



Научная статья / Original Article

УДК 629.7.05

URL: <https://trudymai.ru/published.php?ID=188121>

EDN: <https://www.elibrary.ru/WPSVCC>

ПОСТРОЕНИЕ КОМПЛЕКСНОЙ СИСТЕМЫ АВТОНОМНОЙ НАВИГАЦИИ ДЛЯ СЕРВИСНЫХ ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ И ВОЗДУШНЫХ СУДОВ НА ТЕРРИТОРИИ АЭРОДРОМА

В.П. Барякшева 

Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического
приборостроения, г. Санкт-Петербург, Россия

 vsvally@mail.ru

Цитирование: Барякшева В.П. Построение комплексной системы автономной навигации для сервисных транспортных средств и воздушных судов на территории аэродрома // Труды МАИ: электрон. журнал. № 147. URL: <https://trudymai.ru/published.php?ID=188121>

Аннотация. В условиях санкционного давления иностранных государств весьма актуальным направлением развития авиации является внедрение отечественных исследований и технологий. Импортозамещение касается не только таких знаковых проектов, как SSJ-100NEW, Ту-204СМ, MC-21-300, но и более частных вопросов, с которыми люди сталкиваются ежедневно в процессе работы в авиационной сфере: организация движения сервисного транспорта внутри территории аэропортов. Рост пассажиропотока требует привлечение большего количества техники, инженерного персонала, увеличения контроля в зонах проведения погрузочных работ и технического обслуживания воздушных судов. Данная работа посвящена предложениям по автоматизации системы управления транспортными средствами на территории аэропорта за счет создания ассистирующей системы автономной навигации на базе лидара, позволяющей классифицировать типы препятствий и формировать рекомендации по управлению транспортными средствами, повышая безопасность движения внутри аэропорта.

В качестве практических результатов представлен алгоритм работы ассистирующего комплекса и представлен методический подход к расчету размеров зон безопасности, для различных сценариев столкновений. Отличительной чертой алгоритма является то, что на этапе сканирования окружающей среды в контролируемой зоне локализация объекта в сцене происходит на основе оценки его центрального сечения. Информация о центральном сечении имеет ряд преимуществ: она содержит минимальное количество данных об объектах в сцене, несет информацию о размерах транспортных средств, а также позволит снизить технические и вычислительные требования к лидару: снижение количества и плотности плоскостей сканирования.

Развитие цифровой экономики подразумевает высокую степень автоматизации управления, особенно в системе авиаперевозок. Передача части функций контроля столкновений и принятия решений на уклонение актуальна прежде всего для карго-перевозок. Готовые примеры решений из других отраслей наземного транспорта позволяют надеяться на успешное внедрение беспилотных технологий и в строго регламентированную инфраструктуру аэропорта.

Ключевые слова: автоматизация; воздушное судно; система предупреждения столкновений; обнаружение объектов; центральное сечение.

CONSTRUCTION OF A COMPREHENSIVE AUTONOMOUS NAVIGATION SYSTEM FOR SERVICE VEHICLES AND AIRCRAFT ON THE TERRITORY OF AN AIRFIELD

V. P. Baryaksheva  

Saint-Petersburg State University of Aerospace Instrumentation, Saint-Petersburg, Russia

 vsvally@mail.ru

Citation: Baryaksheva V.P. Construction of a comprehensive autonomous navigation system for service vehicles and aircraft on the territory of an airfield // Trudy MAI. 2026. No. 147. (In Russ.). URL: <https://trudymai.ru/published.php?ID=188121>

Abstract. In the context of sanctions pressure from foreign countries, the implementation of domestic research and technologies is a highly relevant area for the development of aviation and air traffic. Import substitution applies not only to large

projects such as the SSJ-100NEW, Ty-204CM, MC-21-300, but also to smaller issues faced daily in the aviation industry, such as airport traffic management. According to the Russian Government Decree "On the Strategic Direction for the Digital Transformation of the Transport Sector of the Russian Federation" until 2030, special attention is being paid to process automation. This issue undoubtedly affects the aviation industry as well.

The annual increase in passenger traffic at the country's key airports requires the deployment of more equipment, engineering personnel, and enhanced monitoring in aircraft loading and maintenance areas. This work focuses on modernizing the visual control system for airport vehicles by creating an assistive autonomous navigation system that classifies obstacle types and generates recommendations for vehicle control, improving airport traffic safety.

Using systems analysis methods, the author presents the system's structure, describes its operating algorithm, and formulates its operational requirements.

For practical results, a reference is provided to previously published results on the lidar channel of an autonomous navigation assistance system. Its distinctive feature is the prediction of the probable trajectory of vehicles by estimating their central cross-sections. Central cross-section information represents the minimum amount of information about objects in the scene. Moreover, it provides information about the vehicle's size, which is an important parameter for large objects such as aircraft. It will also potentially reduce the technical and computational requirements for lidar, reducing the number and density of scanning planes.

The development of the digital economy implies a high degree of automation, especially in the air transportation system as a complex logistics system. The transfer of some control and decision-making functions to artificial intelligence is inevitable, especially for cargo transportation. Examples of proven solutions from other ground transportation sectors offer hope for the successful implementation of driverless technologies in the complex airport infrastructure. Thus, the system being developed meets the challenges of achieving digital transformation in the Russian Federation's transport sector, aligns with promising economic development trends, and has potential for implementation.

Keywords: automation; aircraft; collision avoidance system; object detection; central section.

Введение

Внедрение отечественных исследований и технологий в условиях непрекращающегося санкционного давления в процессе работы в авиационной сфере являются особенно необходимым в задаче организации движения внутри аэропортов. Согласно распоряжению Правительства Российской Федерации «О стратегическом направлении в области цифровой трансформации транспортной отрасли РФ» до 2030 года особое внимание уделяется автоматизации процессов. Безусловно данный вопрос затрагивает и авиационную отрасль. Возрастающие транспортные потоки требуют точной организации и постоянного контроля в зонах проведения погрузочных работ и технического обслуживания. Требуется привлечение все большего количества техники и инженерного персонала. Весьма эффективным средством повышения безопасности и оперативности наземного движения в условиях высокой загруженности на территории аэропорта является автоматизация процессов контроля и управления движением транспортных средств, в том числе делегирование сервисным транспортным средствам, а в дальнейшем и воздушным судам, функций контроля столкновений и объезда препятствий.

Разработка структуры и идеологии работы ассистирующей навигационной системы предупреждения столкновений

Структура ассистирующей системы автономной навигации (АСАН) соответствует требованиям предварительного национального стандарта РФ: Интеллектуальные транспортные системы. Внешние системы обнаружения и предупреждения об опасности (ПНСТ 458-2020) [1]. Таким образом, АСАН будет представляться как автономная внешняя система обнаружения и предупреждения об опасности (автономного типа), которая, используя полученную информацию исключительно на борту транспортного средства (ТС), будет уведомлять водителя (оператора) о возникшей опасности столкновения. Стоит отметить, что данная система классифицируется как система 3 уровня

автономности (по классификации SAE [2]), подразумевающая нахождение водителя (оператора) внутри транспортного средства. Система АСАН включает в себя три стандартных функциональных блока: функциональный блок обнаружения; функциональный блок оценки и блок интерфейса человек-машина (ИЧМ). Данная конфигурация реализуется датчиково-преобразующей аппаратурой (ДПА) АСАН, включающую в себя: камеру видимого диапазона, лидар и радар. В данной работе будут представлены ссылки на работу блоков обнаружения и оценки АСАН с помощью лидара. Транспортное средство, на котором установлена система АСАН, определяться как целевой объект (ЦО) (по ПНСТ 458-2020 – собственный автомобиль); другие объекты, обнаруженные в сцене, будут называться объектами сцены (ОС) (по ПНСТ 458-2020 – другой автомобиль).

На функциональной схеме связей датчиков сервисного транспортного средства (СТС) или воздушного судна (ВС) (рисунок 1) представлены блоки, характеризующие параметры движения (относительного положения и скорости) целевого объекта, которые поступают от датчика скорости, датчика угла и дальномера. Последний может быть установлен на крайних точках сервисного транспортного средства для контроля подъезда СТС во время технического обслуживания ВС.

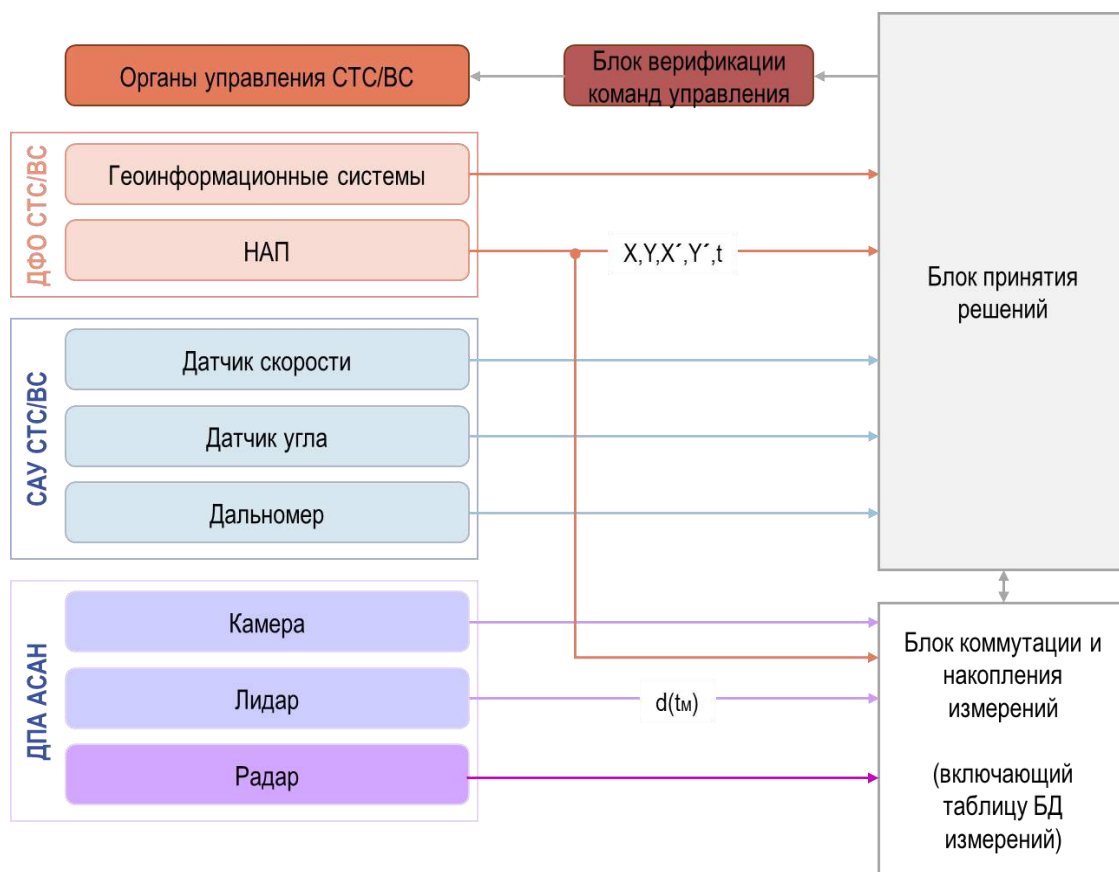


Рисунок 1 – Структурная схема связей датчиков, систем, управляющей системы и органов управления СТС или ВС (составлено автором)

Данные о фоноцелевой обстановке (ДФО) на маршруте движения ЦО представлены блоком, содержащем в памяти данные электронных планов геоинформационных систем (ГИС), например, рельеф, план расположения объектов инфраструктуры аэропорта, разметка зоны стоянки ВС, с выхода которых поступают данные о программе движения. Данные о траектории и местоположении ЦО формирует бортовая навигационная аппаратура потребителя (НАП) [3].

ДПА АСАН на схеме напрямую связываются с блоком коммутации и накопления результатов измерений. Накопление результатов измерений позволяет реализовать сигнализаторы сцен (обнаружители препятствий), когда по необработанным выходным данным сенсора однозначно регистрируется событие, переводящее результат классификации событий в контролируемой зоне в класс «наличия препятствия». Например, близкое нахождение к крылу ВС может требовать экстренного или служебного торможения у СТС. Все датчики считаются откалиброванными с известными тарировочными характеристиками, а результаты телесигнализации, телеизмерений и предварительной обработки телеизмерений, записываемые в таблицы базы данных (БД) измерений – привязаны к секундной метке.

Далее измерения поступают в блок принятия решений (управляющая система), где происходит классификация опасных ситуаций, определяющих режимы управления [4]. По результатам классификации происходит выработка управляющих команд (согласно сценариям управления), которые через блок верификации (для обеспечения подлинности команд) поступают на органы управления, изменяющие параметры работы двигательной установки или параметры руления ЦО.

Общая идеология работы ассистирующей системы автономной навигации сервисного транспортного средства представлена структурной схемой связей на рисунке 2 и 3.

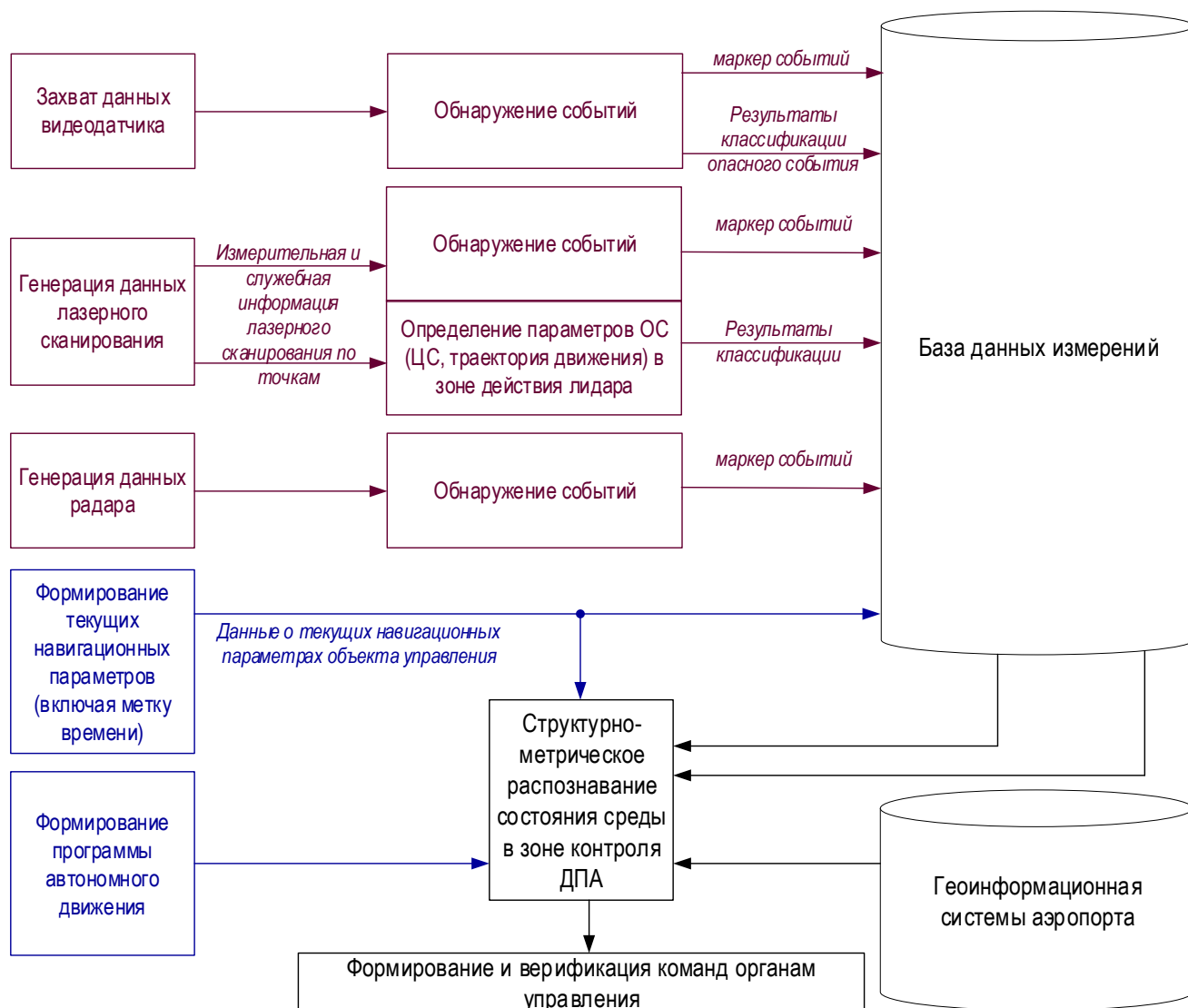


Рисунок 2 – Функциональная схема навигационного комплекса и ассистирующей системы предупреждения столкновений (вариант для сервисного транспортного средства)
(составлено автором)

Алгоритм, представленный на рисунке 3, реализует последовательно в блоках 7-9 проверку трех сценариев столкновений, начиная с самого опасного столкновения с воздушным судном и заканчивая объездом неподвижного препятствия.

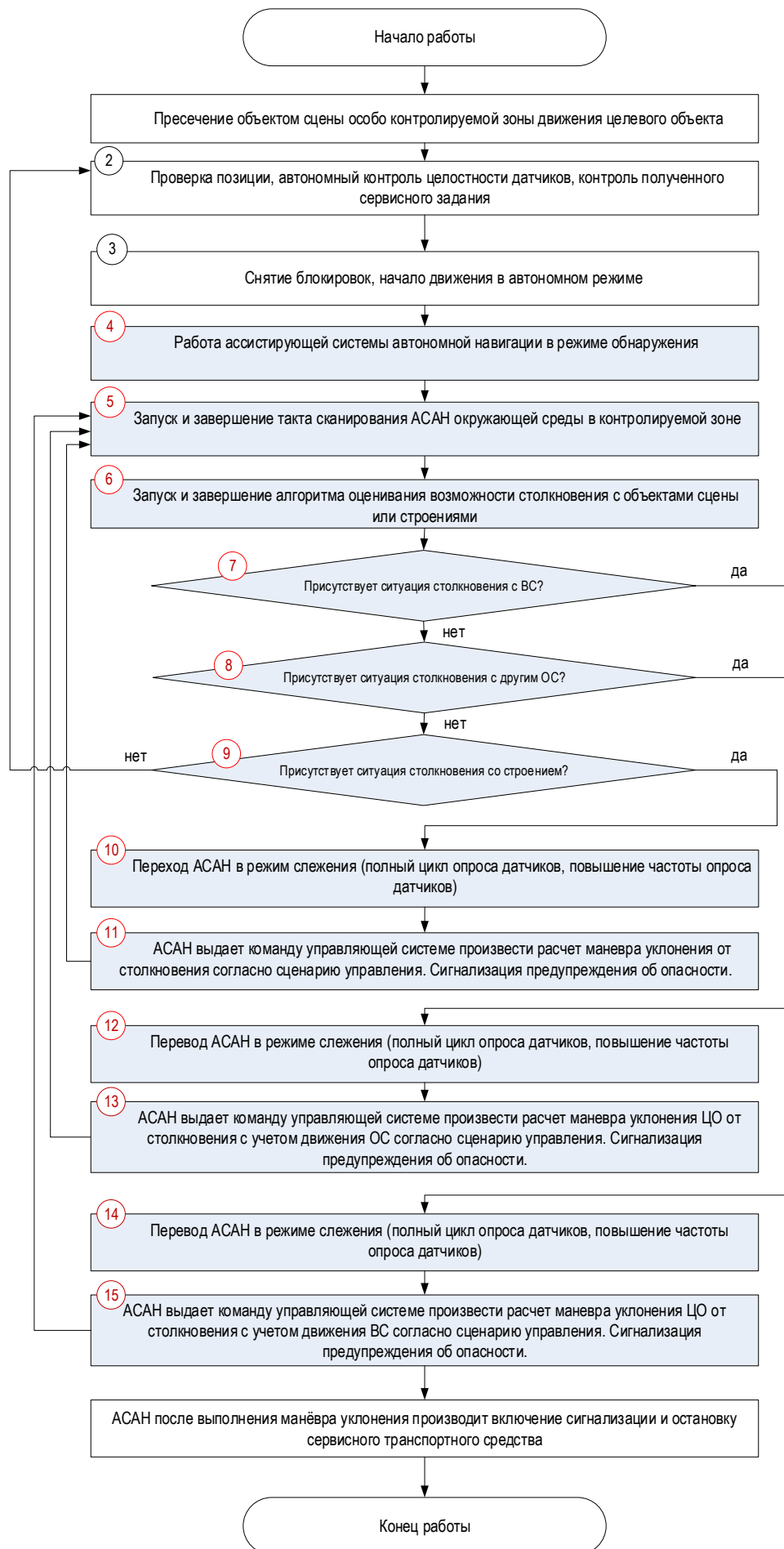


Рисунок 3 – Схема алгоритма работы ассистирующего комплекса по формированию решения на предотвращение столкновения (составлено автором)

Операция распознавания опасной сцены осуществляется не чаще чем с частотой поступления данных от внешних датчиков. Исходными данными для данной операции являются:

- результаты одномоментных измерений координатной информации от НАП ГЛОНАСС;
- отсчеты комплексированного массива наблюдений от лидара, видеокамеры и радара на текущий момент времени;
- режим работы алгоритма обнаружения препятствий, однозначно влекущий тот или иной сценарий управления.

Введение в схему предварительной обработки по видам датчиков обусловлено двумя причинами: 1) сокращением и распараллеливанием вычислений по данным множества сенсоров; 2) наличием достоверного встроенного программного обеспечения производителя, настроенного на классификацию ряда объектов, которые подходят к решению задачи. Таким образом, основная операция принятия решения функционирующей АСАН – выдача предупреждения (или необходимости маневра) о типовой опасности (или аварийной ситуации).

Методический подход к расчету размеров зон безопасности, для различных сценариев столкновений

Реализация отдельных элементов работы алгоритма была начата с математического моделирования лидарного канала ассистирующей системы предупреждения столкновений в работе [5]. В качестве дальнейшего результата исследований проведено полунатурное моделирование определения параметров траектории движения транспортных средств (объектов сцены) на основе изменений направлений центральных сечений в облаке точек лидарных измерений в работе [6]. На основании полученных результатов в настоящей работе проведено окончательное обоснование размера зон контроля датчиков и сценариев аварийных ситуаций. Для проводимого исследования было выбрано два варианта движения: первый, когда оба участника движутся прямолинейно и второй: криволинейно (рисунок 4). Эти ситуации предлагается рассмотреть в

виде типовых, а все другие варианты движения положим считать промежуточными комбинациями [7-9].

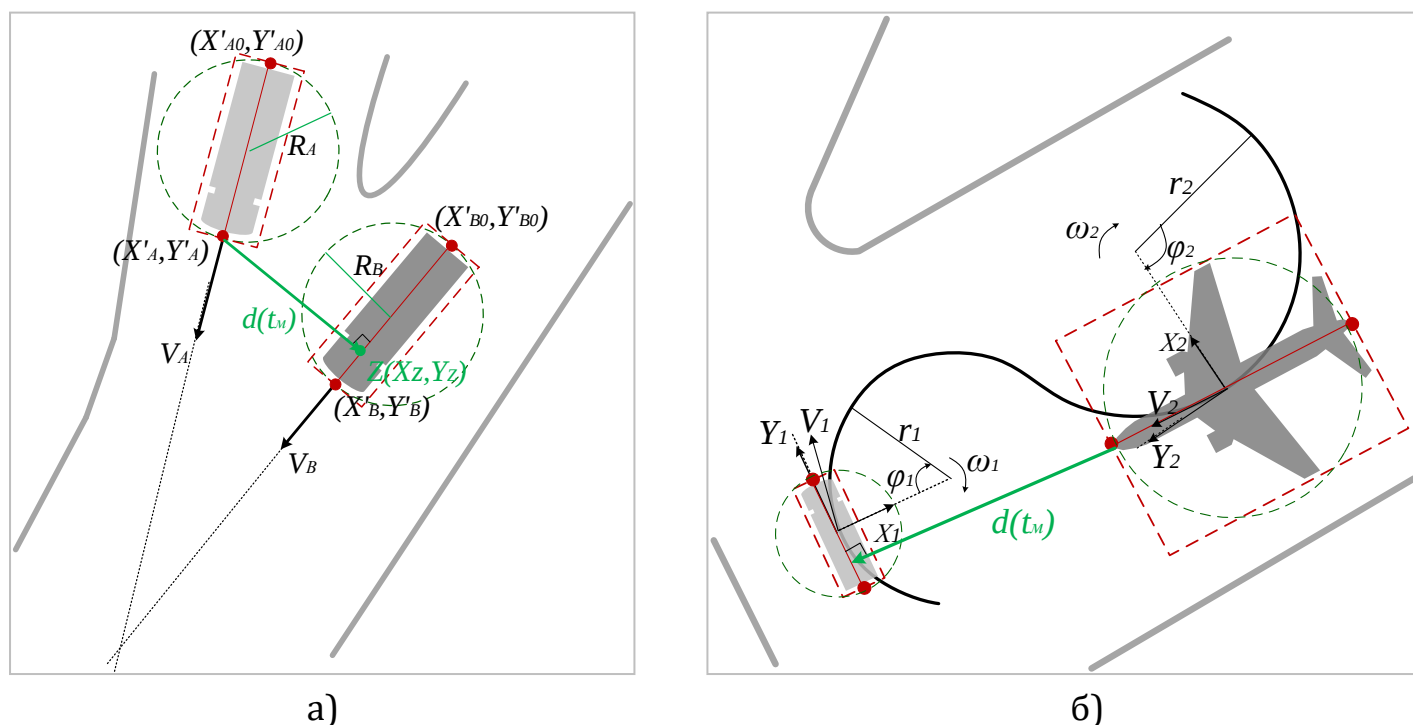


Рисунок 4 – Варианты движения транспортных средств на аэродроме: а) вид сверху основных соотношений при встречном прямолинейном движении ТС; б) вид сверху основных соотношений при встречном криволинейном движении ТС (составлено автором)

При рассмотрении проблемы предупреждения столкновений транспортных средств введем два понятия: опасное сближение объектов и столкновение объектов. Под опасным сближением объектов будем понимать ситуацию, при которой ТС сближаются на минимальное расстояние $d(t_m)$, когда еще можно предотвратить столкновение путем выполнения маневров уклонения. Под столкновением примем ситуацию, при которой ТС сблизилась на расстояние, равное или меньшее расстоянию безопасного расхождения $d(t)$. Расстояние безопасного расхождения в дальнейшем будет определять некоторый объем безопасности вокруг ТС, в который другое ТС входить не должно во избежание возможного столкновения [10].

В общем случае взаимное движение двух объектов рассматривается в трехмерном пространстве. Однако наибольшее значение представляет движение объектов на плоскости. В связи с этим объем безопасности определим в виде

окружности в горизонтальной плоскости с характерными радиусами ТС (рисунок 4). Таким образом, для обеспечения безопасного движения необходимо, чтобы расстояние $d(t)$ между ТС в любой момент времени были [10,11]:

$$d(t) > R, \quad (1)$$

где R – радиус объема безопасности.

Для того, чтобы предупредить столкновение, необходимо не допускать опасных сближений ТС, т.е. должно выполняться условие:

$$d(t_m) > R, \quad (2)$$

где t_m – время, необходимое для выполнения маневра уклонения от столкновения, $d(t_m)$ – расстояние между ТС в промежуток времени t_m .

Для нахождения параметра $d(t_m)$ рассмотрим простейший вид движения двух объектов (объекта А – целевой объект и объекта В – объект сцены) при равномерном прямолинейном движении с постоянной скоростью и постоянным курсом.

Кинематика определения безопасного расстояния между транспортными средствами на основе изменений направлений центральных сечений вместо центра масс (рисунок 5а) будет описывать объекты через пары точек (сечения) каждого объекта (рисунок 5б). Таким образом, в начальный момент времени t_0 объект А будет описываться координатами: $(X_{A0}, Y_{A0}), (X_A, Y_A)$; объект В координатами $(X_{B0}, Y_{B0}), (X_B, Y_B)$, а конечное положение будет характеризоваться координатами $(X'_{A0}, Y'_{A0}), (X'_A, Y'_A)$; $(X'_{B0}, Y'_{B0}), (X'_B, Y'_B)$ соответственно.

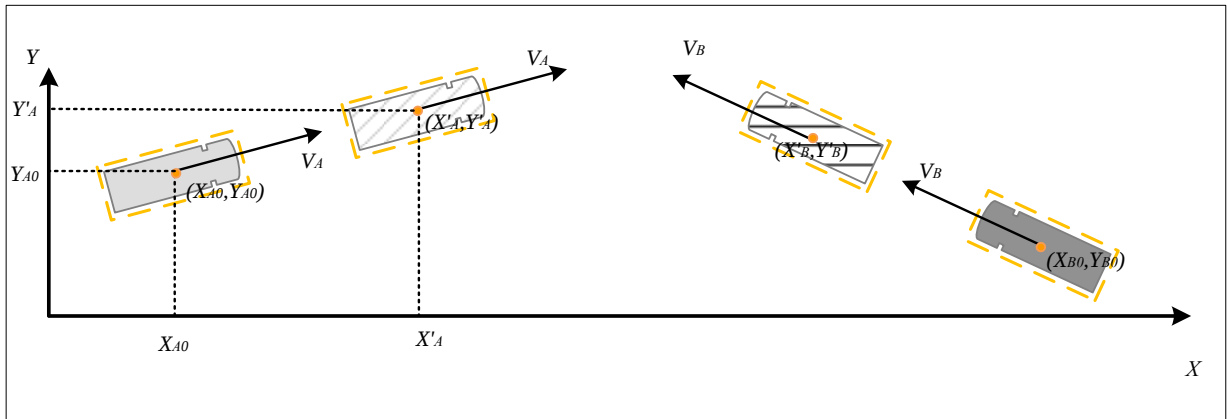
Таким образом, система уравнений равномерного прямолинейного движения для объекта А будет описываться:

$$\begin{cases} X'_{A0}(t) = X_{A0} + V_{Ax}t \\ Y'_{A0}(t) = Y_{A0} + V_{Ay}t \\ X'_A(t) = X_A + V_{Ax}t \\ Y'_A(t) = Y_A + V_{Ay}t \end{cases}, \quad (3)$$

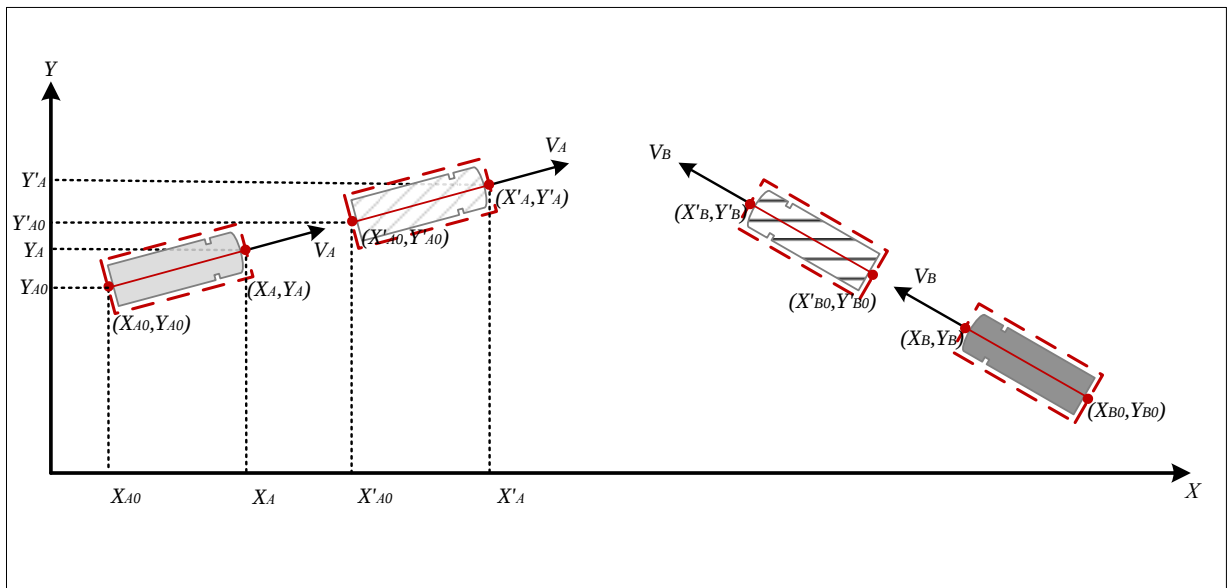
объекта В:

$$\begin{cases} X'_B(t)=X_B+V_{Bx}t \\ Y'_B(t)=Y_B+V_{By}t \\ X'_{B0}(t)=X_{B0}+V_{Bx}t' \\ Y'_{B0}(t)=Y_{B0}+V_{By}t' \end{cases} \quad (4)$$

где $\mathbf{V}_A=(V_{Ax};V_{Ay})$ – вектор скорости объекта А; $\mathbf{V}_B=(V_{Bx};V_{By})$ – вектор скорости объекта В.



а)



б)

Рисунок 5 – Визуальное представление равномерного прямолинейного движения: а) в ситуации движения центров масс СТС; б) в ситуации движения центральных сечений СТС (составлено автором)

Нахождение расстояния между двумя объектами в таком случае будет сводиться к задаче нахождения минимального расстояния между отрезками. При наличии возможности проведения высоты с одного объекта на другой расстояние между ними будет равно длине высоты (рисунок 4а):

$$d(t_m)=d_h(t)=\sqrt{(X'_A-X_z)^2+(Y'_A-kX_z-m)^2}. \quad (5)$$

В случае невозможности опустить высоты с одного отрезка на другой безопасное расстояние между ТС будет равно минимальному расстоянию между двумя отрезками:

$$d(t_m)=d_l(t)=\sqrt{(X'_A-X'_B)^2+(Y'_A-Y'_B)^2}, \quad (6)$$

где (X'_A, Y'_A) – координаты одного из концов сечения объекта А, (X'_B, Y'_B) – координаты одного из концов сечения объекта В.

В соответствии системам уравнений (3), (4) расстояние сближения можно представить в виде:

$$\begin{cases} d(t)=|X'_A(t)-X'_B(t)| \\ d(t)=|Y'_A(t)-Y'_B(t)| \end{cases}, \quad (7)$$

$$\begin{cases} d(t)=|(X_A+V_{Ax}t)-(X_B+V_{Bx}t)| \\ d(t)=|(Y_A+V_{Ay}t)-(Y_B+V_{By}t)| \end{cases},$$

Принимая во внимание геометрические свойства объектов и учитывая уравнение (7), в момент столкновения двух объектов ($t=t_c$) расстояние между ними будет равно сумме их радиусов:

$$\sqrt{[(X_A-X_B)+(V_{Ax}-V_{Bx})t_c]^2+[(Y_A-Y_B)+(V_{Ay}-V_{By})t_c]^2}=R_A+R_B. \quad (8)$$

Таким образом, для предотвращения столкновения критически важно следить за изменением расстояния между транспортными средствами.

Перейдем к оценке размеров зон безопасности в различных сценариях столкновений. Расстояние до опасных ситуаций должно быть оценено также как и время до возникновения опасных ситуаций. Так как система подразумевает нахождение человека внутри ТС, временной интервал от начала обнаружения опасной ситуации системой АСАН до уклонения от нее должно быть больше, чем временной интервал, вычисляемый по формуле:

$$t_{hs}=t_{ns}+t_{os}, \quad (9)$$

где t_{ns} – время обработки системы АСАН, t_{os} – время от предупреждения об опасности до уклонения от нее:

$$t_{os}=t_{rv}+t_m, \quad (10)$$

где t_{rv} – время реакции оператора.

Параметр t_{os} также можно трактовать как время изменения потенциально опасной ситуации на безопасную. Таким образом, опасную ситуацию можно изменить путем остановки, ускорения, замедления, смены полосы движения и т.д.

Система АСАН обнаруживает и оценивает опасные ситуации в момент времени t_{ns} . При получении предупреждения об опасности управляющая система (или оператор) совершает маневр за t_{os} . Время обработки системой АСАН будет складываться из времени оценки и времени обработки предоставления предупреждения об опасности:

$$t_{ns} = t_{dt} + t_{as} + t_{an} + t_{pp} + t_{pz} + t_{tr}, \quad (11)$$

где t_{dt} – время обнаружения опасности, t_{as} – время оценки опасной ситуации, t_{an} – время оценки необходимости направления предупреждения об опасности оператору, t_{pp} – время обработки информации для формирования предупреждения оператора об опасности, t_{pz} – время передачи предупреждения об опасности оператору через ИЧМ, t_{tr} – время обмена информацией между функциональными блоками при необходимости.

Срочное уведомление об опасности может сократить время реакции водителя на опасную ситуацию, что влияет на время изменения состояния автомобиля при экстренном торможении. Внедрение автоматизированных систем позволит сократить количество слагаемых в уравнении (11) и свести к нулю слагаемое t_{tr} в уравнении (10). Таким образом, время на предупреждение столкновения будет складываться из времени обработки системой t_{ns} и времени, необходимого на маневр t_m .

Выдача управляющих команд (сигнализация об опасности) должна произойти на определенном расстоянии от места опасной ситуации, которого должно быть достаточно: для обработки информации, выдачи управляющих команд и изменения состояния ТС.

Расстояние, пройденное от начала обнаружения опасной ситуации системой АСАН до уклонения $d(t_m)$ должно быть больше расстояния, вычисляемого по формуле:

$$d_{hs} = d_{ns} + d_{os}, \quad (12)$$

где d_{ns} – расстояние перемещения во время обработки данных в системе АСАН

$$d_{ns} = V_0 \cdot t_{ns}, \quad (13)$$

где V_0 – начальная скорость ТС (предполагается, что она постоянна на всей траектории движения, но может быть относительной скоростью);

d_{os} – расстояние, пройденное от предупреждения об опасности до уклонения от нее:

$$d_{os} = d_{rv} + d, \quad (14)$$

где d_{rv} – расстояние, пройденное за время реакции оператора, d – расстояние, пройденное до изменения состояния автомобиля (расстояние безопасного расхождения). В ситуации описываемой работы $d_{rv} = 0$.

Таким образом, расстояние безопасного расхождения при маневрировании может быть получено:

$$d_{os} = d = \frac{V_0^2 - V_s^2}{2a}, \quad (15)$$

где V_s – относительная скорость уклонения; a – ускорение для предотвращения опасной ситуации (предполагается, что оно постоянное, но может быть и относительным ускорением). При равномерном криволинейном движении оно принимает значение центростремительного ускорения

$$a = a_u = \frac{V_0^2}{R}. \quad (16)$$

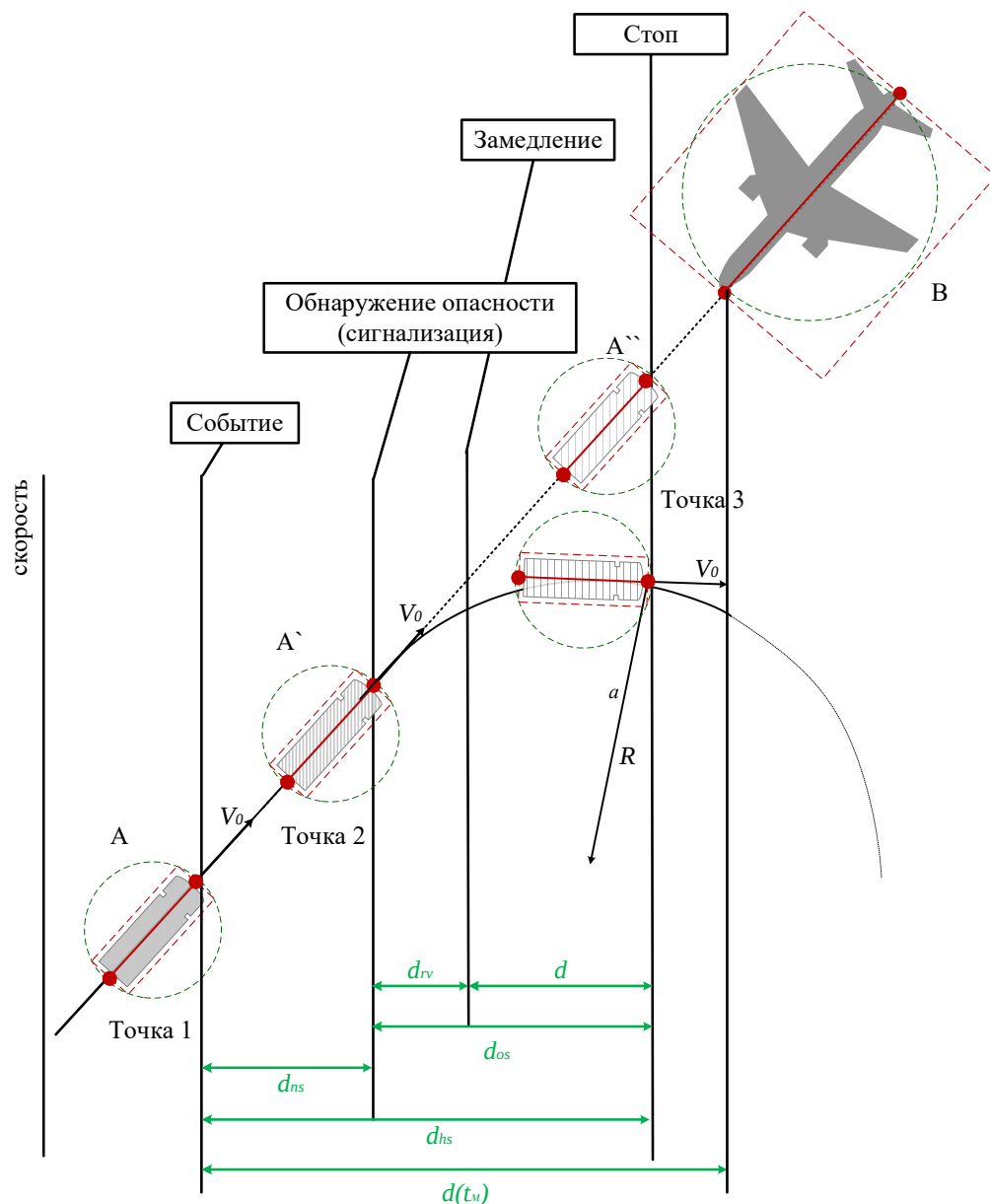


Рисунок 6 – Визуальное представление изменения расстояния в момент обнаружения опасности столкновения при равномерном движении сервисного транспортного средства (составлено автором на основе ПНСТ 458-2020[1])

Согласно рисунку 6 при движении СТС со скоростью 10км/ч, опасность столкновения с неподвижным самолетом должна быть обнаружена на расстоянии не менее 15м ($d(t_m) > d_{hs} > 15м$) для того, чтобы СТС с ускорением торможения $2м/с^2$ успел остановиться перед ВС на расстоянии не менее 3 м [12]. В этом случае время на маневр (торможение) будет равно 1,4с ($t_m = 1,4с$); а время обработки системой АСАН должна быть не более 1,3 с.

При построении АСАН необходимо учитывать минимальные допустимые расстояния между СТС и ВС с учетом их принадлежности: остановка

топливозаправщика и других заправочных агрегатов должна производиться на расстоянии не менее 5 метров от крайних точек ВС; моторные подогреватели могут останавливаться на расстоянии не менее 3 метров. Тепловые обдувочные машины должны совершать остановку на расстоянии не менее 3,5 метров, а остановка СТС при погрузочно-разгрузочных работах разрешена при расстоянии не менее 0,1 метра от люка воздушного судна [12]. При проектировании АСАН также необходимо учесть габаритные размеры СТС и ВС для их дальнейшей классификации.

Заключение

В результате подробного описания параметров движения в наиболее сложных сценариях столкновений автором получены конкретные значения зон срабатывания предупреждений о возможном столкновении сервисного транспортного средства с различными объектами. В соответствии с регламентирующими документами приведены конкретные примеры для различных типов аэродромной техники. Разработанная структура и идеология работы ассистирующей навигационной системы предупреждения столкновений в данной работе предоставляет основу для оценки качества работы АСАН при совместной обработке разнородных данных лидара и радиолокационного датчика. Для повышения надежности работы системы в любых погодных условиях будет рассмотрено комплексирование данных, поступающих от лидара и радара. Развитие технологий, позволяющих передать часть функций контроля и принятия решений на автоматизированные системы, является ключевым направлением в развитии и цифровой трансформации транспортной отрасли страны и предлагаемое в статье решение соответствует этим поставленным задачам.

Конфликт интересов

Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest

The author declares no conflict of interest.

Список источников

1. РОССТАНДАРТ, каталог национальных стандартов по тематике интеллектуальных транспортных систем. URL: <https://www.gost.ru/> (дата обращения: 26.11.2025)
2. Automated driving levels of driving automation are defined in new SAE international standard J3016 URL:https://web.archive.org/web/20161120142825/http://www.sae.org/misc/pdfs/automated_driving.pdf (дата обращения: 29.11.2025)
3. Семенова, В. П. Подход к построению комплексного алгоритма навигации, основанный на лидарном зондировании препятствий // 78-я Научно-техническая конференция Санкт-Петербургского НТО РЭС им. А.С. Попова, посвященная Дню радио: сб. докладов. – 2023. – № 1(78). – С. 55-57.
4. ГОСТ Р 56829-2015. Интеллектуальные транспортные системы. Термины и определения. – М.: Стандартинформ, 2018. – 16 с.
5. Кошкарров А.С., Семенова В.П. Разработка математической модели лидара системы предупреждения столкновений сервисного транспортного средства // Труды МАИ. 2023. № 128.
6. Барякшева В.П. Алгоритм определения параметров траектории наземных динамических объектов на основе изменений направлений центральных сечений в облаке точек лидарных измерений // Успехи современной радиоэлектроники. 2025. Т. 79. № 8. С. 67–75. DOI: <https://doi.org/10.18127/j20700784-202508-07>
7. Анодина Т.Г., Кузнецов А.А., Маркович Е.Д. Автоматизация управления воздушным движением. – М.: Транспорт, 1992. - 279 с.
8. Житков С.А., Ашурков И.С., Захаров И.Н., Лешко Н.А., Цыбульник А.Н. Методика обнаружения аэродинамической цели, движущейся по прямолинейной траектории в пространстве // Труды МАИ. 2019. №109. URL: <https://trudymai.ru/published.php?ID=111392>. DOI: 10.34759/trd-2019-109-14
9. Абчук В.А., Суздаль В.Г. Поиск объектов. М.: «Сов. радио», 1977, 336с.
10. Бычков С.И., Пахолков Г.А., Яковлев В.Н. Радиотехнические системы предупреждения столкновений самолетов. М.: «Сов. радио», 1977, 272с.

11. Инструкция по организации движения спецтранспорта и средств механизации на гражданских аэродромах Российской Федерации/ Министерство транспорта Российской Федерации, 2006г. – 56с.

12. Княжский А.Ю., Плясовских А.П. Цифровая модель движения на аэродроме // Вестник Концерна ВКО «Алмаз – Антей». 2020. № 3. С. 96-106.

References

1. ROSSTANDART, katalog nacional'nyh standartov po tematike intellektual'nyh transportnyh system, <https://www.gost.ru/>

2. Automated driving levels of driving automation are defined in new SAE international standard J3016, available at: https://web.archive.org/web/20161120142825/http://www.sae.org/misc/pdfs/automated_driving.pdf, 2025.

3. Semenova V.P. *Materialy 78-y Nauchno-tekhnicheskaya konferenciya Sankt-Peterburgskogo NTO RES im. A.S. Popova, posvyashchennaya Dnyu radio*, Saint-Peterburg, 2023, no 78, pp. 55-57.

4. GOST R 56829-2015. Intellektual'nye transportnye sistemy. Terminy i opredeleniya. – Moscow: Standartinform Publ., 2018. 16 p.

5. Koshkarov A.S., Semenova V.P. *Elektronnyi zhurnal "Trudy MAI"*, 2023, no 128, available at: <https://trudymai.ru/published.php?ID=171399> (accessed 29.11.2025)

6. Baryaksheva V.P. Algorithm for determining trajectory parameters of ground-based dynamic objects based on changes in the directions of central cross sections in a cloud of lidar measurement points. *Achievements of modern radioelectronics*. 2025. V. 79. № 8. P. 67–75. DOI: <https://doi.org/10.18127/j20700784-202508-07> (In Russ.).

7. Anodina T.G., Kuznetsov A.A., Markovich E.D. *Avtomatizatsiya upravleniya vozдушnym dvizheniem* (Automation of air traffic control), Moscow, Transport Publ., 1992, 279 p.

8. Zhitkov S.A., Ashurkov I.S., Zakharov I.N., Leshko N.A., Tsybul'nik A.N. *Elektronnyi zhurnal "Trudy MAI"*, 2019, no. 109. available at: <https://trudymai.ru/eng/published.php?ID=111392> (accessed 29.11.2025)
9. Abchuk V.A., Suzdal' V.G. *Poisk ob"ektov* (Object search), Moscow, Sov.radio Publ., 1977, 336 p.
10. Bychkov S.I., Paholkov G.A., Yakovlev V.N. *Radiotekhnicheskie sistemy preduprezhdeniya stolknovenij samoletov* (Aircraft collision avoidance radio systems), Moscow, Sov.radio Publ., 1977, 272 p.
11. Instructions for organizing the movement of special vehicles and mechanization equipment at civil airfields of the Russian Federation. Ministry of Transport of the Russian Federation, 2006. – 56 p.
12. Knyazhskii A.Yu., Plyasovskikh A.P. *Vestnik Kontserna VKO «Almaz – Antei»*, 2020, no. 3, pp. 96-106.

Информация об авторах

Валентина Павловна Барякшева, аспирант кафедры Эксплуатации и управления аэрокосмическими системами, ГУАП, г. Санкт-Петербург, Россия;
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7389-8339>; SPIN-код: 9078-6688;
e-mail: vsvally@mail.ru

Information about the authors

Valentina P. Baryaksheva, graduate student Department of Operation and Management of Aerospace Systems, SUAI, Saint-Petersburg, Russia; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7389-8339>; SPIN-код: 9078-6688;
e-mail: vsvally@mail.ru

Получено 21 января 2026 ● Принято к публикации 17 апреля 2026 ● Опубликовано 30 апреля 2026

Received 21 January 2026 ● Accepted 17 April 2026 ● Published 30 April 2026
