

Оценка условий согласованной работы АИУС и исполнительного устройства на начальных этапах проектирования

77-30569/334010

02, февраль 2012

Соболева Н. С.

УДК 621.396.98

МГТУ им. Н.Э. Баумана

Sob-ns@yandex.ru

АИУС и сложность решаемых ими задач в составе комплексных систем

Автономные информационные и управляющие системы (АИУС) – специальные устройства управления, предназначенные для выдачи команды управления на исполнительные устройства (ИУ) в определенный момент времени (или в определенной точке) с целью обеспечить наибольшую эффективность функционирования комплексной системы (КС) [1].

Современные АИУС работают на различных объектах носителях, обеспечивая локацию разнообразных видов целей и взаимодействуя с ИУ разных типов. При этом наиболее сложно вопросы эффективной работы АИУС в составе КС решаются в задачах военного характера. В частности, при стрельбе по воздушным целям. Решение задачи осложняется:

- широким диапазоном условий встречи (УВ) ракеты и цели в пространстве (скоростей ракеты и цели, углов встречи, пеленга и т.п.);
- изменением положения области реагирования ИУ в пространстве, определяемым параметрами условий встречи;
- большими скоростями перемещающихся друг относительно друга объектов, что существенно уменьшает время обработки АИУС полезного (отраженного от цели) сигнала;
- уменьшением эффективной отражающей поверхности современных целей не только в связи с уменьшением их габаритов, но и в связи с использованием радиопоглощающих покрытий обшивок, что снижает уровни отраженных сигналов;
- работой АИУС в условиях искусственных помех;
- обеспечением работы АИУС на малых высотах и необходимостью отсутствия срабатываний АИУС от подстилающей поверхности;
- снижением массогабаритных характеристик АИУС и ИУ.

При работе в составе комплексной системы АИУС, решая задачу стрельбы по воздушной цели, в зависимости от траектории, по которой движется боеприпас, должна выбрать оптимальную точку на траектории и выдать команду управления на ИУ. По этой команде управления с АИУС ИУ обеспечивает выполнение поставленной перед

КС задачи с наибольшей эффективностью. Но эффективное выполнение стоящей перед КС задачи возможно лишь при использовании системного подхода в процессе проектирования КС, когда параметры отдельных ее подсистем (и частности, АИУС и ИУ) выбираются совместно, то есть, учитывается их взаимное влияние.

Описание условий встречи объектов в относительном движении

Описание взаимного перемещения объектов в пространстве выполняется в относительном движении, когда один из объектов останавливается, ему придается отрицательная скорость, а второй перемещается относительно него с относительной скоростью. Рассмотрим случай перемещения двух объектов в пространстве на примере операции: стрельба одиночной ракетой по одиночной цели.

В зависимости от условий встречи ракета и цель могут перемещаться в пространстве навстречу друг другу со скоростями $\bar{V}_p$ и $\bar{V}_ц$ (рисунок 1).

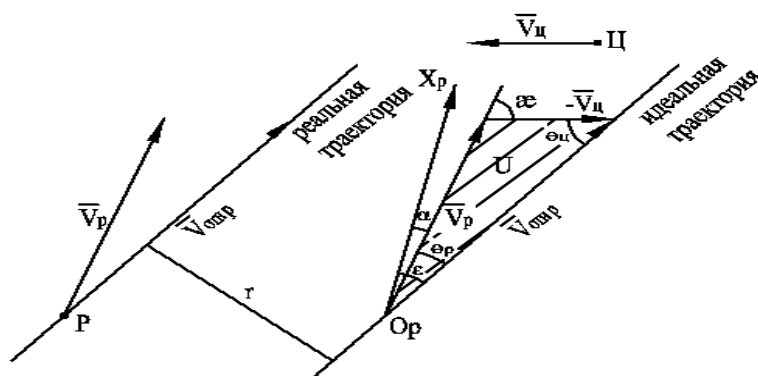


Рисунок 1. – Треугольник относительных скоростей - скоростной треугольник

Остановим цель и придадим ей скорость ($-\bar{V}_ц$). Переместим в пространстве вектор $\bar{V}_p$ параллельно самому себе до совмещения его начала с концом вектора ($-\bar{V}_ц$). Сложим вектора $\bar{V}_p$ и ($-\bar{V}_ц$):

$$\bar{V}_p + (-\bar{V}_ц) = \bar{V}_{отн p}$$

Таким образом, в данном случае ракета перемещается относительно неподвижной цели со скоростью $\bar{V}_{отн p}$

Остановим ракету и придадим ей скорость ($-\bar{V}_p$). Переместим в пространстве вектор $\bar{V}_ц$ параллельно самому себе до совмещения его начала с концом вектора ($-\bar{V}_p$). Сложим вектора $\bar{V}_ц$ и ($-\bar{V}_p$):

$$\bar{V}_ц + (-\bar{V}_p) = \bar{V}_{отн ц}$$

Таким образом, в данном случае цель перемещается относительно неподвижной ракеты со скоростью $\bar{V}_{отн ц}$. Вектора $\bar{V}_{отн p}$ и $\bar{V}_{отн ц}$ являются обратными векторами. Треугольник, образуемый тремя векторами $\bar{V}_p$, ($-\bar{V}_п$), ($-\bar{V}_ц$) $\bar{V}_ц$, $\bar{V}_{отн p}$ и $\bar{V}_{отн ц}$ называют скоростным (или векторным) треугольником, а плоскость, в которой лежат вектора (пл. U) - плоскостью скоростного треугольника. Вектора в скоростном треугольнике изображают

случай прямого попадания для заданных условий встречи, а линия, совпадающая с вектором $\bar{V}_{\text{отн п}}$ ($\bar{V}_{\text{отн ц}}$) является идеальной траекторией. Обычно же ракета (цель) перемещается в относительном движении по отношению к неподвижной цели (ракете) по реальной траектории параллельной идеальной, с определенной ошибкой (на некотором расстоянии относительно нее), называемой промахом r (рисунок 1). Современные комплексные системы работают в широком диапазоне условий встречи, которые в общем случае определяются диапазоном скоростей ракеты: $\bar{V}_{\text{р. max}} \dots \bar{V}_{\text{р. min}}$, диапазоном скоростей цели: $\bar{V}_{\text{ц. max}} \dots \bar{V}_{\text{ц. min}}$, а также диапазонами углов встречи $\alpha_{\text{min}} \dots \alpha_{\text{max}}$, пеленга $\varepsilon_{\text{min}} \dots \varepsilon_{\text{max}}$, атаки $\alpha_{\text{min}} \dots \alpha_{\text{max}}$. При проектировании КС и ее подсистем, в частности, АИУС и ИУ вариант условий встречи описывается треугольником относительных скоростей (рисунок 1).

Варианты условий встречи

Рассмотрим возможные варианты условий встречи для их широкого диапазона. Пусть ракета и цель перемещаются параллельно навстречу друг другу (рисунок 2). Такой вариант условий встречи называют «встречный параллельный курс», при этом угол встречи $\alpha=0^\circ$. Перемещая вектор $\bar{V}_\text{р}$ вокруг вектора $-\bar{V}_\text{ц}$ и увеличивая угол встречи α будем иметь варианты «встречного пересекающегося курса» при этом α изменяется от 0° до 90° . Продолжая перемещать вектор $\bar{V}_\text{р}$ вокруг вектора $-\bar{V}_\text{ц}$ и увеличивая угол встречи от $\alpha = 90^\circ$ до $\alpha < 180^\circ$, будем иметь варианты «догонного пересекающегося курса». Когда вектора $\bar{V}_\text{р}$ и $-\bar{V}_\text{ц}$ окажутся на одной линии при $\alpha=180^\circ$ возникает случай «догонного параллельного курса» (рисунок 2).

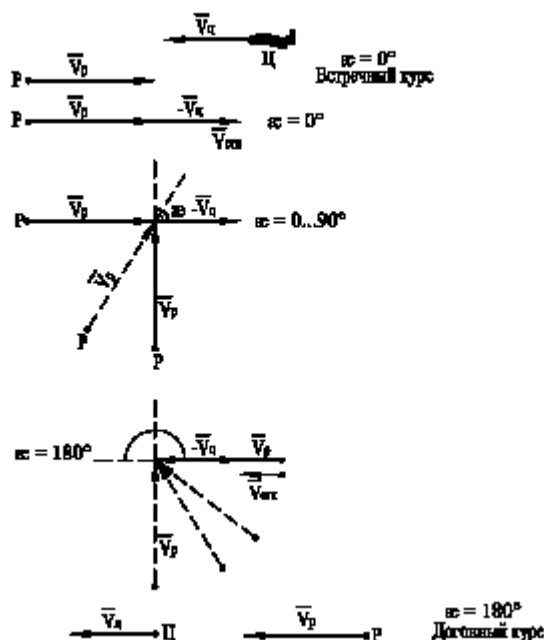


Рисунок 2. - Варианты условий встречи

Обычно при анализе параметров подсистем КС и оценке их эффективности условия встречи для широкого диапазона задаются годографом относительных скоростей.

Построение годографов относительных скоростей для широкого диапазона условий встречи

Поскольку в теории эффективности принято рассматривать перемещение объектов в пространстве в относительном движении, то путем геометрического построения скоростных треугольников (или расчетом) для конкретных условий встречи, возможно получить диапазон векторов относительных скоростей $\bar{V}_{отн\max} \dots \bar{V}_{отн\min}$. По полученным данным строят годограф относительных скоростей.

Годограф относительных скоростей — это геометрическое место предельных положений концов векторов относительных скоростей для всех рассматриваемых условий встречи в системе координат, связанной с осью ракеты.

Вариант условий встречи I

Выполним построение годографа относительных скоростей для условий встречи, заданных диапазоном скоростей ракеты $\bar{V}_{p.\max} \dots \bar{V}_{p.\min}$, диапазоном скоростей цели $\bar{V}_{ц.\max} \dots \bar{V}_{ц.\min}$ и диапазоном угла встречи $\alpha=0^\circ \dots 180^\circ$.

Построение выполняется относительно оси ракеты X_p . Выберем на оси X_p точку отсчёта O (рисунок 3):

1. Найдем максимально возможную относительную скорость для случая параллельного встречного курса, равную геометрической сумме максимальных скоростей ракеты и цели $\bar{V}_{отн\max} = \bar{V}_{p.\max} + |-\bar{V}_{ц.\max}|$, (отрезок $O \dots B$) и отмеченную на оси X_p точкой B , при этом $\alpha=0^\circ$.
2. Отметим положение конца вектора относительной скорости для условий, заданных $\bar{V}_{p.\max}$, $|-\bar{V}_{ц.\max}|$ и углом встречи α , изменяющимся в пределах от 0° до 90° . Линия 1 определит предельные положения конца вектора относительной скорости $\bar{V}_{отн\max}$ для случая встречного пересекающегося курса.
3. Продолжая увеличивать угол встречи α от 90° до 180° при $\bar{V}_{p.\max}$ и $-\bar{V}_{ц.\max}$ получим линию 2', определяющую предельное положение концов вектора относительной скорости $\bar{V}_{отн\max}$ для догонного пересекающегося курса, при этом точка D' определит положение конца вектора $\bar{V}_{отн\max}$ для догонного параллельного курса.
4. Определим положение конца вектора относительной скорости $\bar{V}_{отн}$ для случая, когда скорость $\bar{V}_p$ уменьшается от $\bar{V}_{p.\max}$ до $\bar{V}_{p.\min}$, при этом вектор скорости цели $-\bar{V}_{ц.\max}$, а угол встречи $\alpha=90^\circ$ т.е. переместим вектор $-\bar{V}_{ц.\max}$ параллельно самому себе от точки A_1 до точки A_2 .
5. Положим, что скорость ракеты $\bar{V}_{p.\min}$, вектор скорости цели $-\bar{V}_{ц.\max}$, тогда изменяя угол встречи α от 90° до 180° , найдём линию 2, определяющую предельное положение конца вектора $\bar{V}_{отн}$ для случая догонного пересекающегося курса, при этом точка D определит

минимальную относительную скорость $\bar{V}_{отн\ min}$ (отрезок $O \dots D$) на догонном параллельном курсе.

6. Линия 1' показывает предельные положения конца вектора относительной скорости $\bar{V}_{отн}$ для встречного пересекающегося курса при скорости ракеты $\bar{V}_{p\ min}$, векторе скорости цели $-\bar{V}_{ц\ max}$ и значениях угла встречи α меньше 90° , но больше 0° . Точка B' (отрезок $O \dots B'$) определит значение $\bar{V}_{отн}$ при $\alpha = 0^\circ$ для случая встречного параллельного курса и заданных скоростях ракеты и цели.

7. Аналогичную часть годографа достраивают ниже оси X_p . Одна из его симметричных половин служит при анализе условий встречи для угла по трубке промахов $\xi = 0^\circ$, другая - для угла $-\xi = 180^\circ$.

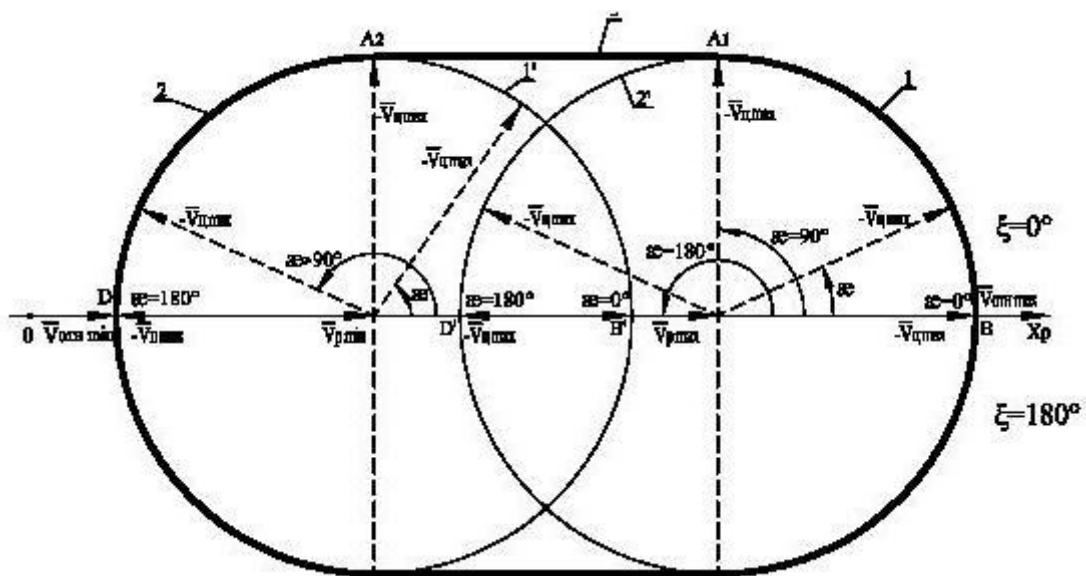


Рисунок 3. - Годограф относительных скоростей для варианта условий встречи I

Для случая, когда скорость цели минимальна $\bar{V}_{ц\ min}$, возможные положения конца вектора $\bar{V}_{отн}$ будут располагаться внутри вычерченного годографа.

Вариант условий встречи II

Выполним построение годографа относительных скоростей для условий встречи, заданных диапазоном скоростей ракеты $\bar{V}_{p\ max} \dots \bar{V}_{p\ min}$, диапазоном скоростей цели $\bar{V}_{ц\ max} \dots \bar{V}_{ц\ min}$, диапазоном угла встречи $\alpha = 0^\circ \dots 90^\circ$ и при ограничениях угла пеленга $\varepsilon_{max} = 30^\circ$.

Годограф относительных скоростей для заданных условий встречи изображен на рисунке 4.

Определение угла наклона диаграммы направленности АИУС

Рассмотрим вариант условий встречи, определяемый треугольником относительных скоростей, для которого определена $\bar{V}_{отн}$, задана конструкция АИУС с постоянным углом наклона диаграммы направленности φ_{cp} и ИУ, имеющее скорость разлета элементов в статике $\bar{V}_{cm}$. При выполнении построений предполагается, что цель – точка.

Локация цели АИУС на каждой из рассматриваемых траекторий при углах по трубке промахов $\xi = 0^\circ$ и $\xi = 180^\circ$ (горизонтальные линии параллельные оси O_pX) происходит в точках $C_{\xi=0^\circ}$ и $C_{\xi=180^\circ}$. Поражающие элементы ИУ в динамике при скорости $\bar{V}_{отн}$ будут иметь скорость $\bar{V}_{дин}$, которая определяется как геометрическая сумма скоростей $\bar{V}_{дин} = \bar{V}_{см} + \bar{V}_{отн}$. Реакция ИУ на рассматриваемых траекториях определяется точками К и L.

Для обеспечения согласованной работы АИУС и ИУ угол наклона диаграммы направленности АИУС должен определяться по направлению скорости разлета элементов в динамике $\bar{V}_{дин}$. То есть, скорость разлета элементов в динамике $\bar{V}_{дин}$ будет определять так называемую «идеальную» линию срабатывания АИУС (рисунок 5). Однако из рисунка 5 видно, что для каждой из рассматриваемых траекторий точки локализации $C\zeta \xi = 0^\circ$ и $C\zeta \xi = 180^\circ$ не совпадают с точками К и L реакции ИУ на данных траекториях. То есть, отсутствует согласованная работа АИУС и ИУ для выбранных параметров и при заданных условиях встречи.

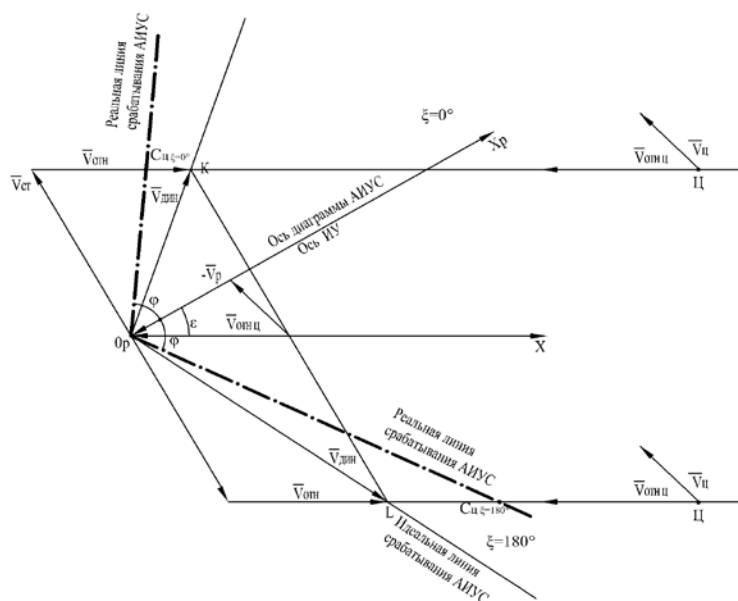


Рисунок 5.- Отсутствие согласованной работы АИУС и ИУ на пересекающемся курсе

$\bar{V}_{дин}$ может быть найдена для любой относительной скорости на годографе относительных скоростей и поэтому для широкого диапазона относительных скоростей $\bar{V}_{отн\max}$... $\bar{V}_{отн\min}$, каждой скорости $\bar{V}_{отн}$ должен соответствовать свой угол срабатывания АИУС

$\varphi_{\max} \dots \varphi_{\min}$ (рисунок 6, рисунок 7). Средний угол срабатывания φ_{cp} определяется по средней относительной скорости $\bar{V}_{отн\,cp}$ или по соотношению $\varphi_{cp} = \frac{\varphi_{\max} + \varphi_{\min}}{2}$.

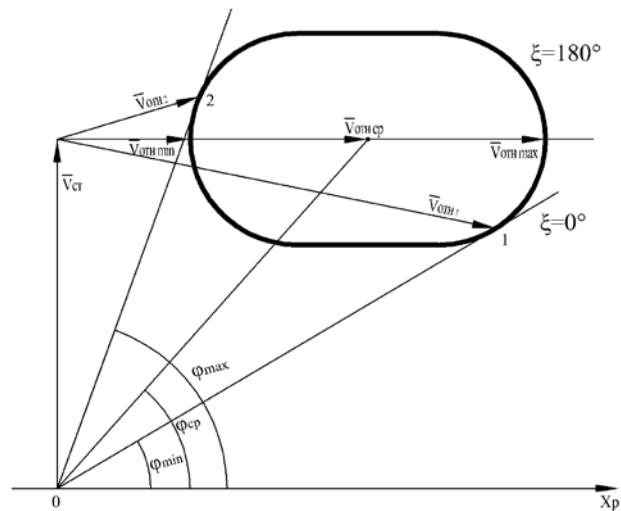


Рисунок 6.- Определение углов срабатывания АИУС по годографу относительных скоростей (вариант построения 1)

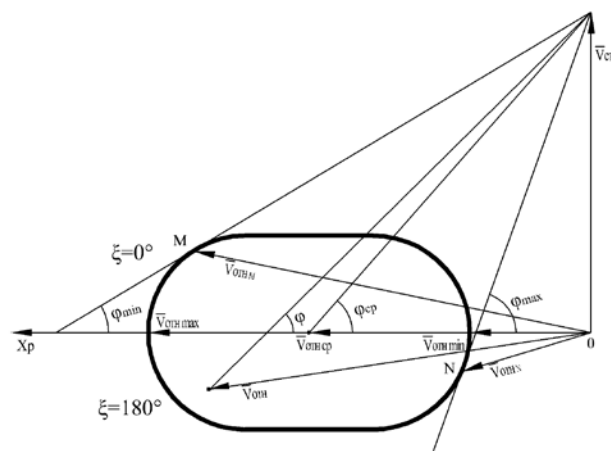


Рисунок 7.- Определение углов срабатывания АИУС по годографу относительных скоростей (вариант построения 2)

Определение требуемой ширины конуса ИУ

Пусть задан широкий диапазон условий применения, описываемых годографом относительных скоростей (рисунок 4) и используется конструкция АИУС с постоянным углом наклона диаграммы направленности φ_{cp} . Найдем ширину конуса разлета элементов, при которой будет обеспечена согласованная работа АИУС и ИУ для заданных скоростей разлета элементов $\bar{V}_{ct\,1}$, $\bar{V}_{ct\,2}$. Поскольку в данном случае угол наклона диаграммы

направленности одинаков для всех относительных скоростей φ_{cp} , то строятся касательные к годографу MM_1M_2 и NN_1N_2 параллельные линии, определяемой углом φ_{cp} (рисунок 8).

Точки пересечения этих касательных с дугами $\overline{V_{ct1}}$ и $\overline{V_{ct2}}$ определяют требуемую ширину конуса разлета элементов. Конус $2\Delta\mu_{01}$, образуемый дугой M_1N_1 при скорости $\overline{V_{ct1}}$, при увеличении статической скорости разлета элементов до $\overline{V_{ct2}}$ ширина конуса уменьшится до $2\Delta\mu_{02}$ (дуга M_2N_2). Еще уменьшить ширину конуса до $2\Delta\mu_{0var}$ возможно при реализации переменной скорости разлета элементов (дуга M_2N_1).

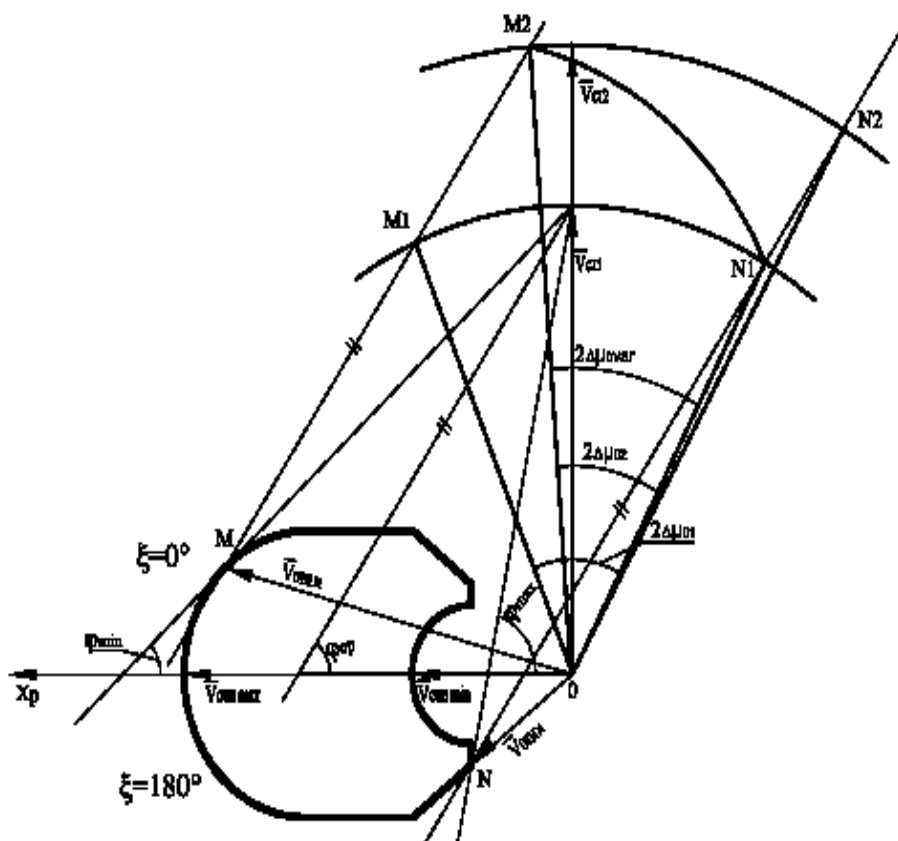


Рисунок 8. - Выбор ширины конуса для заданных скоростей $\overline{V_{ct1}}$ и $\overline{V_{ct2}}$

Если для ИУ задана скорость разлета элементов в статике $\overline{V_{ct}}$, то из (рисунка 9) видно, что конструкция с такими параметрами АИУС и ИУ не может быть реализована, поскольку дуга $\overline{V_{ct}}$ не пересекает линию MM_1 .

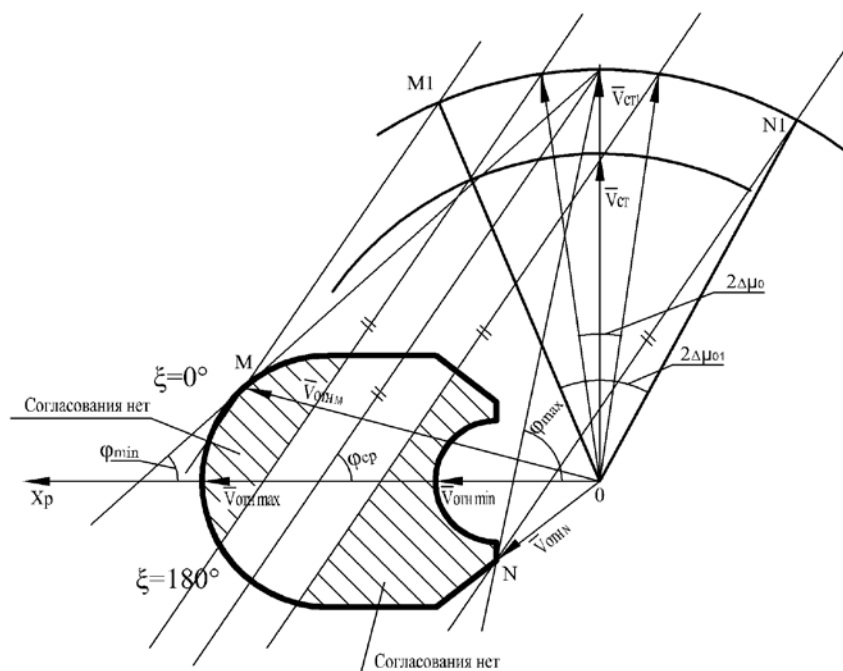


Рисунок 9.- Оценка условий согласованной работы АИУС и ИУ по годографу относительных скоростей

Оценка условий согласованной работы АИУС и ИУ для условий встречи, описываемых годографом относительных скоростей

Пусть для условий встречи, описываемых годографом относительных скоростей (рисунок 9) используется конструкция АИУС с постоянным углом наклона диаграммы направленности φ_{cp} и ИУ, имеющее скорость разлета элементов в статике $\overline{V}_{ст}$ и ширину конуса равную $2\Delta\mu_0$. Чтобы оценить условия согласованной работы АИУС и ИУ в диапазоне относительных скоростей, заданных годографом (рисунок 9), восстановим из концов векторов, ограничивающих дугу $\overline{V}_{ст1}$ и определяющих ширину конуса разлета элементов $2\Delta\mu_0$, линии параллельные φ_{cp} и пересекающие годограф. Часть годографа ограниченная этими линиями, это - область годографа, где будет обеспечена согласованная работа АИУС и ИУ (не заштрихованная область). Для относительных скоростей, расположенных в заштрихованных областях годографа, согласование отсутствует. Чтобы обеспечить согласование во всем диапазоне относительных скоростей необходимо расширять конус до $2\Delta\mu_{01}$ при скорости $\overline{V}_{ст1}$. Однако расширение конуса ведет к снижению плотности элементов α в конусе и снижению показателя эффективности, а именно - полной вероятности поражения цели W . Возможно также обеспечить согласование АИУС и ИУ за счет увеличения скорости $\overline{V}_{ст}$ или за счет изменения угла наклона диаграммы направленности АИУС в диапазоне $\overline{V}_{отн\max} \dots \overline{V}_{отн\min}$, если для каждой относительной скорости $\overline{V}_{отн}$ устанавливать "свой" угол срабатывания.

Совокупность технических приемов, с помощью которых устанавливается требуемое положение области срабатывания АИУС или области реагирования ИУ в зависимости от диапазона условий встречи, определяет метод согласования.

Реализация того или иного метода согласования зависит от имеющейся информации об условиях встречи, а также возможностей управлять характеристиками АИУС и ИУ в процессе реализации операции. Для обеспечения «полного» согласования необходима информация о векторе относительной скорости $\bar{V}_{отн}$, в случаях «неполного» обеспечения согласованной работы и перекрытия ошибок за счет увеличения ширины конуса разлета элементов ИУ достаточно информации о модуле $|\bar{V}_{отн}|$, а минимально необходимая информация, это - сведения о возможности реализации в операции встречного или догонного курса.

Оценка условий согласованной работы АИУС и ИУ для экспортного варианта комплексной системы «Штиль – 1»

Для экспортного варианта комплексной системы «Штиль – 1» характерны следующие условия встречи ракеты и цели, заданные диапазоном скоростей ракеты:

$\bar{V}_{p,max} \dots \bar{V}_{p,min} = (200 \dots 1750) \text{ м/с}$, диапазоном скоростей цели: $\bar{V}_{ц,max} \dots \bar{V}_{ц,min} = (130 \dots 850) \text{ м/с}$,

диапазоном угла встречи $\alpha = 0^\circ \dots 60^\circ$, при ограничениях угла пеленга $\varepsilon = 60^\circ$. Определе-

ны параметры ИУ: скорость разлета элементов в статике $\bar{V}_{ст} = (1800 \text{ или } 2500) \text{ м/с}$ и ширина конуса разлета элементов $2\Delta\mu_0 = 16^\circ$. Предполагается конструкция АИУС с постоянным углом наклона диаграммы направленности $\varphi_{ср}$. Оценим условия согласованной работы АИУС и ИУ для предлагаемых условий встречи, параметров ИУ и заданной конструкции АИУС.

Построим годограф относительных скоростей (рисунок 10) и для заданной $V_{ст1} = 2500 \text{ м/с}$ найдем средний угол наклона диаграммы направленности $\varphi_{ср}$.

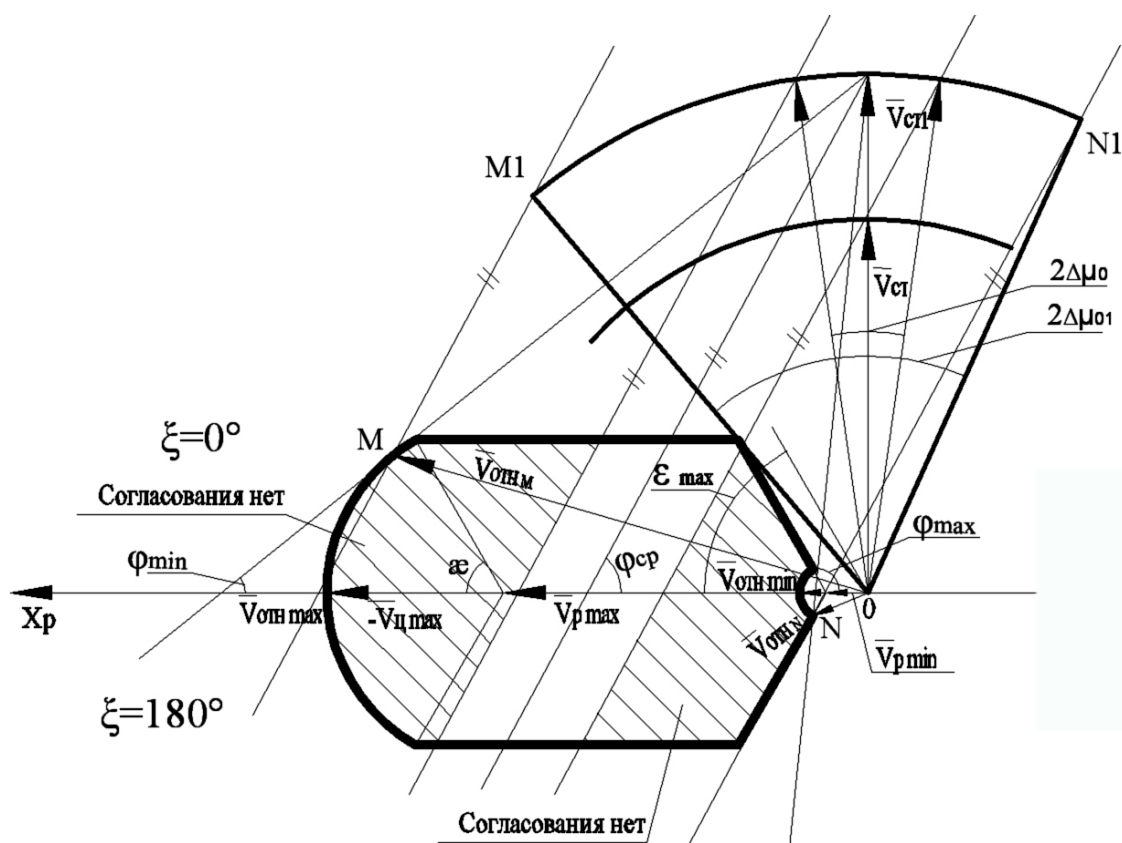


Рисунок 10.- Оценка условий согласованной работы АИУС и ИУ для комплекса «Штиль – 1»

Выполним построения как на рисунке 9 и оценим область годографа, где будет обеспечена согласованная работа АИУС и ИУ. Часть годографа ограниченная линиями, параллельными $\varphi_{ср}$, это - область годографа, где будет обеспечена согласованная работа АИУС и ИУ (не заштрихованная область). Для относительных скоростей, расположенных в заштрихованных областях годографа, согласование отсутствует. Из рисунка 10 также видно, при скорости разлета элементов $\overline{V_{сг}} = 1800$ м/с и постоянном угле наклона диаграммы направленности АИУС - $\varphi_{ср}$ конструкция с такими параметрами АИУС и ИУ не может быть реализована, поскольку дуга $\overline{V_{сг}} = 1800$ м/с не пересекает линию MM_1 .

Для обеспечения согласованной работы АИУС и ИУ необходимо либо расширять конус разлета элементов до $2\Delta\mu_{01} = 64^\circ$, что снижает эффективность функционирования КС, либо использовать методы согласованной работы, что предполагает усложнение конструкции АИУС или ИУ, а также наличие на борту дополнительной информации об условиях встречи (относительной скорости, стороне промаха и т.д.).

Список литературы

1. Автономные информационные и управляющие системы: В 1 т. / Ю.М. Астапов, А.Б. Борзов, Н.С. Соболева [и др.]; под ред. А.Б. Борзова.- М.: ООО НИЦ «Инженер», ООО «Онико-М», 2011.

Estimation of conditions of coordinated work of Autonomous Information and Control Systems (AICS) and executing device at the initial design stages

77-30569/334010

02, February 2012

Soboleva N.S.

Bauman Moscow State Technical University

Sob-ns@yandex.ru

Problems of coordinated work of Autonomous Information and Control Systems (AICS) and executing device (ED) for wide range of conditions of application were considered. Hodographs of relative velocities were plotted for possible variants of a meeting of the rocket and the target and possibility of their usage for a choice of AICS and ED parameters already at the initial design stages was shown. For export variant of complex system «Shtil-1» the field of hodograph of relative velocities where coordinated work of AICD and executing device could be provided, was defined.

Publications with keywords: [relative velocity](#), [angle of meeting](#), [locus of relative velocities](#), [angle of incline of diagram of antenna of AICS](#), [velocity of splitters in static](#)
Publications with words: [relative velocity](#), [angle of meeting](#), [locus of relative velocities](#), [angle of incline of diagram of antenna of AICS](#), [velocity of splitters in static](#)

References

1. Astapov Iu.M., Borzov A.B., Soboleva N.S., e.a. *Avtonomnye informatsionnye i upravliaiushchie sistemy* [Autonomous information and control systems]. JSC “Inzhener” Publ., JSC “Oniko-M” Publ., 2011, vol. 1.