

УДК 621.396.96.

UDC 621.396.96.

**ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ  
ЗАТРАТ ВРЕМЕННОГО РЕСУРСА  
ПЕРСПЕКТИВНОЙ  
МНОГОКАНАЛЬНОЙ  
РАДИОЭЛЕКТРОННОЙ СИСТЕМЫ НА  
ОПРЕДЕЛЕНИЕ МЕСТОПОЛОЖЕНИЯ  
МАЛОРАЗМЕРНЫХ ОБЪЕКТОВ**

**COMPUTER SIMULATION OF AN  
ADVANCED MULTICHANNEL  
RADIOELECTRONIC SYSTEM TIMING  
BUDGET, EXPENDING ON SMALL  
VEHICLES LOCATION DISCOVERING**

*Назарова О. Ю. , Соколик Н. В. ,  
Терновской Л. А.*

*Nazarova O. Y., Sokolik N.V.,  
Ternovskoy L.A.*

Донской государственный технический  
университет, Ростов-на-Дону, Российская  
Федерация

Don State Technical University, Rostov-on-Don,  
Russian Federation

[nazarita@hotmail.ru](mailto:nazarita@hotmail.ru)  
[sokolik777@mail.ru](mailto:sokolik777@mail.ru)  
[dokay98@mail.ru](mailto:dokay98@mail.ru)

[nazarita@hotmail.ru](mailto:nazarita@hotmail.ru)  
[sokolik777@mail.ru](mailto:sokolik777@mail.ru)  
[dokay98@mail.ru](mailto:dokay98@mail.ru)

Рассматривается вариант реализации на единой апертуре многоканальной радиоэлектронной системы. Предлагается вариант взаимодействия каналов перспективной многоканальной радиоэлектронной системы на основе критерия минимума суммарного времени локализации воздушных объектов с заданной точностью с использованием процедуры целеуказания от менее информативного канала кругового наблюдения к более информативным каналам секторного наблюдения. Представлены результаты численного моделирования в среде Matlab2016a динамики изменения временного ресурса, затраченного на локализацию 50 неманеврирующих и высокоманевренных объектов двухканальным и трехканальным вариантом реализации многоканальной радиоэлектронной системы.

A mobile multichannel integrated radar system embodiment on a shared antenna aperture is under consideration. The paper proposes the advanced multichannel radioelectronic system channel interaction type based on the criterion of minimal total time budget of aerial objects localization with the required accuracy and with target pointing procedure implementation from less informative surveillance channel to more informative searching lighting channels. The paper provides the computer simulation results in Matlab2016a environment of pattern of timing budget that was used on 50 nonmaneuvering and highly maneuverable vehicles with dual-channel and three-channel integrated radioelectronic system.

**Ключевые слова:** малоразмерный летательный аппарат, многоканальная радиоэлектронная система, управление обзором, канал кругового обзора, канал секторного обзора, нормированный временной ресурс.

**Keywords:** small aerial vehicle, multichannel radioelectronic system, scanning control, surveillance channel, searching lighting channel, normalized timing budget.

**Введение.** Обнаружение малоразмерных воздушных объектов (легкомоторных самолетов, вертолетов и беспилотных летательных аппаратов) является одной из важных задач современных радиоэлектронных систем наблюдения. Ее актуальность обусловлена значительно

увеличившимися объемами производства малоразмерных летательных аппаратов (МЛА) и возрастающими угрозами, связанными с их широким использованием. Зачастую эти угрозы связаны с недостаточной квалификацией лиц, управляющих МЛА. В связи с тем, что Федеральные правила использования воздушного пространства Российской Федерации предоставляют возможность использования воздушного пространства в уведомительном порядке, вполне естественно ожидать возрастания опасности создания проблем другим участникам воздушного движения, транспортным средствам, инфраструктуре и населению [1]. Особенно остро встает проблема эффективного контроля полетной деятельности в связи с опасностью столкновений в зоне действия гражданской авиации. Раннее обнаружение МЛА в запретных и опасных зонах ведет к увеличению времени на принятие решения, а следовательно, к своевременным и адекватным действиям по предотвращению возможных угроз безопасности воздушных судов.

Потенциальной возможностью обнаружения, сопровождения и распознавания таких целей обладает многоканальная радиоэлектронная система (МРЭС). Многоканальность существующих радиоэлектронных систем наблюдения основана на принципе временного или пространственного разделения каналов, функционирующих на одной частоте [2]. Предлагается подход, предполагающий возможность реализации на единой базе каналов наблюдения, функционирующих на различных частотах.

**Способы управления обзором пространства.** Как известно, канал наблюдения должен обнаруживать объекты и определять параметры их движения во всей области обзора  $\Omega$ . Для решения этой задачи необходимо излучение энергии по всей области контролируемого пространства. На практике применяются различные способы распределения энергии в пространстве (способы обзора пространства) [3]. Важнейшими параметрами обзора являются время обзора контролируемого пространства и время облучения объектов. При заданном времени облучения объекта легко найти время обзора как функцию от количества угловых элементов разрешения. Соответственно, минимальное время облучения определяется условием выполнения обнаружения объекта на максимальной дальности.

Управление обзором можно производить изменением:

- величины пространственного угла луча канала наблюдения за счет изменения длины излучаемой волны;
- энергии принятого сигнала за счет увеличения интервала когерентного накопления при приеме, а, следовательно, и времени облучения при фиксированной средней мощности излучения;
- средней мощности излучения в фиксированном пространственном угле.

Оптимальным будет случай, когда геометрические размеры МЛА будут практически совпадать с площадью сечения луча, тогда потери на облучения «пустого» пространства будут минимизированы. Однако это возможно только в случае применения достаточно коротких длин волн, которым свойственны большие потери при распространении сигнала в пространстве. Таким образом, возникает задача организации просмотра зоны ответственности МРЭС несколькими взаимодействующими каналами наблюдения так, чтобы требуемая точность локализации объектов была достигнута с минимальными энергетическими, а следовательно, и временными затратами.

**Состав и последовательность функционирования перспективной МРЭС.**

Предположим, что перспективная система включает один канал первичного кругового обзора с широкой диаграммой направленности ( $КН1_0$ ) и  $N$  более точных каналов секторного обзора с меньшей длиной волны и более узкой диаграммой ( $КН2_1 - КН2_N$ ). Взаимодействие каналов организуется на основе процедуры целеуказания. В этом случае первоначальные наблюдения производятся лучом с большой площадью сечения и высокой угловой скоростью, а затем часть элементов разрешения с обнаруженными в них целями передаются в канал наблюдения (или

несколько параллельных каналов) с малой площадью сечения луча. Тогда временные потери на облучения «пустого» пространства будут минимизированы.

Положим, что каналы наблюдения характеризуются средними мощностями излучения  $P_1$  и  $P_2$  соответственно, необходимыми и достаточными для обнаружения цели на заданном расстоянии. При этом точности оценки координат также определяются этими мощностями и составляют  $\sigma_1$  и  $\sigma_2$ .

Принимая мощность излучения постоянной величиной, оптимизируем время наблюдения цели каждым из каналов МРЭС для максимально быстрой локализации объектов. Решением этой задачи является определение количества зондирований каждым из каналов системы.

В общем виде последовательность функционирования перспективной МРЭС следующая:

- прогноз результатов  $n$  наблюдений, выполненных обзорным каналом  $КН1_0$ ;
- прогноз времени локализации объектов в процессе последующего наблюдения радиолокационными каналами секторного обзора  $КН2_1 - КН2_N$ ;
- оценка прогнозируемого времени, необходимого для уточнения до требуемых значений параметров наблюдаемых объектов при данном варианте взаимодействия каналов;
- выбор по результатам оценок такого количества обзоров  $КН1_0$ , при котором суммарное время, затраченное на локализацию и определение характеристик объектов с требуемой степенью достоверности, минимально.

Общее время, затраченное на обнаружение и локализацию воздушных объектов, складывается из времени, затраченного обзорным каналом, и времени, которое было затрачено параллельными каналами секторного обзора на достижение требуемой точности обнаружения, и составляет:

$$T = m_1 T_1 + m_2 T_2$$

Таким образом, задача минимизации времени локализации обнаруженных объектов сводится к решению задачи оптимизации распределения времени наблюдения между каналами наблюдения в зависимости от количества объектов, погодной и помеховой обстановки без потери контроля над зоной ответственности МРЭС.

**Моделирование функционирования системы.** Для моделирования процесса обнаружения воздушных объектов перспективной МРЭС и определения их координат воспользуемся пакетом программ Matlab2016a [4]. В целях описания маневренных характеристик МЛА, являющихся объектами наблюдения МРЭС, представляется удобным использовать модель Зингера [5], а для оценки параметров движения — аппарат калмановской фильтрации [6]. В этом случае модель изменения состояния объекта относительно условной точки первичного обнаружения для каждой пространственной координатной составляющей вектора движения объекта строится отдельно.

Выбранная модель является удобным средством для выработки точного прогноза времени наблюдения каналами на достижение требуемой достоверности присутствия объекта в заданных размерах области пространства. Такой подход дает возможность анализа, в том числе и возможностей МРЭС, с реализацией каналов наблюдения на различных физических принципах [7].

Результатом исследований, проведенных методом математического моделирования в среде Matlab2016a, стало распределение времени, затраченного различными каналами МРЭС для различного количества объектов в зоне наблюдения и их способности к маневру. Моделирование проводилось для МРЭС с длиной волны обзорного канала 2 м, каналов секторного обзора — 27 см. Количество каналов секторного обзора — до 10. Область наблюдения круговая, радиусом 40 км.

В качестве примера рассмотрим случаи нахождения 50 высокоманевренных (рис. 1) и неманеврирующих (рис. 2) МЛА в зоне наблюдения МРЭС. По оси абсцисс отложено количество обзоров зоны наблюдения малоинформативным каналом до передачи объектов наблюдения более точным каналам в выделенных зонах целеуказания. По оси ординат — нормированное время, затраченное на локализацию объектов с требуемой точностью. Нормировка производилась к случаю немедленной передачи обнаруженных объектов в каналы секторного обзора на заданной дальности 40 км (максимальное суммарное время, затраченное на локализацию — 350 секунд) с учетом ограничений, а именно локализации объектов на дальности минимум 15 км от защищаемого объекта в условиях интенсивных осадков, оставляя 60 секунд на принятие решения по локализованным воздушным объектам. Каждый канал секторного обзора одновременно сопровождает до пяти объектов, используя принцип временного разделения [8].

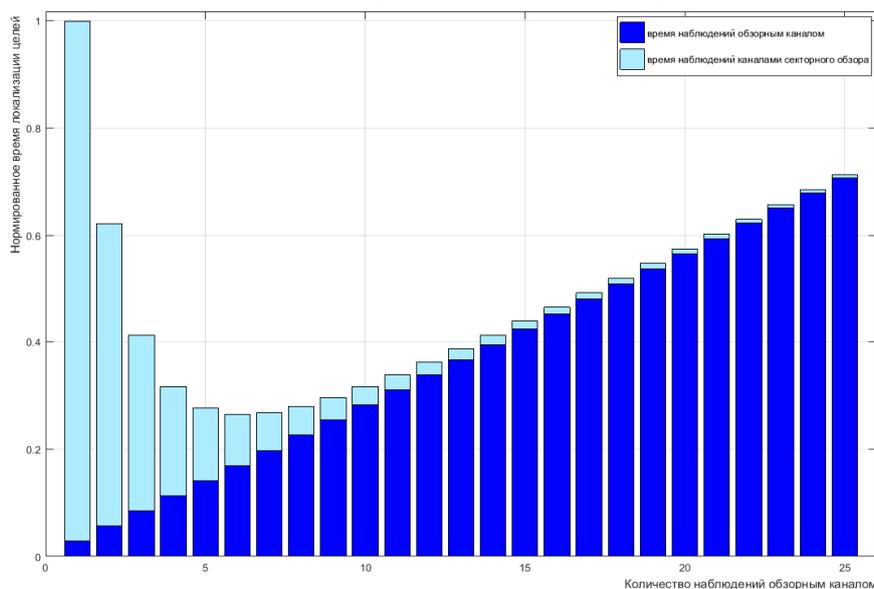


Рис. 1. Нормированный расход энергетического ресурса двухканальным комплексом при локализации 50 высокоманевренных объектов

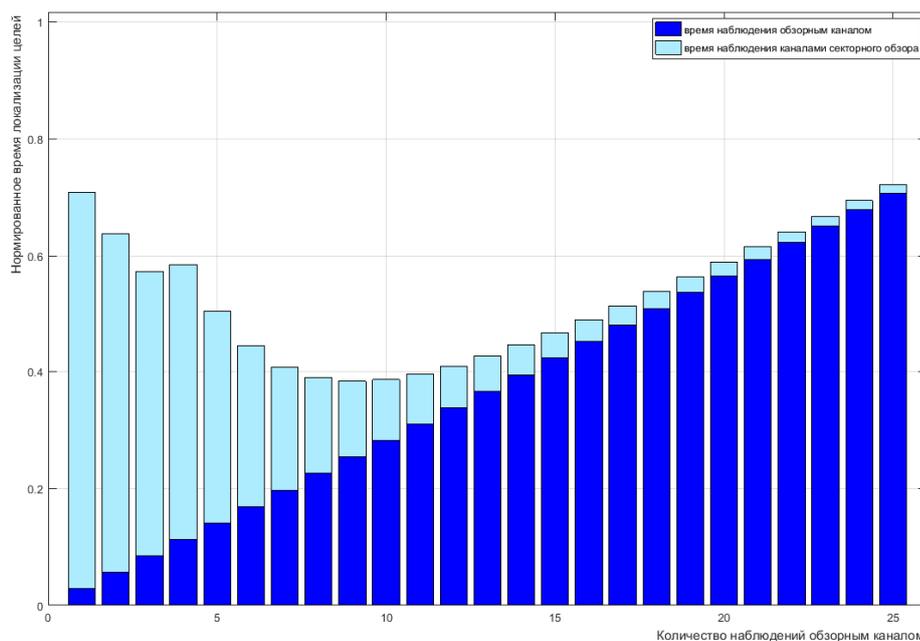


Рис. 2. Нормированный расход энергетического ресурса двухканальным комплексом при локализации 50 неманеврирующих объектов

Для высокоманевренных объектов, начиная с десятого кругового обзора, наблюдается рост суммарного времени локализации, в связи с тем, что темпы снижения неопределенности локализации малоинформативным каналом значительно ниже, чем для локализации высокоточными каналами секторного наблюдения. Вследствие этого именно с десятого цикла обзора происходит рост общего, суммарного по двум каналам, нормированного временного ресурса. Следовательно, дальнейшее наблюдение обзорным каналом не ведет к уменьшению времени и дальности локализации объектов. Поэтому целесообразно выбрать вариант передачи объектов наблюдения в каналы секторного обзора после девятого наблюдения обзорным каналом  $KN1_0$ .

Для неманеврирующих равномерно движущихся объектов минимум времени на локализацию объектов достигается при передаче их в каналы  $KN2_1 - KN2_N$  после шестого кругового обзора.

Введем до десяти дополнительных каналов секторного обзора, функционирующих на длине волны 1 м. Остальные исходные данные те же.

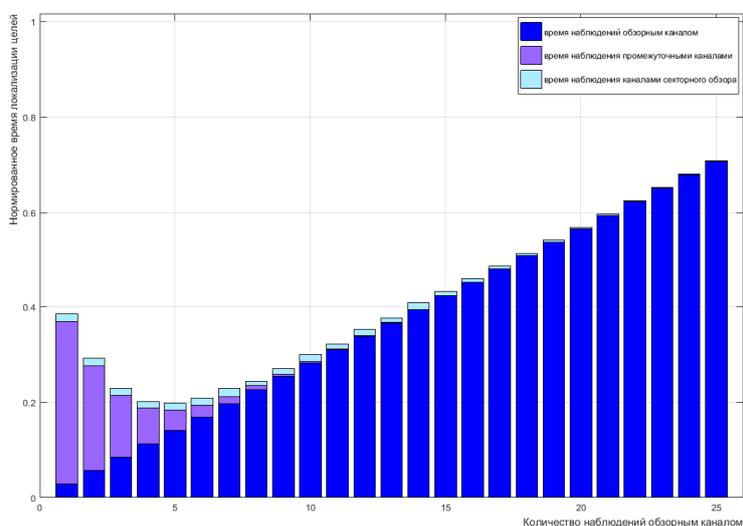


Рис. 3. Нормированный расход энергетического ресурса трехканальным комплексом при локализации 50 неманеврирующих объектов

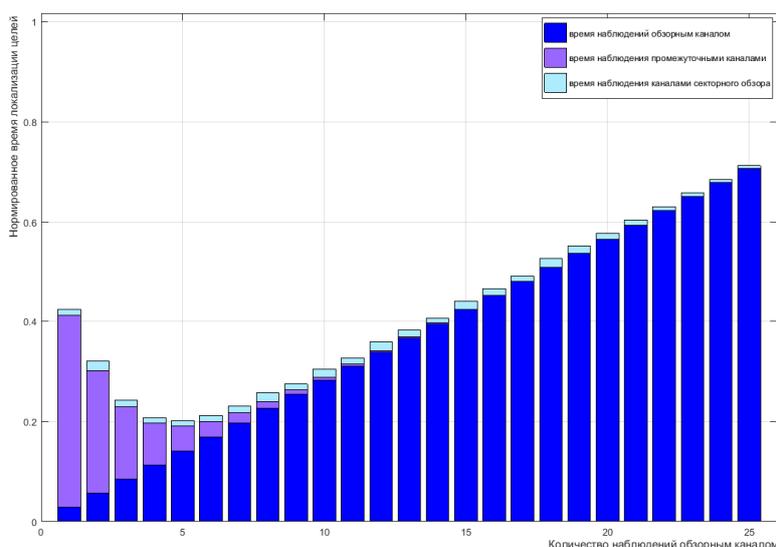


Рис. 4. Нормированный расход энергетического ресурса трехканальным комплексом при локализации 50 высокоманевренных объектов

Уменьшение нормированного суммарного временного ресурса на локализацию прямолинейно движущихся обнаруженных воздушных объектов (рис. 3) уменьшилось на 20%, а высокоманевренных — до 50% (рис. 4).

**Заключение.** Таким образом, проведенные численные эксперименты подтверждают теоретические предположения о необходимости трехканального варианта реализации перспективной МРЭС, что приведет к существенному уменьшению времени и, следовательно, увеличению дальности локализации воздушных объектов, в том числе малоразмерных. В качестве управляющего параметра предлагается выбрать количество циклов предварительного наблюдения обзорным каналом.

#### Библиографический список

1. Федеральные правила использования воздушного пространства Российской Федерации: постановление Правительства РФ [утв. Правительством Российской Федерации 11 марта 2010 г. (ред. от 30 января 2018 г.)] — Режим доступа: [http://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_98957/](http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_98957/) (дата обращения 15.02.2018).
2. Ширман, Я. Д. Радиоэлектронные системы: Основы построения и теория. Справочник. Изд. 2-е, перераб. и доп. / под ред. Я. Д. Ширмана. — Москва : Радиотехника, 2007. — 512 с.
3. Кузьмин, С. З. Цифровая радиолокация. Введение в теорию / С. З. Кузьмин. — Киев : Издательство КВиЦ, 2000. — 428 с.
4. Matlab. Теория и практика 5-е изд. /Амос Гилат факультет механики и космической техники штата Огайо. — Москва, 2016. — 416 с.
5. Robert A. Singer. Estimating optimal tracking filter performance for manned maneuvering targets. — IEEE Transactions on aerospace and electronic system. vol. AES — 6, No. 4, July 1970, p. 473 — 483.
6. Eli Brookner. Tracking and Kalman Filtering Made Easy. Eli Brookner Copyright ©1998 John Wiley&Sons, Inc., 463 с.
7. Бакут, П. А. Обнаружение движущихся объектов / П. А. Бакут, Ю. В. Жулина, Н. А. Иванчук. — Москва : Советское радио, 1980. — 288с.
8. Шишов, Ю. А. Многоканальная радиолокация с временным разделением каналов / Ю. А. Шишов, В. А. Ворошилов. — Москва : Радио и связь, 1987. — 144 с.