

**Согласование работы  
автономной информационной и управляющей системы  
и исполнительного устройства  
при исключении систематических ошибок**

© А.Б. Борзов, Г.Л. Павлов, Н.С. Соболева

МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, 105005, Россия

*Рассмотренные варианты построения автономных информационных и управляющих систем, обеспечивающих согласованную работу этих систем и исполнительного устройства в виде боевой части осколочного типа, повышают эффективность функционирования таких систем в широком диапазоне скоростей. Варианты построения автономных информационных и управляющих систем с качанием диаграммы направленности или с задержкой в выдаче команды управления на исполнительное устройство позволяют исключить систематические ошибки, в основном определяющие ширину конуса разлета элементов исполнительного устройства. При этом в конструкциях автономных информационных и управляющих систем с одной антенной системой качание диаграммы направленности и реализация закона задержки осуществляются в пределах широкого диапазона скоростей.*

*Для вариантов конструкций автономных информационных и управляющих систем с двумя антенными системами вдвое сужается диапазон условий встречи боеприпаса с целью, в котором происходит качание диаграмм направленности или задержка в выдаче команды управления по сравнению с вариантами, имеющими одну антенную систему. Анализ согласованной работы указанных устройств выполнен методом экспресс-оценки эффективности на начальном этапе проектирования с использованием годографа относительных скоростей, описывающего широкий диапазон скоростей.*

**Ключевые слова:** антенная система, качание диаграммы направленности, угол наклона диаграммы направленности, конус разлета элементов, годограф относительных скоростей, систематические ошибки, случайные ошибки, задержка в выдаче команды, команда управления

**Введение.** При проектировании боеприпасов систем земля — воздух и воздух — воздух, используемых в широком диапазоне скоростей, важными задачами являются выбор основных характеристик автономной информационной и управляющей системы (АИУС) и исполнительного устройства (ИУ) и оценка их согласованной работы. При этом используют АИУС в виде радиолокационной системы ближней локации [1, 2] и ИУ в виде боевой части осколочного типа [3, 4].

В работах [5, 6] рассмотрены вопросы взаимодействия АИУС с воздушной целью и выполнены оценки эффективности функционирования АИУС и ИУ, исходя из условий накрытия цели потоком

элементов. Обычно эти оценки выполняют на завершающих этапах проектирования. Обоснованный выбор параметров и вариантов построения АИУС и ИУ на более ранних стадиях проектных работ существенно облегчает процесс проектирования.

Цель настоящей статьи — анализ согласованной работы АИУС и ИУ для широкого диапазона скоростей. В процессе анализа, выполняемого на начальных этапах проектирования, совместно выбирают основные параметры АИУС и ИУ для вариантов построения АИУС, которые позволяют исключить систематические ошибки. Решения получают, используя алгоритм экспресс-оценки эффективности, а именно векторным анализом на основе кинематических схем с использованием годографа относительных скоростей, позволяющего геометрически описать широкий диапазон скоростей [7].

Использование варианта построения АИУС с постоянным углом наклона диаграммы направленности  $\varphi$  приводит к возникновению существенных систематических ошибок, определяемых диапазоном относительных скоростей  $\bar{V}_0$ . В работе АИУС возникают также случайные ошибки: первого рода, обусловленные воздействием случайных факторов, и второго рода, возникающие вследствие асимметрии области срабатывания АИУС и области реагирования ИУ на непараллельных курсах. Обычно при выполнении анализа на начальных этапах проектирования случайные ошибки не рассматривают и при оценке эффективности ограничиваются определением ширины конуса разлета элементов по уровню систематических ошибок в работе АИУС.

Необходимость компенсации систематических ошибок при конструкции ИУ в виде боевой части осколочного типа обуславливает значительное расширение конуса разлета поражающих элементов, что существенно снижает эффективность функционирования ИУ [3, 4, 7].

Для повышения эффективности ИУ необходимо сужать ширину конуса разлета элементов. Существуют технические решения, позволяющие уменьшать значения систематических ошибок в работе АИУС и тем самым сужать конус разлета элементов боевой части [8]. Однако более эффективны решения, обеспечивающие исключение систематических ошибок в пределах широкого диапазона условий встречи боеприпаса с целью [9].

В статье рассматриваются варианты построения АИУС с одной антенной системой и качанием диаграммы направленности или с задержкой в выдаче команды управления АИУС на ИУ [9]. Рассмотрены также варианты построения АИУС с двумя антенными системами [10] при качании их диаграмм направленности или при реализации законов задержки в каждом из рассматриваемых диапазонов. При исключении систематических ошибок ширину конуса разлета элемен-



фу относительных скоростей для средней точки диапазона  $\bar{V}_{01} \dots \bar{V}_{02}$  на параллельном курсе, т. е. для скорости  $\bar{V}_{0\text{cp}}$ , которой соответствует угол  $\varphi_{\text{cp}}$  (см. рис. 1). При скорости  $\bar{V}_{0\text{cp}}$  согласованная работа АИУС и ИУ обеспечена, поскольку локация цели будет происходить в точке  $C_{\text{ц}}$ . В то же время при других относительных скоростях в диапазоне  $\bar{V}_{01} \dots \bar{V}_{02}$  в работе АИУС возникают ошибки. Для граничных скоростей  $\bar{V}_{01}$  и  $\bar{V}_{02}$  диапазона ошибки достигнут максимальных значений — соответственно  $\Delta\bar{\varphi}_1$  и  $\Delta\bar{\varphi}_2$ . Эти ошибки называют систематическими [7]. Суммарная систематическая ошибка для рассматриваемого диапазона составит  $2\Delta\bar{\varphi} = \Delta\bar{\varphi}_1 + \Delta\bar{\varphi}_2$ . Чтобы обеспечить согласованную работу АИУС и ИУ в диапазоне относительных скоростей  $\bar{V}_{01} \dots \bar{V}_{02}$ , необходимо компенсировать систематические ошибки путем расширения конуса разлета элементов боевой части до значения  $2\Delta\bar{\mu}$ , определяемого положением точек на отрезке  $B_1B_2$ . Это существенно снижает эффективность функционирования ИУ.

Ширину полученного конуса можно оценить по соотношению

$$\Delta\bar{\mu} \cong \sin \Delta\bar{\mu} = \frac{V_{02} - V_{01}}{2V_{\text{ст}}}.$$

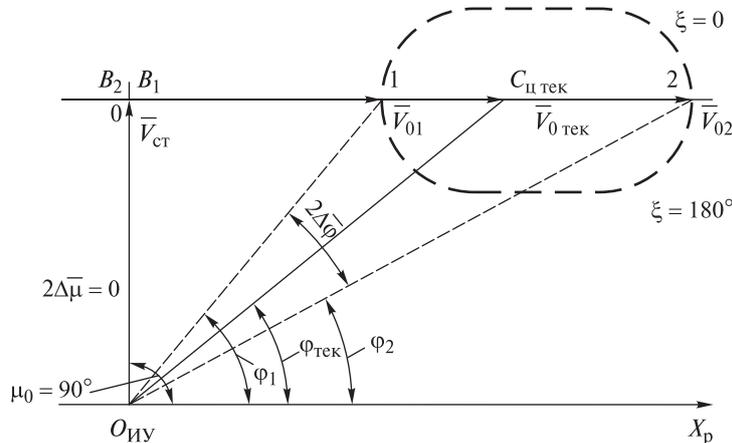
На практике используют методы согласования, обеспечивающие эффективную работу АИУС и ИУ и позволяющие существенно уменьшить уровень систематических ошибок, но не исключить их [8].

Рассмотрим конструкции АИУС, позволяющие исключить систематические ошибки в их работе.

**АИУС с одной антенной системой и качанием диаграммы направленности.** Пусть условия встречи боеприпаса с целью заданы годографом относительных скоростей (рис. 2). Применяется ИУ в виде боевой части осколочного типа, установлена скорость разлета элементов в статике  $\bar{V}_{\text{ст}}$ , вектор которой составляет с осью  $X_p$  угол  $\mu_0 = 90^\circ$ , выбрана конструкция АИУС с переменным углом наклона диаграммы направленности  $\varphi_{\text{тек}}$ . Рассмотрим диапазон относительных скоростей  $\bar{V}_{01} \dots \bar{V}_{02}$  и выполним построения, приняв:  $\tau = 1$  с, воздушная цель — точка, диаграмма направленности АИУС — прямая линия.

Для каждой из относительных скоростей  $\bar{V}_0$  рассматриваемого диапазона может быть определен свой угол наклона диаграммы направленности АИУС. Так, для крайних скоростей диапазона — минимальной  $\bar{V}_{01}$  и максимальной  $\bar{V}_{02}$  — это соответственно углы  $\varphi_1$

и  $\varphi_2$ , определяющие максимальный уровень систематических ошибок  $2\Delta\bar{\varphi}$  и диапазон  $\varphi_1 \dots \varphi_2$  изменения угла  $\varphi$  для заданных скоростей [9].



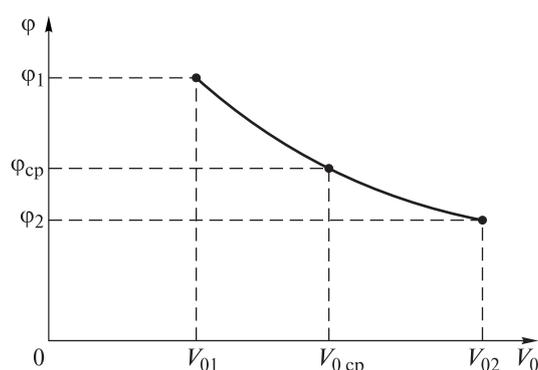
**Рис. 2.** Согласование АИУС и ИУ для варианта построения АИУС с качанием диаграммы направленности

При выборе варианта построения АИУС с качанием диаграммы направленности, т. е. с переменным углом  $\varphi$ , необходимо для обеспечения согласованной работы АИУС и ИУ в диапазоне скоростей  $\bar{V}_{01} \dots \bar{V}_{02}$  устанавливать для каждой относительной скорости требуемый угол наклона диаграммы направленности АИУС (см. рис. 2). Например, текущей относительной скорости  $\bar{V}_{0 \text{тек}}$  соответствует угол  $\varphi_{\text{тек}}$ , локация цели при этом происходит в точке  $C_{\text{ц тек}}$ . При изменении относительной скорости  $\bar{V}_0$  от  $\bar{V}_{01}$  до  $\bar{V}_{02}$  угол  $\varphi$  должен изменяться в пределах  $\varphi_1 \dots \varphi_2$ . Это позволит исключить систематические ошибки в работе АИУС:  $2\Delta\bar{\varphi} = 0$ . При отсутствии систематических ошибок точки  $B_1$  и  $B_2$  совпадут с точкой 0 (см. рис. 2) и, следовательно, ширина конуса разлета элементов, обусловленная систематическими ошибками в работе АИУС, будет равна нулю:  $2\Delta\bar{\mu} = 0$ .

Для реализации такого метода согласованной работы АИУС и ИУ при проектировании должен быть определен закон изменения угла  $\varphi$  от модуля относительной скорости  $|\bar{V}_0|$ :  $\varphi = F(V_0)$  (рис. 3).

При этом на борту для конкретных условий встречи боеприпаса с целью должна быть получена информация о модуле относительной скорости  $|\bar{V}_0|$ . На основе полученной информации устройство-вычислитель определяет требуемый для этой скорости угол  $\varphi$ , а блок

управления положением диаграммы направленности обеспечивает установку необходимого угла. Угол  $\varphi$  можно изменять электрическим или механическим способом. Электрический способ сводится к соответствующему изменению длины волны передатчика, от которой зависит положение диаграммы направленности, механический способ — к изменению угла наклона диаграммы направленности относительно оси боеприпаса. Такой метод согласования достаточно сложен в технической реализации, поскольку качание диаграммы направленности должно выполняться в значительном диапазоне углов  $2\Delta\bar{\varphi}$ , определяемых диапазоном относительных скоростей  $\bar{V}_{01} \dots \bar{V}_{02}$ .

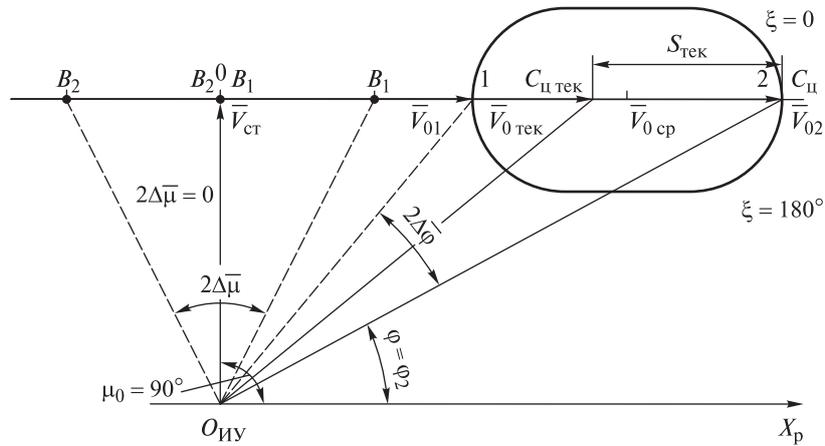


**Рис. 3.** Закон качания диаграммы направленности АИУС  $\varphi = F(V_0)$  в диапазоне относительных скоростей  $\bar{V}_{01} \dots \bar{V}_{02}$

При построении годографа относительных скоростей учитывают условия встречи не только на параллельных, но и на пересекающихся курсах. Тогда ширину конуса разлета элементов ИУ, при которой будет обеспечена его согласованная работа с АИУС, определяют случайные ошибки в работе АИУС.

**АИУС с одной антенной системой и задержкой в выдаче команды управления на ИУ.** Исключить систематические ошибки в работе АИУС можно, если использовать вариант построения АИУС с постоянным углом  $\varphi$  и блоком задержки в выдаче команды управления АИУС на ИУ в диапазоне относительных скоростей  $\bar{V}_{01} \dots \bar{V}_{02}$ .

Пусть условия встречи боеприпаса с целью заданы годографом относительных скоростей (рис. 4). Применяется ИУ в виде боевой части осколочного типа, установлена скорость разлета элементов в статике  $\bar{V}_{ст}$ , вектор которой составляет с осью  $X_p$  угол  $\mu_0 = 90^\circ$ , выбрана конструкция АИУС с постоянным углом  $\varphi$  и блоком задержки в выдаче команды управления АИУС на ИУ. При построениях принято:  $\tau = 1$  с, воздушная цель — точка, диаграмма направленности АИУС — прямая линия.



**Рис. 4.** Согласование работы АИУС и ИУ для варианта построения АИУС с задержкой в выдаче команды управления АИУС на ИУ

Рассмотрим диапазон относительных скоростей  $\bar{V}_{01} \dots \bar{V}_{02}$ , определяемый минимальной  $\bar{V}_{01}$  и максимальной  $\bar{V}_{02}$  относительными скоростями. Используется вариант АИУС с постоянным углом  $\phi$ , значение которого выбирают по максимальной относительной скорости в рассматриваемом диапазоне —  $\bar{V}_{02}$ , т. е.  $\phi = \text{const} = \phi_2$ . Отметим, что угол  $\phi$  — минимально возможный угол наклона диаграммы направленности для рассматриваемого диапазона  $\bar{V}_{01} \dots \bar{V}_{02}$ . При этом локация цели при любой относительной скорости в диапазоне выполняется в точке  $C_{ц}$ , но только при скорости  $\bar{V}_{02}$  будет обеспечена согласованная работа АИУС и ИУ, т. е. отсутствует систематическая ошибка в работе АИУС. Для других относительных скоростей в диапазоне  $\bar{V}_{01} \dots \bar{V}_{02}$  АИУС срабатывает с систематической ошибкой  $\Delta\bar{\phi}$ , которая увеличивается при уменьшении относительной скорости и достигает максимального значения  $2\Delta\bar{\phi}$  при минимальной относительной скорости  $\bar{V}_{01}$  [9].

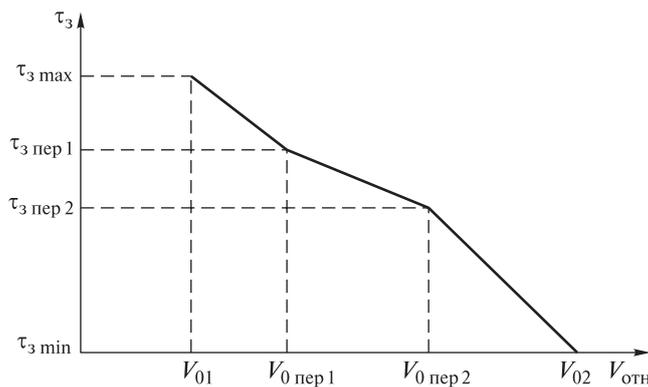
Рассмотрим в диапазоне относительных скоростей  $\bar{V}_{01} \dots \bar{V}_{02}$  некоторую текущую относительную скорость  $\bar{V}_{0 \text{тек}}$ . Отметим, что для обеспечения согласованной работы АИУС и ИУ при этой относительной скорости локация цели должна происходить в точке  $C_{ц \text{тек}}$ . Но поскольку при рассматриваемой конструкции АИУС при  $\phi = \text{const}$  локация цели всегда выполняется в точке  $C_{ц}$ , это приводит к появлению систематической ошибки в работе АИУС. Исключить ошибку можно путем задержки в выдаче команды управления АИУС на ИУ. Время задержки оценивают по соотношению

$$\tau_3 = \frac{S_{\text{тек}}}{V_{0 \text{ тек}}},$$

где  $\tau_3$  — время задержки в выдаче команды управления АИУС на ИУ, мс;  $S_{\text{тек}}$  — расстояние, которое необходимо пройти цели от точки локации  $C_{\text{ц}}$  до точки  $C_{\text{ц тек}}$ , в которой будет обеспечена согласованная работа АИУС и ИУ, м;  $\bar{V}_{0 \text{ тек}}$  — скорость перемещения цели в относительном движении, м/с.

Таким образом, будет обеспечена согласованная работа АИУС и ИУ для относительной скорости  $\bar{V}_{0 \text{ тек}}$ .

При реализации этого метода согласования в процессе проектирования АИУС выполняют расчет времени задержки  $\tau_3$  для каждой относительной скорости в диапазоне  $\bar{V}_{01} \dots \bar{V}_{02}$  и построение закона задержки  $\tau_3 = F(V_0)$  (рис. 5). Из рисунка ясно, что максимальная задержка в выдаче команды управления АИУС необходима при минимальной относительной скорости  $\bar{V}_{01}$  в диапазоне  $\bar{V}_{01} \dots \bar{V}_{02}$ . Для максимальной относительной скорости  $\bar{V}_{02}$  задержка равна нулю. Чтобы упростить техническую реализацию закона задержки, его аппроксимируют отрезками ломаной линии, выбирая несколько точек переключения  $V_{0 \text{ пер}1}$ ,  $V_{0 \text{ пер}2}$  в диапазоне относительных скоростей  $\bar{V}_{01} \dots \bar{V}_{02}$  (см. рис. 5).



**Рис. 5.** Закон задержки  $\tau_3 = F(V_0)$  в выдаче команды управления АИУС на ИУ для диапазона относительных скоростей  $\bar{V}_{01} \dots \bar{V}_{02}$

При использовании этого метода согласования на борту для конкретных условий встречи боеприпаса с целью должна быть получена информация о модуле относительной скорости  $|\vec{V}_0|$ . На основе этой информации блок задержки устанавливает требуемое время задержки  $\tau_3$  в выдаче команды управления с АИУС на ИУ для относительной скорости  $\vec{V}_0$ . Закон задержки в виде ломаной линии может быть легко реализован в низкочастотном тракте. Такой метод согласования более прост в технической реализации по сравнению с методом качания диаграммы направленности.

Если условия встречи описаны годографом относительных скоростей, т. е. рассматриваются условия встречи не только на параллельных, но и на пересекающихся курсах, ширину конуса разлета элементов ИУ, при которой будет обеспечена согласованная работа АИУС и ИУ, определяют случайные ошибки в работе АИУС.

**Вариант построения АИУС с двумя антенными системами.** Использование конструкции АИУС с двумя антенными системами дает возможность разделить диапазон относительных скоростей  $\vec{V}_{01} \dots \vec{V}_{02}$  на два равных диапазона I и II (рис. 6). Для каждого из них устанавливают необходимый угол наклона диаграммы направленности — соответственно  $\varphi_1$  и  $\varphi_2$ , определяемые по средним относительным скоростям диапазонов. Точки  $C_{цI}$  и  $C_{цII}$  — точки локализации цели для каждого диапазона [8].

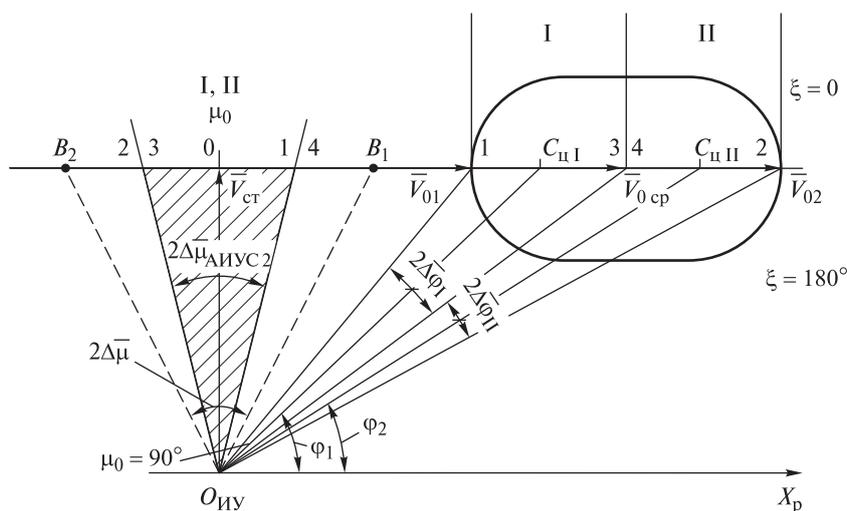


Рис. 6. Ширина конуса для варианта построения АИУС с двумя антенными системами

Поскольку каждая антенная система работает в диапазоне скоростей, который вдвое уже (см. рис. 6), систематические ошибки уменьшаются в 2 раза — до  $2\Delta\bar{\varphi}_I$  и  $2\Delta\bar{\varphi}_{II}$ , также в 2 раза сужается конус разлета элементов — до  $2\Delta\bar{\mu}_{\text{АИУС}2}$  по сравнению с широким конусом разлета элементов  $2\Delta\bar{\mu}$ . Ширина конуса разлета элементов в этом случае может быть определена по соотношению (см. рис. 6)

$$\Delta\bar{\mu}_{\text{АИУС}2} \cong \sin \Delta\mu_{\text{АИУС}2} = \frac{V_{02} - V_{01}}{2nV_{\text{ст}}}, \quad n = 2.$$

Для реализации метода на борту должна быть получена информация о модуле относительной скорости  $|\bar{V}_0|$  для конкретных условий встречи боеприпаса с целью. Устройство сравнения определяет, в какой из диапазонов, I или II, попадает реальная относительная скорость, и система управления включает необходимую антенную систему. Если имеется информация о стрельбе навстречу или вдогон, то подключение соответствующей антенной системы может выполняться перед пуском.

**АИУС с двумя антенными системами и качанием их диаграмм направленности.** Пусть условия встречи боеприпаса с целью заданы годографом относительных скоростей. Применяется ИУ в виде боевой части осколочного типа, установлена скорость разлета элементов в статике  $\bar{V}_{\text{ст}}$ , вектор которой составляет с осью  $X_p$  угол  $\mu_0 = 90^\circ$ , выбран вариант построения АИУС с двумя антенными системами и качанием их диаграммы направленности.

Рассмотрим диапазон относительных скоростей  $\bar{V}_{01} \dots \bar{V}_{02}$  и выполним построения, приняв:  $\tau = 1$  с, воздушная цель — точка, диаграмма направленности — прямая линия. Использование АИУС с двумя антеннами позволяет разделить широкий интервал относительных скоростей  $\bar{V}_{01} \dots \bar{V}_{02}$  на два диапазона: I — малые относительные скорости  $\bar{V}_{01} \dots \bar{V}_{03}$ ; II — большие относительные скорости  $\bar{V}_{04} \dots \bar{V}_{02}$  (рис. 7). В каждом из этих диапазонов работает соответствующая антенная система. Как показано выше, это дает возможность для каждого диапазона вдвое уменьшить систематические ошибки в работе АИУС: с  $2\Delta\bar{\varphi}$  до  $\Delta\bar{\varphi}_I = \varphi_1 - \varphi_3$  и  $\Delta\bar{\varphi}_{II} = \varphi_4 - \varphi_2$  (см. рис. 7). При этом требуемая ширина конуса разлета элементов боевой части по систематическим ошибкам также уменьшится вдвое: с  $2\Delta\bar{\mu}$  до  $2\Delta\bar{\mu}_{\text{АИУС}2}$ .



В диапазоне II относительных скоростей  $\bar{V}_{04} \dots \bar{V}_{02}$ , соответствующих точкам 4 и 2 на рис. 7, качание диаграммы направленности АИУС можно обеспечить, если устанавливать для каждой относительной скорости в диапазоне II требуемый угол  $\varphi$ . Например, текущей относительной скорости  $\bar{V}_{0 \text{тек}}$  соответствует угол  $\varphi_{\text{тек II}}$ , локация цели при этом происходит в точке  $C_{\text{ц тек II}}$ . При изменении относительной скорости  $\bar{V}_0$  от  $\bar{V}_{04}$  до  $\bar{V}_{02}$  угол  $\varphi$  должен изменяться в пределах  $\varphi_4 \dots \varphi_2$ . Каждый из этих углов можно определить построением с использованием годографа относительных скоростей [10]. Для граничных скоростей диапазона — минимальной  $\bar{V}_{04}$  и максимальной  $\bar{V}_{02}$  — это соответственно углы  $\varphi_4$  и  $\varphi_2$ , которые определяют диапазон  $\varphi_4 \dots \varphi_2$  изменения угла  $\varphi$  и максимальный уровень систематических ошибок  $\Delta \bar{\varphi}_{\text{II}} = \varphi_4 - \varphi_2$ . Качание диаграммы направленности в диапазоне II скоростей позволит исключить систематические ошибки  $\Delta \bar{\varphi}_{\text{II}}$  в работе АИУС, которые окажутся равными нулю:  $\Delta \bar{\varphi}_{\text{II}} = 0$ . Тогда (см. рис. 7) ширина конуса разлета элементов, обусловленная систематическими ошибками в работе АИУС, также будет равна нулю:  $2\Delta \bar{\mu}_{\text{АИУС 2}} = 0$ .

Качание диаграмм направленности антенн в диапазонах I и II относительных скоростей и, следовательно, исключение систематических ошибок в работе АИУС:  $\Delta \bar{\varphi}_I = 0$  и  $\Delta \bar{\varphi}_{\text{II}} = 0$  обуславливают необходимость расчета для каждого из диапазонов, I и II, закона изменения угла  $\varphi$  в зависимости от модуля относительной скорости  $|\bar{V}_0|$ , т. е.  $\varphi = F(V_0)$ . В соответствии с этими законами выполняется качание диаграммы направленности каждой антенной системы. На рис. 8, а, б соответственно для диапазонов I и II относительных скоростей представлены законы изменения угла  $\varphi$  в зависимости от модуля относительной скорости  $|\bar{V}_0|$ .

Для реальной относительной скорости  $|\bar{V}_0|$  устройство-вычислитель по закону  $\varphi = F(V_0)$  определяет требуемый угол  $\varphi$ , а блок управления выполняет установку диаграммы направленности в соответствии с этим углом.

Метод обеспечения согласованной работы АИУС и ИУ при использовании варианта АИУС с двумя антенными системами и качанием их диаграмм направленности оказывается более простым, нежели применение АИУС с одной антенной системой. Качание диа-

грамм направленности каждой из двух антенных систем производится в пределах вдвое меньшего угла  $\Delta\bar{\varphi}_I$  или  $\Delta\bar{\varphi}_{II}$ , чем для АИУС с одной антенной системой, качание диаграммы направленности которой выполняется в пределах угла  $2\Delta\bar{\varphi}$ , пропорционального широкому диапазону скоростей [10]. При этом необходимый угол наклона диаграммы направленности каждой антенны уменьшается в 2 раза, что упрощает реализацию таких конструкций.

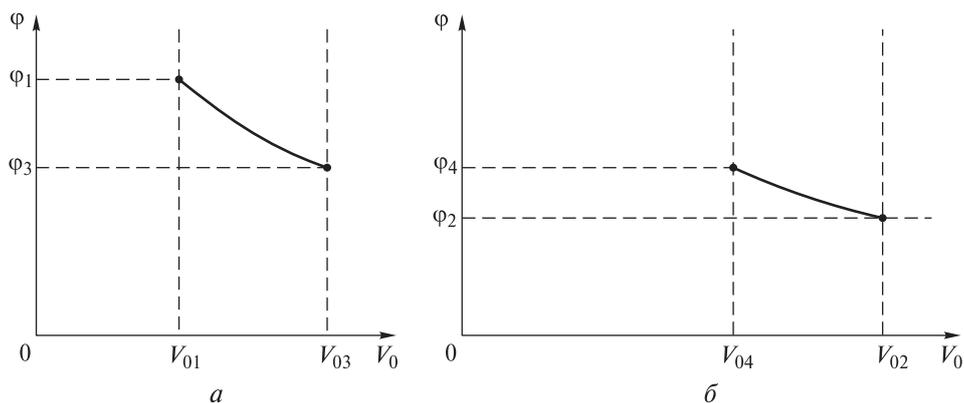


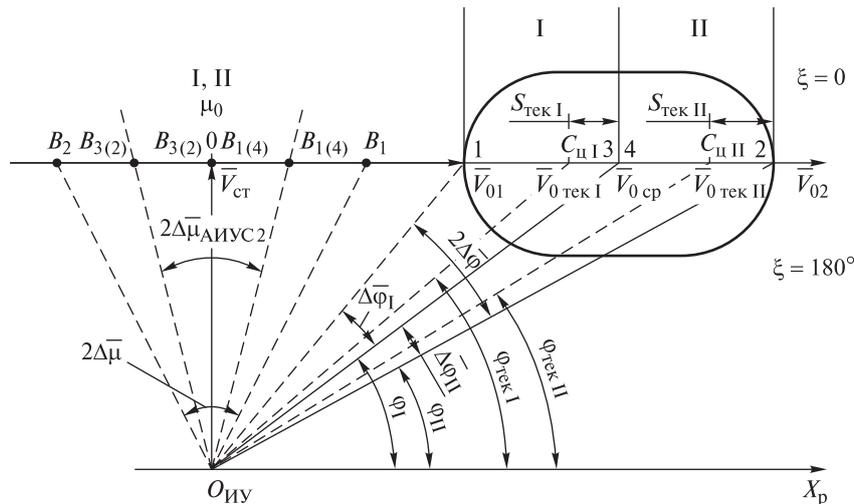
Рис. 8. Законы качания диаграмм направленности АИУС  $\varphi = F(V_0)$  для диапазонов I (а) и II (б) относительных скоростей

Если условия встречи описаны годографом относительных скоростей, т. е. рассматриваются условия встречи не только на параллельных, но и на пересекающихся курсах, ширину конуса разлета элементов ИУ, при которой будет обеспечена согласованная работа АИУС и ИУ, определяют случайные ошибки в работе АИУС.

**АИУС с двумя антенными системами и задержкой в выдаче команды управления на ИУ.** Пусть условия встречи боеприпаса с целью заданы годографом относительных скоростей (рис. 9). Применяется ИУ в виде боевой части осколочного типа, установлена скорость разлета элементов в статике  $\bar{V}_{ст}$ , вектор которой составляет с осью  $X_p$  угол  $\mu_0 = 90^\circ$ , выбран вариант построения АИУС с двумя антенными системами и задержкой в выдаче команды управления АИУС на ИУ.

Рассмотрим диапазон относительных скоростей  $\bar{V}_{01} \dots \bar{V}_{02}$  и выполним построения, приняв:  $\tau = 1$  с, цель — точка, диаграмма направленности — прямая линия. Использование АИУС с двумя антеннами позволяет разделить широкий интервал относительных скоростей  $\bar{V}_{01} \dots \bar{V}_{02}$  на два диапазона: I — малые относительные скорости  $\bar{V}_{01} \dots \bar{V}_{03}$ ; II — большие относительные скорости  $\bar{V}_{04} \dots \bar{V}_{02}$ . В каждом

из этих диапазонов работает соответствующая антенная система. Как показано в [10], это дает возможность для каждого диапазона вдвое уменьшить систематические ошибки в работе АИУС: с  $2\Delta\bar{\varphi}$  до  $\Delta\bar{\varphi}_I$  и  $\Delta\bar{\varphi}_{II}$  (см. рис. 9). При этом требуемая ширина конуса разлета элементов ИУ по систематическим ошибкам также уменьшится вдвое: с  $2\Delta\bar{\mu}$  до  $2\Delta\bar{\mu}_{\text{АИУС}2}$ .



**Рис. 9.** Исключение систематических ошибок для варианта построения АИУС с двумя антенными системами и задержкой в выдаче команды управления в каждом диапазоне

Для исключения систематических ошибок  $\Delta\bar{\varphi}_I$ ,  $\Delta\bar{\varphi}_{II}$  необходимо обеспечить задержку  $\tau_3$  в выдаче команды управления АИУС на ИУ для каждой относительной скорости в соответствующем диапазоне условий встречи, I или II.

Рассмотрим диапазон I относительных скоростей  $\bar{V}_{01} \dots \bar{V}_{03}$ , соответствующих точкам 1 и 3 на рис. 9. При введении задержки угол наклона диаграммы направленности АИУС, выбираемый по максимальной в этом диапазоне скорости  $\bar{V}_{03}$ , соответствует углу  $\varphi_I$ . При этом локация цели происходит в точке  $C_{ц I}$ . Для других скоростей этого диапазона возникают систематические ошибки  $\Delta\bar{\varphi}_I$ . Введение задержки в выдаче команды управления АИУС на ИУ в диапазоне I скоростей позволит исключить систематические ошибки  $\Delta\bar{\varphi}_I$  в его работе, которые окажутся равными нулю:  $\Delta\bar{\varphi}_I = 0$ . При отсутствии систематических ошибок ширина конуса разлета элементов, обусловленная этими ошибками, также будет равна нулю:  $2\Delta\bar{\mu}_{\text{АИУС}2} = 0$ .

В диапазоне II относительных скоростей  $\bar{V}_{04} \dots \bar{V}_{02}$ , соответствующих точкам 4 и 2 на рис. 9, угол  $\varphi_{II}$  будет выбираться по максимальной в этом диапазоне скорости  $\bar{V}_{02}$ . Локация цели будет происходить в точке  $C_{цII}$ , и появятся систематические ошибки  $\Delta\bar{\varphi}_{II}$ . Обеспечить согласованную работу АИУС и ИУ для этого диапазона можно, если вводить для каждой относительной скорости диапазона II требуемую задержку времени  $\tau_3$ . При граничных скоростях диапазона для минимальной скорости в диапазоне  $\bar{V}_{04}$  задержка окажется максимальной, а для максимальной скорости  $\bar{V}_{02}$  будет равна нулю. Введение задержки позволит исключить систематические ошибки  $\Delta\bar{\varphi}_{II}$  в работе АИУС, которые окажутся равными нулю:  $\Delta\bar{\varphi}_{II} = 0$ . При отсутствии систематических ошибок ширина конуса разлета элементов, обусловленная этими ошибками в работе АИУС, также будет равна нулю:  $2\Delta\bar{\mu}_{АИУС2} = 0$ .

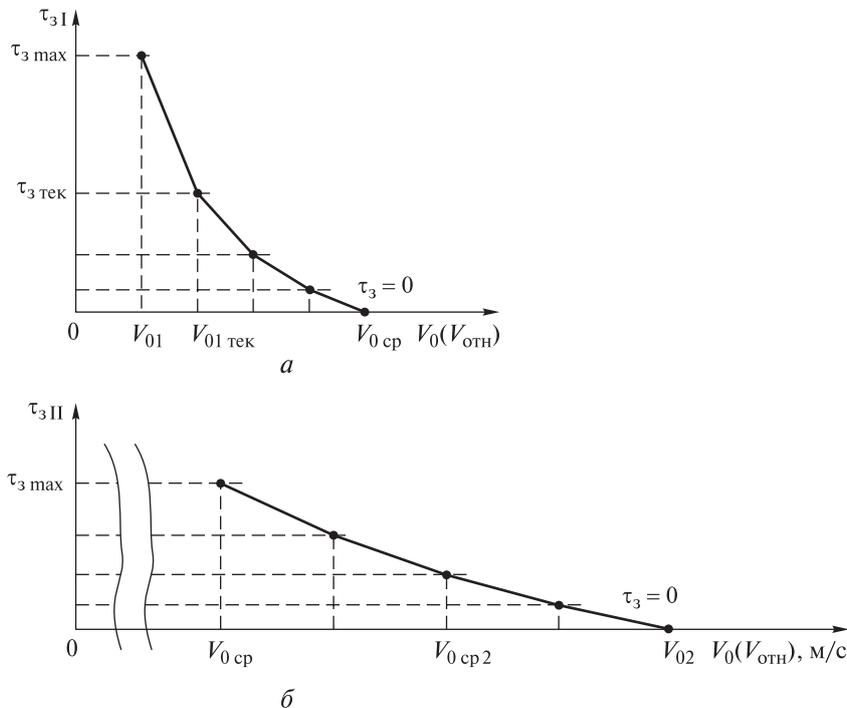
Задержка времени  $\tau_3$  в диапазонах I и II относительных скоростей и, следовательно, исключение систематических ошибок в работе взрывателя:  $\Delta\bar{\varphi}_I = 0$  и  $\Delta\bar{\varphi}_{II} = 0$  требуют расчета для каждого диапазона, I и II, закона задержки:  $\tau_{3I} = F(V_0)$  и  $\tau_{3II} = F(V_0)$ . На рис. 10, а, б соответственно для диапазонов I и II относительных скоростей представлены законы изменения времени задержки в зависимости от модуля относительной скорости  $|\bar{V}_0|$ .

Для реализации конструкции АИУС с двумя антенными системами и задержкой в выдаче команды управления на борту для конкретных условий встречи боеприпаса с целью необходимо получать информацию о модуле относительной скорости  $|\bar{V}_0|$ , по которой выбираются диапазон и требуемое время задержки.

Метод обеспечения согласованной работы АИУС и ИУ при использовании варианта построения АИУС с двумя антенными системами и задержкой в выдаче команды управления оказывается более простым, нежели применение конструкции АИУС с одной антенной системой. Реализация задержки в выдаче команды управления при этом осуществляется во вдвое более узком диапазоне относительных скоростей, чем для АИУС с одной антенной системой, работающей в широком диапазоне скоростей.

Итак, исключить систематические ошибки в работе АИУС можно, если использовать две антенные системы, каждая из которых работает только в определенном диапазоне скоростей при осуществлении законов задержки в каждом диапазоне. При этом реализация

закона задержки выполняется только в конкретном диапазоне, что уменьшает длительность времени задержки и упрощает реализацию таких конструкций.



**Рис. 10.** Законы задержки  $\tau_3 = F(V_0)$  в выдаче команды управления АИУС на ИУ для диапазонов I (а) и II (б) относительных скоростей

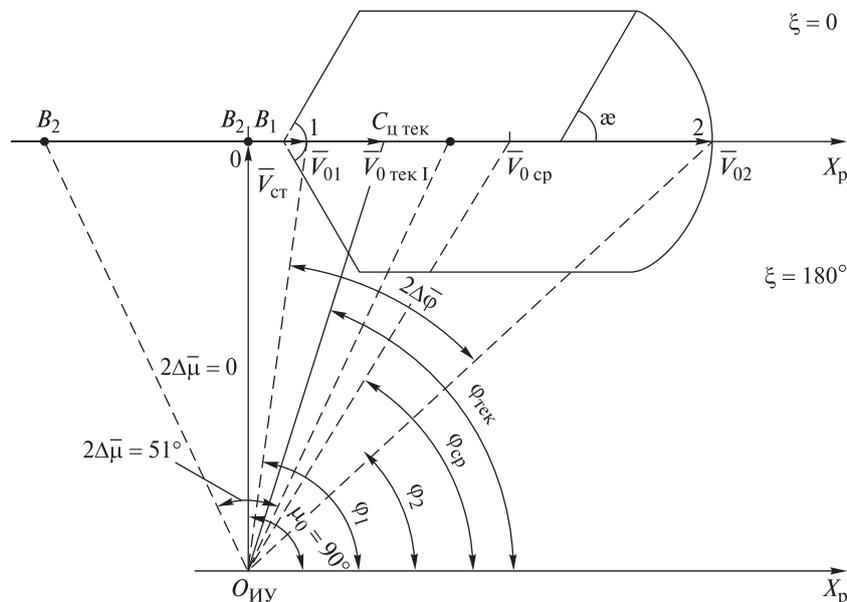
Если учитывать условия встречи не только на параллельных, но и на пересекающихся курсах, описанные годографом относительных скоростей, то ширину конуса разлета элементов ИУ, при которой будет обеспечена согласованная его работа с АИУС, определяют случайные ошибки в работе АИУС [7].

Далее представлены примеры графического анализа согласованной работы рассмотренных выше вариантов построения АИУС для штатного варианта боеприпаса. Рассматриваются следующие условия встречи штатного варианта боеприпаса и воздушной цели, заданные диапазоном скоростей ракеты  $\bar{V}_{p \max} \dots \bar{V}_{p \min} = 1700 \dots 300 \text{ м/с}$ , диапазоном скоростей воздушной цели  $\bar{V}_{ц \max} \dots \bar{V}_{ц \min} = 850 \dots 130 \text{ м/с}$ , диапазоном угла встречи  $\kappa = 0 \dots 60^\circ$  при ограничениях угла пеленга  $\varepsilon = 60^\circ$ . Для стандартного ИУ в виде боевой части осколочного типа задана скорость разлета элементов в статике  $\bar{V}_{ст} = 2500 \text{ м/с}$ .

Поскольку условия встречи в рассматриваемых примерах описаны годографом относительных скоростей, т. е. анализируются условия встречи не только на параллельных, но и на пересекающихся курсах, то ширину конуса разлета элементов боевой части, при которой будет обеспечена согласованная работа АИУС и ИУ, в случаях исключения систематических ошибок определяют только случайные ошибки в работе АИУС.

**АИУС с постоянным углом наклона диаграммы направленности.** Оценим условия согласованной работы АИУС и ИУ для предлагаемых условий встречи боеприпаса с воздушной целью при варианте построения АИУС с постоянным углом  $\varphi$ .

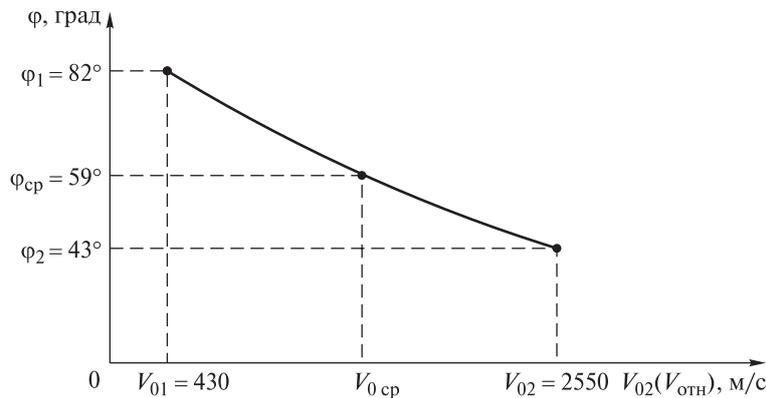
Построим годограф относительных скоростей (рис. 11) для указанных выше условий встречи и для заданной скорости  $\bar{V}_{ст} = 2500$  м/с найдем средний угол  $\varphi_{ср}$  по средней относительной скорости  $\bar{V}_{0ср}$  в диапазоне относительных скоростей  $\bar{V}_{01} \dots \bar{V}_{02}$ . Для конструкции АИУС с постоянным углом наклона диаграммы направленности именно угол  $\varphi_{ср}$  выбирают в качестве угла наклона диаграммы направленности, т. е.  $\varphi = \varphi_{ср}$ . В этом случае согласованная работа АИУС и ИУ будет обеспечена только при скорости  $\bar{V}_{0ср}$ , а для других скоростей в диапазоне  $\bar{V}_{01} \dots \bar{V}_{02}$  в работе АИУС возникают систематические ошибки  $2\Delta\bar{\varphi} = \Delta\bar{\varphi}_1 + \Delta\bar{\varphi}_2$ .



**Рис. 11.** Согласование работы АИУС и ИУ для варианта построения АИУС с качанием диаграммы направленности для штатного варианта боеприпаса

Для того чтобы обеспечить согласованную работу АИУС и ИУ в диапазоне относительных скоростей  $\bar{V}_{01} \dots \bar{V}_{02}$ , необходимо компенсировать систематические ошибки в работе АИУС, расширяя конус разлета элементов ИУ до значения  $2\Delta\bar{\mu}$ , которое определяется положением точек на отрезке  $B_1B_2$  (см. рис. 11). В рассматриваемом случае для диапазона скоростей  $V_{01} \dots V_{02} = 430 \dots 2550$  м/с ширина конуса составит  $2\Delta\bar{\mu} \cong 51^\circ$ . Такая ширина конуса разлета элементов существенно снижает эффективность функционирования боеприпаса.

**АИУС с качанием диаграммы направленности и ИУ.** При использовании такого варианта построения АИУС (см. рис. 11) предполагается устанавливать для каждой относительной скорости в диапазоне  $V_{01} \dots V_{02} = 430 \dots 2550$  м/с свой угол  $\varphi = 82 \dots 43^\circ$ . Это позволит исключить систематические ошибки в работе АИУС, т. е. получить  $2\Delta\bar{\varphi} = 0$ . При отсутствии систематических ошибок точки  $B_1$  и  $B_2$  совпадут с точкой 0 (см. рис. 11) и, следовательно, ширина конуса разлета элементов, обусловленная систематическими ошибками в работе АИУС, будет равна нулю:  $2\Delta\bar{\mu} = 0$ .



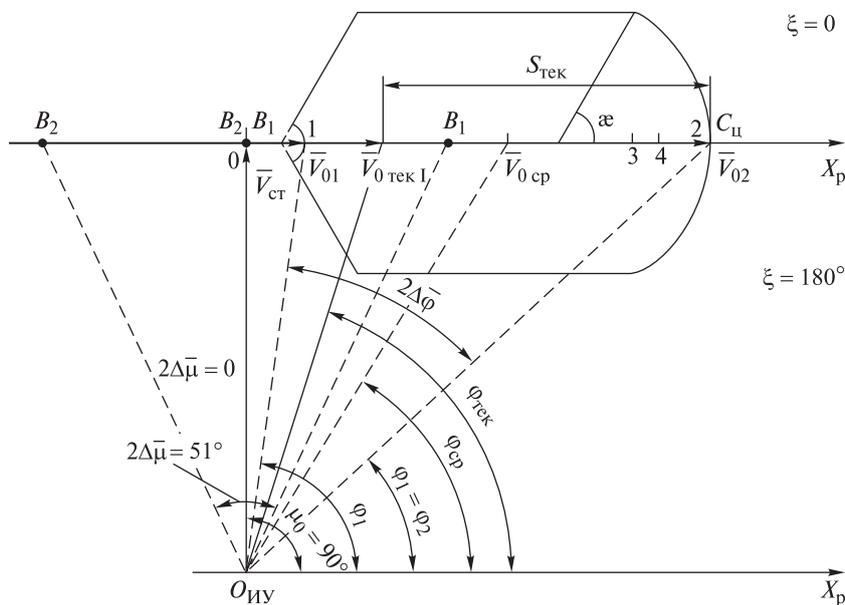
**Рис. 12.** Закон изменения угла наклона диаграммы направленности  $\varphi = F(V_0)$  в диапазоне относительных скоростей для штатного варианта боеприпаса

Для реализации такого метода согласования необходимо для диапазона относительных скоростей  $\bar{V}_{01} \dots \bar{V}_{02}$  предварительно рассчитать зависимость угла  $\varphi$  от модуля относительной скорости  $|\bar{V}_0|$ , т. е. закон качания диаграммы направленности  $\varphi = F(V_0)$ . Для диапазона скоростей  $V_{01} \dots V_{02} = 430 \dots 2550$  м/с закон качания диаграммы направленности представлен на рис. 12. На борту должна быть получена для кон-

кретных условий встречи боеприпаса с целью информация о модуле относительной скорости  $|\bar{V}_0|$ . На основе этой информации устройство-вычислитель определит необходимый для этой скорости угол  $\varphi$ , а блок управления положением диаграммы направленности обеспечит установку требуемого угла  $\varphi$ . При этом будут полностью исключены систематические ошибки в работе АИУС, однако конструкция АИУС окажется довольно сложной в технической реализации.

**АИУС с постоянным углом наклона диаграммы направленности и блоком задержки.** Исключить систематические ошибки в работе АИУС можно, если использовать метод согласования для конструкции АИУС с постоянным углом  $\varphi$  и блоком задержки в выдаче команды управления на ИУ в диапазоне относительных скоростей  $\bar{V}_{01} \dots \bar{V}_{02}$ .

Для условий встречи, описываемых годографом (рис. 13), диапазон относительных скоростей на параллельном курсе составит  $V_{01} \dots V_{02} = 430 \dots 2550$  м/с. При конструкции АИУС с постоянным углом  $\varphi$  и блоком задержки значение  $\varphi$  выбирают по максимальной относительной скорости в диапазоне  $\bar{V}_{01} \dots \bar{V}_{02}$ , т. е. для скорости  $\bar{V}_{02} = 2550$  м/с. Угол  $\varphi = \varphi_2$  (см. рис. 13) — это минимально возможный угол наклона диаграммы направленности, и для указанного диапазона относительных скоростей  $\varphi = 43^\circ$ .

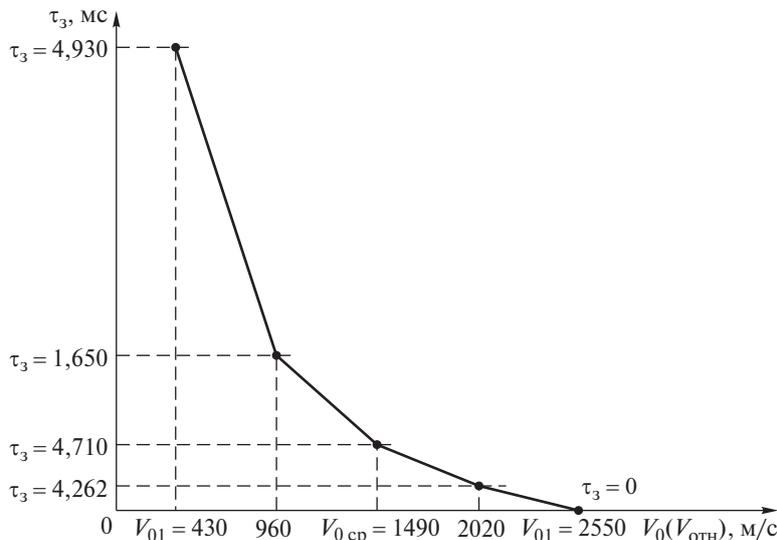


**Рис. 13.** Согласование работы АИУС и ИУ при использовании задержки в выдаче команды управления АИУС и постоянном угле наклона диаграммы направленности  $\varphi = \text{const}$  для штатного варианта боеприпаса

Если реализуется метод задержки, локация цели при любой относительной скорости в диапазоне  $\bar{V}_{01} \dots \bar{V}_{02}$  выполняется в точке  $C_{ц}$ , но только при скорости  $\bar{V}_{02}$  будет обеспечена согласованная работа АИУС и ИУ. Для других относительных скоростей диапазона АИУС будет срабатывать с систематической ошибкой  $\Delta\bar{\varphi}$ , которая увеличивается при уменьшении относительной скорости и достигнет максимального значения при минимальной относительной скорости  $V_{01}$ , а именно  $2\Delta\bar{\varphi} = \max = \varphi_1 - \varphi_2$ . На рис. 13 отмечена ширина конуса разлета элементов, определяемая положением точек  $B_1$  и  $B_2$  и равная  $2\Delta\bar{\mu} \cong 51^\circ$ , которая позволяет компенсировать систематические ошибки АИУС  $2\Delta\bar{\varphi}$  в диапазоне рассматриваемых относительных скоростей.

Чтобы исключить систематические ошибки  $\Delta\bar{\varphi}$  для каждой относительной скорости в диапазоне относительных скоростей  $V_{01} \dots V_{02} = 430 \dots 2550$  м/с выполняют расчет времени задержки  $\tau_3$  в выдаче команды управления АИУС на ИУ. Закон задержки в виде зависимости времени задержки  $\tau_3$  от модуля относительной скорости для рассматриваемых условий представлен на рис. 14. Из рисунка ясно, что для максимальной относительной скорости  $\bar{V}_{02} = 2550$  м/с время задержки  $\tau_3 = 0$ , а максимальная задержка в выдаче команды управления АИУС необходима при минимальной относительной скорости  $\bar{V}_{01} = 430$  м/с, и она составляет 4,93 мс. Для упрощения технической реализации закона задержки его аппроксимируют отрезками ломаной линии, выбирая несколько точек переключения (в данном случае  $V_{0 \text{тек}}$ ,  $V_{0 \text{ср}}$ ,  $V_{03}$ ,  $V_{04}$ ) в диапазоне относительных скоростей (см. рис. 14).

При реализации метода согласованной работы с задержкой в выдаче команды управления АИУС на ИУ на борту должна быть получена для конкретных условий встречи боеприпаса с целью информация о модуле относительной скорости  $|\bar{V}_0|$ . На основе этой информации устройство-вычислитель определяет необходимое время задержки  $\tau_3$  в выдаче команды управления для этой скорости в соответствии с законом  $\tau_3 = F(V_0)$ , а блок задержки устанавливает требуемое время задержки. Метод обеспечения согласованной работы АИУС и ИУ при использовании задержки в срабатывании АИУС оказывается более простым в технической реализации по сравнению с методом качания диаграммы направленности.

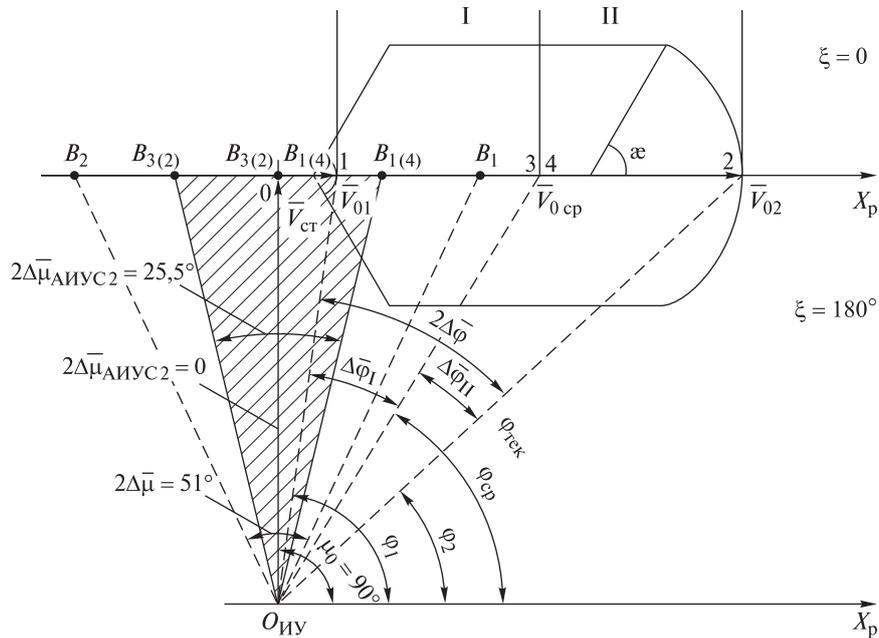


**Рис. 14.** Закон задержки в выдаче команды управления АИУС на ИУ для диапазона относительных скоростей  $\bar{V}_{01} \dots \bar{V}_{02}$  для штатного варианта боеприпаса

**АИУС с двумя антенными системами.** При использовании АИУС с двумя антенными системами (рис. 15) требуется разделить весь диапазон относительных скоростей  $\bar{V}_{01} \dots \bar{V}_{02}$  на два диапазона, в каждом из которых работает своя антенная система: диапазон I —  $V_{01} \dots V_{03} = 430 \dots 1490$  м/с, диапазон II —  $V_{04} \dots V_{02} = 1490 \dots 2550$  м/с.

Наличие двух антенных систем позволяет уменьшить систематические ошибки в 2 раза, но не исключить их. Следовательно, и ширина конуса разлета элементов, обусловленная систематическими ошибками, сократится в 2 раза — до  $25,5^\circ$  (см. рис. 15).

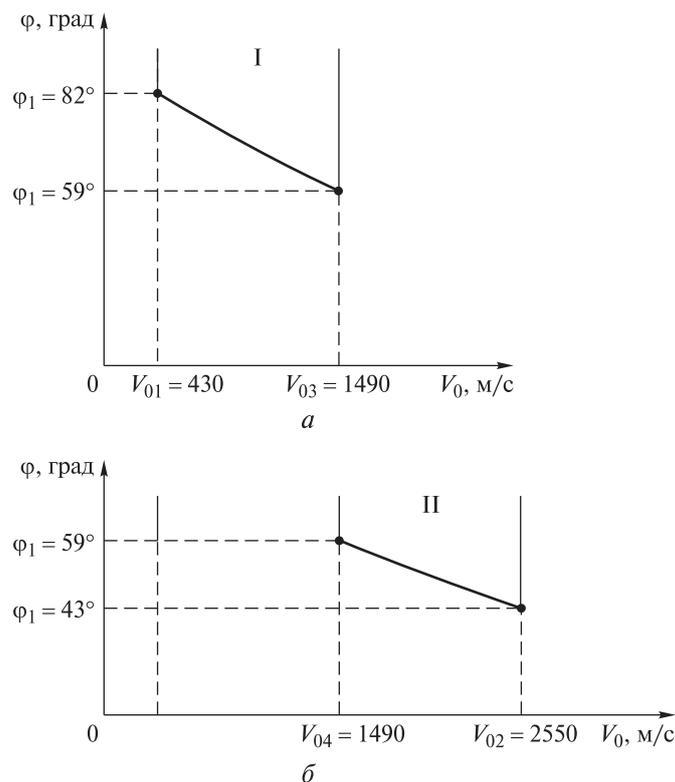
**АИУС с двумя антенными системами и качанием их диаграмм направленности.** Качание диаграмм направленности антенных систем позволяет устанавливать для каждой относительной скорости в каждом из рассматриваемых диапазонов требуемые углы  $\varphi$  в соответствии с законом  $\varphi = F(V_0)$  в пределах: антенная система I —  $\varphi = 59 \dots 82^\circ$ , антенная система II —  $\varphi = 59 \dots 43^\circ$  (рис. 16). Это позволит исключить систематические ошибки в работе АИУС для каждого диапазона, т. е. получить  $\Delta\bar{\varphi}_I = 0$ ,  $\Delta\bar{\varphi}_{II} = 0$  и, следовательно,  $2\Delta\bar{\varphi} = 0$ . При отсутствии систематических ошибок точки  $B_{1(4)}$  и  $B_{3(2)}$  совпадут с точкой 0 (см. рис. 15) и, следовательно, ширина конуса разлета элементов, обусловленная систематическими ошибками в работе АИУС, будет равна нулю:  $2\Delta\bar{\mu} = 0$ .



**Рис. 15.** Исключение систематических ошибок при построении АИУС с двумя антенными системами и качанием их диаграмм направленности для штатного варианта боеприпаса

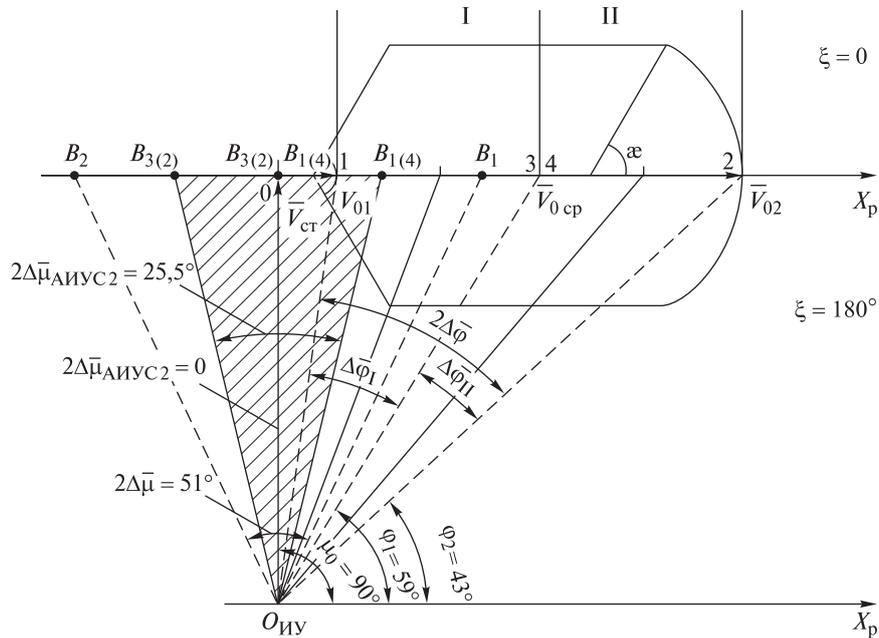
Для реализации такого метода согласованной работы АИУС и ИУ необходимо для каждого диапазона относительных скоростей  $V_{01} \dots V_{03}$  и  $V_{04} \dots V_{02}$  предварительно рассчитать зависимость угла  $\varphi$  от модуля относительной скорости  $|\bar{V}_0|$ , т. е. определить закон качания диаграммы направленности  $\varphi = F(V_0)$ . Для диапазонов I и II относительных скоростей законы качания диаграмм направленности представлены на рис. 16, а, б.

Для реализации этого метода согласования на борту должна быть получена информация о модуле относительной скорости  $|\bar{V}_0|$  для конкретных условий встречи боеприпаса с целью. На основе информации включается антенная система I или II, устройство-вычислитель определяет необходимый для этой скорости угол  $\varphi_{\text{треб}}$ . Требуемые углы для конкретных относительных скоростей каждого диапазона выбираются в соответствии с рассчитанными законами качания диаграммы направленности  $\varphi = F(V_0)$  (см. рис. 16, а, б). Блок управления положением диаграммы направленности обеспечит установку этих углов, при этом систематические ошибки в работе АИУС будут полностью исключены.



**Рис. 16.** Законы  $\varphi = F(V_0)$  качания диаграмм направленности АИУС для диапазонов I (а) и II (б) относительных скоростей при использовании штатного варианта боеприпаса

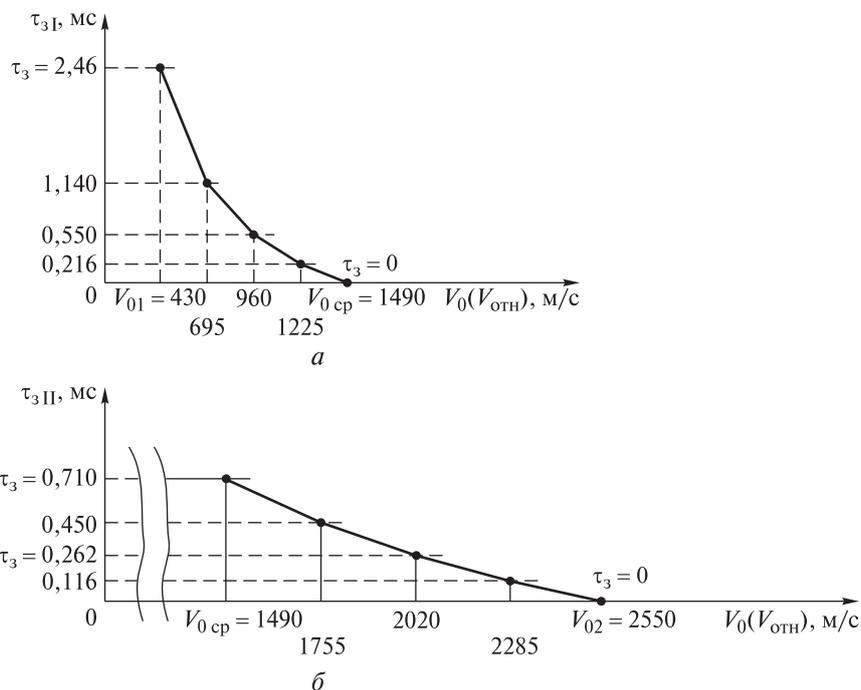
**АИУС с двумя антенными системами и задержкой в выдаче команды управления.** При использовании АИУС с двумя антенными системами (рис. 17) предполагается деление всего диапазона относительных скоростей на параллельном курсе  $\bar{V}_{01} \dots \bar{V}_{02}$  на два диапазона, в каждом из которых работает своя антенная система: I — в диапазоне  $V_{01} \dots V_{03} = 430 \dots 1490$  м/с, II — в диапазоне  $V_{04} \dots V_{02} = 1490 \dots 2550$  м/с. При этом присутствуют систематические ошибки  $\Delta\bar{\varphi}_I$  и  $\Delta\bar{\varphi}_{II}$ , и ширина конуса разлета элементов, обусловленная этими ошибками, составит  $25,5^\circ$  (см. рис. 17). Необходимо исключить систематические ошибки. Это можно осуществить, если предусмотреть задержку в выдаче команды управления для каждой из относительных скоростей в соответствующем диапазоне, I или II. При отсутствии систематических ошибок точки  $B_{1(4)}$  и  $B_{3(2)}$  совпадут с точкой 0 (см. рис. 17) и, следовательно, ширина конуса разлета элементов, обусловленная систематическими ошибками в работе АИУС в каждом диапазоне, будет равна нулю:  $2\Delta\bar{\mu}_{\text{АИУС}2} = 0$ .



**Рис. 17.** Исключение систематических ошибок для варианта построения АИУС с двумя антенными системами и блоками задержки в диапазонах I, II при использовании штатного варианта боеприпаса

При использовании задержек в каждом диапазоне, I или II, углы наклона  $\varphi_1$  и  $\varphi_2$  диаграмм направленности антенных систем выбирают по максимальным значениям относительных скоростей. В диапазоне I для относительной скорости  $V_{03} = 1490$  м/с это угол  $\varphi_1 = 59^\circ$ , в диапазоне II для относительной скорости  $V_{02} = 2550$  м/с — угол  $\varphi_2 = 43^\circ$ . Для остальных скоростей в каждом диапазоне рассчитывают необходимое время задержки  $\tau_3$  для каждой относительной скорости и строят законы задержки  $\tau_{3I} = F(V_0)$  и  $\tau_{3II} = F(V_0)$  для каждого диапазона (рис. 18, а, б). Это позволяет исключить систематические ошибки в работе АИУС в этих диапазонах, т. е. получить  $\Delta\bar{\varphi}_I = 0$  и  $\Delta\bar{\varphi}_{II} = 0$ . При отсутствии систематических ошибок точки  $B_{1(4)}$  и  $B_{3(2)}$  совпадут с точкой 0 (см. рис. 17) и, следовательно, ширина конуса разлета элементов, обусловленная этими ошибками, будет равна нулю:  $2\Delta\bar{\mu}_{\text{АИУС}2} = 0$ .

Для реализации подобного метода блок выдачи задержек обеспечит требуемое время задержки для конкретной относительной скорости. При этом систематические ошибки в работе АИУС для каждого из рассматриваемых диапазонов будут полностью исключены.



**Рис. 18.** Законы задержки в выдаче команды управления АИУС на ИУ для диапазонов I (а) и II (б) относительных скоростей штатного варианта боеприпаса

**Закключение.** По результатам работы можно сделать следующие выводы.

1. Рассмотрены возможности повышения эффективности работы АИУС и ИУ в широком диапазоне скоростей путем исключения систематических ошибок в работе АИУС и существенного сужения конуса разлета элементов ИУ.

2. Предложено использование вариантов построения АИУС с качанием диаграммы направленности или осуществлением задержки в выдаче команды управления АИУС на ИУ.

3. В случае использования АИУС с одной антенной системой качание диаграммы направленности  $\varphi = F(V_0)$  или осуществление задержки  $\tau_3 = F(V_0)$  выполняется в пределах относительных скоростей  $V_{01} \dots V_{02}$ , соответствующих широкому диапазону скоростей, что осложняет техническую реализацию разрабатываемых конструкций.

4. При использовании двух антенных систем, каждая из которых работает во вдвое более узком диапазоне относительных скоростей  $V_{01} \dots V_{03}$  или  $V_{04} \dots V_{02}$ , проще в каждом диапазоне осуществить качание диаграммы направленности АИУС или реализовать закон задержки.

5. Использование алгоритма экспресс-оценки эффективности функционирования АИУС и ИУ позволяет совместно выбрать их основные параметры на ранних стадиях проектирования и обеспечить согласованную работу в широком диапазоне условий встречи боеприпаса с целью. Оценка согласованной работы АИУС и ИУ выполнялась с помощью векторного анализа на основе кинематических схем с использованием годографа относительных скоростей.

6. Приведены примеры оценки условий согласованной работы АИУС и ИУ для различных вариантов построения АИУС штатного варианта боеприпаса. Показано, что путем использования конструкций АИУС одной и двумя антенными системами при качании их диаграмм направленности в соответствии с рассчитанными законами  $\varphi = F(V_0)$  или при реализации законов задержки  $\tau_3 = F(V_0)$  систематические ошибки в работе АИУС могут быть исключены. Это существенно сужает ширину конуса разлета элементов, которая в этом случае будет определяться только случайными ошибками в работе АИУС, что обеспечивает повышение эффективности функционирования боеприпаса.

#### ЛИТЕРАТУРА

- [1] Соболева Н.С. Теория эффективности автономных информационных и управляющих систем. Борзов А.Б., ред. *Автономные информационные и управляющие системы*. В 4 т. Т. 1. Москва, ООО НИЦ «Инженер», ООО «Онико-М», 2012, с. 409–465.
- [2] Селиванов В.В., ред. *Боеприпасы*. В 2 т. Т. 1. Москва, Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2016, 506 с.
- [3] Селиванов В.В., ред. *Средства поражения и боеприпасы*. Москва, Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2008, 984 с.
- [4] Сучков В.Б. Методика оценки показателей эффективности АИС БЛ на основе расчетных данных о входных сигналах от объектов локации. Борзов А.Б., ред. *Автономные информационные и управляющие системы*. В 4 т. Т. 2. Москва, ООО НИЦ «Инженер», ООО «Онико-М», 2012, с. 161–170.
- [5] Борзов А.Б., Лихоеденко К.П., Муратов И.В., Павлов Г.Л., Сучков В.Б. Определение области принятия решений бортового радиолокационного датчика цели. *Журнал радиоэлектроники. Электронный журнал*, 2009, № 10. URL: <http://jre.cplire.ru/iso/oct09/2/text.pdf> (дата обращения 27.02.2011).
- [6] Burton A., Mountford J., Garrod A. An air target engagement simulation for radar proximity fuze development and performance assessment. *IEE Colloquium on Radar System Modeling*, Ref. No. 1998/459, 8 Oct. 1998, pp. 1–7.
- [7] Соболева Н.С. Оценка условий согласованной работы АИУС и исполнительного устройства на начальных этапах проектирования. *Наука и образование. Электронный научно-технический журнал*, 2012, № 2. DOI: 77-30569/334010
- [8] Борзов А.Б., Соболева Н.С. Методы согласованной работы автономной информационной и управляющей системы и исполнительного устройства за счет уменьшения систематических ошибок. *Инженерный журнал: наука*

*и инновации*, 2013, вып. 3. URL: <http://engjournal.ru/catalog/it/nav/625/html> (дата обращения 25.04.2018).

- [9] Борзов А.Б., Соболева Н.С. Методы согласованной работы автономной информационной и управляющей системы и исполнительного устройства при исключении систематических ошибок в работе АИУС. *Спецтехника и связь*, 2014, № 4, с. 33–37.
- [10] Борзов А.Б., Соболева Н.С. Исключение систематических ошибок в работе взрывателя с двумя антенными системами и качанием их диаграмм направленности. *Радиооптика*, 2015, № 3. DOI: 10.7463/rdopt.0315.0777951

Статья поступила в редакцию 26.04.2018

Ссылку на эту статью просим оформлять следующим образом:

Борзов А.Б., Павлов Г.Л., Соболева Н.С. Согласование работы автономной информационной и управляющей системы и исполнительного устройства при исключении систематических ошибок. *Инженерный журнал: наука и инновации*, 2018, вып. 7. <http://dx.doi.org/10.18698/2308-6033-2018-7-1780>

**Борзов Андрей Борисович** — д-р техн. наук, профессор, заведующий кафедрой «Автономные информационные и управляющие системы» МГТУ им. Н.Э. Баумана. Автор более 100 работ в области моделирования систем ближней радиолокации. e-mail: [wave@sm.bmstu.ru](mailto:wave@sm.bmstu.ru)

**Павлов Григорий Львович** — д-р техн. наук, доцент, профессор кафедры «Автономные информационные и управляющие системы» МГТУ им. Н.Э. Баумана. Автор более 80 работ в области систем ближней радиолокации. e-mail: [wave@sm.bmstu.ru](mailto:wave@sm.bmstu.ru)

**Соболева Наталия Сергеевна** — канд. техн. наук, доцент кафедры «Автономные информационные и управляющие системы» МГТУ им. Н.Э. Баумана. Автор более 80 работ в области теории эффективности АИУС. e-mail: [sob-ns@yandex.ru](mailto:sob-ns@yandex.ru)

## Coordination of operation of autonomous information and control system and the executive device excluding systematic errors

© A.B. Borzov, G.L. Pavlov, N.S. Soboleva

Bauman Moscow State Technical University, Moscow, 105005, Russia

*The article considers the options for constructing autonomous information and control systems ensuring the coordinated operation of these systems and the executive device having the form of a fragmentation warhead enhancing the efficiency of such systems in a wide range of speeds. The variants of the autonomous information and control system structure with swinging the radiation pattern or with a delay in generating control command to the executive device make it possible to eliminate systematic errors generally determining the width of the cone of actuator element spread. In the design of autonomous information and control systems with a single antenna system swinging the radiation pattern and the implementation of the delay law are carried out within a wide range of speeds. For variants of design of autonomous information and control systems with two antenna systems, the range of conditions for meeting the munition with the target where swinging radiation patterns or delaying the generation of a control command occurs is halved comparing with variants having a single antenna system. The analysis of the coordinated operation of these devices is performed by the method of efficiency express-evaluation at the initial stage of design using the hodograph of relative velocities describing a wide range of speeds.*

**Keywords:** antenna system, swinging radiation pattern, angle of radiation pattern inclination, cone of element spread, hodograph of relative velocities, systematic errors, random errors, delay in generating a command, control command

### REFERENCES

- [1] Soboleva N.S. *Teoriya effektivnosti avtonomnykh informatsionnykh i upravlyayushchikh system. V 4 tomakh. Tom 1. Avtonomnye i upravlyayushchie sistemy* [Theory of the effectiveness of autonomous information and control systems. In 4 vols. Vol. 1. Autonomous information and control systems]. Borzov A.B., ed. Moscow, NITs "Inzhener" JSC, NITs "Oniko-M" JSC, 2012, 468 p.
- [2] Selivanov V.V., ed. *Boepripasy. V 2 tomakh. Tom 1.* [Ammunition. In 2 vols. Vol. 1]. Moscow, BMSTU Publ., 2016, 506 p.
- [3] Selivanov V.V., ed. *Sredstva porazheiya i boepripasy* [Destruction means and ammunition]. Moscow, BMSTU Publ., 2008, 984 p.
- [4] Suchchkov V.B. *Metodika otsenki pokazateley effektivnosti AIS BL na osnove raschetnykh dannykh o vkhodnykh signalakh ot obyektov lokatsii. V 4 tomakh. Tom 2. Avtonomnye i upravlyayushchie sistemy* [Methodology for evaluating the performance of AIS BL based on calculated data on input signals from location objects. In 4 vols. Vol. 2. Autonomous information and control systems]. Borzov A.B., ed. Moscow, NITs "Inzhener" JSC, NITs "Oniko-M" JSC, 2012, 440 p.
- [5] Borzov A.B., Likhoedenko K.P., Muratov I.V., Pavlov G.L., Suchkov V.B. *Zhurnal radioelektroniki. Electronnyi zhurnal — Journal of Radio Electronics. Online journal*, 2009, no. 10.  
Available at: <http://jre.cplire.ru/iso/oct09/2/text.pdf> (accessed February 27, 2011).

- [6] Burton A., Mountford J., Garrod A. An air target engagement simulation for radar proximity fuze development and performance assessment. *IEEE Colloquium on Radar System Modeling* (Ref. No. 1998/459). 8 Oct 1998, pp. 1–7.
- [7] Soboleva N.S. *Nauka i obrazovanie: elektronnyy nauchno-tekhnicheskiiy zhurnal — Science and Education: Electronic Scientific and technical Journal*, 2012, no. 2. DOI: 77-30569/334010
- [8] Borzov A.B., Soboleva N.S. *Inzhenernyy zhurnal: nauka i innovatsii — Engineering Journal: Science and Innovation*, 2013, iss. 3. Available at: <http://engjournal.ru/catalog/it/nav/625/html> (accessed April 25, 2018).
- [9] Borzov A.B., Soboleva N.S. *Spetstekhnika i svyaz — Specialized machinery and communication*, 2014, no. 4, pp. 33–37.
- [10] Borzov A.B., Soboleva N.S. *Radiooptika — Radiooptics*, 2015, no. 3. DOI: 10.7463/rdopt.0315.0777951

**Borzov A.B.** (b. 1958), Dr. Sc. (Eng.), Professor, Head of the Department of Autonomous Information and Control Systems, Bauman Moscow State Technical University. Author of over 100 research publications in the field of simulation of short-range radar system. e-mail: [wave@sm.bmstu.ru](mailto:wave@sm.bmstu.ru)

**Pavlov G.L.** (b. 1962), Dr. Sc. (Eng.), Assoc. Professor, Professor at the Department of Autonomous Information and Control Systems, Bauman Moscow State Technical University. Author of over 80 research publications in the field of short-range radar system. e-mail: [wave@sm.bmstu.ru](mailto:wave@sm.bmstu.ru)

**Soboleva N.S.** (b. 1939), Cand. Sc. (Eng.), Assoc. Professor, Department of Autonomous Information and Control Systems, Bauman Moscow State Technical University. Author of over 80 research publications in the theory of efficiency of autonomous information and control systems. e-mail: [sob-ns@yandex.ru](mailto:sob-ns@yandex.ru)