

**Богуславский Андрей Александрович**

E-mail: boguslav@keldysh.ru.

Тел.: 89164827544.

**Куфтин Феликс Андреевич**

Коломенский государственный педагогический институт.

E-mail: Iron\_fil@list.ru.

140411, Московская обл., г. Коломна, ул. Зеленая, 30.

Тел.: 89160581523.

**Моксин Константин Александрович**

Московский физико-технический институт (государственный университет).

E-mail: kamoksin@mail.ru.

141709, Московская обл., г. Долгопрудный, Институтский пер., 9.

Тел.: 89154772055.

**Sokolov Sergey Mikhailovich**

Keldysh Institute of Applied Mathematics.

E-mail: sokolsm@list.ru.

125047, г. Москва, Миусская пл., д. 4

4, Miusskaya area, Moscow, 125047, Russia.

Phone: 89161220113.

**Platonov Alexandr Konstantinovich**

E-mail: platonov@keldysh.ru.

Phone: 89104390250.

**Boguslavsky Andrey Alexandrovich**

E-mail: boguslav@keldysh.ru.

Phone: 89164827544.

**Kuftin Felix Andreevich**

Kolomna Teacher Training Institute.

E-mail: Iron\_fil@list.ru.

30, Zelenaya street, Kolomna, Moscow Region, 140411, Russia.

Phone: 89160581523.

**Moksin Konstantin Alexandrovich**

Moscow Institute of Physics and Technology.

E-mail: kamoksin@mail.ru.

9, Institutskii per., Dolgoprudny, Moscow Region, 141700, Russia

Phone: 89154772055.

УДК 623.4

**Г.В. Анцев, Е.Г. Борисов, Л.С. Турнецкий****ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ СИСТЕМ САМОНАВЕДЕНИЯ  
С КООРДИНАТОРАМИ РАЗЛИЧНОЙ ФИЗИЧЕСКОЙ ПРИРОДЫ**

*В статье обсуждены методы повышения качества системы самонаведения летательных аппаратов путем комбинирования и комплексирования радиолокационного и оптикоэлектронного координаторов-пеленгаторов, входящих в состав системы. Рассмотрены примеры основных видов объединения информационных каналов. Приводится оценка эффективности объединения информации измерительных каналов различной физической природы.*

*Комплексирование информации; система самонаведения.*

G.V. Antsev, E.G. Borisov, L.S. Tournetsky

### IMPROVING OF SELF – HOMING SYSTEM WITH THE DIFFERENT PHYSICAL NATURE COORDINATES EFFECTIVENESS

*Quality improving methods of flying devices self-homing system by means of multiple function and combination of radar and electro-optics coordinators-direction finders incoming in the system structure are discussed in the article. The basic types examples of information channels union are examined. Effectiveness valuation of information measuring channels union of different physical nature is given.*

*Combination of information; self-homing system.*

Практика применения интеллектуальных систем самонаведения показала, что в условиях сложной фоно–целевой обстановки на современном этапе они должны как минимум решать следующие задачи: обнаружение целей, их разрешение, оценивание координат и параметров движения, распознавание типов целей, формирование команд управления на исполнительные механизмы. Функционирование интеллектуальных систем самонаведения летательных аппаратов (ЛА) значительно затрудняется в условиях воздействия помех различного типа и интенсивности. Постоянное усложнение фоно–целевой обстановки вызывает необходимость поиска новых и совершенствования известных технических решений для оптимального решения задачи наведения ЛА [1-3].

Вариантом решения данной проблемы является комплексирование датчиков различной физической природы систем самонаведения, работающих в едином информационно-управляющем процессе наведения ЛА.

Во многих практических задачах имеется возможность одновременно автоматически измерять координаты объектов или параметры их движения с помощью различных устройств, в том числе действующих на различных физических принципах.

Отметим, что комплексирование данных при наличии на борту  $M$  датчиков-измерителей различной физической природы позволяет реализовать  $2^M - 1$  вариантов объединения информации, что в ряде случаев позволяет реализовать систему со структурной и информационной избыточностью [4].

При комплексировании данных для интеллектуальных систем самонаведения ЛА с большой дальностью действия на разных этапах для решения задачи целесообразно последовательно использовать результаты работы различных информационных подсистем.

Так, на этапе подготовки данных для наведения комплексированию подлежат результаты измерений местоположения объекта атаки пространственно разнесенными РЛС расположенными на различных носителях. Основная цель данного этапа – повышение вероятности обнаружения и точности измерения координат объекта.

На этапе наведения комплексированию, например, подлежат измерения инерциальной системы и результаты определения местоположения ЛА по данным спутниковой системы навигации.

Более подробно рассмотрим вариант работы системы комплексирования данных на этапе самонаведения.

При самонаведении ЛА, осуществляющих реализацию метода пропорциональной навигации, необходимо с помощью координатора измерять угловые координаты цели и скорости их изменения [5]. Их можно измерить активной РЛС, тепловизионным или телевизионным пеленгатором, а также по данным станции радиотехнической разведки. Каждый из измерителей работает с ошибками. Объединяя измерители в единую систему, можно в некоторых случаях получить выигрыш в точности и надежности измерений. Такое объединение называют комби-

нированием или комплексированием, а объединенную систему – комбинированной или комплексной.

При объединении измерителей в единую систему традиционно исходят из следующих двух основных принципов – задающее воздействие, поступающее на каждый из измерителей, является одним и тем же (система с одинаковыми задающими воздействиями), закодированным в параметрах различных физических полей, поступающих на входы измерители [6]. При комплексировании в случае одинаковых задающих воздействий используют компенсационный и фильтровой способы объединения информации измерителей, действующих на различных физических принципах. Физические причины и условия получения выигрыша фильтровой и компенсационной систем одинаковы, и заключаются в выборе таких форм амплитудно – частотных характеристик фильтров, которые эффективно подавляют помеховые составляющие в различных спектральных диапазонах тем или иным способом, а с другой стороны – пропускают составляющие задающего воздействия. В комплексном измерителе второго вида, называемом также измерителем с неполной информацией, измеряют не один, а разные, но функционально связанные параметры.

В работе [7] предложен вариант комбинирования результатов обработки информации в комбинированных активно-пассивных (радиолокационно-оптических) следящих координаторах систем самонаведения ЛА.

Комбинированная следящая система, показанная на рис. 1, содержит объединенные механически на одном основании оптикоэлектронный пеленгатор (ОЭП) и локационный пеленгатор (РЛП), два устройства формирования координат наведения (УФКН) оси слежения, два блока оценки дисперсии (БОД) измеренного пеленга, управляющую часть и исполнительные устройства (УЧ) механического поворота оси слежения пеленгаторов, блок управления (БУ) и коммутатор (Комм).

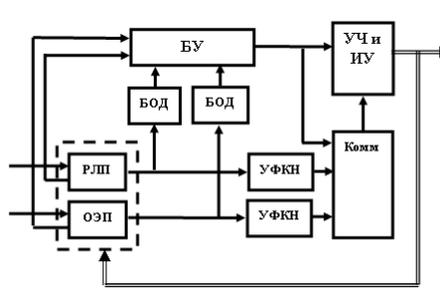


Рис. 1. Структурная схема комбинированной следящей систем

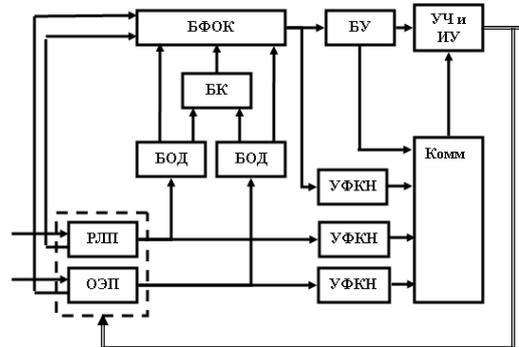


Рис. 2. Структурная схема комплексированной следящей системы

В блоках оценки дисперсии (БОД) по зависимостям  $\bar{\beta}_i = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \hat{\beta}_i$ , и

$\hat{\sigma}_{\beta_i}^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (\hat{\beta}_i - \bar{\beta})^2$  определяются оценки математического ожидания и дисперсии сглаженных величин угловой координаты  $\beta$  в соответствующих каналах.

Повышение точности определения координат объекта в условиях воздействия нестационарных интенсивных помех в различных диапазонах излучения достигается за счет текущего формирования оценок дисперсий измерений координат

оптикоэлектронного и локационного пеленгаторов, их сравнения и своевременно-го переключения выхода следящей системы на тот пеленгатор, в диапазоне работы которого помеха отсутствует или оказывает меньшее влияние на точность измерения координат.

Развитием схемы приведенной на рис. 1 служит комплексированная следящая система [8], структурная схема которой приведена на рис. 2.

Формирование более точной оценки угловой координаты реализовано в совместной работе блока комплексирования (БК) и формирования обобщенной координаты (БФОК) и УФКН в соответствии с известным алгоритмом взвешенного усреднения [9].

При наличии выборок оцениваемой координаты  $i=1,2\dots K$  от РЛП и  $j=1,2\dots L$  ОЭП можно показать, что оптимальная по критерию максимального правдоподобия оценка координаты определяется зависимостью

$$\hat{\beta}_{opt} = \frac{\hat{\sigma}_{\beta_i}^2 \sum_{i=1}^K \hat{\beta}_i + \hat{\sigma}_{\beta_j}^2 \sum_{j=1}^L \hat{\beta}_j}{L\hat{\sigma}_{\beta_i}^2 + K\hat{\sigma}_{\beta_j}^2},$$

которая при  $K = L = 1$  принимает вид

$$\hat{\beta}_{opt} = \frac{\hat{\sigma}_{\beta_i}^2 \hat{\beta}_{j_i}}{\hat{\sigma}_{\beta_i}^2 + \hat{\sigma}_{\beta_j}^2} + \frac{\hat{\sigma}_{\beta_j}^2 \hat{\beta}_i}{\hat{\sigma}_{\beta_i}^2 + \hat{\sigma}_{\beta_j}^2}.$$

При малой выборке результатов измерений вычисление дисперсии можно осуществлять по зависимостям, позволяющим корректировать значение математического ожидания и дисперсии [10]:

$$\bar{\beta}_{n+1} = \bar{\beta}_n + \frac{1}{n+1} (\beta_{n+1} - \bar{\beta}_n)$$

$$\hat{\sigma}_{\beta_{n+1}}^2 = \hat{\sigma}_{\beta_n}^2 + \frac{1}{n+1} \sum_{i=1}^n \left( (\hat{\beta}_{n+1} - \bar{\beta}_n)^2 - \hat{\sigma}_{\beta_n}^2 \right).$$

Эффективность комплексированной системы самонаведения можно оценить приростом вероятности поражения цели за счет увеличения точности отслеживаемых координат.

На рис. 3 показаны изменение СКО определения угловой координат радиолокационным, оптическим и комбинированным пеленгатором, соответственно, в процессе слежения за целью.

Увеличение дисперсии ошибки определения угловой координат цели радиолокационным пеленгатором на конечном участке самонаведения объясняется наличием углового шума, статистические характеристики которого подробно изложены в работе [11].

Наиболее значимым критерием эффективности системы самонаведения является вероятность поражения цели, которая определяется зависимостью

$$P = \frac{1}{1 + (\sigma/R_{эфф})^2}, \text{ где } R_{эфф} - \text{эффективный радиус поражения цели боевой частью.}$$

Следовательно, уменьшение СКО определения координат цели приводит к увеличению вероятности поражения цели.

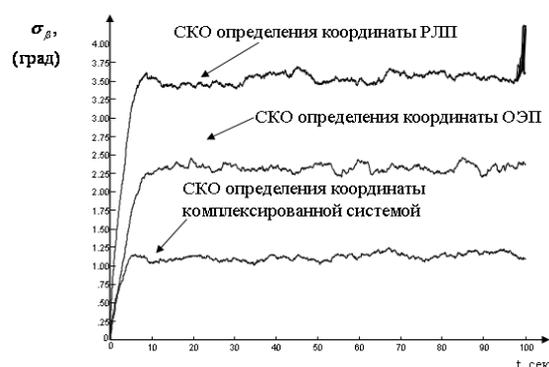


Рис. 3. Среднеквадратические ошибки оценки координат различными датчиками

В работе [4] показано, что наряду с существенным приростом таких важных характеристик как вероятность обнаружения, точность определения координат цели при объединении информации от нескольких датчиков возможно увеличение ложной информации в системе.

Перспективным направлением комплексирования бортовых локационных систем является объединение в многопозиционную систему обнаружителей — измерителей расположенных на различных носителях. В работе [12] показаны основные направления реализации кооперативной обработки сигналов в многопозиционной системе активно — пассивной локации. Такая система обладает значительными степенями свободы по реализации алгоритмов координатной поддержки и комплексирования данных и на наш взгляд является перспективной.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Анцев Г.В., Сарычев В.А., Тушков В.А., Турнецкий Л.С. Принципы построения бортовых информационно-управляющих систем высокоточного оружия нового поколения. — Радиотехника, 2001. — № 8. — С. 3-9.
2. Анцев Г.В., Сарычев В.А., Тушков В.А., Турнецкий Л.С. Бортовые информационно-управляющие системы высокоточного оружия. — Морская радиоэлектроника, 2002. — № 1. — С. 40-43.
3. Анцев Г.В., Сарычев В.А., Тушков В.А., Турнецкий Л.С. Особенности интеллектуальных военных радиоэлектронных систем. — Морская радиоэлектроника, 2003. — № 4. — С. 8-12.
4. Бачевский С.В., Борисов Е.Г., Турнецкий Л.С. Комплексирование измерительной информации локационных датчиков различной физической природы. Радиоэлектроника интеллектуальных транспортных систем: Научно-технический сборник. Вып.1. — СПб.: Изд-во СЗТУ, 2009. — С. 92-98.
5. Максимов М.В., Горгонов Г.И. Радиоэлектронные системы самонаведения. — М.: Радио и связь, 1982. — 304 с.
6. Бобнев М.П., Кривицкий Б.Х., Ярлыков М.С. Комплексные системы радиоавтоматики. — М.: Советское радио, 1968. — 232 с.
7. Анцев Г. В., Турнецкий Л. С., Борисов Е.Г. и др. Следящая система, патент РФ на полезную модель № 70003, МПК G01S 13/66, заявл.03.09.2007г., опубл. 10.01.2008.
8. Анцев Г. В., Турнецкий Л. С., Борисов Е.Г. и др. Следящая система, патент РФ на полезную модель № 77690, МПК G01S 13/66, заявл.03.09.2007г., опубл. 27.10.2008.
9. Абчук В.А., Матвейчук Ф.А., Томашевский Л.П. Справочник по исследованию операций. — М.: Воениздат, 1979. — 368 с.
10. Гузик В.Ф., Кидалов В.И., Самойленко А.П. Статистическая диагностика неравновесных объектов. — СПб.: Судостроение, 2009. — 304 с.

11. *Островитянинов Р.В., Басалов Ф.А.* Статистическая теория радиолокации протяженных целей. – М.: Радио и связь, 1982. – 232 с.
12. *Борисов Е.Г., Турнецкий Л.С., Касацев М.Ю.* Комплексирование данных бортовых координаторов цели в группе противокорабельных ракет. Сб. тр. научн.-техн. конф. «Состояние, проблемы и перспективы создания корабельных информационно-управляющих комплексов». – М.: ОАО «Концерн «Моринформсистема-Агат», 2010. – С. 44-48.

**Анцев Георгий Владимирович**

ОАО «Научно-производственное предприятие «Радар-ммс».  
E-mail: radar@radar-mms.com.  
197375, г. Санкт-Петербург, ул. Новосельковская, 37.  
Тел.: 88123021616.

**Борисов Евгений Геннадьевич**

**Турнецкий Леонид Сергеевич**

**Ancev Georgiy Vladimirovich**

Joint-Stock Company «Radar mms».  
E-mail: radar@radar-mms.com.  
37, Novoselkovskay St., 197375, St. Petersburg, Russia.  
Phone: 88123021616.

**Borisov Eugeny Gennadjevich**

**Turnezkiy Leonid Sergeevich**

УДК 621.397.3:536.3

**В.А. Павлова, С.Н. Крюков, Р.К. Каркаева, М.В. Созинова**

**АВТОМАТИЧЕСКОЕ КОМПЬЮТЕРНОЕ РАСПОЗНАВАНИЕ НАЗЕМНЫХ И МОРСКИХ ОБЪЕКТОВ**

*В данной работе предлагается методика и алгоритмы автоматического распознавания наземных и морских объектов, основанные на цифровой обработке изображений, получаемых на борту летательных аппаратов (ЛА), снабженных оптико-электронной системой (ОЭС), позволяющей получать поток изображений подстилающей земной поверхности с находящимися там объектами обнаружения. ОЭС может работать как в диапазоне видимого участка спектра, так и в различных диапазонах ИК спектра.*

*Летательные аппараты; оптико-электронная система (ОЭС).*

**V.A. Pavlova, S.N. Kryukov, R.K. Karkaev, M.V. Cozinova**

**AUTOMATIC TARGET RECOGNITION (ATR) OF GROUND BASED AND SEA OBJECTS**

*In the report the ATR algorithms and methodics are proposed, which are founded on the methods and theory of digital image processing. The algorithms were created and investigated for the images got on the airplane board with the help of Optical Electronic System (OES) giving the possibilities to get the image streams from the earth and sea surfaces (with the objects of interest). The OES works both in visible and infra-red ranges of lighting.*

*Airplane board; Optical Electronic System (OES).*

**1. База эталонных изображений.** База эталонных изображений включает в себя, помимо изображений и их характеристик, еще и данные о параметрах получения этих изображений, таких как дальность до объекта, вертикальный и горизонтальный углы съемки (для наземных целей угол отсчитывается от направления