

Труды МАИ. 2025. № 142
Trudy MAI. 2025. No. 142. (In Russ.)

Научная статья
УДК 629.7.058.55
URL: <https://trudymai.ru/published.php?ID=185110>
EDN: <https://www.elibrary.ru/LEHMRE>

ОСУЩЕСТВЛЕНИЕ НАВИГАЦИИ БЕСПИЛОТНЫХ ВОЗДУШНЫХ СУДОВ В ЗОНЕ ДЕЙСТВИЯ НАЗЕМНЫХ РАДИОТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Яна Викторовна Гончаренко

Государственная корпорация по организации воздушного движения в Российской Федерации

Москва, Россия

goncharenko.ya.v@yandex.ru

Аннотация. В настоящее время происходит активное расширение возможностей использования беспилотных воздушных судов (БВС), которые представляют собой серьезный вызов в части безопасности полетов, подразумевающий сочетание регуляторных и технических мероприятий, включая поэтапную безопасную интеграцию беспилотных авиационных систем (БАС) в воздушное пространство и создание системы организации движения БАС.

Для допуска БАС к использованию воздушного пространства (ИВП) при сохранении надлежащего уровня безопасности полетов пилотируемых воздушных судов необходимо обеспечить мониторинг каждого полета БАС, установить правила и процедуры воздушного движения, процедуры взаимодействия с пилотируемыми

воздушными судами, применять широкий спектр процедур, связанных со снижением последствий, вызванных непредвиденными обстоятельствами для полетов БАС в общем воздушном пространстве.

Основой навигационного поля для обеспечения полетов беспилотных воздушных судов в Российской Федерации является глобальная навигационная спутниковая система, включающая спутниковые созвездия ГЛОНАСС и GPS.

Обеспечение навигации при осуществлении полетов БАС наземными радиотехническими средствами будет альтернативным методом в случае нарушения целостности поля глобальной навигационной спутниковой системы.

В данной работе проведен анализ зон действия радиотехнических систем, установленных в определенной позиции. В процессе исследования применялась цифровая модель рельефа местности, позволяющая оценить углы закрытия антенны. На основе расчета зон действия и рабочих областей радиотехнических средств навигации выявлена возможность осуществления навигации беспилотных воздушных судов в зоне действия наземных радиотехнических систем.

Ключевые слова: зона действия радиомаяка, угол закрытия, цифровая модель рельефа, позиция размещения радиотехнических систем

Для цитирования: Гончаренко Я.В. Осуществление навигации беспилотных воздушных судов в зоне действия наземных радиотехнических систем // Труды МАИ. 2025. № 142. URL: <https://trudymai.ru/published.php?ID=185110>

IMPLEMENTATION OF NAVIGATION OF UNMANNED AIRCRAFT IN THE GROUND-BASED RADIOTECHNICAL SYSTEMS COVERAGE AREA

Yana V. Goncharenko

State Air Traffic Management Corporation of the Russian Federation,

Moscow, Russia

goncharenko.ya.v@yandex.ru

Abstract. Currently, there is an active expansion of the possibilities of using unmanned aircraft, which is a serious challenge in terms of flight safety, implying a combination of regulatory and technical measures, including the phased safe integration of unmanned aircraft systems (UAS) into airspace and the creation of UAS traffic management system.

In order to maintain an adequate level of flight safety for manned aircraft, it becomes necessary to develop rules and procedures for the use of airspace by unmanned aircraft systems.

It is necessary to monitor each UAS flight, establish rules and procedures for air traffic, procedures for interaction with other aircraft, and apply a wide range of procedures related to reducing the consequences caused by unforeseen circumstances for UAS flights in general airspace.

Guided by the principles of implementing measures to avoid risks caused by unpredictable traffic, UAS flights require the creation of a multi-level fixed route network. This network must exclude intersections with routes used by manned aircraft.

Landing pads should be the only possible place for takeoff and landing of unmanned aircraft. A landing pad can be a simple take-off/landing point, or a hub with multiple landing pads, charging stations, waiting areas, unloading areas, and other facilities.

The basis of the navigation field for ensuring flights of unmanned aircraft in the Russian Federation is the global navigation satellite system, which includes the GLONASS and GPS satellite constellations.

Providing navigation with ground-based radio equipment for UAS flights will be an alternative method in case of violation of the integrity of the field of the global navigation satellite system.

The article analyzes the coverage areas of radio-technical systems installed in a certain position. A digital terrain model was used to estimate the closing angle of antenna. Based on the calculation of the zones of operation and working areas of radio navigation equipment, the possibility of navigation of unmanned aircraft in the area of operation of ground-based radio systems has been identified.

The methodology used to determine the areas of operation of radio equipment takes into account the influence of terrain, however, the safe navigation of unmanned aircraft using traditional ground-based radio systems is possible only if appropriate on-board equipment is available after testing and flight verification.

Keywords: coverage, closing angle, digital elevation model, position of radio system

For citation: Goncharenko Ya.V. Implementation of navigation of unmanned aircraft in the ground-based radiotechnical systems coverage area. *Trudy MAI*. 2025. No. 142. (In Russ.).

URL: <https://trudymai.ru/eng/published.php?ID=185110>

Введение

Сфера применения беспилотных воздушных судов многообразна и в настоящее время ведется активная работа по оценке выполнимости задач, поставленных перед БВС, анализу надежности функционирования и других факторов, влияющих на эффективность их использования [1].

С целью сохранения надлежащего уровня безопасности полетов пилотируемых воздушных судов (ВС) становится необходимой разработка правил и процедур использования воздушного пространства беспилотными авиационными системами [2].

Основой навигационного поля для обеспечения полетов беспилотных воздушных судов в Российской Федерации будет являться глобальная навигационная спутниковая система, а в районах аэродромов и вертодромов, возможно, будут использоваться локальные контрольно-корректирующие станции (ЛККС), являющиеся функциональным дополнением наземного базирования.

«Начиная с 2012 года ведутся работы по оснащению аэродромов ЛККС. Согласно план-графика мероприятий по полному оснащению объектов инфраструктуры аэропортов и аэродромов Российской Федерации средствами навигации с приоритетным функционированием по сигналам системы ГЛОНАСС до 2030 года, утвержденного Росавиацией, установка/замена ЛККС запланирована для 182 аэродромов» [3].

В рамках Федеральной целевой программы «Поддержание, развитие и использование системы ГЛОНАСС на 2012 - 2020 годы» были организованы основные работы по внедрению навигации, основанной на характеристиках (PBN) [4]. Ряд навигационных спецификаций PBN может быть реализован на основе традиционных наземных навигационных средств, таких как VOR/DME и DME/DME. Сеть маяков DME позволяет в случае отказа глобальной навигационной спутниковой системы (ГНСС) продолжить полет методом зональной навигации по спецификации RNAV 5, RNAV 2 и RNAV 1 без принятия каких-либо дополнительных мер со стороны экипажа или органа ОВД [5].

Таким образом, в случае нарушения целостности поля глобальной навигационной спутниковой системы навигация будет обеспечиваться наземными радиотехническими средствами и бортовыми навигационными устройствами [6]. В этой связи в данной работе рассматривается возможность осуществления навигации в зоне действия наземных радиотехнических систем для беспилотных воздушных судов категории В и С, определенной в [7].

Из всего многообразия эксплуатационных условий полетов БВС можно выделить три основных варианта:

1. Необслуживаемый полет в зонах с «минимальными» рисками (отсутствие людей на земле, инфраструктуры, других воздушных судов, и пр.).
2. Обслуживаемый «свободный» полет в любом (разрешенном) воздушном пространстве (ВП). При этом требуется наличие на борту БВС полнофункциональной

бортовой системы, и поэтому такой полет возможен только для достаточно крупных летательных аппаратов.

3. Обслуживаемый полет в технологически оборудованных зонах. Данный вариант предусматривает перенос основной нагрузки на землю – наличие на земле технических средств технологической поддержки полетов, в первую очередь средств наблюдения с характеристиками, которые позволяют точно и достоверно определять местоположение БВС для выработки решений (рекомендаций дистанционному пилоту) о безопасных траекториях. Преимуществом третьего варианта является то, что можно использовать уже существующие технологии наблюдения за воздушным трафиком, которые мировое аэронавигационное сообщество использует в течение многих лет для обеспечения полетов гражданской пилотируемой авиации.

Осуществление навигации беспилотных воздушных судов в зоне действия наземных радиотехнических систем

Для допуска БАС к использованию воздушного пространства (ИВП) при сохранении надлежащего уровня безопасности полетов пилотируемых воздушных судов необходимо обеспечить мониторинг каждого полета БАС, установить правила и процедуры воздушного движения, процедуры взаимодействия с пилотируемыми воздушными судами, применять широкий спектр процедур, связанных со снижением последствий, вызванных непредвиденными обстоятельствами для полетов БАС в общем ВП [8, 9]. «Одновременно с возрастанием интенсивности применения

беспилотных летательных аппаратов выявляются проблемные технические аспекты их эксплуатации и управления» [10].

Руководствуясь принципами реализации мер по избеганию рисков, вызванных непрогнозируемостью движения, для полетов БВС требуется создание многоуровневой фиксированной маршрутной сети, находящейся под полным контролем централизованной системы управления движением БВС. Построение маршрутной сети должно быть основано на принципах распределения нагрузки на маршруты и посадочные площадки, разведение потоков, прогноза развития ситуаций и поиска альтернативных маршрутов для поддержания потока движения БВС.

Маршрутная сеть движения БВС должна исключать пересечения с маршрутами, используемыми пилотируемой авиацией.

Посадочные площадки должны быть единственным возможным местом для взлета и посадки БВС в городских условиях. Посадочная площадка может быть простой точкой для взлета/посадки, либо хабом с несколькими посадочными площадками, зарядными станциями, зонами ожидания, разгрузки и другими объектами.

В 89 субъектах Российской Федерации для беспилотных воздушных судов планируется оборудовать и оснастить 241 посадочную площадку, которые будут в собственности субъектов. На 49 аэродромах, находящихся в федеральной собственности, предстоит внедрить инфраструктуру для обеспечения полетов БВС. Речь идет в том числе о радиотехническом и метеорологическом оборудовании,

строительстве ангаров для хранения и ремонта, а также модулях заправки или зарядки БАС.

«Самарская область – один из тех субъектов Российской Федерации, в котором в соответствии с федеральным проектом инфраструктура для полетов БВС начнет создаваться уже в ближайшее время.

Инфраструктура, которой будут оснащаться районы полетов БВС, включает в себя традиционные средства наблюдения, навигации, а также оборудование, характерное только для беспилотной авиации – линии управления беспилотными авиационными системами и контроля беспилотных авиационных систем (линия С2), которая обеспечивает взаимодействие между пультом управления внешнего пилота и БВС. Хотя линия С2 входит в БАС, ограниченный радиус ее действия позволяет выполнять полет на небольшие расстояния в условиях прямой радиовидимости. Для того, чтобы обеспечить возможность управления полетом БВС на больших расстояниях, должна быть развернута наземная инфраструктура передачи данных» [11].

В настоящее время ФГУП «Госкорпорация по ОрВД» определено государственным оператором, обеспечивающим условия и инфраструктуру БАС и является единственным поставщиком услуг по предоставлению линии передачи данных между беспилотными авиационными системами, внешними пилотами и органами ОВД.

Полеты беспилотных воздушных судов в обозримой перспективе будут возможны не только в сегрегированном, но и в несегрегированном воздушном пространстве [12].

Осуществление полётов БАС в несегрегированном ВП предполагает наличие внешнего пилота, а также необходимость максимальным образом следовать правилам пилотируемой авиации. Таким образом, использование БАС несегрегированного пространство целесообразно подразделить на полёты по правилам визуальных полетов (ПВП) и по правилам полетов по приборам (ППП) в соответствии с определениями, данными в [13].

Применение методов зональной навигации при осуществлении полетов по ППП (в том числе беспилотных воздушных судов) на аэродроме Самара (Курумоч) и прилегающей территории возможно не только по причине наличия локальной контрольно-корректирующей станции, являющиеся функциональным дополнением наземного базирования, но и соответственно расположенным маякам DME, обеспечивающих требуемое наведение. Это особенно актуально в условиях участвовавших случаев сбоя в работе ГНСС [14, 15].

Согласно Методическим рекомендациям по внедрению в эксплуатацию находящейся в федеральной собственности унифицированной инфраструктуры оператора линии управления и контроля, связи, навигации, наблюдения, автоматизации и информационного обеспечения маршрутов (районов) полетов беспилотных гражданских воздушных судов рекомендуется определить минимальную высоту полета БВС, равной 150 м.

«При навигации по двум маякам DME расчет рабочей области рекомендуется проводить на основании документа ИКАО 9613. В нем указано, что погрешность определения координат достигает недопустимо больших величин, если линии направления на воздушное судно пересекаются под углом, меньше 30° или больше 150° . Таким образом, навигация возможна в той части воздушного пространства, где обеспечивается перекрытие зон действия обоих радиомаяков с учетом правила $30^\circ/150^\circ$ (заштрихованная область на рисунке 1)» [16]. Существующими требованиями определены и другие обязательные условия: воздушное судно должно находиться:

- ниже 40° над горизонтом, если смотреть от маяка DME (определено тактико-техническими характеристиками антенны радиомаяка, обеспечивающей излучение сигналов в вертикальной плоскости в секторе от 0° до 40°);

- от радиомаяка на расстоянии от 5,6 до 296,3 км. Необходимо принимать во внимание, что возможности оборудования DME существенно зависят от рельефа местности, в которой установлена антенна, а также от характеристик наземного маяка и бортового оборудования. Рабочие зоны различных типов DME имеют различные размеры и конфигурацию. Общая методика построения рабочих зон дальномерной радионавигационной системы (РНС), рекомендованная ИКАО и включающая в свой состав бортовой запросчик и два наземных ответчика, расположенных в точках с известными координатами А и В (рисунок 1), включает следующие этапы:

- определение границ, в пределах которых по условиям дальности действия возможен устойчивый прием сигналов от наземных станций на борту ВС, т.е.

определение дальности с учетом свойств антенн (направленных или ненаправленных) и влияния рельефа земной поверхности;

- выделение общей части пространства с учетом возможности приема сигналов. Расстояние D между наземными станциями образует базу системы, бортовой запросчик измеряет расстояние $R1$ и $R2$ до наземных станций. Рабочая зона дальномерной РНС, как видно из рисунка 1, симметрична относительно базы (линии, соединяющей радиомаяки в точках A и B). Определение местоположения BC при его нахождении на базе, в районе места установки дальномерного оборудования выше 40° над горизонтом или вне рабочих зон невозможно.

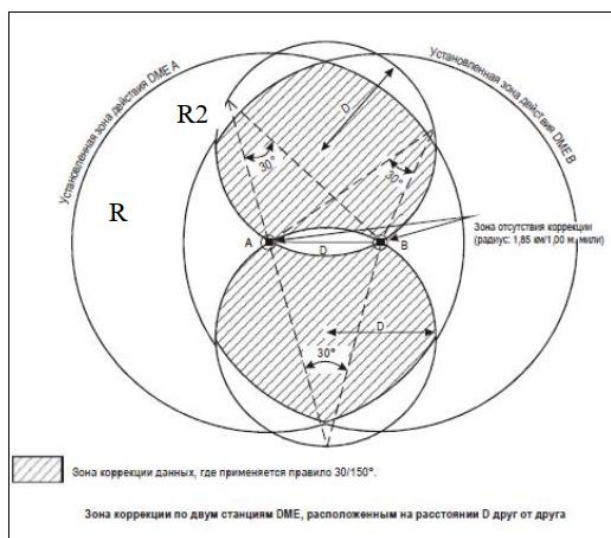


Рис. 1. Максимальная зона действия по двум станциям DME A и B

Определение положения БАС в ВП при использовании дальномерной системы DME/DME производится по измерениям на борту дальностей от двух или более радиомаяков DME, разнесенных на определенные расстояния (базы).

Ограничением рабочей зоны дальномеров является также дальность прямой видимости, строго определяемая высотой полета BC (H) и углом закрытия антенны – α_3 в месте установки радиомаяка DME. На практике системы DME/DME

обслуживают ВС, высота полета которых много меньше расстояний до радиомаяков. В этом случае границы рабочей зоны достаточно определять на плоской поверхности Земли.

Рассчитывается дальность прямой видимости радиомаяков по формуле:

$$r_d = \sqrt{R_3 \cdot \alpha_3)^2 + 2R_3 \cdot H} - R_3 \cdot \alpha_3 \quad (1)$$

где R_3 - эквивалентный радиус Земли $R_3 = 6370$ км, α_3 - в радианах.

- угол закрытия антенн $\alpha_3=0,5^\circ$ (дальномерное оборудование размещается в условиях Приволжской возвышенности, где высота рельефа может достигать 200-300 м);

- минимальная высота полета БВС на маршрутах $H = 150$ м. Для анализа в расчетах также использовалась $H = 1500$ м.

Максимальная дальность действия оборудования DME при высоте полета БВС:

$H= 150$ м составляет $r_d = 44$ км / 15 км, что соответствует углам закрытия $0^\circ/0,5^\circ$;

$H= 1500$ м составляет $r_d = 138$ км / 93 км, что соответствует углам закрытия $0^\circ/0,5^\circ$.

Таблица 1

Координаты мест установки существующих средств навигации DME

Аэронавигационные средства	Широта	Долгота
Аэродром Самара (Курумоч)	53°30'37"N	050°10'38"E
Аэродром Ульяновск (Баратаевка)	54°15'47"N	048°13'32"E
Суходол	53°53'36"N	051°11'05"E
Волчанка	52°33'42"N	049°59'26"E
Жигули	53°21'18"N	049°18'05"E
Никольское	54°02'27"N	049°10'45"E
Хорошенькое	53°32'44"N	050°35'07"E

Далее рассмотрено обеспечение покрытия DME траекторий, определенных для полетов БАС в Самарской области, с учетом расположения радионавигационных средств, координаты которых опубликованы в сборнике аэронавигационной информации России [17].

Маршрутная сеть движения БВС определена с целью обеспечения медикаментами районных больниц и фельдшерских акушерских пунктов. Траектории построены в обход зон ограничения полетов, районов аэродрома Кряж, Бобровка, населенных пунктов и максимально удалены от контрольной точки аэродрома Самара (Безымянка) и Самара (Курумоч), тем самым исключают конфликт с элементами действующей структуры воздушного пространства (рисунок 2).

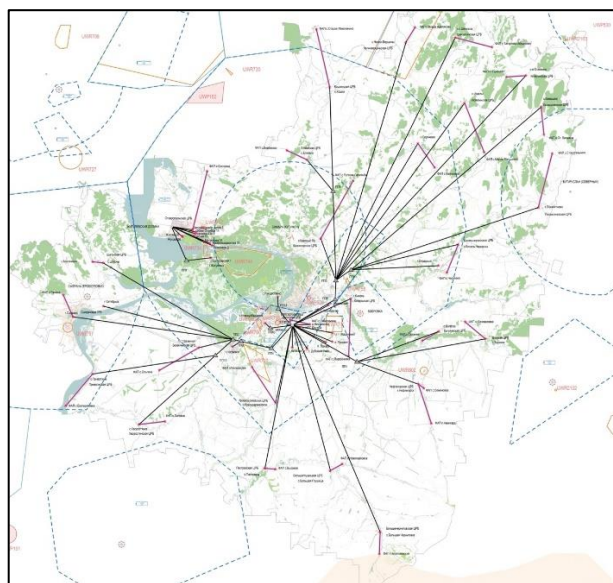


Рис. 2. Маршрутная сеть движения БВС, определенная в Самарской области

На рисунке 3 показаны зоны действия DME/DME, создаваемые радиомаяками, указанными в таблице 1, с учетом высоты полета БВС, равной 150 м, и углом закрытия 0° . Анализ выполнен с использованием специализированной

программы для проектирования процедур маневрирования в районе аэродрома РНХv18.

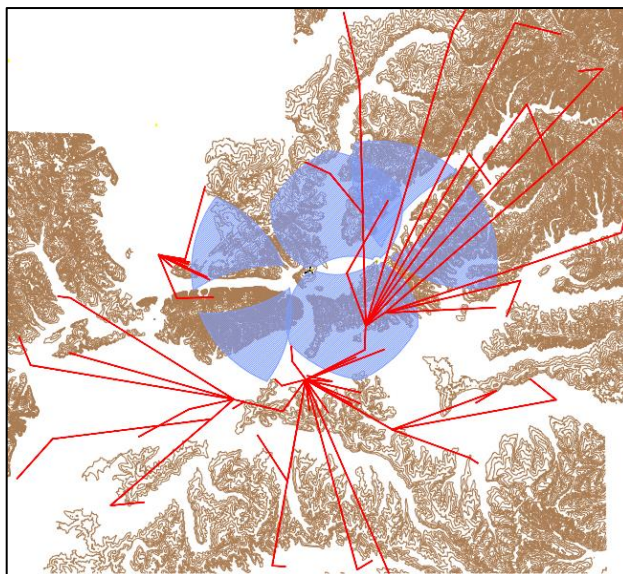


Рис. 3. Зона действия DME/DME, H=150 м, угол закрытия 0°.

Оценка радионавигационных полей, создаваемых существующими дальномерными радиомаяками (таблица 1), показывает недостаточность перекрытия воздушного пространства для обеспечения коррекции движения БВС с помощью бортовых навигационных комплексов, на минимальной определенной высоте 150 м. Существующее навигационное поле, создаваемое оборудованием DME/DME, показанное на рисунке 3, не обеспечивает наведение по установленным маршрутам движения БВС.

На рисунках 4, 5 показаны зоны действия DME/DME, создаваемые радиомаяками, указанными в таблице 1, с учетом высоты полета БВС, равной 1500 м, и углами закрытия 0° и 0,5° соответственно.

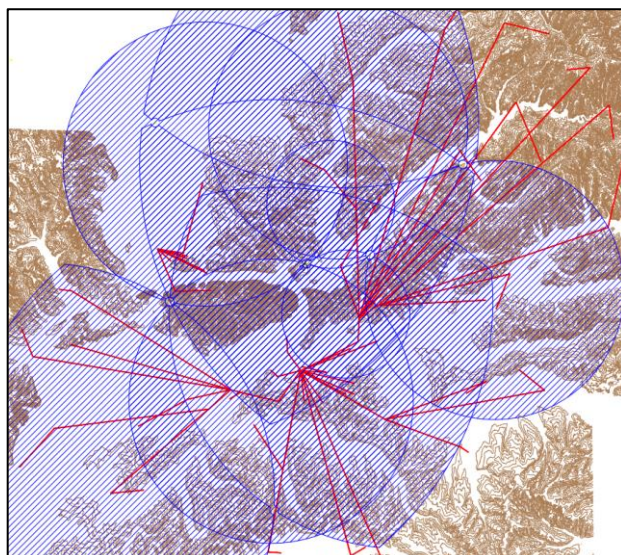


Рис. 4. Зона действия DME/DME, H=1500 м, угол закрытия 0°.

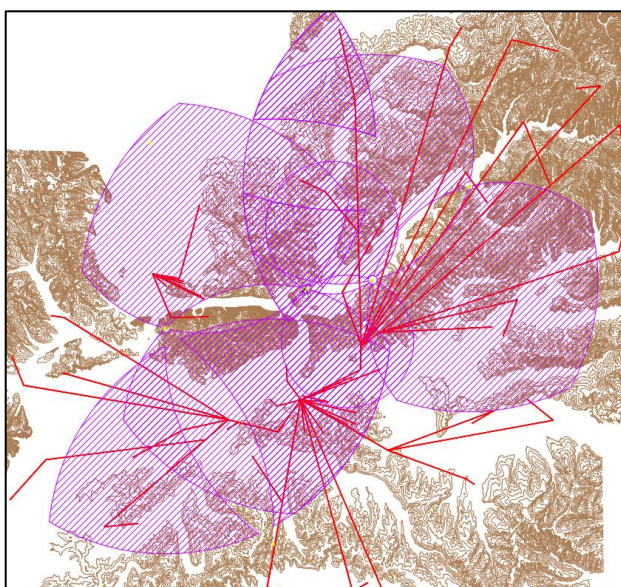


Рис. 5. Зона действия DME/DME, H=1500 м, угол закрытия 0,5°.

На рисунках 4 и 5 видно, что состав радиомаяков для данного варианта при высоте полета БВС 1500 м и углам закрытия 0° и 0,5° соответственно обеспечивает радионавигационное поле, перекрывающее ВП на установленных маршрутах полетов, за исключением зон, удаленных от аэродрома Самара (Курумоч). В выделенных цветом областях обеспечивается правило 30°/150°.

Также необходимым условием является прямая видимость от радиомаяка на ВС [18, 19]. В работе проведен анализ препятствий в районе выполнения полетов. Данные по препятствиям взяты на официальном сайте филиала «ЦАИ» ФГУП «Госкорпорация по ОрВД» (<http://www.caiga.ru/ObstacleList>) и из открытого источника цифровой модели рельефа местности (https://www.viewfinderpanoramas.org/Coverage%20map%20viewfinderpanoramas_org3.htm).

На рисунке 6 представлены сектора от радиомаяка, расположенного на аэродроме Самара (Курумоч), в направлении точек, где сосредоточены основные траектории полетов БВС. Проведена оценка наличия возможных затенений, создаваемых рельефом местности и препятствиями.

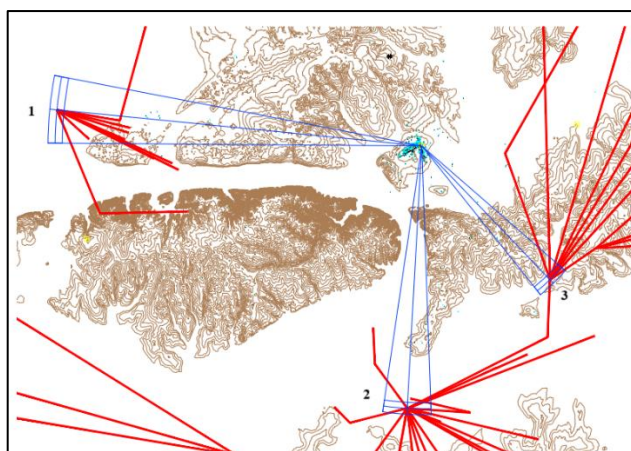


Рис. 6. Анализ препятствий от DME, расположенного на аэродроме Самара (Курумоч)

В таблице 2 приведены исходные данные, в таблицах 3 и 4 представлены результаты влияния рельефа местности и препятствий на участке от радиомаяка, расположенного на аэродроме Самара (Курумоч), до точки 1 с учетом высоты полета $H=150$ м и $H=1500$ м.

Исходные данные для расчета прямой видимости от DME, расположенного на аэродроме Самара (Курумоч)

Позиция DME	SAMARA
Широта	53°53'37"N
Долгота	050°10'38"E
Абс.высота	165.4 м
Направление	275.65 °
Погрешность	2 м
Наклон поверхности (при Н = 150 м)	0.04 %
Наклон поверхности (при Н = 1500 м)	2.2 %

Наклон поверхности в точке полета будет определяться по формуле:

$$(H_{BC \text{ абс}} - H_{DME \text{ абс}}) / D_{\text{до BC}} \text{ (в \%)} \quad (2)$$

Высота наклонной поверхности в точке препятствия в данном случае определяется по формуле:

$$H_{DME \text{ абс}} + (0.0004 * D_{\text{преп}}) \quad (3)$$

$$H_{DME \text{ абс}} + (0.022 * D_{\text{преп}}) \quad (4)$$

Высота рельефа с учетом погрешности будет равна $H_{\text{пр}} + 2$.

Далее проведен анализ пересечения препятствиями данной наклонной поверхности с целью выявления затенения, создаваемого рельефом местности и препятствиями.

Превышение рельефа определяется разностью высоты рельефа с учетом погрешности и высоты наклонной поверхности в точке препятствия.

Результаты оценки рельефа и препятствий с учетом высоты полета $H=150$ м

Название препятствия	Высота (м)	Дальность до препятствия (м)	Высота наклонной поверхности в точке препятствия (м)	Высота рельефа с учетом погрешности (м)	Превышение рельефа над наклонной поверхностью (м)
314	186.4	2095.5	166.2	188.4	22.2
245	243.3	17894.2	172.6	245.3	72.7
158	258.5	22935.3	174.6	260.5	85.9
108	231.7	24941.7	175.4	233.7	58.3
Рельеф	220.0	21054.5	173.8	222.0	48.2
Рельеф	220.0	21098.5	173.8	222.0	48.2
Рельеф	220.0	21108.1	173.8	222.0	48.2
Рельеф	220.0	21109.7	173.8	222.0	48.2
Рельеф	220.0	21133.9	173.9	222.0	48.1
Рельеф	220.0	21159.7	173.9	222.0	48.1

Из расчетов следует, что на участке прямой видимости имеются затенения от рельефа местности, которые блокируют получение сигналов от радиомаяка Самара (Курумоч). Для решения данной проблемы предлагается использование радиомаяка на высотах, исключающих экранирование сигналов.

Таблица 4

Результаты оценки рельефа и препятствий с учетом высоты полета Н=1500 м

Название препятствия	Высота (м)	Дальность до препятствия (м)	Высота наклонной поверхности в точке препятствия (м)	Высота рельефа с учетом погрешности (м)	Превышение рельефа над наклонной поверхностью (м)
314	186.4	2095.5	211.5	188.4	-23,1
245	243.3	17894.2	559.1	245.3	-313.8
158	258.5	22935.3	670.0	260.5	-409.5
108	231.7	24941.7	714.1	233.7	-480.4
Рельеф	220.0	21054.5	628.6	222.0	-406.6
Рельеф	220.0	21098.5	629.6	222.0	-407.6
Рельеф	220.0	21108.1	629.8	222.0	-407.8
Рельеф	220.0	21109.7	629.8	222.0	-407.8
Рельеф	220.0	21133.9	630.3	222.0	-408.3
Рельеф	220.0	21159.7	630.9	222.0	-408.9

На больших высотах наведение обеспечивается радиомаяками без затенения.

Также проведен анализ влияния рельефа местности и препятствий на участке от радиомаяка, расположенного на аэродроме Самара (Курумоч), [до точки 2 и 3 с учетом](#)

высоты полета $H=150$ м и $H=1500$ м. При осуществлении пролетов на высоте 150 м. на участке прямой видимости получение сигналов от радиомаяка Самара (Курумоч) блокируется. На больших высотах рельеф не превышает наклонную поверхность и не оказывает негативного влияния на осуществление наведения.

Выводы

Для обеспечения полетов с использованием навигационных датчиков DME/DME, проведена проверка наличия соответствующей зоны действия DME для маршрутов, основанных на использовании существующей инфраструктуры средств DME в Самарской области.

Использование радиомаяков DME в районе населенного пункта Хорошенькое совместно с дальномерными радиомаяками Курумоч, Жигули, Никольское, Суходол в целом позволяют обеспечить радионавигационное поле для полетов БВС по определенным траекториям с учетом определенных высот полета. При более низких высотах радионавигационное поле приобретает фрагментарный характер.

Проведенный анализ показал возможность выполнения полетов БВС с применением методов зональной навигации, основанных на использовании навигационных датчиков DME, с учетом принятых в расчетах высот $H=1500$ м и наличия соответствующего бортового устройства, важной задачей при этом является выбор оптимальных позиций размещения радиотехнических систем.

Методика определения зон действия радиотехнических средств учитывает влияние рельефа местности, однако безопасное осуществление навигации беспилотных воздушных судов с применением традиционных наземных

радиотехнических систем возможно только при наличии соответствующего бортового оборудования, после апробации и летной проверки [20].

Список источников

1. Джавадов Н.Г., Агаев Ф.Г., Гусейнов Г.А., Зульфугарлы П.Р. Вопросы оценки выполнимости задач, поставленных перед беспилотными летательными аппаратами // Труды МАИ. 2022. № 127. URL: <https://trudymai.ru/published.php?ID=170350>. DOI: [10.34759/trd-2022-127-20](https://doi.org/10.34759/trd-2022-127-20)
2. Гончаренко Я.В. Развитие рынка беспилотных авиационных систем и меры по их безопасной интеграции в единое воздушное пространство Российской Федерации // Международная научно-техническая конференция, посвященная 100-летию отечественной гражданской авиации «Гражданская авиация на современном этапе развития науки, техники и общества» (Москва, 18–19 мая 2023): сборник тезисов. - М.: ИД Академии имени Н. Е. Жуковского, 2023. С. 477-279.
3. Гончаренко Я.В. Внедрение в Российской Федерации схем маневрирования с применением зональной навигации // Международный научный форум «Наука и инновации – современные концепции» (Москва, 04 декабря 2020): сборник статей. - М.: Изд-во Инфинити, 2020. С. 85-88.
4. Стулов А.В. и др. Состояние внедрения навигации, основанной на характеристиках (PBN), в воздушном пространстве Российской Федерации // Научный вестник ГосНИИ ГА. 2021. № 35. С. 142-151.

5. Kuzmenko N., Ostroumov I. Navigation by pair of distance measuring equipment with extrapolated data // 16th International Conference on Advanced Trends in Radioelectronics, Telecommunications and Computer Engineering (TCSET). 2022. DOI: [10.1109/TCSET55632.2022.9766941](https://doi.org/10.1109/TCSET55632.2022.9766941)
6. Неровный В.В., Коратаев П.Д., Облов П.С., Толстых М.Ю. Методика расчета вероятностных характеристик функционирования навигационной аппаратуры потребителей глобальных навигационных спутниковых систем в условиях воздействия имитирующих помех // Труды МАИ. 2024. № 139. URL: <https://trudymai.ru/published.php?ID=183462>
7. ГОСТ Р 59517–2021. Беспилотные авиационные системы. Классификация и категоризация. - М.: Стандартинформ, 2021. 10 с.
8. Гункина М.С., Нечаев В.Н. Интеграция беспилотных воздушных судов в общее несегрегированное воздушное пространство // Научно-практическая конференция преподавателей, слушателей и студентов «Современные тенденции использования воздушного пространства и перспективные системы обеспечения полетов» (Москва, 01 декабря 2021): сборник трудов. - М.: Изд-во Ай Пи Ар Медиа, 2021. С. 40-47.
9. Борисов В.Е. Проблемы эксплуатации беспилотных авиационных систем в едином воздушном пространстве с пилотируемыми воздушными судами // Международная научно-практическая конференция «Теоретические и прикладные вопросы науки и образования» (Тамбов, 31 января 2015): сборник трудов. Часть 5. Тамбов: Изд-во Юком, 2015. С. 22-24.

10. Чичканов А.С. Вариант повышения скорости передачи данных в сети воздушной радиосвязи // Труды МАИ. 2024. № 139. URL: <https://trudymai.ru/published.php?ID=183458>
11. Овчинников Д.В. Одна из первых технологических площадок для БАС создается в Самарской области // Air traffic control. 2024. № 1 (24). С. 34-37.
12. Яблоков А.Ю., Максименко А.В., Шувалова Е.В. Международный опыт внедрения беспилотных авиационных систем в единое воздушное пространство // Научный вестник ГосНИИ ГА. 2022. № 41. С. 114-124.
13. Меер Е.М., Илькухин Н.Ю. Вопросы обеспечения авиационной (транспортной) безопасности и безопасности полетов при эксплуатации БВС в несегрегированном воздушном пространстве // Научные известия. 2022. № 31. С. 41-43.
14. Косолапов Д.С. Эксплуатационные вызовы. Нужна концепция защиты от потери сигналов ГНСС // Air traffic control. 2024. № 1 (24). С. 24-27.
15. Цикалова Е.Г. Глобальные навигационные спутниковые системы: надежность и уязвимость // Новости навигации. 2011. № 3. С. 37-38.
16. Соболев Е.В., Рубцов Е.А. Определение формы и размеров рабочей области при навигации по двум маякам DME // Научный вестник МГТУ ГА. 2013. № 193. С. 59-62.
17. Рубцов Е.А., Кудряков С.А. Методика оценки зон действия радиотехнических систем гражданской авиации при выборе позиций их размещения // Известия СПбГЭТУ ЛЭТИ. 2018. № 7. С. 7-13.
18. Рубцов Е.А. Метод расчета зон действия радиотехнических средств связи ОВЧ диапазона с применением цифровых моделей рельефа // V научно - практическая

конференция преподавателей, научных работников и аспирантов «Актуальные проблемы и перспективы развития гражданской авиации» (Иркутск, 22–24 марта 2016): сборник трудов. - Иркутск: МГТУ ГА (Иркутский филиал), 2016. С. 100-107.

19. Соболев Е.В., Книжниченко Н.В., Рубцов Е.А. Расчет дальности радиовидимости с учетом влияния рельефа и атмосферы // Вестник Санкт-Петербургского государственного университета гражданской авиации. 2012. № 1 (3). С. 44–54.

20. Назаров В.Н. Программы и методики наземных и летных проверок радиолокационных средств УВД. - М.: Воздушный транспорт, 1989. - 112 с.

References

1. Dzhavadov N.G., Agaev F.G., Guseinov G.A., Zul'fugarly P.R. Issues of assessing the feasibility of tasks assigned to unmanned aerial vehicles. *Trudy MAI*. 2022. No. 127. (In Russ.). URL: <https://trudymai.ru/eng/published.php?ID=170350>. DOI: [10.34759/trd-2022-127-20](https://doi.org/10.34759/trd-2022-127-20)
2. Goncharenko Ya.V. Development of the market of unmanned aircraft systems and measures for their safe integration into the single airspace of the Russian Federation. *Mezhdunarodnaya nauchno-tekhnicheskaya konferentsiya, posvyashchennaya 100-letiyu otechestvennoi grazhdanskoi aviatsii «Grazhdanskaya aviatsiya na sovremennom etape razvitiya nauki, tekhniki i obshchestva»*: sbornik tezisov. Moscow: ID Akademii imeni N. E. Zhukovskogo Publ., 2023. P. 477-279.

3. Goncharenko Ya.V. Implementation the maneuvering schemes using area navigation methods in the Russian Federation. *Mezhdunarodnyi nauchnyi forum «Nauka i innovatsii – sovremennye kontseptsii»*: sbornik statei. Moscow: Izd-vo Infiniti Publ., 2020. P. 85-88.
4. Stulov A.V. et al. Status of implementation of performance-based navigation (PBN) in the airspace of the Russian Federation. *Nauchnyi vestnik GosNII GA*. 2021. No. 35. P. 142-151. (In Russ.)
5. Kuzmenko N., Ostroumov I. Navigation by pair of distance measuring equipment with extrapolated data. *16th International Conference on Advanced Trends in Radioelectronics, Telecommunications and Computer Engineering (TCSET)*. 2022. DOI: [10.1109/TCSET55632.2022.9766941](https://doi.org/10.1109/TCSET55632.2022.9766941)
6. Nerovnyi V.V., Korataev P.D., Oblov P.S., Tolstykh M.Yu. Method for calculating probabilistic characteristics of the operation of navigation equipment for consumers of global navigation satellite systems under conditions of impact of simulated interference. *Trudy MAI*. 2024. No. 139. (In Russ.). URL: <https://trudymai.ru/eng/published.php?ID=183462>
7. GOST R 59517–2021. *Bespilotnye aviatsionnye sistemy. Klassifikatsiya i kategorizatsiya* (GOST R 59517–2021. Unmanned Aircraft Systems. Classification and Categorization). Moscow: Standartinform, 2021. 10 p.
8. Gunkina M.S., Nechaev V.N. Integration of unmanned aircraft into a common non-segregated airspace. *Nauchno-prakticheskaya konferentsiya prepodavatelei, slushatelei i studentov «Sovremennye tendentsii ispol'zovaniya vozdushnogo prostranstva i*

perspektivnye sistemy obespecheniya poletov»: sbornik trudov. Moscow: Izd-vo Ai Pi Ar Media Publ., 2021. P. 40-47.

9. Borisov V.E. Problems of operation of unmanned aircraft systems in the same airspace with manned aircraft. *Mezhdunarodnaya nauchno-prakticheskaya konferentsiya «Teoreticheskie i prikladnye voprosy nauki i obrazovaniya»*: sbornik trudov. Chast' 5. Tambov: Izd-vo Yukom Publ., 2015. P. 22-24.

10. Chichkanov A.S. An option to increase the data transfer rate in the air radio network. *Trudy MAI*. 2024. No. 139. (In Russ.). URL: <https://trudymai.ru/eng/published.php?ID=183458>

11. Ovchinnikov D.V. One of the first technological sites for UAS is being created in the Samara region. *Air traffic control*. 2024. No. 1 (24). P. 34-37. (In Russ.)

12. Yablokov A.Yu., Maksimenko A.V., Shuvalova E.V. International experience in the implementation of unmanned aircraft systems in a single airspace. *Nauchnyi vestnik GosNII GA*. 2022. No. 41. P. 114-124. (In Russ.)

13. Meer E.M., Il'kukhin N.Yu. Issues of ensuring aviation (transport) safety and flight safety during the operation of UAVs in non-segregated airspace. *Nauchnye izvestiya*. 2022. No. 31. P. 41-43. (In Russ.)

14. Kosolapov D.S. Operational challenges. We need a concept of protection against loss of GPS signals. *Air traffic control*. 2024. No. 1 (24). P. 24-27. (In Russ.)

15. Tsikalova E.G. Global Navigation Satellite Systems: Reliability and Vulnerability. *Novosti navigatsii*. 2011. No. 3. P. 37-38. (In Russ.)

16. Sobolev E.V., Rubtsov E.A. Determining the shape and size of the workspace when navigating through two DME beacons. *Nauchnyi vestnik MGTU GA*. 2013. No. 193. P. 59-62. (In Russ.)
17. Rubtsov E.A., Kudryakov S.A. Methodology for assessing the coverage areas of civil aviation radio systems when it's necessary to select their placement positions. *Izvestiya SPBGETU LETI*. 2018. No 7. P. 7-13. (In Russ.)
18. Rubtsov E.A. Method for calculating the coverage areas of VHF radio communication equipment using digital elevation models. *V nauchno - prakticheskaya konferentsiya prepodavatelei, nauchnykh rabotnikov i aspirantov «Aktual'nye problemy i perspektivy razvitiya grazhdanskoi aviatsii»*: sbornik trudov. Irkutsk: MGTU GA (Irkutskii filial) Publ., 2016. P. 100-107.
19. Sobolev E.V., Knizhnenchenko N.V., Rubtsov E.A. Calculation of the range of radio visibility, taking into account the influence of terrain and atmosphere. *Vestnik Sankt-Peterburgskogo gosudarstvennogo universiteta grazhdanskoi aviatsii*. 2012. No 1 (3). P. 44–54. (In Russ.)
20. Nazarov V.N. *Programmy i metodiki nazemnykh i letnykh proverok radiolokatsionnykh sredstv UVD* (Programs and methods for ground and flight testing of air traffic control radar equipment). Moscow: Vozdushnyi transport Publ., 1989. 112 p.

Статья поступила в редакцию 05.02.2025

Одобрена после рецензирования 17.03.2025

Принята к публикации 25.06.2025

The article was submitted on 05.02.2025; approved after reviewing on 17.03.2025; accepted for publication on 25.06.2025