

ВОЗМОЖНОСТИ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ ВОЗДУШНЫМ ДВИЖЕНИЕМ СО СТРУКТУРАМИ, ОБЕСПЕЧИВАЮЩИМИ АВИАЦИОННУЮ БЕЗОПАСНОСТЬ АЭРОПОРТА

Власова А.В.

*Московский государственный технический университет гражданской авиации (МГТУ ГА),
Кронштадтский бульвар, 20, Москва, 125993, Россия
e-mail: arusya92@mail.ru*

Статья поступила в редакцию 17.05.2021

Исследуется в постановочном плане задача совершенствования системы обеспечения авиационной безопасности аэропорта на основе комплексирования технических средств защиты аэропорта и средств управления воздушным движением. Основная идея состоит в том, что средства управления воздушным движением на современном этапе их развития обладают серьезными научно-техническими возможностями обнаружения и сопровождения соответствующих объектов, что далеко не всегда присуще средствам обеспечения авиационной безопасности в их зоне ответственности. Поэтому весьма перспективным представляется исследование вопроса о совместном использовании технических средств обеих систем.

Ключевые слова: авиационная безопасность, комплексирование систем авиационной безопасности и управления воздушным движением, информационное обеспечение систем авиационной безопасности.

Введение

В соответствии с Воздушным кодексом РФ [1], государственное регулирование использования воздушного пространства (ИВП) РФ и деятельности в области авиации направлено на обеспечение потребностей граждан и экономики в воздушных перевозках, авиационных работах, а также на обеспечение обороны и безопасности государства, охраны интересов государства, безопасности полетов ВС, авиационной и экологической безопасности. Там же определяется, что авиационная безопасность — это состояние защищенности авиации от незаконного вмешательства в деятельность в области авиации. В данном материале будут рассмотрены некоторые аспекты обеспечения авиационной безопасности, прежде всего с точки зрения возможностей взаимодействия систем управления воздушным движением (УВД) со структурами, обеспечивающими авиационную безопасность (АБ) [19]. При этом следует понимать историческую разнонаправленность этих систем, которые создавались и развивались для решения своих, локальных задач. Отсюда, если ставить задачу их некоторого

комплексирования, или совместного использования для решения задач обеспечения авиационной безопасности, прежде всего необходимо определить поле совместных взаимных интересов, в котором уже можно будет найти степень идентичности решаемых задач и сформулировать требования к совместно используемым техническим средствам. Вероятно, такой объединяющей основой может быть информационное обеспечение обеих систем. Тогда возникает задача разработки интерфейса, решающего задачу совместимости систем, при этом невозможно уйти от проблемы определения критериев совместимости и решения массы аналогичных задач. С другой стороны, решение задачи комплексирования систем авиационной безопасности и систем управления воздушным движением даже в самом первом приближении способно дать существенный эффект, причем далеко не только экономический. В работе представлена постановка этой сложнейшей задачи и рассмотрены некоторые подходы к ее решению. При этом в качестве основной структуры комплексной системы предлагается использовать типовые автоматизированные си-

стемы управления воздушным движением. Так как одной из основных структур, обеспечивающих управление воздушным движением, является автоматизированная система (АС) УВД, то в дальнейшем внимание сосредоточим именно на вопросах возможного взаимодействия АС УВД с соответствующими структурами, обеспечивающими АБ.

Методы и методология исследования

В работе [2] отмечается, что авиационная безопасность в РФ обеспечивается комплексом мер, предусматривающих создание и функционирование служб АБ, охрану аэропортов, воздушных судов (ВС) и объектов гражданской авиации (ГА), досмотр членов экипажей, обслуживающего персонала, пассажиров, ручной клади, багажа, почты, грузов и бортовых запасов, предотвращение и пресечение попыток захвата и угона ВС. Полагая, что в каждой конкретной структуре ГА имеется служба АБ, дальнейшее рассмотрение сосредоточим на вопросах охраны аэропортов,

ВС и объектов ГА, а также на предотвращении и пресечении попыток захвата и угона ВС.

К основным актам незаконного вмешательства в деятельность ГА, которые следует рассматривать как угрозы, относят следующие: попытка захвата или захват ВС, его взрыв, диверсия, нападение, блокирование объектов ГА, таких, как системы УВД, включающие в себя диспетчерские пункты (ДП) УВД, АС УВД, угрозы и несанкционированное проникновение на указанные объекты ГА, включая аэропорты, аэродромы, системы и каналы передачи информации, или в ВС [14]. На основе анализа этих угроз в настоящее время выстраивается система мер по обеспечению АБ, структура которой представлена на рисунке [2, 3].

Представленный на рисунке цикл планирования мер по обеспечению АБ реализует прежде всего организационный подход к управлению и обеспечению процедур АБ. При этом деятельностные аспекты представленной схемы включают процедуры рассмотрения, пересмотра, изме-



Общая схема структуры обеспечения авиационной безопасности

нения и повторения, т. е. элементы соответствующего анализа и на его основе принятия организационных решений.

В то же время возникает насущная необходимость в проведении соответствующих научных исследований, направленных на поддержку и обоснование тех или иных организационных мероприятий по обеспечению АБ.

Многолетние научные исследования по обеспечению безопасности полетов (БП) в ГА привели в итоге к созданию основ теории обеспечения БП. Проблема обеспечения АБ возникла существенно позже, чем проблема обеспечения БП, и соответствующей научной базы на данный момент не имеет. Поэтому возникла необходимость, кроме разработки организационных подходов к решению проблемы обеспечения АБ, выработать в определенной степени обоснованные научные подходы к решению указанной проблемы.

Очевидно, что таких научных подходов может быть достаточно много [4] (теория управления, теория оптимального выбора, теория принятия решений и т.д.), но главная проблема заключается в выработке количественного подхода к оценке состояния АБ в конкретных структурах ГА, перечисленных выше.

В отличие от задач обеспечения БП, где можно взять за количественные показатели вероятность возникновения потенциально конфликтной ситуации, вероятность возникновения конфликтной ситуации, вероятность опасного сближения и т.д., при определении степени угрозы АБ таких количественных показателей не существует. Поэтому при рассмотрении задач по обеспечению АБ нужно искать такие научные подходы, которые могли бы дать возможность получения некоторой количественной оценки степени состояния АБ в конкретных системах ГА [5].

Постановка задачи

Представляется целесообразным разделить вопросы организации АБ на два отдельных направления, а именно: непосредственно в воздушном пространстве (ВП) при выполнении полета ВС; на земле, т.е. в аэропорту, на аэродроме, в системах УВД и других структурах, обеспечивающих выполнение полетов. При этом не будем забывать, что в понятие выполнения полета входит перемещение ВС в аэропорту вылета от места стоянки до исполнительного старта по рулежным дорожкам и от приземления ВС до места стоянки в аэропорту прилета.

Так как в РФ принято диспетчерское обслуживание воздушного движения — диспетчерский состав УВД отслеживает полет ВС в непрерывном режиме, т.е. все перемещения ВС от места стоянки аэропорта вылета до места стоянки в аэропорту прилета, то это означает, что структуры УВД практически имеют возможность оценивать все, что происходит с ВС в полете и на земле, а также все то, что происходит вокруг ВС на земле в пространственном и временном смысле [13, 15]. Поэтому такие структуры УВД, как АС УВД типа «Альфа» и «Синтез-А2», обладают огромными информационными возможностями в части наблюдения своих зон ответственности. Возникает принципиальная возможность использования информации, имеющейся в АС УВД, для целей обеспечения АБ [16]. Рассмотрим эти вопросы более подробно, для чего приведем полный перечень подсистем и устройств, входящих в состав типовой АС УВД, для анализа их возможного взаимодействия со структурами, обеспечивающими АБ.

Типовой состав современной АС УВД [8, 9]:

1. Подсистема обработки и отображения информации.
2. Подсистема связи и передачи данных при взаимодействии с источниками информации и смежными (периферийными) системами и центрами УВД.
3. Подсистема обеспечения метеорологической информацией.
4. Подсистема обработки плановой и аэронавигационной информации.
5. Подсистема документирования радиолокационной, речевой информации и данных об использовании ВП.
6. Подсистема диагностики и технологического управления.
7. Подсистема отображения справочной и вспомогательной информации.
8. Система коммуникации речевой связи.
9. Подсистема синхронизации — система точного времени.
10. Пультовое оборудование для организации автоматизированного рабочего места (АРМ) специалистов УВД и технического персонала на базе универсальных пультов (УП).
11. Подсистема обучения и транспортировки специалистов УВД — комплексный диспетчерский тренажер (КДТ).

Обратим внимание на то, что структура типовой АС УВД строится по так называемому блочному принципу, т.е. практически почти все

из перечисленных выше устройств (9 из 11) могут использоваться по своему прямому назначению автономно в любом аэропорту. Поэтому вопросы взаимодействия АС УВД со службами, обеспечивающими АБ, можно рассматривать отдельно для каждой составляющей АС УВД, но с учетом того, что эти составляющие обязательно взаимодействуют друг с другом.

Кроме того, говоря о взаимодействии АС УВД со структурами, обеспечивающими АБ, необходимо выделить сферы их взаимодействия [17]. Для этого вернемся к определению понятия «аэропорт».

Аэропорт – комплекс сооружений, включающий в себя аэродром, аэровокзал, другие сооружения, предназначенные для приема и отправки ВС, обслуживания воздушных перевозок и имеющий для этих целей необходимое оборудование, авиационный персонал и других работников [10].

Достаточно очевидно, что из рассмотрения взаимодействия можно исключить аэровокзал и основное внимание уделить аэродрому.

Тогда, в соответствии с [1], аэродром – участок земли или акватории с расположенным на нем зданиями, сооружениями и оборудованием, предназначенный для взлета, посадки, руления и стоянки ВС.

Рассмотрим варианты взаимодействия АС УВД со службами АБ по предотвращению возможных угроз непосредственно на аэродроме.

Основные результаты

В современных АС УВД имеется возможность практически неограниченного увеличения АРМ диспетчеров и технического персонала. Поэтому с подключением дополнительных АРМ, обеспечивающих работу служб АБ, можно отобразить всю территорию аэродрома вместе с имеющимися на ней объектами. Тогда можно ввести показатель, характеризующий эффективность работы служб АБ, а именно коэффициент визуализации K_v в двух вариантах [6].

Вариант первый:

$$K_{\text{вм}} = \frac{m}{M}, \quad (1)$$

где m – количество квадратных метров аэродрома, охваченных контролем служб авиационной безопасности; M – общее количество квадратных метров аэродрома; $K_{\text{вм}}$ – коэффициент визуализации аэродрома с точки зрения охвата квадратных метров.

Вариант второй:

$$K_{\text{во}} = \frac{n}{N}, \quad (2)$$

где n – количество объектов на аэродроме, охваченных контролем АБ; N – общее число объектов на аэродроме; $K_{\text{во}}$ – коэффициент визуализации аэродрома с точки зрения наличия объектов.

Очевидно, что $0 \leq K_{\text{вм}} \leq 1$; $0 \leq K_{\text{во}} \leq 1$, т. е. конечной целью является достижения $K_{\text{вм}} = 1$ и $K_{\text{во}} = 1$.

Кроме того, так как практически всю информацию, циркулирующую в АС УВД, можно транслировать в службы АБ, то для оценки эффективности деятельности служб АБ можно использовать те показатели, которые сегодня служат для оценки эффективности функционирования АС УВД [18, 20]. К ним относятся [9]:

1) готовность – способность системы выполнять заданные функции по соответствующей инициализации (т.е. по требованию). Количественной мерой готовности системы является отношение фактического времени (длительности) функционирования системы от подачи сигнала инициализации (поступления требования) до завершения предписанных операций $T_{\text{ф}}$ к запланированному времени (интервалу) выполнения указанных операций $T_{\text{п}}$, т.е.

$$K_{\text{гот}} = \frac{T_{\text{ф}}}{T_{\text{п}}}; \quad (3)$$

2) целостность – возможность системы обнаруживать и исправлять собственные ошибки первого и второго рода. Количественной мерой целостности являются вероятности появления ошибок $P_{\text{ош1}}$ и $P_{\text{ош2}}$. Выполняется процедура их минимизации по возможным критериям:

$$P_{\text{ош1}} + P_{\text{ош2}} \rightarrow \min,$$

$$P_{\text{ош1}} \rightarrow \min, P_{\text{ош2}} = \text{const},$$

$$P_{\text{ош1}} = \text{const}, P_{\text{ош2}} \rightarrow \min;$$

3) непрерывность – способность системы выполнять в реальном масштабе времени свои функции без незапланированных прерываний в течение заранее заданного периода работы. В качестве количественной меры непрерывности принимают вероятность отсутствия прерываний за заданное время, т.е. отношение суммарного

времени прерываний $T_{\Sigma\Pi}$ к общему (заданному) времени функционирования T_3 :

$$K_n = \frac{T_{\Sigma\Pi}}{T_3}; \quad (4)$$

4) надежность – способность системы выполнять все свои функции, адекватно реагируя как на заранее определенные воздействия, так и на их отсутствие. Степень надежности оценивается широко известными показателями;

5) типовые эксплуатационные требования, которые предъявляются к любой сложной системе.

Таким образом, можно полагать, что взаимодействие в организационном и информационном плане между действующими в аэропортах АС УВД и имеющимися там же структурами, обеспечивающими АБ, может существенно повысить уровень АБ в каждом конкретном случае.

Необходимо иметь запись системы векторных дифференциальных уравнений в виде

$$\dot{\bar{x}} = f(\bar{x}, \bar{u}, \bar{z}, t), \quad (5)$$

где \bar{x} – n -мерный вектор фазовых координат (переменных состояний); \bar{u} – вектор управляющих воздействий; \bar{z} – вектор возмущающих воздействий; t – текущее время; черта над буквами означает вектор, а штрих – производную по времени.

Следуя [9], дадим строгое определение понятия информационного множества.

Пусть $u(t)$ и $x(t)$ – известные функции, удовлетворяющие определенным ограничениям.

Полагаем $\dot{x} = f(x, t)$, где x – n -мерный вектор переменных состояния; $f(\cdot)$ – n -мерная вектор-функция такая, что для произвольного x_0 существует единое решение $x(t)$, $x(t_0) = x_0$, определенное на временном отрезке $[t_0, t_1]$. Пусть возможны определение и запоминание на этом отрезке функции:

$$\varphi = \psi(t, x, \varepsilon),$$

где φ – m -мерный вектор; ψ – m -мерная вектор-функция; ε – заранее не известный вектор возмущений, т. е. имеется априорная неопределенность, но $\varepsilon(t)$ должна удовлетворять некоторым ограничениям.

Пусть на отрезке времени $[t_0, t_1]$ наблюдалось состояние $\varphi^*(t)$. Тогда множество $L(t_1, \varphi^*(\cdot))$ на-

зывается информационным, если для каждого $x \in L(t_1, \varphi^*(\cdot))$ найдется такая функция $\varepsilon(t)$, удовлетворяющая ранее заданным ограничениям, что решение $x(t)$, $t_0 \leq t \leq t_1$, найденное для $x(t_1) = x$ и $\varepsilon = \varepsilon(t)$ при все $x, t \in [t_0, t_1]$, удовлетворяет условию $\varphi(t) \equiv \varphi^*(t)$.

Из этого определения следует, что информационное множество определяет число состояний анализируемой системы на интервале времени $[t_0, t_1]$, совместных с имеющимися данными.

Приведенное определение сохраняется и для случаев:

1) функции $u(t)$ и $z(t)$ заранее не известны и могут изменяться при $t \in [t_0, t_1]$ произвольным образом, но в рамках введенных ограничений;

2) возможно наличие неопределенности в начальных условиях т.е. $x_0 \in X_0$;

3) не все состояния системы известны, т.е. $m < n$.

С учетом вышесказанного можно заключить, что в реальных ситуациях информационные множества могут иметь очень сложную структуру, но это не говорит о том, что задача не решается. Возможные способы решения таких задач изложены в [11].

Выводы

Дальнейшие исследования необходимо направлять на более детальную проработку вопросов взаимодействия отдельных подсистем АС УВД, указанных выше, с АРМ сотрудников служб АБ. В каком смысле возможно осуществление указанного взаимодействия? Как отмечалось, такое взаимодействие должно осуществляться в рамках информационного подхода, т.е. комплексирования соответствующих информационных потоков. В любом случае такое комплексирование необходимо для решения задач наблюдения и управления. Другими словами, комплексированная система, как сложная система, служащая достижению поставленной цели (в данном случае – обеспечения авиационной безопасности на требуемом уровне), должна характеризоваться некоторым вектором наблюдения, гипотетическим вектором возможных нежелательных воздействий и вектором управления для достижения поставленной цели в условиях наличия нежелательных воздействий. Для этого нужно иметь соответствующую математическую модель всей сложной системы. В качестве такой модели предлагается использовать теорию информационных множеств, как один из вариантов теории игр [7, 11].

Подводя итог, можно сказать, что дальнейшие исследования следует сосредоточить на выборе соответствующих подсистем АС УВД и систем АБ с целью рассмотрения их комплексирования на базе использования аппарата информационных множеств.

Библиографический список

1. Воздушный кодекс РФ: офиц. текст. — М.: Ось-89, 1998. — 64 с.
2. *Донсков А.В.* Анализ современных методов оценки и моделирования рисков возникновения нештатных ситуаций на борту космического аппарата // Вестник Московского авиационного института. 2018. Т. 25. № 4. С. 163-169.
3. *Елисов Л.Н., Овченков Н.И., Фадеев Р.С.* Введение в теорию авиационной безопасности. — Ярославль: Филигрань, 2016. — 320 с.
4. *Елисов Л.Н., Баранов В.В.* Управление и сертификация в авиационной транспортной системе. — М.: Воздушный транспорт, 1999. — 352 с.
5. *Елисов Л.Н.* Концепция управления авиационной безопасностью на основе квалиметрических оценок ее состояния // Научный вестник МГТУ ГА. 2004. № 75(9). С. 107-113.
6. *Елисов Л.Н., Громов С.В., Овченков Н.И.* О некоторых классах оптимизационных задач, решаемых с применением неформальных методов // Научный вестник МГТУ ГА. 2012. № 186. С. 130-135.
7. *Елисов Л.Н., Овченков Н.И.* Квалиметрические процедуры интеграции радиотехнических средств защиты аэропорта // Научный вестник МГТУ ГА. 2012. № 186. С. 138-142
8. *Логвин А.И., Лутина Л.Э.* Комплексирование информационных датчиков как средство повышения точностных характеристик радиолокационных систем // Актуальные проблемы и перспективы развития гражданской авиации России: Сборник трудов Всероссийской научно-технической конференции, посвященной 50-летию Иркутского филиала МГТУ ГА. 2017. С. 46-51.
9. АС УВД. Автоматизированные системы управления воздушным движением. Новые информационные технологии в авиации / Под ред. С.Г. Пятко и А.И. Красова. — СПб.: Политехника, 2004. — 445 с.
10. *Бестугин А.Р., Шатраков Ю.Г., Велькович М.А.* и др. Автоматизированные системы управления воздушным движением: Учебное пособие / Под ред. Ю.Г. Шатракова. — СПб.: ГУАП, 2013. — 450 с.
11. Постановление Правительства Российской Федерации от 11 марта 2010 года № 138 «Об утверждении Федеральных правил использования воздушного пространства Российской Федерации». URI: <https://docs.cntd.ru/document/902207152>
12. *Красовский Н.Н., Третьяков В.Е.* Управление динамической системой. — М.: Наука, 1985. — 199 с.
13. *Ho G.T.S., Tang Y.M., Tsang K.Y., Tang V., Chau K.Y.* A blockchain-based system to enhance aircraft parts traceability and trackability for inventory management // Expert Systems with Applications. 2021. Vol. 179. DOI: 10.1016/j.eswa.2021.115101
14. *Steno P., Alsadoon A., Prasad P.W.C.* et al. A novel enhanced region proposal network and modified loss function: threat object detection in secure screening using deep learning // Journal of Supercomputing. 2021. Vol. 77(4), pp. 3840-3869. DOI: 10.1007/s11227-020-03418-4
15. *Hasin F., Munia T.H., Zumu N.N., Taher K.A.* ADS-B Based Air Traffic Management System Using Ethereum Blockchain Technology // 2021 International Conference on Information and Communication Technology for Sustainable Development (27-28 February 2021, Dhaka, Bangladesh), pp. 346-350. DOI: 10.1109/ICICT4SD50815.2021.9396828
16. *Xia C.Y., Hou C.-B., Guo C.-B., Zhang Z., Yang C.-R.* Signal chain architectures for efficient airport surface movement radar video processing // Signal, Image and Video Processing (SIViP). 2021. DOI: 10.1007/s11760-021-01886-6
17. *Ertürk M.C., Hosseini N., Jamal H.* et al. Requirements and Technologies towards Uam: Communication, Navigation, and Surveillance // Integrated Communications, Navigation and Surveillance Conference (ICNS), 2020, pp. 2C2-1-2C2-15. DOI: 10.1109/ICNS50378.2020.9223003
18. *Wu Z., Shang T., Guo A.* Security Issues in Automatic Dependent Surveillance-Broadcast (ADS-B): A Survey // IEEE Access. Vol. 8, pp. 122147-122167. DOI: 10.1109/ACCESS.2020.3007182
19. *Inderwildi O., King S.D.* Energy, Transport, & the Environment. — Addressing the Sustainable Mobility Paradigm, 2011. — 726 p.
20. *Tawhid R., Braun E., Cartwright N.* et al. Towards outcome-based regulatory compliance in aviation security // 20th IEEE International Requirements Engineering Conference (24-28 September 2012; Chicago, IL, USA), pp. 267-272. DOI: 10.1109/RE.2012.6345813

INTERACTION CAPABILITIES OF AIR TRAFFIC CONTROL SYSTEMS WITH STRUCTURES ENSURING AIRPORT AVIATION SECURITY

Vlasova A.V.

Moscow State Technical University of Civil Aviation,
20, Kronshtadtskiy bulvar, Moscow, 125993, Russia
e-mail: arusya92@mail.ru

Abstract

The world civil aviation development, the traffic volumes increase, and the route network expansion implies, among other things, the quality improvement of aviation security systems, which, at present, acquire utter importance. All this stipulates the relevance of the presented scientific work. The degree of this issue development in scientific terms is not so high, since the problem of aviation security originated much later relative to other problems in the field of civil aviation, and does not have an appropriate scientific basis, which causes certain difficulties. Thus, the article explores the plan staging for the task of airport aviation security system improving based on integration of airport technical protection and air traffic control. The basic idea consists in the fact that at the present stage of their development the air traffic control (ATC) facilities possess strong scientific and technical capabilities of relevant objects detection and tracking, that is not always inherent in the means of aviation security in their area of responsibility. Hence, it is rather promising to explore the issue of joint application of technical means of both systems. Thus, it is necessary to understand herewith the historical incompatibility of these systems, which were created and developed to solve their local specific problems.

Hence, if a task of their aggregation to some extent, or joint application to solve the tasks of aviation security ensuring is being set, it is necessary to form a field of joint mutual interests, in which it will be possible to determine the identity of tasks and to formulate the requirements for shared facilities. Probably, information support for both systems may be their unifying foundation. Then the challenge of developing interface, solving the problem of the systems compatibility occurs. It is impossible herewith to get away from the problem of the compatibility criteria determining and solving many similar tasks. On the other hand, the problem solution of the aviation security systems and systems of air traffic control aggregation even in the first approximation may produce a significant effect, and not only economic. The article presents the setting of this

complicated task and regards some approaches to its solution. The authors suggest herewith employing standard automated air traffic control systems as the basic structure of the complex system.

Thus, the author proposes to use the typical automated system of air traffic control as the basic structure of the integrated system.

Keywords: aviation security, integration of aviation safety and air traffic control systems, information support of aviation safety systems.

References

1. *Vozdushnyi kodeks RF* (Air Code of the Russian Federation), Moscow, Os-89, 1998, 64 p.
2. Donskov A.V. Analysis of modern evaluation and modeling methods of contingencies occurrence risks onboard a spacecraft. *Aerospace MAI Journal*, 2018, vol. 25, no. 4, pp. 163-169.
3. Elisov L.N., Ovchenkov N.I., Fadeev R.S. *Vvedenie v teoriyu aviatsionnoi bezopasnosti* (Introduction to the theory of aviation security), Yaroslavl, Filigran', 2016, 320 p.
4. Elisov L.N., Baranov V.V. *Upravlenie i sertifikatsiya v aviatsionnoi transportnoi sisteme* (Management and certification in aviation transport system), Moscow, Vozdushnyi transport, 1999, 352 p.
5. Elisov L.N. *Nauchnyi vestnik MGTU GA*, 2004, no. 75(9), pp. 107-113.
6. Elisov L.N., Gromov S.V., Ovchenkov N.I. *Nauchnyi vestnik MGTUGA*, 2012, no. 186, pp. 130-135.
7. Elisov L.N., Ovchenkov N.I. *Nauchnyi vestnik MGTUGA*, 2012, no. 186, pp. 138-142.
8. Logvin A.I., Lutina L.E. *Materialy Vserossiiskoi nauchno-tekhnicheskoi konferentsii "Aktual'nye problemy i perspektivy razvitiya grazhdanskoi aviatsii Rossii"*, 2017, pp. 46-51.
9. *AS UVD. Avtomatizirovannye sistemy upravleniya vozdushnym dvizheniem. Novye informatsionnye tekhnologii v aviatsii* (AS ATC. Automated air traffic control systems. New information technologies in aviation), St. Petersburg, Politekhnik, 2004, 445 p.
10. Bestugin A.R., Shatrakov Yu.G., Vel'kovich M.A. et al. *Avtomatizirovannye sistemy upravleniya vozdushnym dvizheniem* (Automated air traffic control systems), St. Petersburg, GUAP, 2013, 450 p.

11. *Ob utverzhenii Federal'nykh pravil ispol'zovaniya vozdushnogo prostranstva Rossiiskoi Federatsii. Postanovlenie Pravitel'stva Rossiiskoi Federatsii ot 11.03.2010 №138* (On Approval of the Federal Regulations for the Use of the Airspace of the Russian Federation. Decree of the Russian Federation of 11.03.2010 no. 138). URI: <https://docs.cntd.ru/document/902207152>
12. Krasovskii N.N., Tret'yakov V.E. *Upravlenie dinamicheskoi sistemoi* (Dynamic system control), Moscow, Nauka, 1985, 199 p.
13. Ho G.T.S., Tang Y.M., Tsang K.Y., Tang V., Chau K.Y. A blockchain-based system to enhance aircraft parts traceability and trackability for inventory management. *Expert Systems with Applications*, 2021, vol. 179. DOI: 10.1016/j.eswa.2021.115101
14. Steno P., Alsadoon A., Prasad P.W.C. et al. A novel enhanced region proposal network and modified loss function: threat object detection in secure screening using deep learning. *Journal of Supercomputing*, 2021, vol. 77(4), pp. 3840-3869. DOI: 10.1007/s11227-020-03418-4
15. Hasin F., Munia T.H., Zumu N.N., Taher K.A. ADS-B Based Air Traffic Management System Using Ethereum Blockchain Technology. *2021 International Conference on Information and Communication Technology for Sustainable Development (27-28 February 2021, Dhaka, Bangladesh)*, pp. 346-350. DOI: 10.1109/ICICT4SD50815.2021.9396828
16. Xia C.Y., Hou C.-B., Guo C.-B., Zhang Z., Yang C.-R. Signal chain architectures for efficient airport surface movement radar video processing. *Signal, Image and Video Processing (SIViP)*, 2021. DOI: 10.1007/s11760-021-01886-6
17. Ertürk M.C., Hosseini N., Jamal H. et al. Requirements and Technologies towards Uam: Communication, Navigation, and Surveillance. *Integrated Communications, Navigation and Surveillance Conference (ICNS)*, 2020, pp. 2C2-1-2C2-15. DOI: 10.1109/ICNS50378.2020.9223003
18. Wu Z., Shang T., Guo A. Security Issues in Automatic Dependent Surveillance-Broadcast (ADS-B): A Survey. *IEEE Access*, 2020, vol. 8, pp. 122147-122167. DOI: 10.1109/ACCESS.2020.3007182
19. Inderwildi O., King S.D. *Energy, Transport, & the Environment*. Addressing the Sustainable Mobility Paradigm, 2011, 726 p.
20. Tawhid R., Braun E., Cartwright N. et al. Towards outcome-based regulatory compliance in aviation security. *20th IEEE International Requirements Engineering Conference (24-28 September 2012; Chicago, IL, USA)*, pp. 267-272. DOI: 10.1109/RE.2012.6345813