

УДК 623.46.001:533.6.011

**В.В. КУЛАЛАЕВ, А.В. КУЛАЛАЕВ***Интернациональная техническая экономическая компания «ИнтерТЕК»,  
Харьков, Украина***СИГНАТУРА ТЕПЛОВЫХ СИГНАЛОВ ОБЪЕКТА В ПРОСТРАНСТВЕННОМ  
ИНФОРМАЦИОННОМ ПОЛЕ, КАК «СИЛОВОЙ» ФАКТОР УПРАВЛЕНИЯ  
ОПТИКО-ЭЛЕКТРОННЫМИ СЛЕДЯЩИМИ СИСТЕМАМИ**

*Предложена гипотеза о том, что сигнатура электромагнитного излучения (ЭМИ) объекта в пространственном информационном поле (ПИП) в виде вектора Умова-Пойнтинга, является «силовым» фактором управления полем сил коррекции приёмной системы любого пространственного наблюдателя (ПН). Проведено теоретическое и экспериментальное доказательство справедливости предложенной гипотезы для векторной сигнатуры теплового сигнала от любого объекта ПИП при температуре  $T_0 > 0$ , что подтверждено на примере управления оптико-электронными следящими системами ОЭСС инфракрасного диапазона. Результаты работы могут быть использованы при исследовании методов помехозащитности ОЭСС различных типов, а также при разработке систем оптико-электронного противодействия (СОЭП) для защиты тепловыделяющих объектов от средств поражения с ОЭСС, в том числе летательных аппаратов коммерческого и гражданского назначения.*

**Ключевые слова:** *информационное поле, тепловой образ, поле искусственных тепловых помех, вектор, электромагнитное излучения, управление, подавление, оптико-электронная система слежения.*

**Общие положения**

Взаимное положение динамических объектов в ПИП определяется электромагнитными излучениями (ЭМИ) по информационным каналам связи и управления (ИКСУ). Между объектом и приёмной системой ОЭСС информационный канал связи и управления определяется лучистым потоком пассивного излучения объекта, при его температуре  $T_0 > 0$ , направленным по линии визирования (ЛВ) объекта.

Одновременно ИКСУ является кинематическим звеном, связывающим излучающий динамический объект в ПИП и приёмную систему ОЭСС, ограниченную апертурой параметров её оптической системы (ОС). Пространственное положение объекта постоянно отслеживается координатором ОЭСС по ЛВ, направление которой совпадает с ИКСУ и корректируется моментами поля сил коррекции пропорциональными текущей величине параметра углового расхождения  $\Delta(t)$  между ЛВ на объект и полярной осью гиросистемы (ГС) координатора, который обнуляется за счёт переходных рабочих процессов замкнутого контура управления (ЗКУ) ОЭСС.

Сигнатура сигнала ЭМИ от объекта в ПИП должна находиться в угловой апертуре приёмной ОС ОЭСС, а мощность её лучистой энергии, переносимой через единицу поперечного сечения площади канала связи (ИКСУ) характеризуется векто-

ром Умова-Пойнтинга  $S$  [1]. Вектор потока лучистой энергии переносимый ЭМИ через единицу поперечной площади ИКСУ является «скользящим» по ЛВ (вектору расстояния  $r(t)$ ) объекта и составит

$$\Phi = S ds,$$

где  $ds$  – элементарная площадь поперечного сечения канала связи (ИКСУ), направленного по ЛВ объекта.

Сформулируем **предлагаемую гипотезу** в следующей постановке:

- вектор  $\Phi$  является «силовым» фактором управления ОЭСС, который полностью формирует поля сил коррекции управления координатором ОЭСС при слежении за излучающим динамическим объектом в ПИП.

Таким образом, **целью работы** является теоретическое и экспериментальное доказательство выдвинутой гипотезы.

Работа выполнена Интернациональной технической экономической компанией «ИнтерТЭК», Украина, г. Харьков, в рамках международного проекта Р371 УНТЦ, г. Киев.

**1. Простая физическая модель передачи информации управления объектом в ПИП**

Понятие «связи» можно сформулировать следующим образом: **связь есть любое движение ин-**

**формации в ПИП.** Тогда движение объекта-носителя информации в ПИП связано с силовым воздействием на него, что определяет скорость перемещения носителя информации. Скорость перемещения, в свою очередь, определена вектором, т.е. направлением и величиной-модулем, который в полной мере, согласно закону сохранения, должен определять поле сил коррекции приёмной системы любого ПН, в том числе координатора ОЭСС, при слежении за динамическим объектом. На основании данного рассуждения можно представить простую физическую модель передачи информации управления в ПИП в стационарных условиях, когда скорость  $V_0 = 0$ .

Кинематическая схема такой модели представлена на рис. 1.

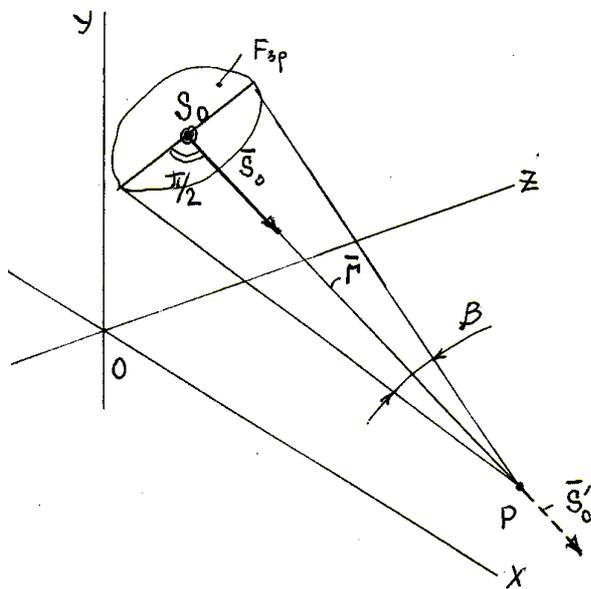


Рис. 1. Простая физическая модель передачи информации в ПИП в стационарных условиях наблюдения ( $V_0 = 0$ ;  $V_p = 0$ ;  $r \gg 0$ )

Согласно рис. 1:

- объект  $S_0$  – носитель векторной сигнатуры теплового сигнала  $S_0$ , в виде вектора Умова-Пойнтинга, расположен неподвижно в ПИП на расстоянии  $r$  от пространственного наблюдателя  $P$  до приёмной системы ОЭСС, при  $V_p = 0$ ;

- тепловой сигнал  $S_0$  находится в угловой апертуре  $\beta = 2\omega_{зр}$  поля зрения оптической системы (ОС) ОЭСС;

- ИКСУ для ОЭСС направлен по ЛВ объекта – вектору расстояния  $r$ .

Так как вектор  $S_0$  является «скользящим» по направлению ИКСУ (ЛВ), а объект в ПИП воспринимается как точечный источник излучения, то приёмная система ОЭСС воспринимает сигнатуру теплового сигнала объекта в виде вектора  $\vec{S}_0$ , который

меньше вектора  $S_0$  за счёт путевых потерь на расстоянии  $r$ .

Вектор лучистого потока энергии на входном зрачке ОС ОЭСС (в этом случае, для простоты и уменьшения громоздкости выкладок, используем энергетические величины единиц измерения, что не влияет на результаты работы) составит

$$\vec{\Phi}_{вх} = k_{\tau} \cdot \vec{\Phi}_0 \cdot \frac{1}{r^2}, \quad (1)$$

где  $k_{\tau} = \tau \cdot \frac{A_{вх}}{\Omega}$ , здесь  $k_{\tau}$  – приведенный коэффициент пропускания излучения среды между объектом в ПИП и приёмной системой ОЭСС;

$\tau$  – коэффициент пропускания среды распространения излучения (атмосферы);

$$\Omega = \frac{A_{вх}}{r^2} - \text{телесный угол};$$

$A_{вх}$  – площадь входного зрачка ОС ОЭСС.

Формула (1) справедлива только для малых значений телесных углов  $\Omega$ , что часто встречается на практике.

Анализ простой физической модели передачи информации, представленной на рис. 1 показывает, что приёмная система ОЭСС, в этом случае, определяет **наличие излучающего объекта в ПИП** по алгоритму: «есть,  $S_0 > 0$ »; «нет,  $S_0 = 0$ », т.е. является поисковой.

Если в ПИП существуют модулированные помехи, в виде направленных векторных сигнатур тепловых образов (ТО) полей искусственных тепловых помех (ИТП), **совмещенных** с векторной сигнатурой теплового сигнала объекта **по направлению**, то приёмная система ОЭСС воспринимает сигнал от объекта по ИКСУ в виде аддитивного нестационарного сигнала.

В этом случае сигнал управления определён скалярной величиной

$$|\Phi_{\Pi}(t)| = |\Phi_0| \cdot K_{У\Pi}(t), \quad (2)$$

где  $K_{У\Pi}(t) = 1 + k_f \cdot K_{\Pi} \cdot F_{\Pi}(t)$  – коэффициент аддитивного помехового воздействия на электронный блок ЗКУ ОЭСС:

здесь коэффициент интенсивности  $i$ -ой нестационарной помехи, в виде помеховых тепловых образов

$$(ТО) - K_{\Pi i} = \frac{\Phi_i^{\Pi}(t)}{\Phi_0},$$

$k_f$  – коэффициент соотношения эквивалентных полос частот пропускания и взаимодействия пространственных информационных каналов,

$F_{\Pi}(t)$  – закон модуляции ТО ИТП в ПИП.

Отметим, что  $\Phi_{\Pi}(t)$ , зависимость (2), величина скалярная, которая может формировать искаженный управляющий сигнал **только** во втором эле-



$$\vec{F}_{Y\Pi}(t) = F_{Y\Pi}(t)_y \cdot \vec{j} + F_{Y\Pi}(t)_z \cdot \vec{k}, \quad (4)$$

где  $\vec{j}$  и  $\vec{k}$  – единичные векторы.

Очевидно, что плоскость управления координатором, в которой лежит вектор,  $F_{Y\Pi}(t)$  определена точкой P и вектором  $\vec{V}_0 \cdot \sin(\psi(t))$ , см. рис.2.

С учётом того, что все вектора входящие в зависимость (3) являются взаимно перпендикулярными можно определить модуль вектора корректирующей силы управления координатором, с учётом (1), в виде обобщенного соотношения

$$|\vec{F}_{Y\Pi}(t)| = k_F \cdot k_\tau \cdot \frac{|\vec{\Phi}_0| \cdot |\vec{\omega}_{\text{ЛВ}}(t)|}{r^2(t)}. \quad (5)$$

**Зависимости (3) и (5), представляются впервые,** указывают на однозначную связь вектора потока излучения (мощности потока излучения), направленного по ИКСУ и вектора силы, определяющего поля коррекционных сил управления координатором ОЭСС при слежении за динамическим объектом в ПИП. Полученные зависимости открывают **новые возможности** при исследовании переходных процессов динамических звеньев ЗКУ ОЭСС и способов её помехозащищенности, что, несомненно, будет способствовать более качественному проектированию систем данного типа [4].

Для доказательства справедливости полученных зависимостей, найдем величину момента коррекционных сил управления координатором ОЭСС, проведем оценочные расчёты и сравним результаты с данными других авторов.

На основании кинематической схемы, изображенной на рис.2, находим, по очевидному тройному векторному соотношению, величину вектора внешнего момента коррекционных сил управления координатором ОЭСС

$$\vec{M}_{\text{ВН}}(t) = k_F \cdot (\vec{\Phi}_{\text{ВХ}} \times \vec{\omega}_{\text{ЛВ}}(t) \times \vec{r}(t)). \quad (6)$$

Соответственно модуль вектора внешнего момента коррекционных сил управления координатором ОЭСС определяется зависимостью вида

$$|\vec{M}_{\text{ВН}}(t)| = k_F \cdot k_\tau \cdot \frac{|\vec{\Phi}_0| \cdot |\vec{\omega}_{\text{ЛВ}}(t)|}{r(t)}. \quad (7)$$

Проведём расчёт по зависимости (7), на основании исходных данных работы [3]:

$$\Phi_0 = 1000, \text{ Вт}; \quad \omega_{\text{ЛВ}}(t) = 1,0, \text{ рад/с};$$

$$r(t) = r_0 = 1000, \text{ м.}$$

Принимаем

$$k_F \cdot k_\tau = 1,0,$$

где  $k_F = 10/g$ ;  $g = 9,81, \text{ м/с}^2$  – ускорение силы тяжести.

Получим внешний момент коррекционных сил управления гироскопической системой координатора

$$|\vec{M}_{\text{ВН}}(t)| = 10^4, \text{ Г} \cdot \text{см},$$

что точно согласуется с данными работы [3] для известных типов ОЭСС и может служить, в первом приближении, теоретическим подтверждением правильности выдвинутой гипотезы.

Для линейных систем управления коррекционный момент управления координатором ОЭСС пропорционален текущей величине угла рассогласования  $\Delta(t)$ :

$$M_K(t) = k_K \cdot \Delta(t).$$

Здесь  $k_K$  - коэффициент пропорциональности.

На основании закона сохранения выполняется равенство внешнего и внутреннего управляющего момента коррекции координатора ОЭСС. Запишем условия точного сопровождения излучающего динамического объекта в ПИП:

$$\Delta(t) = \frac{\Phi_0 \cdot \omega_{\text{ЛВ}}(t)}{r(t)} \cdot \frac{k_F \cdot k_\tau}{k_K}; \quad (8)$$

$$\Delta(t) \rightarrow 0;$$

$\omega_{\text{ЛВ}}(t) \rightarrow 0$  в угловом поле зрения ОС ОЭСС –  $2 \cdot \omega_{\text{ЗР}}$ .

### 3. Применение гипотезы «силового» пространственного управления ОЭСС в условиях воздействия модулированных ТО полей ИТП по пространственной угловой фазе. Технология пространственного смещения теплового образа – ПСТО

В качестве модели помехового воздействия на ОЭСС модулированного поля ИТП в ПИП, рассмотрим **одновременное** сопровождение в поле зрения приёмной ОС (в плоскости предметов) не менее трёх произвольно пространственно разнесённых векторных сигнатур тепловых сигналов. Например, стационарный тепловой сигнал от объекта и два ( $i=2$ ) и более нестационарных помеховых сигналов синхронизированных по угловой пространственной фазе  $\Phi_{\text{П}i}(t)$ . Данный вид помехового воздействия на ОЭСС подробно рассмотрен в работах [5, 6 – 17]. Управляющим «силовым» первичным векторным воздействием на ЗКУ координатором ОЭСС (через первичный оптический элемент управления) будет суммарный вектор

$$\vec{\Phi}_i^{\text{П}}(t) = \vec{\Phi}_0 + \vec{\Phi}_{\text{П}i}(t), \quad (9)$$

который определяет, в поле зрения ОС ОЭСС, сюжетную и динамическую обстановку целеуказания на излучающие объекты (**технология ПСТО**).

Модуль суммарного управляющего «силового» вектора сигнатуры теплового поля корректировки координатора ОЭСС, в этом случае, приводится к очевидному соотношению

$$\begin{aligned} |\bar{\Phi}_{\Sigma\Pi i}(t)| &= \\ &= \sqrt{\Phi_0^2 + \Phi_{\Pi i}^2(t) + 2\Phi_0\Phi_{\Pi i}(t)\cos(\Delta\varphi_{\Pi i}(t))}, \end{aligned} \quad (10)$$

где  $\Delta\varphi_{\Pi i}(t)$  – закон детерминированного изменения помехового (искусственного) шума дополнительного курсового угла в поле зрения ОС ОЭСС, за счёт воздействия ТО модулированного поля ИТП.

При  $\Delta\varphi_{\Pi i}(t)=0$  зависимость (10) приводится к виду соотношения (9).

Анализ зависимости (10) показывает, что при воздействии модулированных ТО поля ИТП по технологии ПСТО, на кинематические звенья ЗКУ ОЭСС через ИКСУ, в ОС вводится смешанная помеха в виде суммы аддитивной и мультипликативной помехи [4].

При этом аддитивная помеха искажает картину целеуказания в поле зрения ОС, а возникающая мультипликативная помеха перегружает электронный блок управления из-за детерминированного помехового изменения коэффициента усиления ЗКУ ОЭСС.

Соответственно, зашумленная сила поля корректировочных усилий управления координатором определяется зависимостью

$$\bar{F}_{\text{УП}i}^{\Pi}(t) = k_F (\bar{\Phi}_{\Sigma i}^{\Pi}(t) \times \bar{\omega}_{\text{ЛВ}}^{\Pi}(t)), \quad (11)$$

а её модуль

$$|\bar{F}_{\text{УП}i}^{\Pi}(t)| = k_F \cdot k_{\tau} \frac{|\Phi_{\Sigma i}^{\Pi}(t)| \cdot |\omega_{\text{ЛВ}}^{\Pi}(t)|}{r^2(t)}. \quad (12)$$

В процессе сближения динамических объектов в ПИП ( $V_0 > 0$ ;  $V_p > 0$ ), например, по методу пропорционального сближения (МПС) [1], вектор расстояния между ними стремится к нулю  $r(t) \rightarrow 0$ . Шум ДКУ  $\Delta\varphi_{\Pi i}(t)$ , измеряемый координатором ОЭСС будет увеличиваться, и приближаться к критическому значению, в связи с ограниченной апертурой оптического разрешения поля зрения ОС ОЭСС. При этом будет увеличиваться зашумленная сила поля корректировочных усилий управления координатором  $\bar{F}_{\text{УП}i}^{\Pi}(t)$ .

Оценить увеличение силы поля коррекции координатора при сближении объектов можно по зависимости (12). Отметим, что воздействие  $\bar{F}_{\text{УП}i}^{\Pi}(t)$  будет ограничено расстоянием предельного разрешения ТО поля ИТП в поле зрения ОС ОЭСС. На предельном (критическом) расстоянии  $r_{\text{ПР}} > 0 = \text{const}$  оптического разрешения ТО поля ИТП, в зависимости от их спектрального контраста, произойдёт срыв процесса слежения и самонаведения ОЭСС, из-за «силового» выхода тепловых векторных сигналов из поля зрения ОС.

Предельное разрешение сигнатур ТО поля ИТП определяется зависимостью

$$r_{\text{ПР}} = \frac{|\Delta\bar{f}_i|}{2\omega_{\text{ЗР}}}, \quad (13)$$

где  $|\Delta\bar{f}_i|$  – модуль вектора расстояния между  $i$ -ми сигнатурами ТО поля ИТП.

В рассматриваемой модели воздействия на ИКСУ, в связи с тем, что в поле зрения ОС при внешнем возмущающем воздействии ТО поля ИТП находятся несколько векторных сигнатур тепловых сигналов ( $N > 2$ ), на ось координатора будут воздействовать одновременно несколько сил коррекции. В этом случае необходимо определение равнодействующей, которая определяет вобуляции ИКСУ в поле зрения ОС, а также фазовые портреты [4] флуктуации полярной оси гироскопической системы.

Зашумленная помеховым воздействием равнодействующая сила поля коррекции определяется соотношением

$$F_{\text{УП}i}^{\Pi}(t) = F_0 \sqrt{1 + K_{\Pi i}^2(t) + 2K_{\Pi i}(t) \cdot \cos \alpha_i}, \quad (14)$$

где  $\alpha_i$  – угол между векторами  $\bar{F}_{\Pi i}(t)$  и  $\bar{F}_0$ , направленными на соответствующие сигнатуры тепловых сигналов в поле зрения ОС ОЭСС.

Таким образом, создавая по технологии ПСТО модулированные поля ИТП по заданному пространственному векторному закону  $\bar{F}_{\Pi}(t, \Delta\bar{f}_i, \dots)$  вокруг центра излучающего объекта в ПИП в поле зрения ОС ОЭСС, в рамках эквивалентных полос пропускания вторичного электронного элемента управления, появляется возможность детерминированного управления траекторией сближения динамических объектов ( $P$  и  $S_0$ ). Детерминированное управление определено **перезагрузкой целеуказания** первичного элемента управления – приёмной оптической системы ОЭСС.

В этом случае ИКСУ **не подавляется**, как в настоящее время, а происходит детерминированное **управление им** (технология ПСТО [6-17]), за счёт его пространственной вобуляции по заданному закону  $\bar{F}_{\Pi}(t, \Delta\bar{f}_i, \dots)$ .

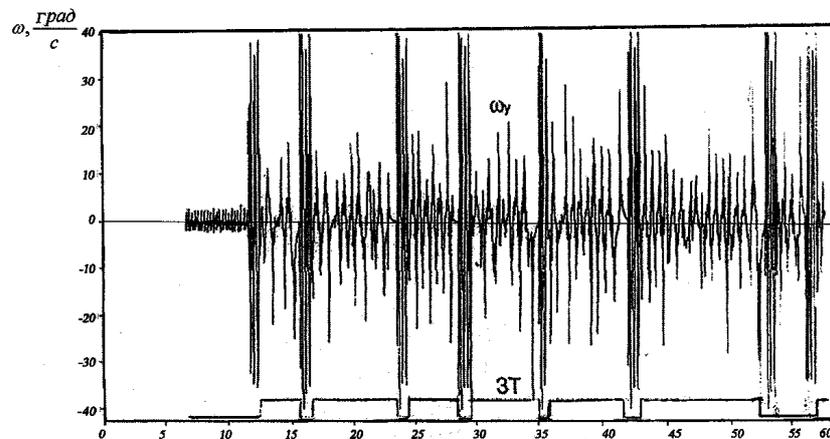
#### 4. Результаты экспериментального подтверждения гипотезы «силового» управления ОЭСС

Для подтверждения гипотезы «силового» управления приёмной системой любого пространственного наблюдателя, на примере ОЭСС, проведены экспериментальные исследования на базе ФГУП ГосНИИАС, г. Москва. Испытывались ОЭСС

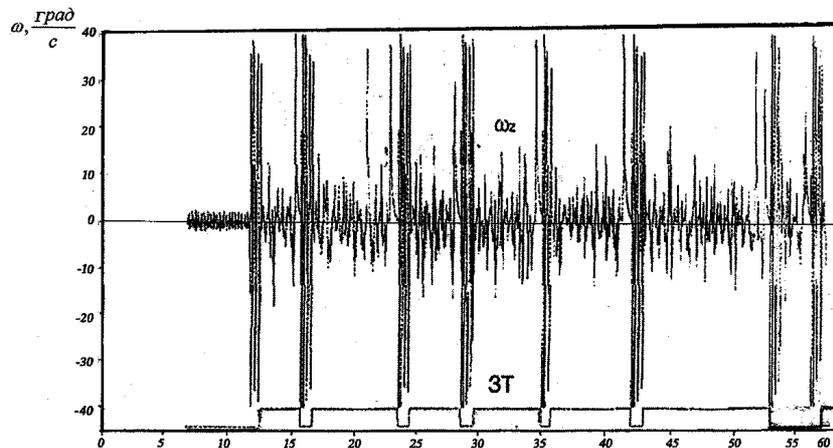
с различными видами модуляции (обработки) тепловых сигнатур в анализаторе изображений (АИ), с заданной высокой добротностью ЗКУ,  $q_k$ . Опыты проводились в стационарных условиях размещения модели генератора модулированного поля ИТП, совмещенным с имитатором объекта излучения и ОЭСС различных типов. Объекты эксперимента устанавливались на заданном расстоянии  $r_0$  друг от друга. Все тепловые сигнатуры ТО поля ИТП и имитатора объекта находились в поле зрения ОС ОЭСС. Частота следования ТО поля ИТП была строго пространственно – фазированной, согласно векторному закону модуляции  $\vec{F}_{\Pi}(t, \Delta\vec{f}_1, \dots)$  с заданной амплитудно-частотно-фазовой характеристикой

(АЧФ), с интенсивностью  $K_{\Pi} \in [0; 3]$ .

После запуска генератора пространственно модулированного поля ИТП совместно с имитатором излучения объекта, производились замеры флуктуации (вобуляции) полярной оси координатора (ЛВ) испытываемых типов ОЭСС, которая, как отмечено выше, совпадает с направлением ИКСУ. Измерялись вобуляции ИКСУ в двух плоскостях управления: по тангажу  $Y_0X$  и рысканию  $Z_0X$ , в виде угловых скоростей  $\omega_y(t)$ ;  $\omega_z(t)$  и угловых рассогласований  $\Delta_y(t) = \varphi_y(t)$ ;  $\Delta_z(t) = \varphi_z(t)$ . Результаты одного из замеров вобуляции ИКСУ, в виде изменений угловых скоростей оси координатора (ЛВ) по плоскостям управления представлены на рис. 3.



а



б

Рис. 3. Результаты замеров угловых скоростей оси координатора ОЭСС с импульсной модуляцией в АИ и с заданной добротностью ЗКУ  $q_k$  по плоскостям управления: а –  $\omega_y(t)$ ; б –  $\omega_z(t)$ , при воздействии ТО поля ИТП (здесь шкала времени приведена в относительных единицах)

Анализ результатов представленных на рис. 3 показывает, что в поле зрения ОС ОЭСС ИКСУ подвергается периодической вобуляции при воздействии векторных сигнатур модулированных ТО поля ИТП по заданному векторному закону  $\vec{F}_{\Pi}(t, \Delta\vec{f}_1, \dots)$ .

При их «силовом» сдвиге в направлении вектора  $\Delta\vec{f}_1(t)$ , для каждого помехового теплового сигнала, за счёт возникающего помехового поля сил коррекции  $\vec{F}_{У\Pi}(t)$  (см. формулу (12) и (14)) по плоскостям управления координатором, происходит

периодическое прерывание информации в ЗКУ ОЭСС, т.е. срыв процесса слежения (см. линию разрешения на захват ЗТ на рис. 3).

В реальных условиях полёта носителя ОЭСС это означает потерю цели в поле зрения ОС, а значит, и срыв процесса самонаведения на цель, после чего целевая функция носителя не может быть выполнена. Это предположение полностью подтверждается результатами замеров изменения угла рассогласования по плоскостям управления

$$\Delta_y(t) = \varphi_y(t); \Delta_z(t) = \varphi_z(t)$$

при воздействии на ОС ОЭСС модулированными ТО поля ИТП представленных на рис. 4 (эксперименты проведены с использованием того же типа ОЭСС, что и при получении результатов представленных на рис. 3).

На рис. 4 видно, что после «захвата» ОЭСС системы модулированных по пространственной угловой фазе ТО поля ИТП обнуления угла рассогласования

$$\varphi(t) = \sqrt{\varphi_y^2(t) + \varphi_z^2(t)} \rightarrow 0$$

не происходит.

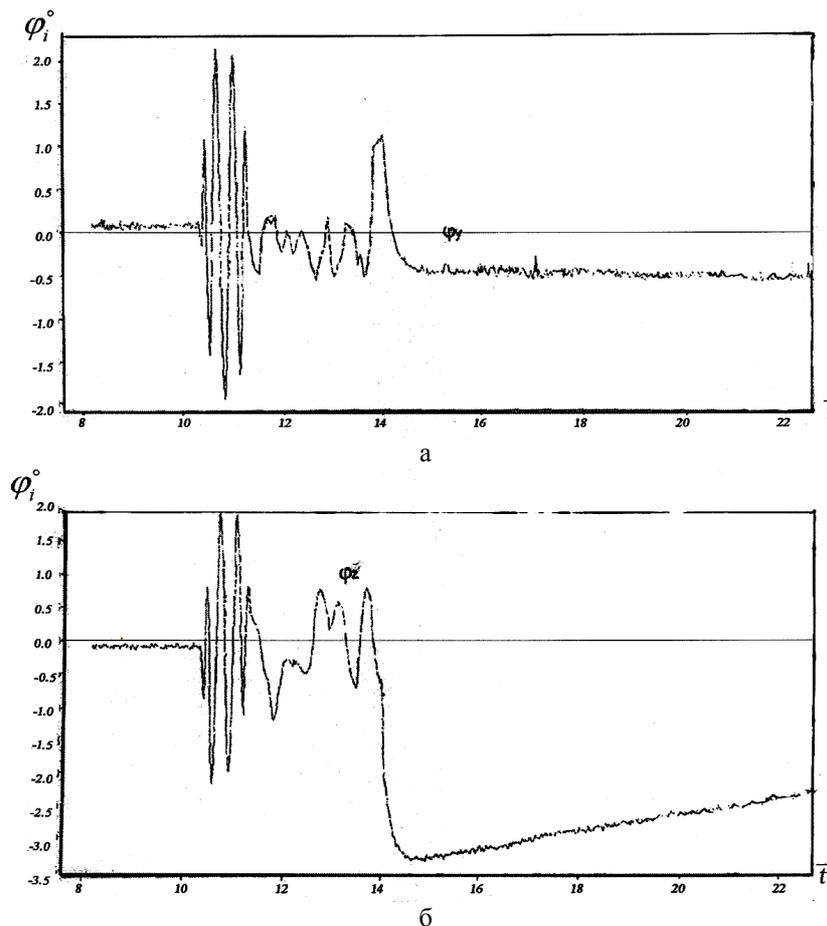


Рис. 4. Результаты замеров угла рассогласования  $\Delta_i(t)$  оси координатора ОЭСС с импульсной модуляцией в АИ и с заданной добротностью ЗКУ  $q_k$  по плоскостям управления: а –  $\varphi_y(t)$  – тангаж; б –  $\varphi_z(t)$  – рыскание, при воздействии ТО поля ИТП (здесь шкала времени приведена в относительных единицах)

Срыв процесса слежения и самонаведения для всех типов исследованных ОЭСС происходил в промежутке времени 0,07 – (0,5-0,8), с. При этом координатор всегда «уходил» на упоры в нижнюю полусферу (3 и 4 квадранты в картинной плоскости).

Нижний предел времени срыва рабочих процессов ОЭСС указывает на невозможность прохождения команды «захват», а в некоторых случаях запрет команды «пуск» для носителя ОЭСС.

Срыв рабочих процессов ОЭСС, по-видимому, объясняется эффективным воздействием смешанной

аддитивно-мультипликативной помехи на ЗКУ ОЭСС, которое приводит к следующим этапам нарушения работы кинематических звеньев управления координатором:

1. Зашумление на 60% - 100% линейной части дискриминационной характеристики ЗКУ за счёт возникновения детерминированного помехового угла рассогласования в поле зрения ОС созданного специально модулированными ТО поля ИТП (технология ПСТО), т.е. управления первым элементом ИКСУ оптической системой ОЭСС;

2. Воздействие, как следствие, на электронный блок (второй элемент управления) ОЭСС, что приводит к периодическому, резкому **возрастанию коэффициента усиления**  $K_{yc}(t)$  ЗКУ, т.е. подключению системы автоматической регулировки усиления (АРУ). Это вызывает насыщение и срыв синхронизации работы кинематических звеньев управления ОЭСС, при этом увеличение  $K_{yc}(t)$  выводит ЗКУ за пределы динамической устойчивости, что приводит к срыву рабочих процессов в ОЭСС.

### Заключение

Проведено теоретическое и экспериментальное подтверждение выдвинутой гипотезы о том, что сигнатура электромагнитного излучения (ЭМИ) любого объекта в пространственном информационном поле (ПИП) в виде вектора Умова-Пойнтинга, является **«силовым» фактором управления** полем сил коррекции приёмной системы любого пространственного наблюдателя (ПН). Доказательство выдвинутой гипотезы проведено на примере управления ОЭСС.

Разработанные физико-математические модели «силового» управления приёмными системами ПН позволяют решать следующие задачи:

- проводить исследование переходных процессов в сложных линейных и нелинейных динамических звеньях ЗКУ ОЭСС различных типов и назначений;
- разрабатывать и проводить исследование способов их помехозащищенности;
- представленный подход организации защиты тепловыделяющих объектов различного назначения от средств поражения с ОЭСС на основании выдвинутой гипотезы **«силового» управления**, позволяет создавать **СОЭП на новых физических принципах**, которые обладают всеми признаками **универсальности** [5, 6-17], в том числе для защиты самолётов и вертолётов гражданского и коммерческого назначения.

### Литература

1. Лазарев Л.П. *Инфракрасные и световые приборы самонаведения и наведения летательных аппаратов* / Л.П. Лазарев. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1976. – 568 с.
2. Лахти Б.П. *Системы передачи информации: пер. с англ.* / Б.П. Лахти; под общ. ред. Б.И. Кувинова. – М.: Связь, 1971. – 324 с.
3. Барский А.Г. *Опτικο-электронные следящие системы: учеб. пособие* / А.Г. Барский. – М.: Университетская книга; Логос, 2009. – 200 с.
4. Астапов Ю.М. *Теория опτικο-электронных следящих систем* / Ю.М. Астапов, Д.В. Васильев, Ю.И. Заложнев. – М.: Наука, 1988. – 328 с.

5. Перунов Ю.М. *Радиоэлектронное подавление информационных каналов систем управления оружием* / Ю.М. Перунов, К.И. Фомичёв, Л.М. Юдин; под ред. Ю. М. Перунова. – М.: Радиотехника, 2003. – 416 с.

6. Кулалаев В.В. *Состояние и перспективы разработки систем защиты самолетов гражданской авиации от террористических пусков ракет с тепловыми головками самонаведения* / В.В. Кулалаев, П.О. Науменко, А.В. Кулалаев // *Авіаційно-космічна техніка і технологія*. – 2003. – № 40/5. – С. 13-18.

7. Кулалаев В.В. *Оценка снижения эффективности в оптических поисковых и следящих систем в условиях применения искусственных организованных помех* / В.В. Кулалаев // *Авіаційно-космічна техніка і технологія*. – 2004. – № 3 (11). – С. 59-64.

8. Кулалаев В.В. *Вероятность пропускания организованных помеховых сигналов согласованным фильтром электронного блока в оптических системах самонаведения* / В.В. Кулалаев // *Системи обробки інформації: зб. наук. пр.* – Х.: ХВУ, 2004. – Вип. 6. – С. 127-133.

9. Кулалаев В.В. *Математическая модель вероятности срыва автоматического сопровождения цели оптической системой самонаведения при воздействии организованных помеховых сигналов устройств противодействия* / В.В. Кулалаев // *Системи обробки інформації: зб. наук. пр.* – Х.: ХВУ, 2004. – Вип. 7. – С. 112-124.

10. Кулалаев В.В. *Влияние организованных помеховых сигналов на характеристики поисковых и следящих оптических систем с фильтром Калмана* / В.В. Кулалаев // *Радиотехнические и компьютерные системы*. – 2004. – № 2. – С. 37-41.

11. Кулалаев В.В. *Основы построения и оценки потенциальной эффективности устройств противодействия зенитным управляемым ракетам с оптическими головками самонаведения* / В.В. Кулалаев // *Авіаційно-космічна техніка і технологія*. – 2004. – № 4. – С. 20-28.

12. Кулалаев В.В. *Применение функции Ламберта  $W$  в решении задач противодействия оптическим системам самонаведения* / В.В. Кулалаев, А.В. Кулалаев // *Авіаційно-космічна техніка і технологія*. – 2004. – № 7. – С. 37-41.

13. Кулалаев В.В. *Определение времени процесса срыва сопровождения цели оптической системой самонаведения при воздействии организованных помеховых оптических сигналов устройства противодействия* / В.В. Кулалаев // *Авіаційно-космічна техніка і технологія*. – 2004. – № 8. – С. 42-45.

14. Кулалаев В.В. *Методика определения влияния полей искусственных тепловых помех на параметры оптических систем самонаведения* / В.В. Кулалаев, А.В. Кулалаев // *Авиационно-космическая техника и технология*. – 2006. – № 7(33). – С. 139-144.

15. *Технология пространственного смещения теплового образа (технология «ПСТО»)*. Пассивная ИК-защита самолетов и вертолетов гражданской

авиации – система «КАРАВАН» / В.В. Кулалаев, А.В. Кулалаев, С.С. Чемезов, М.Г. Салахеев, П.Н. Устименко // *Авиакосмическое приборостроение: научно-технический журнал*. – М., 2008. – № 3. – С. 35-42.

16. Патент на изобретение №2295743, РФ, приоритет от 29 марта 2005 г. Способ оптической

модуляции лучистого потока / Кулалаев В.В.(UA), Кулалаев А.В. (UA), Устименко П.Н. (RU).

17. Патент на изобретение №2201374, РФ, приоритет от 22 июня 2005 г. Способ пространственного смещения теплового образа и устройство для его реализации / Кулалаев В.В.(UA), Кулалаев А.В. (UA).

Поступила в редакцию 1.06.2011

**Рецензент:** д-р техн. наук, проф., ведущий научный сотрудник А.М. Сотников, Научный Центр Воздушных Сил Харьковского университета Воздушных Сил им. И. Кожедуба, Харьков, Украина.

## СИГНАТУРА ТЕПЛОВИХ СИГНАЛІВ ОБ'ЄКТУ В ПРОСТОРОВОМУ ІНФОРМАЦІЙНОМУ ПОЛІ, ЯК «СИЛОВИЙ» ЧИННИК УПРАВЛІННЯ ОПТИКО-ЕЛЕКТРОННИМИ СТЕЖАЧИМИ СИСТЕМАМИ

*В.В. Кулалаєв, А.В. Кулалаєв*

Запропонована гіпотеза про те, що сигнатура електромагнітного випромінювання (ЕМВ) об'єкту в просторовому інформаційному полі (ПП) у вигляді вектора Умова-Пойнтінга, є «силовим» чинником управління полем сил корекції приймальної системи будь-якого просторового спостерігача (ПС). Проведений теоретичний і експериментальний доказ справедливості запропонованої гіпотези для векторної сигнатури теплового сигналу від будь-якого об'єкту ПП при температурі  $T_0 > 0$ , що підтверджене на прикладі управління оптико-електронними стежачими системами ОЕСС інфрачервоного діапазону. Результати роботи можуть бути використані при дослідженні методів перешкодозахищеності ОЕСС різних типів, а також при розробці систем оптико-електронної протидії (СОЕП) для захисту тепловиділяючих об'єктів від засобів поразки з ОЕСС, у тому числі літальних апаратів комерційного і цивільного призначення.

**Ключові слова:** Інформаційне поле, тепловий образ, поле штучних теплових перешкод, вектор, електромагнітне випромінювання, управління, придушення, оптико-електронна система стеження.

## SIGNATURE OF THE OBJECT'S THERMAL SIGNALS IN SPATIAL INFORMATION FIELD AS THE "FORCE" FACTOR OF OPTIC-ELECTRONIC TRACKING SYSTEMS CONTROL

*V.V. Kulalaev, A.V. Kulalaev*

It was proposed the hypothesis on the signature of electromagnetic radiation (EMR) of the object in spatial information field (SIF) presented as the Umov-Pointing vector that acts as the "force" factor of field control by adjustment forces of receiving system of any spatial observer (SO). There was performed theoretical and experimental confirmation of correctness of the proposed hypothesis for vector signature of thermal signal from any SIF object at the temperature of  $T_0 > 0$  that was confirmed on example of control on optic-electronic tracking systems of IR-range optic-electronic tracking and homing systems (OTHS). The results of the works can be applied during research of the methods of noise immunity of OTHSs of different types as well as during development of the optic-electronic countermeasure systems (O ECS) for protection of heat-emitting objects from destruction by OTHS, including commercial and civil aircraft.

**Key words:** Information field, thermal image, field of artificial thermal interferences, vector, electromagnetic radiation, control, suppression, optic-electronic tracking system.

**Кулалаєв Віктор Валентинович** – д-р техн. наук, головний конструктор ООО «ІнтерТЭК», Харьков, Україна, e-mail: jet\_kusha@mail.ru

**Кулалаєв Андрей Викторович** – директор ООО «ІнтерТЭК», Харьков, Україна, e-mail: kulalaev@yahoo.com