вытекают из преимуществ используемой в ней дифференцированной количественной шкалы оценки. 100-балльная оценка не только дает более высокую точность, но и содержит в себе большой потенциал для применения математических методов анализа. Такая система оценки дает возможность математически соизмерять опасности таких событий, как опасные сближения, нарушения интервалов эшелонирования, краткосрочные конфликтные ситуации (Short Term Conflict Alert, STCA), потенциально-конфликтные ситуации (ПКС), срабатывание TCAS (бортовых систем предупреждения столкновений), и иных тому подобных событий. Автоматический способ определения оценки существенно повышает оперативность получения необходимого результата и позволяет существенно снизить трудоемкость процессов оценивания действий персонала ОВД, серьезности АИ, либо уровня БП.

Практическая значимость проведенного исследования.

Представленная в статье методика оценки опасности сближения ВС при установленном факте нарушения интервалов эшелонирования может стать основой для более подробного анализа уровня БП, поскольку дает более точные соизмеримые между различными однотипными событиями данные. Результаты оценки отдельных событий нарушения интервалов можно будет сравнить для различных регионов, в том числе в динамике. Благодаря использованию в качестве точек отсчета «*воспринимаемой опасности авиационного события*» появляется возможность учета не только фактов нарушения интервалов эшелонирования, но и STCA и ПКС, поэтому даже в случае отсутствия опасных авиационных событий за отчетный период будут иметься данные для анализа уровня БП – показатели будут отличны от нуля. Это при должном анализе даст возможность принять необходимые превентивные меры по устранению потенциальных угроз еще до возникновения реальных авиационных событий, что и составляет суть проактивного подхода к управлению БП и также позволит повысить эффективность подготовки персонала ОВД к практической работе.

Дифференцирование по 100-балльной шкале позволит эффективнее оценивать действия персонала ОВД с точки зрения объективного определения степени ответственности допущенных им нарушений установленных норм во время расследований АИ. Более лояльный подход к незначительным нарушениям интервалов, благодаря снижению психологического давления на персонал ОВД, позволит снизить зачастую чрезмерно завышаемые расстояния при разведении ВС. Это, в свою очередь, снизит время задержек рейсов и повысит пропускную способность воздушного пространства.

Кроме того, предлагаемая методика может стать основой для оценки действий, предпринятых диспетчером УВД при разрешении им КС. Если нарушение норм эшелонирования является результатом ошибочных действий диспетчера УВД (а зачастую так и бывает), то оценка опасности сближения

между ВС может служить основой для более дифференциальной оценки действий самого диспетчера УВД, а не ограничиваться только фактом допущенного нарушения. Чем выше опасность сближения ВС, тем больше опасность возможных последствий и больше степень серьезности ошибки, допущенной диспетчером УВД. Таким образом, если за 100 баллов взять наивысшую оценку профессиональных действий диспетчера, не допустившего нарушения интервалов, оценка диспетчера, допустившего нарушение, будет обратно пропорциональна опасности сближения ВС при данном нарушении. Такая оценка может быть применима при проверке практических навыков диспетчера на рабочем месте, на диспетчерском тренажере. Автоматическая оценка сможет позволить студенту или действующему диспетчеру самостоятельно, без участия диспетчера-инструктора, отрабатывать важнейшие навыки, необходимые для обеспечения БП. Более того, она, помимо автоматической оценки навыков специалистов ОВД, может использоваться как средство мотивации поддержания и повышения квалификации благодаря более точному сопоставлению результатов различных диспетчеров посредством рейтинговой системы и соответствующей системы премирования. Можно будет собирать и анализировать данные за более длительный период и оценивать диспетчеров в течение всей их профессиональной карьеры, а в дальнейшем выявлять как более компетентных специалистов, так и более эффективные приемы решения задач обеспечения БП.

Заключение

На основе проведенного анализа существующих тенденций в отечественной практике оценивания действий персонала ОВД предложена методика автоматической оценки опасности сближения ВС при нарушении интервалов эшелонирования. Благодаря использованию непрерывной 100-балльной шкалы оценивания данная методика обеспечивает получение результата достаточно высокой точности, чтобы производить сопоставление и сравнение потенциальной опасности различных фактов допущенных нарушений, степени серьезности содержащихся в них угроз и рисков для БП.

Значение воспринимаемой опасности авиационного события является его важнейшей характеристикой, которая должна определяться автоматически или методом экспертных оценок при анализе авиационного происшествия. Представляется целесообразным ввести в практику обязательную оценку воспринимаемой опасности каждого авиационного события и ее упоминание при любом упоминании авиационного события.

На основе предложенной методики можно создать автоматическую систему мониторинга БП, которая путем оценки существующих КС и ПКС позволит расширить возможности анализа и оценки уровня БП, и сделать существенный шаг к реализации проактивного подхода к управлению БП.

Предложенный в статье методологический подход может стать основой для оценки действий служб ОВД или конкретного диспетчера, в том числе при оценке его действий на диспетчерском тренажере.

Библиографический список

- Анализ безопасности полётов при АНО в ФГУП «Госкорпорация по ОрВД» в 2022 году. М.: ФГУП «Госкорпорация по ОрВД». 2023. 46 с.
- Борисов В. Е.* Автоматизация управления процессом обучения при подготовке авиадиспетчеров / В. Е. Борисов, Д. А. Евсевичев // Автоматизация процессов управления: сб. науч. тр. по матер. молодеж. науч.-техн. конф. 15-16 мая 2018 г.: в 2 ч. Ульяновск: ФНПЦ АО НПО «Марс». 2018. Ч. 1. С. 13-20.
- Борисов В. Е.* Методы автоматизации тренажерной подготовки диспетчеров УВД: специальность 05.22.13 «Навигация и управление воздушным движением»: диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Владимир Евгеньевич Борисов, 2022. 155 с. EDN H1DRHL.
- Винников А. Ю.* Автоматизация оценки опасности конфликтной ситуации при расследовании авиационных событий / А. Ю. Винников, А. П. Плясовских, В. Ю. Топилин // Актуальные проблемы и перспективы развития гражданской авиации: Сборник трудов XII Международной научно-практической конференции, посвященной празднованию 100-летия отечественной гражданской авиации, Иркутск, 12–13 октября 2023 года. Иркутск: Московский государственный технический университет гражданской авиации, 2023. С. 25-34. EDN EPRGKM.
- Елисеев Б. П.* К вопросу интеграции результатов расследования авиационных происшествий и инцидентов в систему управления безопасностью полетов / Б. П. Елисеев, В. А. Сvirкин / Транспортное право. 2017. № 1. С. 14-18. EDN XROKGT.
- Крыжановский Г. А.* Моделирование принятия решений в активной системе обслуживания воздушного движения / Г. А. Крыжановский, В. В. Купин // Вестник Санкт-Петербургского государственного университета гражданской авиации. 2010. № 1. С. 53-61. EDN QCTGSD.
- Мишин А. В.* Эффективность расследования авиационных инцидентов и пути ее повышения // К.Э. Циолковский. Проблемы и будущее российской науки и техники: Материалы 52-х Научных чтений памяти К.Э. Циолковского, Калуга, 19–21 сентября 2017 года. Калуга: ИП Стрельцов И.А. (Издательство "Эйдос"), 2017. С. 240-243. EDN LYIOXJ.
- Плясовских А.* От реагирования на авиационные события к их упреждению // Авиапанорама. 2020а. №6. С. 22-30.
- Плясовских А. П.* К вопросу разработки автоматизированной системы мониторинга безопасности воздушного движения в районе аэродрома / А. П. Плясовских, М. Н. Верховец // Вестник Санкт-Петербургского государственного университета гражданской авиации. 2022. № 1(34). С. 46-57. EDN UDXATK.
- Плясовских А. П.* Критерий опасности столкновения воздушных судов // Вестник Санкт-Петербургского государственного университета гражданской авиации. 2020б. № 4 (29). С. 64-74. EDN T11WQP.
- Плясовских А. П.* Закон воспринимаемой опасности авиационных событий на примере управления воздушным движением / А. П. Плясовских, Ю. Ю. Михальчевский // Вестник Санкт-Петербургского государственного университета гражданской авиации. 2024. № 2 (43). С. 40-56. EDN IQMQVC.
- РМГ 83-2007. Рекомендации по межгосударственной стандартизации. Государственная система обеспечения единства измерений. Шкалы измерений. Термины и определения (введены в действие Приказом Ростехрегулирования от 29.11.2007 № 337-ст). М.: Стандартинформ. 2008. 24 с.
- Сvirкин В. А.* Анализ качества работы элементов авиационно-транспортной системы при расследовании авиационных происшествий и инцидентов // Инновации в гражданской авиации. 2019. Т. 4, № 2. С. 19-24. EDN HULMGO.
- Сvirкин В. А.* Нормативная правовая регламентация обеспечения объективности расследования авиационных происшествий и инцидентов // Транспортное право. 2008. № 3. С. 21-22. EDN JVKXKV.

Фундаментальные и прикладные исследования современной психологии: Результаты и перспективы развития / Отв. ред. А. Л. Журавлёв, В. А. Кольцова. М.: Институт психологии РАН. 2017. 2704 с.

Beliatskaia A. P. Research of the Methods of Collision Avoidance of Aircraft with the Ground in Controlled Flight During Landing / A. P. Beliatskaia, V. V. Vorobev, B. P. Eliseev // XVIII Technical Scientific Conference on Aviation Dedicated to the Memory of N.E. Zhukovsky (TSCZh). Moscow: Russian Federation, 2021. pp. 1-6.

Blom H. A. P. Safety Risk Assessment by Monte Carlo Simulation of Complex Safety Critical Operations / H. A. P. Blom, H. S. Sybert, H. d. J. Hans // Proceedings 14th Safety-critical Systems Symposium. 2006. pp. 47-67.

Brooker P. Lateral Collision Risk in Air Traffic Track Systems: A 'Post-Reich' Event Model // Journal of Navigation. 2003. № 56 (3). pp. 399-409.

Netjasov F. A review of research on risk and safety modelling in civil aviation / F. Netjasov, J. Milan. // Journal of Air Transport Management. 2008. №14. pp. 213-220.

Optimization methods for collision aircraft avoidance / M. L. Costea, G. L. Stroe, F. Costache, A. Semenescu, I. C. Andrei // AIP Conference Proceedings. 2022. № 2425(1) // [Электронный ресурс]. – 2022. URL: <https://pubs.aip.org/aip/acp/article-abstract/2425/1/240007/2823385/Optimization-methods-for-collision-aircraft?redirectedFrom=fulltext> (дата обращения: 10.08.2024).

Risk Analysis of Lateral Collision of Military and Civil Aviation Aircraft Based on Event Model / G. Zhao, S. Mao, Y. Mao, X. Zhang, Y. Wu // Artificial Intelligence in China. Lecture Notes in Electrical Engineering. 2020. vol. 572. pp. 76-86.

Williams P. R. Aircraft collision avoidance using statistical decision theory // Sensors and Sensor Systems for Guidance and Navigation II. 1992 // [Электронный ресурс]. – 1992. URL: <https://doi.org/10.1117/12.138129> (дата обращения: 12.08.2024).

References

Beliatskaia A. P., Vorobev V. V., Eliseev B. P. (2021). Research of the Methods of Collision Avoidance of Aircraft with the Ground in Controlled Flight During Landing. *XVIII Technical Scientific Conference on Aviation Dedicated to the Memory of N.E. Zhukovsky (TSCZh)*. 1-6.

Blom H. A. P., Sybert H. S., Hans H. d. J. (2006). Safety Risk Assessment by Monte Carlo Simulation of Complex Safety Critical Operations. *Proceedings 14th Safety-critical Systems Symposium*. Pp. 47-67.

Borisov V. E., Evsevichev D. A. (2018). Automation of control of the learning process in the training of air traffic controllers. *Automation of control processes: collection of scientific tr. on the mater. youth. scientific and technical conf.* (1): pp.13-20. (In Russian)

Borisov V. E. (2022). Methods of automation of simulator training of ATC dispatchers. *Dissertation for the degree of Candidate of Technical Sciences*. 155 p. (In Russian)

Brooker P. (2003). Lateral Collision Risk In Air Traffic Track Systems: A 'Post-Reich' Event Model. *Journal of Navigation*. 56(3): pp.399-409.

Costea M. L., Stroe G. L., Costache F., Semenescu A., Andrei I. C. (2022) Optimization methods for collision aircraft avoidance. *AIP Conference Proceedings*. 2425(1). Available at: <https://pubs.aip.org/aip/acp/article-abstract/2425/1/240007/2823385/Optimization-methods-for-collision-aircraft?redirectedFrom=fulltext> (accessed 10 August 2024).

Eliseev B. P., Svirkin V. A. (2017). On the issue of integrating the results of the investigation of aviation accidents and incidents into the flight safety management system. *Transport Law*. (1): pp. 14-18. (In Russian)

Flight safety analysis at the ANO in FSUE "State ATM Corporation" in 2022. Moscow: FSUE "State ATM Corporation". 2023. 46 p. (In Russian)

Fundamental and applied research of modern psychology: Results and prospects of development / Ed. A. L. Zhuravlev, V. A. Koltsova. M.: Institute of Psychology of the Russian Academy of Sciences. 2017. 2704 p. (In Russian)

Kryzhanovsky G. A., Kupin V. V. (2010). Modeling of decision-making in an active air traffic service system. *Bulletin of the St. Petersburg State University of Civil Aviation*. (1): pp.53-61. (In Russian)

Mishin A. V. (2017). The effectiveness of aviation incident investigation and ways to improve it. *Problems and the future of Russian science and technology. Materials of 52 Scientific readings in memory of K.E. Tsiolkovsky*. Pp.240-243. (In Russian)

Netjasov F., Milan J. (2008). A review of research on risk and safety modelling in civil aviation. *Journal of Air Transport Management*. (14): pp.213-220.

Plyasovskikh A. (2020). From responding to aviation events to their prevention. *Aviapanorama*. (6): pp.22-30. (In Russian)

Plyasovskikh A. P. (2020). Criterion of aircraft collision hazard. *Bulletin of the St. Petersburg State University of Civil Aviation*. 4(29): pp.64-74. (In Russian)

Plyasovskikh A. P., Verkhovets M. N. (2022). On the issue of developing an automated system for monitoring air traffic safety in the airfield area. *Bulletin of the St. Petersburg State University of Civil Aviation*. 1(34): pp.46-57. (In Russian)

Plyasovskikh A. P., Mikhachevsky Yu. Yu. (2024). The law of perceived danger of aviation events on the example of air traffic control. *Bulletin of the St. Petersburg State University of Civil Aviation*. 2 (43): pp.40-56. (In Russian)

RMG 83-2007. Recommendations on interstate standardization. The state system of ensuring the uniformity of measurements. Measurement scales. Terms and definitions (put into effect by the Order of Rostec Regulation No. 337-st dated 11/29/2007). M: *Standartinform*. 2008. 24 p. (In Russian)

Svirkin V. A. (2019). Analysis of the quality of the elements of the aviation transport system in the investigation of aviation accidents and incidents. *Innovations in civil aviation*. (2): pp.19-24. (In Russian)

Svirkin V. A. (2008). Normative legal regulation of ensuring the objectivity of the investigation of aviation accidents and incidents. *Transport Law*. (3): pp.21-22. (In Russian)

Vinnikov A. Yu., Plyasovskikh A. P., Topilin V. Yu. (2023). Automation of the assessment of the danger of a conflict situation in the investigation of aviation events. *Actual problems and prospects of the development of civil aviation: proceedings of the XII International Scientific and practical Conference. dedicated to the celebration of the 100th anniversary of the national civil aviation*. (2): pp. 25-34. (In Russian)

Williams P. R. (1992). Aircraft collision avoidance using statistical decision theory. *Sensors and Sensor Systems for Guidance and Navigation II*. Available at: <https://doi.org/10.1117/12.138129> (accessed 12 August 2024).

Zhao G., Mao S., Mao Y., Zhang X., Wu Y. (2020). Risk Analysis of Lateral Collision of Military and Civil Aviation Aircraft Based on Event Model. *Artificial Intelligence in China. Lecture Notes in Electrical Engineering*. (572): pp.76-86.