УДК 681. 321:517. 958

АЛГОРИТМ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ИНДИКАТРИСЫ ИЗЛУЧЕНИЯ ПОДВИЖНОГО ОБЪЕКТА НА ПРИМЕРАХ РОБОТОТЕХНИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ

А. В. Полтавский, А. С. Жумабаева, Н. К. Юрков

Как известно, в системах обнаружения радиолокационной цели квазикогерентный входной сигнал в приемном устройстве может быть представлен суммой полезного сигнала $S(t)$ и помехи $N(t)$ [1–4]:

$$X(t) = S(t) + N(t). \tag{1}$$

Сигнал на входе радиоприемного устройства учитывает характеристики самого приемного устройства. Например, в когерентных РЛС он включает мощность первичного излучения, мощности сигналов отражения от объекта-цели и фона, величину фазового сдвига между приходящими сигналами, а также величину обратно пропорциональную от четвертой степени дальности D до i-й точки структуры, и таким образом описывается выражением [1–3]:

$$S_i(t) = \sigma_i(Z_i, D_i) \exp\left\{ j\left[\omega t - \frac{4\pi D_i}{\lambda} - \frac{2\pi}{\lambda}\frac{(Z - Z_i)^2}{D_i} \right] \right\}, \tag{2}$$

где ω, Z – круговая частота излучаемого электромагнитного сигнала и некоторое расстояние перемещения по оси наблюдения объекта z соответственно; показатель $\sigma_i(Z_i, D_i)$ учитывает характеристики приемного квазикогерентного устройства и условия наблюдения объекта-цели, которые носят случайный характер.

В теории когерентности важным понятием является функция взаимной корреляции сигналов, приходящих с двух различных направлений в два момента времени, – это функция взаимной когерентности [1]

$$\Gamma_{12}(\tau) = \lim_{T\to\infty} \frac{1}{2T} \int_{-T}^{+T} E(\xi_1, t) E^*(\xi_2, t+\tau) dt,$$

где звездочкой обозначена комплексно сопряженная величина; $E(\xi_1, t)$ – комплексная величина излучения электромагнитного сигнала. Неравенством Шварца можно показать, что

$$0 \le \left|\Gamma_N(\xi_1, \xi_2, \tau)\right| \le 1.$$

При этом экстремальные значения символов (значения 0 и 1) свидетельствуют о полной некогерентности и полной когерентности сигналов от двух источников излучения, т.е. излучение, приходящее с направлений от двух источников ξ_1 и ξ_2 является полностью когерентным, если при этом

$$\Gamma_N(\xi_1, \xi_2, \tau) = 1.$$

С учетом принципа суперпозиции входной сигнал в приемном устройстве информационно-измерительной когерентной системы (ИИКС) следует рассматривать по n составляющим для подвижного объекта [1, 3, 4]

$$S(t) = \sum_n S_n(t) = \sum_n \sigma_n(Z_n, D_n) \exp\left\{ j\left[\omega t - \frac{4\pi D_n}{\lambda} - \frac{2\pi}{\lambda D_n}(Vt - Z_n)^2 \right] \right\}. \tag{3}$$

Несложным преобразованием с помощью функции Кравченко–Бернштейна сигнал для системы обнаружения подвижного объекта с учетом возможных действующих помех ИИКС (естественных и искусственных) приводится к следующему виду [1, 4]:

$$S(U,t) = U\exp\left[-\phi t\right], \tag{4}$$

где U,ϕ – случайная составляющая сигнала с учетом действующей помехи $N(t)$, которая в имитационном моделировании полагается белым шумом с некоторой интенсивностью G_N, математическое ожидание и дисперсию сигнала обозначим через символы m_u, D_u.

Алгоритмом для имитационного моделирования обнаружения подвижного объекта-цели в ИИКС является организация вычисления «пороговой» зависимости [1–3]:

$$C = \frac{b_0\hat{P}_1}{a_0\hat{P}_2},\ \begin{cases} 1, \text{ при } \Lambda_0(u_{\alpha_1}, u, T) \le C; \\ 2, \text{ при } \Lambda_0(u_{\alpha_1}, u, T) > C, \end{cases} \tag{5}$$

где C – порог сигнала обнаружения; T – время наблюдения квазикогерентного сигнала; u_{α_1} – априорное значение случайной величины U; u – реализация случайной величины U; $\hat{P}_2$ – оценка априорной вероятности появления полезного сигнала; $\hat{P}_1 = 1 - \hat{P}_2$ – оценка априорной вероятности появления помехи $N(t)$; b_0, a_0 – потери при пропуске полезного сигнала и при ложной тревоге; индекс 2 – наличие полезного сигнала в структуре $X(u,t)$, действующем на вход системы ИИКС, индекс 1 – это отсутствие полезного сигнала [1]:

$$X(u,t) = \begin{cases} X_2(u,t) = u\exp(-\phi\tau) + N(t); \\ X_1(u,t) = N(t). \end{cases} \tag{6}$$

Функция-индикатор $\Lambda_0(u_{\alpha_1}u, T)$ будет определяться следующим выражением:

$$\begin{gathered} \Lambda_0(u_{\alpha_1},u,T) = hE(u_{\alpha_1}u,T)\left\{1 + \frac{1}{2}D_u\left[\vartheta_1^2(u_{\alpha_1},u,T) + \vartheta_{11}(u_{\alpha_1},u,T)\right]\right\}; \\ E(u_{\alpha_1}u,T) = \exp\left\{\int_0^T g(u_{\alpha_1},\tau)X(u,\tau)d\tau - \frac{1}{2}\beta(u_{\alpha_1},T)\right\}; \\ \vartheta_1(u_{\alpha_1},u,T) = \int_0^T \dot{g}(u_{\alpha_1},\tau)X(u,\tau)d\tau - \dot{\beta}(u_{\alpha_1},T); \\ \vartheta_{11}(u_{\alpha_1},u,T) = \int_0^T \ddot{g}(u_{\alpha_1},\tau)X(u,\tau)d\tau - \ddot{\beta}(u_{\alpha_1},T); \\ g(u_{\alpha_1},T) = \int_0^T g(u_{\alpha_1},\tau)f(u_{\alpha_1},\tau)d\tau; g(u_{\alpha_1}.\tau) = (u_{\alpha_1}/G_N)\exp(-\phi\tau); \\ h = 1/(u_{\max} - u_{\min}), f(u_{\alpha_1},\tau) = S(u,\tau), \end{gathered} \tag{7}$$

где $u_{\max}, u_{\min}$ – экстремум случайной величины U.

Производные компоненты как $g(u_{\alpha_1},\tau), \beta(u_{\alpha_1},T)$ берутся по параметру u_{α_1}.

Из данных формул следует выражение в виде определяющего равенства

$$\beta(u_{\alpha_1},T) = -\frac{u_{\alpha_1}^2}{2G_N\phi}(1 - \exp(-2\phi T). \tag{8}$$

Для наблюдаемого сигнала в многоканальной ИИКС дополнительные компоненты

$$\dot{g}(u_{\alpha_1},\tau)=(1/G_N)\exp(-\phi\tau);\ \ddot{g}(u_{\alpha_1},\tau)=0;$$

$$\dot{\beta}(u_{\alpha_1},T)=-\frac{u_{\alpha_1}}{G_N\phi}(1-\exp(-2\phi T)); \tag{9}$$

$$\ddot{\beta}(u_{\alpha_1},T)=-\frac{u_{\alpha_1}}{G_N\phi}(1-\exp(-2\phi T)).$$

Очередным преобразованием для формулы (7) получим, что исходная функция будет

$$\Lambda_0(u_{\alpha_1},u,T)=h\left[1+\frac{D_u}{2G_N^2}(J^2(u,T)+\alpha_1 u_{\alpha_1}J(u,T)+bu_{\alpha_1}^2+dG_N\right]$$

$$\exp\left\{\frac{u_{\alpha_1}}{G_N}J(u,T)+\frac{\alpha_1}{4}\frac{u_{\alpha_1}^2}{G_N}\right\};\ J(u,T)=\int_0^T\exp(-\phi\tau)X(u,\tau)d\tau; \tag{10}$$

$$\alpha_1=(1-\exp(-\phi T))/\phi;b=\alpha_1^2/4;\ d=\alpha_1/2.$$

Решение предложенной системы позволяет провести моделирование системы.

Имитационное моделирование в задачах обнаружения подвижных объектов

Требуемым (желаемым) значением для выходного сигнала в системе ИИКС является

$$Y_T(m_{\alpha_1},u,T)=\begin{cases}2, \text{ при } \Lambda_0(u_{\alpha_1},u,T)>C;\\ 1, \text{ при } \Lambda_0(u_{\alpha_1},u,T)\le C,\end{cases} \tag{11}$$

в котором исходные данные для имитационного моделирования представляют значения как $u_{\alpha_1}=m_u=0;\ D_u=48;h=1/24;\ G_N=6;\ T=5c;\ \phi=5;\ \alpha_1=0,2;b=0,01;d=0,1;C=1,5$, что соответствует оценкам для вероятностей $\hat{P}_2=0,4;\ \hat{P}_1=0,6$ и отношению $b_0/a_0=0,042$, т.е. цена за ложную тревогу в 25 раз больше, чем за пропуск полезного сигнала.

Реальным значением для выходного сигнала в системе ИИКС будет зависимость

$$Y(m_u,G_N)=\begin{cases}2, \text{ при } \Lambda_0(m_u,G_N,D_u)>C;\\ 1, \text{ при } \Lambda_0(m_u,G_N,D_u)\le C,\end{cases} \tag{12}$$

в которой соответствующие компоненты m_u,G_N,D_u являются не до конца определенными.

Задача оптимизации принятой модели в ИИКС состоит в определении значений m_u^*,G_N^*,D_u^*. Событием θ при оптимизации является конъюнкция событий как $\theta_1\cap\theta_2$, в которой для первого события θ_1 – $Y_T(m_u,u,T)=Y(m_u,G_N,D_u)$ при $X(u,t)=X_1(u,t)$, при этом второй символ θ_2 – событие, состоящее в выполнении равенства вида $X(u,t)=X_2(u,t)$.

Результатом случайного поиска характеристик сигнала процедурами неслучайного поиска (НСП) получено $m_u^*=0,092;G_N^*=4,47;D_u^*=50,34$. Для системы обнаружения, выходным сигналом которой будет сигнал (4), вероятность ошибочного решения будет равна 0,351. Для системы обнаружения с выходным сигналом в виде (4) при $m_u=m_u^*,G_N=G_N^*,D_u=D_u^*$, эта вероятность составляет 0,442. Отсюда следует, что при уменьшении интенсивности белого шума в системе ИИКС вероятность ошибочных решений также уменьшается.

При определении параметров интегральных значений энергетических величин инфракрасного (ИК) спектра электромагнитного излучения подвижного объекта расчет параметров начинают с рассмотрения известного закона Стефана – Больцмана, первого и второго законов Вина. Спектральные значения энергетических величин для расчетов основных параметров индикатрисы излучения подвижного объекта определяются на основе созданных моделей и из общего закона

Планка. Из этого закона получена методика определения индикатрис излучения подвижного объекта на основе имитационного моделирования. Приведем фрагмент испытаний моделей ИИКС подвижного объекта двойного назначения (ДН). Пусть температура на «срезе» сопла БЛА ДН с одним реактивным двигателем $t_c = 440\ C°$, а температура окружающей среды $t_{ср.} = -24\ C°$. Диаметр «выходного» отверстия (на срезе сопла двигателя) $D_в = 0{,}7$м, диаметр «входного зрачка» приемника излучения (ПИ) $A_{об} = A_{вх.\ зр} = 7 \cdot 10^{-3}$м^2, наблюдение ведется на дальности $L = 20$ км (будем рассматривать горизонтальную плоскость), время экспозиции объекта $t_{эксп} = 4{,}2 \cdot 10^{-2}$ с (рис. 1). Объект наблюдается на высоте $H = 6$ км относительно лучевой (визирной) системы координат (СК) оптико-электронной локационной системы (ОЭЛС) под углом в $\Theta = 30$ град., ИК излучение от объекта распространяется под плоским углом $\alpha = 60$ град [4, 5].

Алгоритмом для расчета индикатрисы в разработанной программе являются этапы:

1. Энергетическую светимость объекта определим по формуле Стефана–Больцмана

$$M_e = \varepsilon\sigma(T^4 - T_{СР}^4) = 0{,}9 \cdot 5{,}67 \cdot 10^{-8}(713^4 - 249^4) = 12996\left[\frac{Вт}{м^2}\right]. \quad (13)$$

2. Определяем мощность излучения (поток излучения от объекта Φ_e (рис. 1));

$$\Phi_e = M_e A_{изл} = M_e \frac{\pi D_В^2}{4} = 5003\,[Вт]. \quad (14)$$

3. Силу излучения (I_e) и энергию излучения (Q) от объекта-цели определим из

$$I_e = \Phi_e / \omega \ \text{ и } \ Q = \Phi_e t_{эксп} = 5003 \cdot 4{,}2 \cdot 10^{-2} = 210\,[Дж]. \quad (15)$$

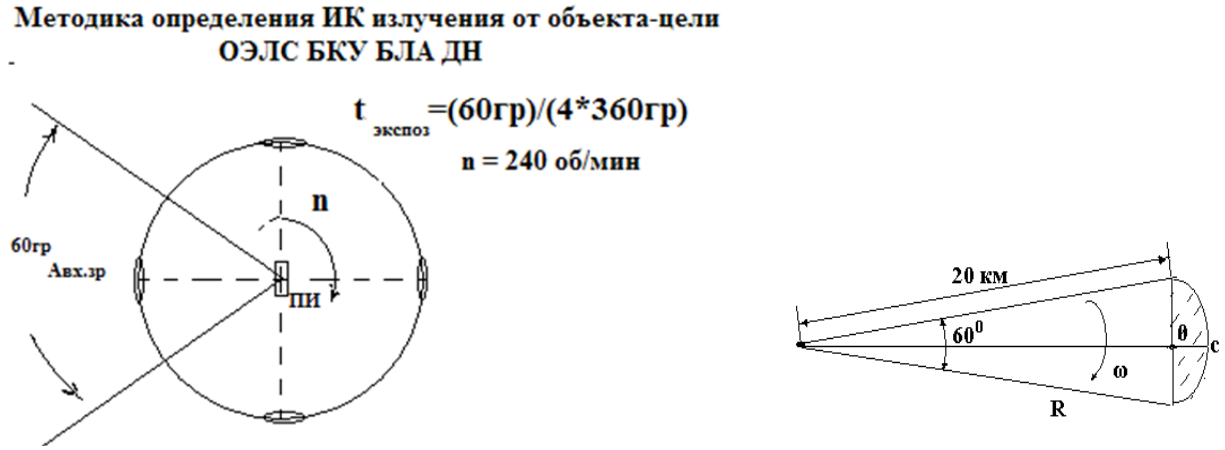

Рис. 1. К определению индикатрисы излучения объекта-цели

4. Определим телесный угол (вводится понятие об эффективном излучающем объеме – это такой объем, равный объему конуса, диаметр основания которого равен диаметру выходного отверстия, высота которого направлена по направлению h):

$$h = \psi(V_Г^2 D_в^2)^{\frac{1}{4}} \ \rightarrow \ \omega = \frac{D_в}{h^2}. \quad (16)$$

5. Находим силу излучения

$$I_e = \frac{5003}{0{,}85} = 5886\left(\frac{Вт}{ср}\right);$$

$$I_{c\theta} = I_e \cos\theta = 5097\left(\frac{Вт}{ср}\right);$$

по известному I_e можно построить индикатрису электромагнитного излучения (рис. 2).

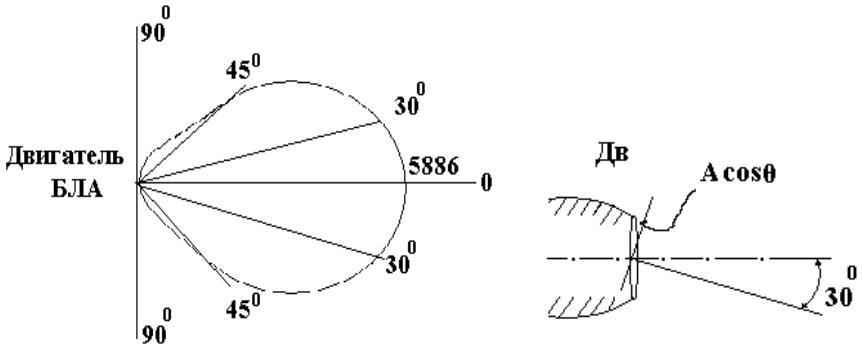

Рис. 2. Индикатриса ИК излучения для подвижного объекта БЛА

На данном шаге алгоритма определяем энергетическую яркость объекта-цели L_{e}

$$L_{\text{e}} = \frac{I_{\text{e}}}{A_{\text{изл}}} = \left[\frac{\text{Вт}}{\text{ср.м}^2}\right]. \tag{17}$$

6. Следующим шагом определим поток излучения, попадающий на объектив ОЭЛС:

$$\Phi_{\text{e об}} = I_{\text{e}\theta}\omega_{\text{об}},\ \omega_{\text{об}} = \frac{A_{\text{об}}}{\ell^2} = (7\cdot 10^{-3})/(4\cdot 10^{8}),\ \rightarrow \Phi_{\text{e об}} = 0{,}89\cdot 10^{-7}\ [\text{Вт}]. \tag{18}$$

7. Энергетическую освещенность объектива ОЭЛС определим по формуле

$$E_e = \frac{\Phi_{e\,\text{об}}}{A_{\text{вх. зр.}}} = 0{,}13\cdot 10^{-4}\left(\frac{\text{Вт}}{\text{м}^2}\right)$$

и, если освещать ПИ, тогда

$$E_{e\,\text{ПИ}} = \frac{\Phi_{e\,\text{ПИ}}}{A_{\text{ПИ}}} = 0{,}13\cdot 10^{-4}\left(\frac{\text{Вт}}{\text{м}^2}\right).$$

Если бы объектива в ОЭЛС не было, а был только ПИ с площадкой принимаемого электромагнитного излучения $A_{\text{ПИ}} = 1\,\text{мм}^2 = 1\cdot 10^{-6}\ \text{м}^2,$ то на него пришел бы лучистый поток, равный $\Phi_{e\,\text{ПИ}} = 0{,}13\cdot 10^{-10}$ (Вт), т.е. объектив прибора ОЭЛС усиливает мощность электромагнитного излучения подвижного объекта в 1000 раз по сравнению с ПИ [4, 5].

В результате вычислительного эксперимента были получены индикатрисы излучения подвижного объекта. Покажем результаты расчета индикатрис для подвижного объекта-цели типа БЛА ДН в компьютерной среде, которые приведены на рис. 3 и 4.

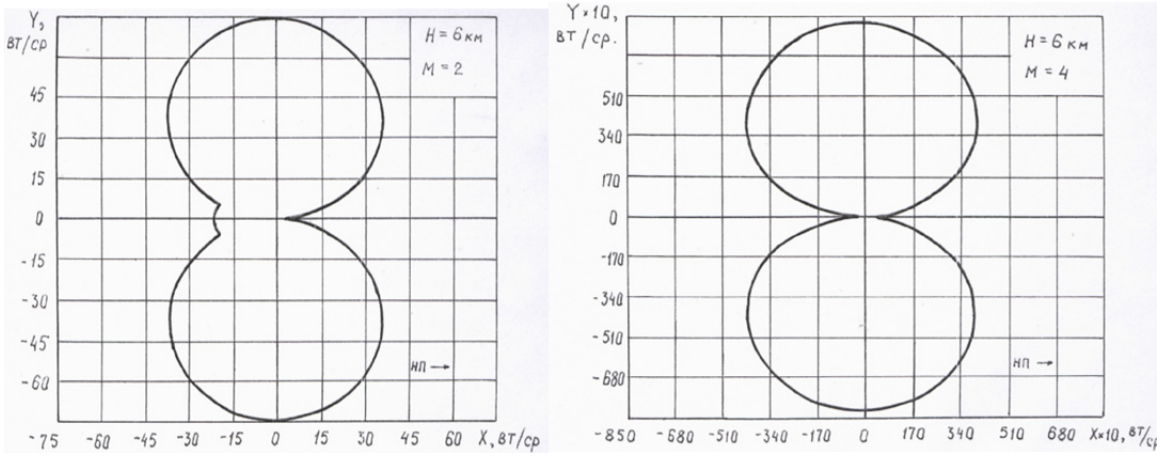

Рис. 3. Индикатрисы излучения подвижного объекта БЛА ДН

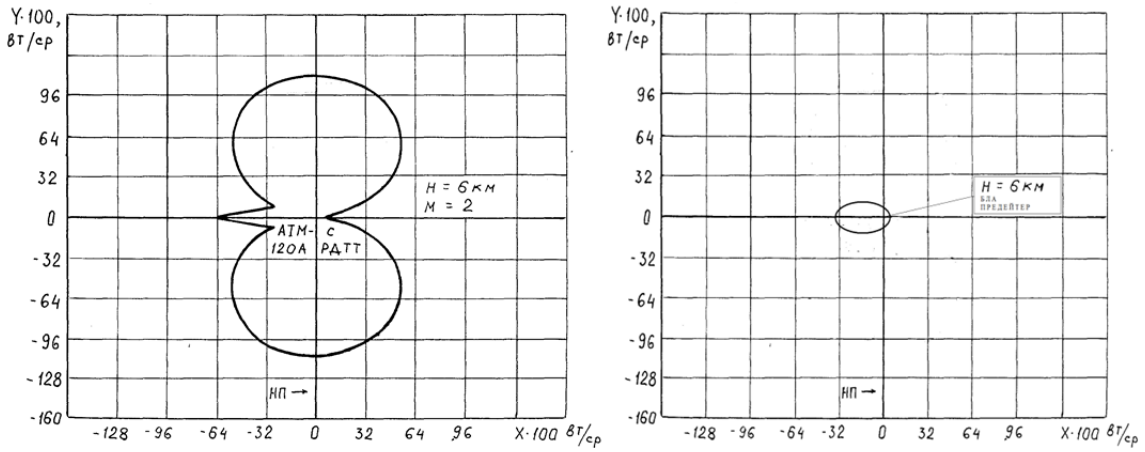

Рис. 4. Расчетные зависимости индикатрис излучения БЛА AIM-120A

Для расчетов показателя максимальной дальности захвата $D_{\max}$ в ИК диапазонах электромагнитных длин волн применяется расчетная формула [4]:

$$D_{\max}^{(\text{ИК})} = \sqrt{\frac{S_{\text{об}} S_{\text{ц}} \tau_{\text{об}} \cos\alpha \cos\phi k_{\text{ан}} \varepsilon_{\text{ц}} D^* K \sigma_1 T_{\text{Ц}} [Z(\frac{\lambda_2}{\lambda_m}) - Z(\frac{\lambda_1}{\lambda_m})]}{\pi \sqrt{q_{\text{ПИ}} \Delta f m}}}, \quad (19)$$

где $S_{\text{об}}$ – площадь входного зрачка прибора обнаружения; $S_{\text{ц}}, \tau_{\text{об}}$ – площадь объекта излучения и коэффициент пропускания излучения объективом; $\cos\alpha, \cos\phi$ – косинусы углов ориентации прибора и объекта наблюдения; $k_{\text{ан}}$ – коэффициент анализатора изображения; K, σ_1 – коэффициент использования потока излучения от объекта-цели, постоянная Стефана–Больцмана и $T_{\text{ц}}$ – температура наблюдаемого объекта-цели; $q_{\text{ПИ}}, \Delta f$ – площадь приемника излучения и ширина полосы пропускания усилителя прибора обнаружения объекта-цели; $\Delta Z(.)$ – окно наблюдаемого излучения от объекта-цели; D^* – обнаружительная способность ИК прибора в имитационной модели ОЭЛС [4–6].

В приведенной выше расчетной (рабочей) формуле определенные трудности вызывает расчет коэффициента использования потока излучения K, который находим как [7, 8]

$$K = \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} ((M_{e_\lambda}) / (M_{e_\lambda \max})) S_\lambda \tau_{\text{a}} d\lambda \Big/ \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} (M_{\text{e}_\lambda}) / (M_{e_\lambda \max}) d\lambda, \quad (20)$$

в котором значения M_{e_λ} – спектральная плотность энергетической светимости объекта-цели, S_λ, τ_a – спектральная чувствительность ПИ в ОЭЛС и коэффициент пропускания атмосферой излучения от наблюдаемого объекта. Для интеллектуальных бортовых систем и практических подсчетов коэффициента использования потока излучения K предлагается использовать банк из зависимостей в виде массива экспонент $\exp K(\lambda\tau) = f(\exp K(\lambda\tau))$ [5, 6].

Индикатрисы излучения подвижных объектов также носят случайный характер и используются в математическом моделировании для определения дальности до объекта-цели.

Заключение

Современные методы и модели оптимизации множества объектов информационно-измерительных и управляющих систем характеризуются степенью соответствия результатов операции и ее цели, обусловливаются качеством системы, измеряются показателями качества и эффективности, оцениваются по критериям пригодности и оптимальности в принятых ограничениях об известности множества других показателей на основе имитационного (компьютерного) моделирования. Критерии функциональной эффективности для таких систем выбираются исходя из их

основного назначения, а на множестве ведущих («обликовых») показателей тактико-технических характеристик в моделировании задач ИИКС при выборе основных параметров и характеристик (v^*) принимают условия логического вывода (при фиксированном (допустимом) уровне затрат на проводимую операцию и множестве принимаемых конструктивно-технологических ограничений Ξ) $æ_1: æ(v^*) = \max\limits_{v \in \Xi} æ(v)$ – критерий ИИКС по оптимальности; $æ_2: æ(v) \geq æ(v^{(j)})$ – условие пригодности многоцелевой ИИКС по превосходству над *j*-м аналогом или альтернативными известными мировыми вариантами.

При оценке соответствия основных характеристик v ИИКС заданным требованиям Ξ используется критерий, представляющий собой функцию-индикатор на множестве возможных значений характеристик v (известный индекс качества продукции): $æ_3: I(v, \Xi) = \begin{cases} 1, v \in \Xi, \\ 0, v \notin \Xi, \end{cases}$ – условие пригодности системы по принадлежности.

Стратегия основной задачи модельного синтеза многофункциональной ИИКС ДН в созданной комплексной компьютерной технологической среде заключается в определении назначения системы и включении в нее объектов новых структур с соответствующими целями и показателями функциональной эффективности и качества.Тенденции развития информационно-измерительных и управляющих систем ДН требуют повышения скорости передачи и приема информации, а следовательно, ее уплотнения во времени. Несомненно, «рабочие» формулы – модели и алгоритмы для оценки параметров излучения различных объектов техники ДН все чаще применяют и в многофункциональных роботизированных ИИКС.

Список литературы

1. Теоретические основы проектирования информационно-управляющих систем космических аппаратов / В. В. Кульба, Е. Н. Микрин, Б. В. Павлов, В. Н. Платонов. – М. : Наука, 2006. – 579 с.
2. Юрков, Н. К. Повышение радиолокационного контраста. Системный подход : моногр. / Н. К. Юрков, А. В. Бухаров. – Пенза : Изд-во ПГУ, 2013. – 398 с.
3. Мубаракшин, Р. В. Бортовые информационно-управляющие средства оснащения ЛА / Р. В. Мубаракшин, Н. В. Ким, М. Н. Красильщиков. – М. : МАИ, 2003. – 134 с.
4. Полтавский, А. В. Модификация модели системы управления подвижным объектом / А. В. Полтавский, Н. К. Юрков // Надежность и качество сложных систем. – 2014. – № 1 (5). – С. 65–70.
5. Полтавский, А. В. Интеграции сигналов когерентной системы ГЛОНАСС/GPS / А. В. Полтавский // Надежность и качество сложных систем. – 2014. – № 2 (6). – С. 46–50.
6. Полтавский, А. В. Методы когерентного контроля подвижных объектов / А. В. Полтавский // Надежность и качество сложных систем. – 2014. – № 3 (7). – С. 22–31.
7. Полтавский, А. В. Модель измерительной системы в управлении БЛА / А. В. Полтавский // Информационно-измерительные и управляющие системы. – 2009. – № 10. – С. 73–77.
8. Когерентный контроль координат основных модулей нежесткой фазированной антенной решетки беспилотного летательного аппарата / А. В. Полтавский, В. М. Бородуля, В. В. Маклаков, Н. К. Юрков // Труды Междунар. симп. Надежность и качество. – 2013. – Т. 2. – С. 100–103.

Полтавский Александр Васильевич
доктор технических наук,
ведущий научный сотрудник,
Институт проблем управления
Российской академии наук им. В. А. Трапезникова
(117997, Россия, г. Москва, ул. Профсоюзная, 65)
E-mail: avp57avp@yandex.ru

Жумабаева Асель Сагнаевна
старший преподаватель,
кафедра космической техники и технологий,
Евразийский Национальный университет
им. Л. Н. Гумилева,
(010000, Казахстан, г. Астана, ул. Сатпаева, 2)
E-mail: almatyaseri@mail.ru

Poltavskiy Aleksandr Vasil'evich
doctor of technical sciences, leading researcher,
Institute of management problems
of Russian academy of sciences
named after V. A. Trapeznikov
(117997, 65 Profsoyuznaya street, Moscow, Russia)

Zhumabaeva Asel' Sagnaevna
senior lecturer,
sub-department of space engineering and technology,
Eurasian National University
named after L. N. Gumilyov
(010000, 2 Satpaeva street, Astana, Kazahstan)

Юрков Николай Кондратьевич
доктор технических наук, профессор,
заведующий кафедрой конструирования
и производства радиоаппаратуры,
Пензенский государственный университет
(440026, Россия, г. Пенза, ул. Красная, 40)
E-mail: yurkov_NK@mail. ru

Аннотация. Показано, что стратегия модельного синтеза многофункциональной информационно-измерительной когерентной системы заключается в определении ее назначения и включении в нее объектов новых структур с соответствующими целями и показателями функциональной эффективности и качества. Доказано, что полученные модели и алгоритмы оценки параметров излучения различных объектов авиационной техники двойного назначения возможно применять для оценки параметров индикатрисы излучения подвижного объекта в многофункциональных информационно-измерительных когерентных системах.

Ключевые слова: алгоритм, индикатриса, беспилотные летательные аппараты, когерентное излучение, информационно-измерительная система.

Yurkov Nikolay Kondrat'evich
doctor of technical sciences, professor,
head of sub-department of radio equipment
design and production,
Penza State University
(440026, 40 Krasnaya street, Penza, Russia)

Abstract. It is shown that strategy of the model synthesis of multifunctional data-measuring coherent of system consists in the determination of its designation and the start in it of the objects of new structures with the appropriate purposes and the measures of functional effectiveness and quality. It is proven that the obtained models and the algorithms of the estimation of the parameters of the emission of different units of aviation equipment of the dual purpose it is possible to use for evaluating the parameters of the indicatrix of the emission of mobile unit in multifunctional robotized data-measuring coherent system.

Key words: algorithm, indicatrix, an unmanned flying apparatus, coherent radiation, information-measuring system.

УДК 681. 321:517. 958
Полтавский, А. В.
Алгоритм определения индикатрисы излучения подвижного объекта на примерах робототехнического комплекса беспилотных летательных аппаратов / А. В. Полтавский, А. С. Жумабаева, Н. К. Юрков // Надежность и качество сложных систем. – 2015. – № 3 (11). – С. 23–30.