

УДК 528.9:629.735

<https://doi.org/10.33764/2411-1759-2025-30-6-120-127>

Геоинформационное моделирование эшелонирования в воздушном пространстве Российской Федерации для вычисления маршрутов перемещения гражданских беспилотных воздушных судов

В. В. Щербаков¹, С. Е. Максимова^{2,3}✉

¹Сибирский государственный университет путей сообщения,
г. Новосибирск, Российская Федерация

²Российский университет транспорта, г. Москва, Российская Федерация

³АО «НИИАС», г. Москва, Российская Федерация

e-mail: sofya.maksimova.1992@mail.ru

Аннотация. Воздушным законодательством Российской Федерации предусмотрены различные требования и ограничения для полетов гражданских беспилотных воздушных судов (БВС). Одно из указанных требований – соблюдение интервалов эшелонирования. В существующих условиях для создания и функционирования инструмента автоматизированного построения оптимального маршрута полета БВС необходимо построение корректной геоинформационной модели соответствующего сегмента воздушного пространства. В статье представлены примеры описания модели сегмента воздушного пространства класса С. Величина интервалов эшелонирования зависит от множества критериев. В ходе анализа воздушного законодательства Российской Федерации установлены критерии, значимые для определения величины интервалов эшелонирования воздушного судна. Выполнено описание геоинформационной модели условий эшелонирования беспилотного воздушного судна с помощью формул, учитывающих пространственно-временную составляющую.

Ключевые слова: беспилотное воздушное судно, сегмент воздушного пространства, интервал эшелонирования, геоинформационная модель

Для цитирования:

Щербаков В. В., Максимова С. Е. Геоинформационное моделирование эшелонирования в воздушном пространстве Российской Федерации для вычисления маршрутов перемещения гражданских беспилотных воздушных судов. *Вестник СГУГиТ*. 2025. Т. 30, № 6. С. 120–127. <https://doi.org/10.33764/2411-1759-2025-30-6-120-127>

Russian airspace stratification modeling for civil drone flight paths

V. V. Shcherbakov¹, S. E. Maksimova^{2,3} ✉

¹Siberian State Transport University, Novosibirsk, Russian Federation

²Russian University of Transport, Moscow, Russian Federation

³JSC NIIAS, Moscow, Russian Federation

e-mail: sofya.maksimova.1992@mail.ru

Abstract. Russian airspace regulations impose stringent requirements and restrictions on civil unmanned aerial vehicle (UAV) operations, including mandatory compliance with flight level spacing

intervals. To enable automated optimal flight path generation for UAVs, accurate geospatial modeling of relevant airspace segments is required. The paper presents a geospatial model for Class C airspace, with examples illustrating its implementation. Flight level spacing intervals vary according to multiple criteria identified through analysis of Russian Federal airspace regulations. A formal geospatial model incorporating spatiotemporal factors is developed using mathematical formulations.

Keywords: unmanned aircraft (UAV), airspace segment, flight spacing interval, geoinformation model

For citation:

Shcherbakov V. V., Maksimova S. E. (2025). Russian airspace stratification modeling for civil drone flight paths. *Vestnik SSUGiT [Vestnik SSUGT] Vol. 30, No. 6. pp. 120–127.* <https://doi.org/10.33764/2411-1759-2025-30-6-120-127>

Введение

В настоящее время все заметнее становится тенденция расширения сферы применения беспилотных воздушных судов [1]. Согласно опубликованным результатам исследования [2], российский рынок беспилотных авиационных систем (БАС) находится на стадии своего формирования и еще достаточно мал. Эксплуатация профессионального беспилотного воздушного судна обходится в 10 раз дешевле, чем вертолета или самолета [3]. Актуальность внедрения и использования БАС подтверждается существующими научными публикациями [2]. В Российской Федерации БАС интенсивно применяются для выполнения различных видов авиационных работ, при этом перспективным направлением развития рынка услуг с применением БАС являются коммерческие воздушные перевозки. Многие представители авиационной и космической промышленности рассматривают данные транспортные средства как важные компоненты будущей системы воздушного транспорта [4]. На уровне государств и государственных объединений продолжается разработка и реализация программ для расширения возможностей применения беспилотных воздушных судов и обеспечения безопасности полетов, в том числе с помощью соблюдения заданных интервалов между воздушными судами. Программы Urban Traffic Management of Unmanned Aircraft System (UTM-UAS) (UTM-UAS – проект Управления гражданской авиации Сингапура и Наньяньского технологического университета. Для его реализации создан научно-исследователь-

ский центр Air Traffic Management Research Institute – ARTMI, изучающий проблемы управления БВС в густонаселенной городской среде, в том числе на малых высотах (до 60 м)) [5], K-UTM (K-UTM (Korean Unmanned Traffic Management) – проект, выполняемый под руководством института технологий авиационной безопасности Республики Кореи (Korea Institute of Aviation Safety Technology – KIAST). В рамках данного проекта выполняется разработка системы управления воздушным движением беспилотных воздушных судов) [6], UOMS (UOMS (UAS Operation Management System) – реализованная в Китае система предоставления услуг по управлению движением беспилотных воздушных судов. UOMS интегрирована с системой управления воздушным движением, полетно-диспетчерской службой гражданской авиации, а также с другими системами управления БВС) [5], NASA Unmanned Aircraft System Traffic Management (NASA Unmanned Aircraft System Traffic Management – система управления БВС, разработанная в целях дополнения системы управления воздушным движением США) [7], U-Space (U-space – концепция Европейского Союза по обеспечению безопасного и эффективного использования воздушного пространства БВС [8]. Настоящая концепция реализуется в рамках проекта SESAR (Single European Sky ATM (Air Traffic Management) Research – Исследование управления воздушным движением в рамках Единого европейского неба)) [8, 9] и др. предназначены для решения широкого круга задач, в том числе для планирования и использования воздушного пространства для полетов БВС.

Воздушное пространство Российской Федерации является предметом исследования. Цель настоящей статьи – геоинформационное моделирование условий эшелонирования в воздушном пространстве Российской Федерации для полетов беспилотных воздушных судов гражданской авиации. Для достижения данной цели поставлены следующие задачи: выявление и описание моделей участков воздушного пространства РФ, в границах которых необходимо соблюдать условия эшелонирования, описание пространственно-временной модели условий эшелонирования беспилотного воздушного судна относительно других воздушных судов, выявление критериев расчета величины интервалов эшелонирования.

Для пользователей, применяющих БАС, актуально решение задачи автоматизированного построения оптимальных маршрутов перемещения БВС в воздушном пространстве РФ. Влияние пространственных факторов и пространственных отношений можно учесть только при использовании геоинформационных систем и технологий [10]. Следует отметить, что существующие геосервисы, описанные в [11], предоставляют пользователям информацию о структуре воздушного пространства, необходимую для составления планов полетов и представлений на установление местного или временного режима, но не выполняют автоматизированное построение оптимального маршрута перемещения БВС из точки старта в точку назначения. В геоинформационной модели [12, 13], пригодной для построения оптимальных маршрутов полетов БВС, должны быть учтены не только физико-географические условия (рельеф, погода и пр.) и материальные объекты (здания и сооружения) на земной поверхности, но и организация использования воздушного пространства.

В воздушном законодательстве РФ содержится информация о различных категориях ограничений в воздушном пространстве для полетов БВС: запретные зоны (Об установлении запретных зон : приказ Министерства транспорта Российской Федерации от 11.05.2022 № 172. – URL: <http://www.consultant.ru>. – Текст : электронный), опасные зоны (Об установлении постоянных опасных зон : приказ Министерства транспорта Российской

Федерации от 11.05.2022 №171. – URL: <http://www.consultant.ru>. – Текст : электронный), воздушное пространство над населенными пунктами (Об утверждении Федеральных правил использования воздушного пространства Российской Федерации : Постановление Правительства Российской Федерации от 11.03.2010 № 138. – URL: <http://www.consultant.ru>. – Текст : электронный), приграничная полоса и др. Однако в отношении j -го БВС может быть получено исключение из ограничения, если субъектом, в интересах которого установлено данное ограничение, выдано разрешение на полет конкретного БВС в определенный период времени.

Модель воздушного пространства, в котором возможно построить оптимальный маршрут перемещения j -го БВС, следует описать формулой

$$ВП_j = ВП - (Z - Z_{\text{искл}}), \quad (1)$$

где $ВП_j$ – воздушное пространство, доступное для полета j -го БВС;

$ВП$ – участок воздушного пространства РФ;

Z – совокупность ограничений в воздушном пространстве;

$Z_{\text{искл}}$ – совокупность исключений из ограничений для j -го БВС.

Примеры того, как могут быть графически представлены ограничения для полетов БВС и исключения для конкретного БВС, представлены на рис. 1.

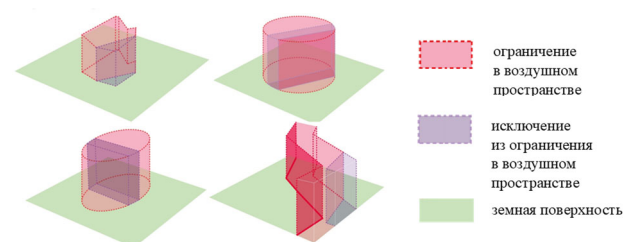


Рис. 1. Примеры ограничений в воздушном пространстве с исключениями для j -го БВС (выполнено автором)

Обязательным условием создания корректной геоинформационной модели какого-либо сегмента воздушного пространства является необходимость моделирования эшелонирования

ния воздушных судов [14], а именно их рассредоточение в пространстве на интервалы, величина которых определяется в соответствии с требованиями воздушного законодательства.

Эшелонирование соблюдается в классах А (класс А – разрешаются полеты, выполняемые только по правилам полетов по приборам. Все воздушные суда обеспечиваются диспетчерским обслуживанием и эшелонируются. Ограничения по скорости не применяются) и С (класс С – разрешаются полеты, выполняемые по правилам полетов по приборам и правилам визуальных полетов. Все воздушные суда обеспечиваются диспетчерским обслуживанием. Воздушные суда, выполняющие полеты по правилам полетов по приборам, эшелонируются относительно других воздушных судов, выполняющих полеты по правилам полетов по приборам и правилам визуальных полетов. Воздушные суда, выполняющие полеты по правилам визуальных полетов, эшелонируются относительно воздушных судов, выполняющих полеты по правилам полетов по приборам, и получают информацию о движении в отношении других воздушных судов, выполняющих полеты по правилам визуальных полетов) воздушного пространства РФ. В классах G (класс G – разрешаются полеты, выполняемые по правилам полетов по приборам и правилам визуальных полетов. Все полеты по запросу обеспечиваются полетно-информационным обслуживанием) и H (класс H – разрешаются полеты БВС в случаях, установленных соответствующими пунктами Федеральных правил использования воздушного пространства, утвержденных Постановлением Правительства РФ от 11.03.2010 № 138, а также по маршрутам полетов для БВС на высотах ниже 3050 м. Кроме того, разрешаются полеты пилотируемых воздушных судов по правилам визуальных полетов) эшелонирование воздушных судов не предусмотрено. В классах С, G и H в наличии ограничения по скорости полетов. В соответствующем нормативно-правовом акте (Об утверждении границ зон (районов) Единой системы организации воздушного движения Российской Федерации, границ районов аэродромов (аэроузлов, вертодромов), границ классов А и С воздушного про-

странства : приказ Министерства транспорта РФ от 23.07.2020 № 248. – URL: <http://www.consultant.ru>. – Текст : электронный) Министерства транспорта РФ имеется информация о границах классов воздушного пространства с указанием координат.

В верхнем воздушном пространстве Российской Федерации (выше 265-го эшелона полета – высота 8100 м) установлен класс А. Класс С установлен в нижнем воздушном пространстве, где предоставляется диспетчерское обслуживание воздушного движения или осуществляется управление полетами воздушных судов. Диспетчерское обслуживание предоставляется в границах районов контролируемых аэродромов (Об утверждении границ зон (районов) Единой системы организации воздушного движения Российской Федерации, границ районов аэродромов (аэроузлов, вертодромов), границ классов А и С воздушного пространства : установлены Приложением 2 Приказа Министерства транспорта РФ от 23.07.2020 № 248. – URL: <http://www.consultant.ru>. – Текст : электронный) и на местных воздушных линиях (информация о границах местных воздушных линий публикуется в сборнике аэронавигационной информации). Регламенты работы аэродромов и координаты публикуются в сборниках аэронавигационной информации. Воздушное пространство местной воздушной линии классифицируется как воздушное пространство класса С (Пункт 18 Федеральных правил использования воздушного пространства, утвержденных Постановлением Правительства Российской Федерации от 11.03.2010 № 138. – URL: <http://www.consultant.ru>. – Текст : электронный) только во время предоставления диспетчерского обслуживания, а именно в период, когда официально выполняется полет воздушного судна. Кроме того, приложением соответствующего приказа Министерства транспорта (Об утверждении границ зон (районов) Единой системы организации воздушного движения Российской Федерации, границ районов аэродромов (аэроузлов, вертодромов), границ классов А и С воздушного пространства : установлены Приложением 3 Приказа Министерства транспорта России от 23.07.2020 № 248. – URL: <http://www.consultant.ru>. –

Текст : электронный) предусмотрено наличие нескольких отдельных участков воздушного пространства класса С с указанием координат границ. В воздушном пространстве классов А и С условия эшелонирования должны соблюдаться в отношении всех гражданских воздушных судов, исключения не предусмотрены. Пример схематичного изображения классов А и С в моделируемом сегменте воздушного пространства представлены на рис. 2.

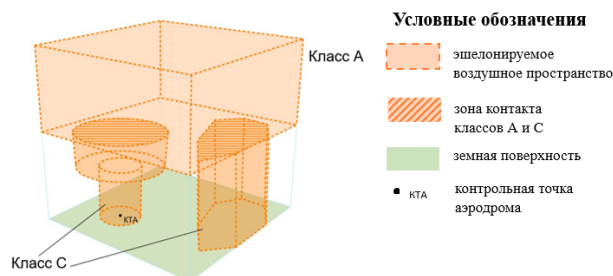


Рис. 2. Пример схематичного изображения классов воздушного пространства А и С

На основе описания групп структурированных параметров геоанных (координатные, временные, тематические) [15] с применением формулы (1) можно предложить описать формулой модель сегмента воздушного пространства класса С. Например, если указанный сегмент представляет собой полигон-многоугольник, вытянутый в высоту, то формула выглядит следующим образом:

$$ВП_i = \Phi \{ [P_1(X_1, Y_1), P_2(X_2, Y_2), \dots, P_n(X_n, Y_n), (H_v - H_n)], [D_i, P_{ii}^{нач}, P_{ii}^{прод}], [C] \}, \quad (2)$$

где P_n – n -я точка многоугольника;
 X_n – абсолютная широта точки;
 Y_n – абсолютная долгота точки;
 H_v – ограничение высоты элемента воздушного пространства сверху;
 H_n – ограничение высоты элемента воздушного пространства снизу;
 D_i – дата;
 $P_{ii}^{нач}$ – время начала;

$P_{ii}^{прод}$ – продолжительность;
 C – класс С воздушного пространства.

Следует привести и другой пример модели участка воздушного пространства класса С – местная воздушная линия, на которой осуществляется диспетчерское обслуживание воздушного судна, выполняющего полет. Модель представляет собой буферную зону от центральной оси линии. Формула для описания данной модели выглядит следующим образом:

$$ВП_i = \Phi \{ Бз_{лин} [P_1(X_1, Y_1), P_2(X_2, Y_2), \dots, P_n(X_n, Y_n), (H_v - H_n)], [D_i, P_{ii}^{нач}, P_{ii}^{прод}], [C] \}, \quad (3)$$

где P_n – n -я точка линии;
 X_n – абсолютная широта точки;
 Y_n – абсолютная долгота точки;
 H_v – ограничение высоты элемента воздушного пространства сверху;
 H_n – ограничение высоты элемента воздушного пространства снизу;
 $Бз_{лин}$ – ширина буферной зоны влево и вправо от центральной оси местной воздушной линии;
 D_i – дата;
 $P_{ii}^{нач}$ – время начала;
 $P_{ii}^{прод}$ – продолжительность;
 C – класс С воздушного пространства.

В воздушном законодательстве РФ предусмотрено рассредоточение воздушных судов в контролируемом воздушном пространстве на величину интервалов вертикального и горизонтального (продольного, бокового) эше-

лонирования (Об утверждении Федеральных авиационных правил «Организация воздушного движения в Российской Федерации»: приказ Министерства транспорта РФ от 25.11.2011 № 293. – URL: <http://www.consultant.ru>. – Текст : электронный). Вертикальное эшелонирование рассчитывается только относительно пилотируемых воздушных судов. Величина интервалов эшелонирования зависит от множества факторов и определяется требованиями нормативно-правовых актов РФ. В таблице изложены критерии, указанные в Федеральных правилах использования воздушного пространства (Об утверждении Федеральных правил использования воздушного пространства : утверждены Постановлением Правительства Российской Федерации от 11.03.2010 № 138. – URL: <http://www.consultant.ru>. – Текст : электронный), согласно которым определяется величина интервалов эшелонирования.

Критерии для определения величины интервалов эшелонирования (выполнено на основе анализа Федеральных правил использования воздушного пространства Российской Федерации)

Вид эшелонирования	Критерий
Вертикальное	Вид авиации
	Класс воздушного пространства
	Наличие допуска к применению сокращенных интервалов вертикального эшелонирования на воздушном судне
	Скорость полета воздушного судна
	Высота полета воздушного судна
Горизонтальное	Диспетчерское обслуживание (районное, в районе подхода или аэродромное)
	Параметры используемой БВС взлетно-посадочной полосы (если используется)
	Масса воздушного судна, за которым следует БВС
Продольное	Диспетчерское обслуживание (районное, в районе подхода или аэродромное)
	Выполнение пересечения попутного или встречного эшелона, занятого другим воздушным судном
	Вид выполняемого маневра воздушного судна
	Наличие контрактного автоматического зависящего наблюдения и связи «диспетчер – пилот»
	Навигационное обеспечение RNP (Required navigation performance – требуемые навигационные характеристики) и интервал донесения наблюдения

$$I_{\text{эш}}(БВС_i^{xyz,t}) = I_{\text{эш}}^{\text{верт}}(БВС_i^{xyz,t}) \& I_{\text{эш}}^{\text{гор}}(БВС_i^{xyz,t}) \& I_{\text{эш}}^{\text{прод}}(БВС_i^{xyz,t}) \& I_{\text{эш}}^{\text{бок}}(БВС_i^{xyz,t}), \quad (5)$$

где $I_{\text{эш}}^{\text{верт}}$ – интервал вертикального эшелонирования;

$I_{\text{эш}}^{\text{гор}}$ – интервал горизонтального эшелонирования;

$I_{\text{эш}}^{\text{прод}}$ – интервал продольного эшелонирования;

$I_{\text{эш}}^{\text{бок}}$ – интервал бокового эшелонирования.

Соблюдение интервалов эшелонирования между i -м БВС и другим воздушным судном следует описать с применением формулы

$$I_{\text{эш}}(БВС_i^{xyz,t}) \oplus ВС_j^{xyz,t}, \quad t_{\text{бвс}} = t_{\text{вс}}, \quad (6)$$

где $I_{\text{эш}}$ – совокупность интервалов эшелонирования в воздушном пространстве для i -го БВС;

$БВС_i^{xyz,t}$ – положение i -го БВС в пространстве в момент времени;

$ВС_j^{xyz,t}$ – положение j -го воздушного судна в пространстве в момент времени.

Пример схематичного изображения ситуации в воздушном пространстве с соблюдением

Эшелонирование возможно рассчитать только относительно траекторий уже официально запланированных полетов воздушных судов. Для упрощения процедуры моделирования эшелонирования следует строить интервалы эшелонирования от точек будущей траектории перемещения i -го БВС. В целях моделирования следует описать эшелонирование формулой

$$БВС_{\text{эш}} = \Phi \{I_{\text{эш}} [P_{\text{бвс}}(X_{\text{бвс}}, Y_{\text{бвс}}, Z_{\text{бвс}}), (t)]\}, \quad (4)$$

где $БВС_{\text{эш}}$ – участок ограничения воздушного пространства, построенный по интервалам эшелонирования;

$P_{\text{бвс}}$ – точка местоположения БВС;

$X_{\text{бвс}}$ – абсолютная широта точки местоположения БВС;

$Y_{\text{бвс}}$ – абсолютная долгота точки местоположения БВС;

$Z_{\text{бвс}}$ – абсолютная высота точки местоположения БВС;

$I_{\text{эш}}$ – интервалы эшелонирования в воздушном пространстве для БВС;

t – момент времени.

При этом совокупность интервалов эшелонирования следует описать формулой

эшелонирования воздушными судами приведен на рис. 3. Совокупность интервалов эшелонирования в пространстве относительно точки перемещения i -го БВС в момент времени t следует визуализировать в виде цилиндра, у которого высота и радиус составляются исходя из величины интервалов эшелонирования, актуальных для параметров i -го БВС и ситуации в воздушном пространстве в момент времени t .

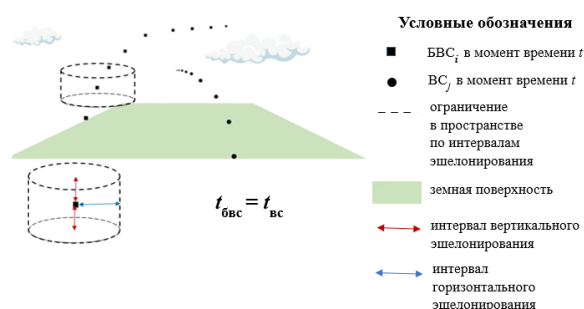


Рис. 3. Пример моделирования интервалов эшелонирования в воздушном пространстве

Выводы

При геоинформационном моделировании воздушного пространства РФ для построения оптимальных маршрутов перемещения БВС в обязательном порядке должна быть учтена необходимость соблюдения интервалов эшелонирования воздушных судов в контролируемом воздушном пространстве. Условия эшелонирования действуют только в воздушном пространстве классов А и С, исключений для каких-либо воздушных судов гражданской авиации не предусмотрено. Величина интервалов эшелонирования относительно БВС зависит от

множества факторов. Моделирование соблюдения условий эшелонирования выполняется относительно известных траекторий и расписания перемещения воздушного судна. Моделирование эшелонирования воздушных судов [14] имеет индивидуальный характер и выполняется с учетом пространственно-временного аспекта. Результаты исследований позволяют за счет геоинформационной модели условий эшелонирования беспилотного воздушного судна с использованием предложенных алгоритмов, учитывающих пространственно-временную составляющую, повысить безопасность и уровень организации движения БВС.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Рубцов Е. А., Кудряков С. А., Романцев В. В., Беляев С. А. Анализ использования общего воздушного пространства и захода на посадку при использовании параллельных взлетно-посадочных полос пилотируемыми и беспилотными воздушными судами. Известия СПбГЭТУ «ЛЭТИ». 2019. № 4. С. 13–19.
2. Фаттахов М. Р., Киреев А. В., Клещ В. С. Рынок беспилотных авиационных систем в России: состояние и особенности функционирования в макроэкономических условиях 2022 года. Вопросы инновационной экономики. 2022. Том 12. № 4. С. 2507–2528.
3. Просвирина Н. В. Анализ и перспективы развития беспилотных летательных аппаратов. Московский экономический журнал. 2021. № 10. С. 560–575.
4. Костин А. С. Классификация гражданских беспилотных летательных аппаратов и сферы их применения. Системный анализ и логистика. 2019. № 1 (19). С. 70–80.
5. Shrestha R., Oh I., Kim S. A Survey on Operation Concept, Advancements, and Challenging Issues of Urban Air Traffic Management. *Frontiers in Future Transportation*. 2021. Vol. 2. P. 626935. DOI 10.3389/ffutr.2021.626935.
6. Jung K., Kim S., Jung B., Kim S., Kang H., Kang C. UTM Architecture and Flight Demonstration in Korea. *Aerospace*. 2022. Vol. 9, Iss. 650. DOI 10.3390/aerospace9110650.
7. Jiang T., Geller J., Ni D., Collura J. Unmanned Aircraft System traffic management: Concept of operation and system architecture. *International Journal of Transportation Science and Technology*. 2016. Iss. 5. Pp. 123–135. DOI <http://dx.doi.org/10.1016/j.ijst.2017.01.004>.
8. Barrado C., Boyero M., Bruculeri L., Ferrara G., Hatley A., Hullah P. et al. U-Space Concept of Operations: A Key Enabler for Opening Airspace to Emerging Low-Altitude Operations. *Aerospace*. 2020. Vol. 7, Iss. 3. Pp. 24. DOI 10.1007/s41403-020-00197-5.
9. Capitan C., Perez-Leon H., Capitan J., Castano A., Ollero A. Unmanned Aerial Traffic Management System Architecture for U-Space In-Flight Services. *Applied science*. 2021. Vol. 11, Iss. 9. p. 3995. DOI 10.3390/app11093995.
10. Кужелев Г. П. Геоинформационные технологии в управлении транспортом. Перспективы науки и образования. 2014. № 4. С. 157–161.
11. Максимова С. Е. Геопорталы для планирования полетов беспилотных воздушных судов в воздушном пространстве Российской Федерации. Наука и технологии железных дорог. 2023. № 26. С. 47–52.
12. Булгаков С. В. Геоинформационное моделирование. М. : МАКС Пресс, 2019. 68 с.
13. Розенберг И. Н. Геоинформационная модель. Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. 2016. № 5-4. С. 675–676.
14. Дегтярев О. В., Зубкова И. Ф. Методы и особенности математического моделирования систем организации воздушного движения. Известия РАН. Теория и системы управления. 2012. № 4. С. 62–76.
15. Майоров А. А. Развитие информатики в научном направлении геоинформатика. Вестник МГТУ МИРЭА. 2014. № 1 (2). С. 42–57.

REFERENCES

1. Rubtsov, E. A., Kudryakov, S. A., Romantsev, V. V., Belyaev, S. A. (2019). Analysis of the Use of Common Airspace and Landing Approaches When Using Parallel Runways by Manned and Unmanned Aircraft *Izvestiya SPbGETU «LETI» [Bulletin of ETU "LETI"]*. No. 4. Pp. 13–19.
2. Fattakhov M. R., Kireev A. V., Kleshch V. S. (2022). The Market of Unmanned Aircraft Systems in Russia: Status and Features of Functioning in the Macroeconomic Conditions of 2022 *Voprosy innovatsionnoy ekonomiki [Issues of Innovative Economics]*. Vol. 12. No. 4. Pp. 2507–2528.
3. Prosvirina N. V. (2021). Analysis and Prospects for the Development of Unmanned Aerial Vehicles *Moskovskiy ekonomicheskii zhurnal [Moscow Economic Journal]*. №10. P. 560–575.
4. Kostin A. S. (2019). Classification of civil unmanned aerial vehicles and their application areas *Sistemnyy analiz i logistika [Systems Analysis and Logistics]*. №1(19) P. 70–80.
5. Shrestha, R., Oh, I., Kim, S. (2021). A Survey on Operation Concept, Advancements, and Challenging Issues of Urban Air Traffic Management. *Frontiers in Future Transportation*, Vol. 2, 626935. DOI: 10.3389/ffutr.2021.626935
6. Jung, K., Kim, S., Jung, B., Kim, S., Kang, H., Kang, C. (2022). UTM Architecture and Flight Demonstration in Korea. *Aerospace*, 2022, Vol. 9, Iss. 650. DOI: 10.3390/aerospace9110650.
7. Jiang, T., Geller, J., Ni, D., Collura, J. (2016). Unmanned Aircraft System traffic management: Concept of operation and system architecture. *International Journal of Transportation Science and Technology*, Iss. 5, pp. 123-135. DOI: 10.1016/j.ijtst.2017.01.004.
8. Barrado, C., Boyero, M., Bruculeri, L., Ferrara, G., Hatel, A., Hullah, P. et al. (2020). U-Space Concept of Operations: A Key Enabler for Opening Airspace to Emerging Low-Altitude Operations. *Aerospace*, Vol. 7, Iss. 3, pp. 24. DOI: 10.1007/s41403-020-00197-5.
9. Capitan, C., Perez-Leon, H., Capitan, J., Castano, A., Ollero, A. (2021). Unmanned Aerial Traffic Management System Architecture for U-Space In-Flight Services. *Applied science*, 2021, Vol. 11, Iss. 9, 3995. DOI: 10.3390/app11093995.
10. Kuzhelev G. P. (2014). Geoinformation Technologies in Transport Management *Perspektivy nauki i obrazovaniya [Prospects of Science and Education]*. No. 4. Pp. 157–161.
11. Maksimova S. E. (2023). Geoportals for planning unmanned aerial vehicle flights in the airspace of the Russian Federation *Nauka i tekhnologii zheleznykh dorog [Science and Technology of Railways]* No. 26. P. 47–52.
12. Bulgakov S. V. (2019). *Geoinformatsionnoye modelirovaniye [Geoinformation Modeling]* Moscow: MAKS Press, 2019. – 68 p.
13. Rosenberg I. N. (2016). Geoinformation model *Mezhdunarodnyy zhurnal prikladnykh i fundamental'nykh issledovaniy [International journal of applied and fundamental research]*. No. 5-4. P. 675-676.
14. Degtyarev O. V., Zubkova I. F. (2012). Methods and Features of Mathematical Modeling of Air Traffic Management Systems *Izvestiya RAN. Teoriya i sistemy upravleniya [Bulletin of the Russian Academy of Sciences. Control Theory and Systems]*. No. 4. Pp. 62–76.
15. Mayorov A. A. (2014). Development of Informatics in the Scientific Direction of Geoinformatics *Vestnik MGTU MIREA [Bulletin of Moscow State Technical University MIREA]*. No. 1 (2). Pp. 42–57.

Об авторах

Щербаков Владимир Васильевич – профессор, зав. кафедрой инженерной геодезии.

Максимова Софья Евгеньевна – аспирант кафедры геодезии, геоинформатики и навигации Российского университета транспорта; ведущий специалист отдела спутникового мониторинга АО «НИИАС».

Author details

Vladimir V. Shcherbakov – D. Sc., Professor, Head of the Department of Engineering Geodesy.

Sofia E. Maksimova – Ph. D. Student, Russian University of Transport (MIIT); Leading Specialist, Satellite Monitoring Department.

Получено / Received 29.09.2025

Поступила после рецензирования / Revised 01.10.2025

Принята к публикации / Accepted 10.11.2025