УДК 62-50

Основы анализа процесса прицеливания в авиационных системах управления вооружением

А.М. Краснов

Аннотация

В статье рассматривается вероятностный подход к оценке качества процесса прицеливания для общего случая, когда система управления вооружением представляет собой систему с переменной структурой. Формулируются показатели качества процесса прицеливания. Проводится постановка задачи анализа процесса прицеливания. Рассматривается общее решение задачи анализа процесса прицеливания на основе рассмотрения его динамики в пространстве состояний и применения теории марковских случайных процессов с поглощением и восстановлением реализаций.

Ключевые слова: качество; прицеливание; показатели качества: задача анализа

Введение

Понятие качества технических систем, в том числе и СУВ, является одним из важнейших в инженерной практике. Введение этого понятия позволяет поставить задачу о количественной оценке свойств системы, что является необходимым условием научного исследования [1].

Понятие качества системы должно содержать описание свойств, характеризующих успешность решения поставленных задач в определенных условиях. Применительно к СУВ такими свойствами могут быть эффективность, надежность (безотказность), точность, стоимость и другие.

Для количественной оценки качества систем вводятся показатели (критерии) качества – числа, характеризующие в принятой системе единиц свойства системы [1].

Оценка качества систем составляет содержание задачи их анализа.

Определение систем, для которых показатель качества принимает экстремальное значение (оптимальных систем в смысле данного показателя качества), составляет задачу их синтеза.

Характерной особенностью задачи оценки качества СУВ является необходимость учета различных свойств, определяющих успешность боевого применения, удобство эксплуатации, затраты на производство и техническое обслуживание. В связи с этим понятие качества СУВ является, как правило, многогранным, включающим различные свойства. Поэтому качество

СУВ в достаточно полной мере может быть отражено не одним, а совокупностью показателей качества [1].

1. *Показатели качества процесса прицеливания*

Одним из важнейших свойств СУВ является точность решения задачи прицеливания, которая характеризуется ошибкой $\bar{r}_п(T,t)$. Тогда выражение для параметра прицеливания $\bar{\Delta}(T,t)$ может быть записано следующим образом:

$$\bar{\Delta}(T,t) = \bar{\Delta}_и(T,t) + \bar{r}_п(T,t), \qquad (1)$$

где $\bar{\Delta}_и(T,t)$ - истинное значение параметра прицеливания; T – время полета авиационного средства поражения (АСП) до цели; t – текущее время прицеливания [5].

Анализ выражения (1) показывает, что при выполнении условия прицеливания ($\bar{\Delta}(T,t) = 0$) истинное значение параметра прицеливания $\bar{\Delta}_и(T,t)$ в нуль не обращается, а равняется ошибке решения задачи прицеливания, взятой с обратным знаком

$$\bar{\Delta}_и(T,t) = -\bar{r}_п(T,t). \qquad (2)$$

При этом АСП, выпущенные в момент выполнения условия прицеливания, в цель не попадут, а отклонятся от нее на величину $\bar{r}_п(T,t)$.

В свою очередь ошибка решения задачи прицеливания $\bar{r}_п(T,t)$ включает ошибку формирования параметра прицеливания $\bar{r}_ф$ и ошибку управления ЛА и оружием при прицеливании $\bar{r}_у$:

$$\bar{r}_п = \bar{r}_ф + \bar{r}_у. \qquad (3)$$

Ошибка формирования параметра прицеливания $\bar{r}_ф$ зависит от методической ошибки систем уравнений для вычисления параметра прицеливания, связанной с различными допущениями, принимаемыми как на этапе математического описания, так и при реализации, от ошибки информационного обеспечения, связанной с погрешностями измерения фазовых координат бортовыми измерителями, от ошибки вычисления параметра прицеливания в вычислительно-коммутационной подсистеме. Она может быть представлена в виде [3]:

$$\bar{r}_ф = \bar{r}_м + \bar{r}_и + \bar{r}_в \qquad (4)$$

где $\bar{r}_м$, $\bar{r}_и$, $\bar{r}_в$ - методическая ошибка, ошибка информационного обеспечения и ошибка вычисления соответственно.

Ошибка управления ЛА и оружием при прицеливании $\overline{r}_y$ обусловлена ошибкой системы управления оружием и привода оружия $\overline{r}_{суо}$ и ошибкой системы управления летательным аппаратом $\overline{r}_{сула}$. Ошибки системы управления летательным аппаратом (СУЛА) определяются ошибками экипажа (при ручном управлении), ошибками системы автоматического управления полетом (САУ) (при автоматическом управлении), ошибками экипажа и САУ (при директорном управлении). Ошибка управления при прицеливании может быть записана в виде:

$$\overline{r}_y = \overline{r}_{суо} + \overline{r}_{сула}. \qquad (5)$$

С учетом выражений (3) — (5) можно записать общее векторное выражение для ошибки решения задачи прицеливания:

$$\overline{r}_п = \overline{r}_м + \overline{r}_и + \overline{r}_в + \overline{r}_{суо} + \overline{r}_{сула}. \qquad (6)$$

Ошибка решения задачи прицеливания является одной из составных частей ошибки боевого применения АСП и отличается от нее на величину ошибки так называемого технического рассеивания. Выражение для ошибки боевого применения средств поражения $\overline{r}$ может быть записано следующим образом:

$$\overline{r} = \overline{r}_п + \overline{r}_т, \qquad (7)$$

где $\overline{r}_т$ – ошибка, обусловленная техническим рассеиванием АСП.

Ошибка $\overline{r}$ непосредственно определяет эффективность боевого применения АСП, поэтому естественным является стремление к ее уменьшению, Это может быть достигнуто за счет повышения точности решения задачи прицеливания (уменьшение $\overline{r}_п$) и уменьшения ошибок, обусловленных техническим рассеиванием. Как показывает практика, ошибка решения задачи прицеливания $\overline{r}_п$ существенно превосходит ошибку $\overline{r}_т$ и является определяющей в ошибке боевого применения АСП. Поэтому повышение эффективности боевого применения АСП непосредственно связано с повышением точности СУВ.

Поскольку ошибка $\overline{r}$ является случайной функцией, то исчерпывающей ее характеристикой является закон распределения, например, плотность вероятности $\omega(\overline{r})$. Однако, как отмечалось ранее, СУВ представляет собой систему со случайно изменяющейся структурой. При этом каждой из возможных структур будет соответствовать свой закон распределения ошибки $\overline{r}$. Следовательно, различным структурам СУВ будет соответствовать и различная точность применения АСП и их эффективность.

Если в качестве показателя эффективности рассмотреть вероятность поражения цели при нахождении СУВ в некоторой l - ой возможной структуре ($l=1,2,...,N$), то он может быть представлен в виде [3]:

$$B_l = P_l B_l^* \qquad (8)$$

где P_l – вероятность того, что в течение заданного времени t СУВ находится в l - ой структуре;

B_l^* – условная вероятность поражения цели, зависящая помимо всего прочего от закона распределения ошибки боевого применения АСП, полученного для l - ой структуры СУВ;

Условная вероятность поражения цели B_l^* определяется, как уже отмечалось, через закон поражения цели и закон распределения ошибки $\bar{r}$ в l -й структуре процесса прицеливания:

$$B_l^* = \int_{-\infty}^{\infty} G(\bar{r})\, f^l(\bar{r}) d\bar{r},$$

где $f^l(\bar{r})$ - плотность вероятности ошибки боевого применения АСП в l -й структуре процесса прицеливания.

Поскольку смена структур СУВ определяется отказами входящих в нее устройств, то вероятность P_l является интегральной характеристикой надежности (безотказности) СУВ.

Так как заранее предугадать, в какой именно структуре будет находиться СУВ при атаке цели, практически невозможно, то для оценки эффективности поражения цели с учетом случайности структуры СУВ можно воспользоваться формулой полной вероятности [3]:

$$B = \sum_{l=1}^{N} B_l = \sum_{l=1}^{N} P_l B_l^*, \qquad (9)$$

где B – полная вероятность поражения цели с учетом того, что СУВ случайным образом может принять N возможных структур.

Весовой вклад β_l каждой возможной структуры СУВ в полную вероятность поражения цели определяется соотношением вида [3]:

$$\beta_l = \frac{B_l}{B} = \frac{P_l B_l^*}{B}. \qquad (10)$$

Анализ весовых вкладов позволяет оценить эффективность различных структур СУВ, сделать заключение о целесообразности той или иной структуры при функционировании СУВ, поставить вопрос о целесообразности включения в состав СУВ тех или иных устройств, наметить пути создания минимальной информационной избыточности в СУВ.

Таким образом, за показатель качества СУВ можно принять обобщенный показатель эффективности вида (9), то есть полную вероятность поражения цели B. В этом показателе в неразрывном единстве рассматриваются такие важнейшие свойства СУВ как точность и надежность (безотказность), являющиеся определяющими при боевом применении ЛА.

За частные показатели качества СУВ могут быть приняты вероятность P_l того, что СУВ в течение заданного времени находится в некоторой l - ой структуре и условный закон распределения ошибки решения задачи прицеливания в l -ой структуре СУВ $f^l(\bar{r})$. Эти частные показатели, как следует из выражения (9), используются при вычислении обобщенного показателя качества СУВ.

Непосредственное использование закона распределения ошибки решения задачи прицеливания в l-ой структуре $f^l(\bar{r})$ для характеристики точности СУВ не всегда удобно ввиду недостаточной наглядности. Поэтому в качестве показателя точности часто используют второй начальный момент (средний квадрат) ошибки прицеливания. Если закон распределения ошибки решения задачи прицеливания известен, то средний квадрат этой ошибки определяется по формуле

$$\alpha_2^l = \int_{-\infty}^{\infty} \bar{r}^T \bar{r} f^l(\bar{r}) d\bar{r}. \qquad (11)$$

Иногда удобнее пользоваться средней квадратической ошибкой, которая определяется по формуле

$$\eta^l = \sqrt{\alpha_2^l}. \qquad (12)$$

2. Постановка задачи анализа процесса прицеливания и общий алгоритм ее решения

Целью вероятностного анализа процесса прицеливания является оценка качества систем управления вооружением. В результате анализа должны быть определены показатели качества СУВ, на основе которых делается заключение о степени приспособленности СУВ к решению возлагаемых на нее задач.

Поскольку показатель качества СУВ, то есть вероятность B поражения цели с учетом того, что СУВ случайным образом может принять N возможных структур, определяется через частные показатели, то основное внимание будет уделено определению частных показателей: закона распределения ошибки решения задачи прицеливания в l - ой структуре СУВ и вероятности того, что в момент атаки цели СУВ находится в l - ой структуре.

Закон распределения ошибки решения задачи прицеливания может быть получен из закона распределения параметра прицеливания на основе соотношения (3). В свою очередь закон распределения параметра прицеливания получается из закона распределения вектора $\overline{Y}_\Delta$, описываемого уравнением (1.19)в работе [5]. Таким образом, если удается получить закон распределения вектора $\overline{Y}_\Delta$, то определение закона распределения ошибки прицеливания не представляет затруднений.

Определение вероятности нахождения СУВ в момент атаки в l - ой структуре базируется на анализе уравнения (1.20) [5], описывающую динамику ЛА, оружия, цели, информационных и исполнительных подсистем СУВ.

Ниже излагается постановка задачи анализа процесса прицеливания, а также методы и алгоритмы, которые могут быть применены для анализа СУВ.

Пусть векторное уравнение для определения параметра прицеливания определяется уравнением (1.19) [5]

$$\dot{\overline{Y}}_{\Delta} = \overline{\Phi}_{\Delta}\left(\overline{Y}_{\Delta}, \overline{\xi}_{\Delta}, \tau\right), \qquad \overline{Y}_{\Delta}\left(\tau_0\right) = C_{\Delta}\overline{Z}^{l}(t),$$

где C_{Δ} - известная матрица согласования;

$\overline{Z}^{l}$ - вектор выходных сигналов информационных подсистем.

Требуется определить закон распределения вектора $\overline{Y}_{\Delta}$, то есть плотность вероятности $f_{\Delta}^{l}\left(\overline{y}_{\Delta}, \tau\right)$ в момент $\tau = T$ при нахождении СУВ в l - ой структуре.

В большинстве практических задач уравнение (1.19) [5] может быть приведено к виду

$$\dot{\overline{Y}}_{\Delta} = \overline{\Phi}_{\Delta}\left(\overline{Y}_{\Delta}, \tau\right) + \overline{\xi}_{\Delta}, \quad \overline{Y}_{\Delta}\left(\tau_0\right) = C_{\Delta}\overline{Z}^{l}(t), \quad (13)$$

где $\overline{\xi}_{\Delta}(t)$ – векторный гауссов белый шум интенсивности G_{Δ}.

Искомая плотность вероятности в каждый момент времени удовлетворяет уравнению Фоккера - Планка - Колмогорова, которое с учетом (13) имеет вид [3]

$$\frac{\partial f_{\Delta}^{l}\left(\overline{y}_{\Delta}\right)}{\partial \tau} = -\sum_{i=1}^{n_{\Delta}} \frac{\partial}{\partial y_{\Delta i}}\left[F_{\Delta i}\left(\overline{y}_{\Delta}\right) f_{\Delta}^{l}\left(\overline{y}_{\Delta}\right)\right] + \frac{1}{2}\sum_{i,j=1}^{n_{\Delta}} G_{\Delta ij} \frac{\partial^2 f_{\Delta}^{l}\left(\overline{y}_{\Delta}\right)}{\partial y_{\Delta i} \partial y_{\Delta j}},$$

$$f_{\Delta}^{l}\left(\overline{y}_{\Delta}, \tau_0\right) = f_{\Delta 0}^{l}\left(\overline{y}_{\Delta 0}\right) \qquad (14)$$

где n_{Δ} - число скалярных уравнений, входящих в векторное уравнение (13);

$F_{\Delta i}\left(\overline{y}_{\Delta}, \tau\right)$ - *i*-й элемент вектора сноса $\overline{F}_{\Delta}\left(\overline{y}_{\Delta}, \tau\right)$, который в нашем случае определяется по формуле

$$\overline{F}_{\Delta}\left(\overline{y}_{\Delta}, \tau\right) = \overline{\Phi}_{\Delta}\left(\overline{y}_{\Delta}, \tau\right) + \overline{m}_{\xi\Delta};$$

$G_{\Delta ij}$ - элемент матрицы диффузии, которая в данном случае равна матрице интенсивностей G_{Δ}; $f_{\Delta 0}^{l}\left(\overline{y}_{\Delta 0}\right)$- начальное распределение вектора $\overline{Y}_{\Delta}$; $\overline{m}_{\xi\Delta}$- математическое ожидание вектора $\overline{\xi}_{\Delta}$.

Начальное распределение вектора $\overline{Y}_{\Delta}$ определяется текущим законом распределения вектора $\overline{Z}^{l}$ в момент τ_0.

В соответствии с выражением (1.21) [5] вектор $\overline{Z}^l$ представляет собой совокупность векторов $\overline{Y}$ и $\overline{\xi}_{\delta}$. Что касается вектора $\overline{\xi}_{\delta}$, то закон его распределения, как правило, априорно известен. Следовательно, для определения закона распределения вектора $\overline{Z}^l$ необходимо дополнительно знать закон распределения вектора $\overline{Y}$.

Особенностью вектора $\overline{Y}$, как вектора состояния системы со случайным изменением структуры, является то, что в каждой l - й возможной структуре СУВ он может существовать лишь в некоторой заданной области W_l пространства состояний, имеющей границу S_l.

Часто область существования W_l вектора $\overline{Y}$ представляет собой n^l - мерный гиперпараллелепипед, и условие принадлежности вектора $\overline{Y}$ области W_l имеет вид

$$\overline{a}^l < \overline{Y} < \overline{b}^l \quad , \qquad (15)$$

где $\overline{a}^l(t)$ и $\overline{b}^l(t)$ - n^l -мерные векторы.

Вектор $\overline{Y}$, как уже отмечалось, описывается векторным уравнением (1.20) [5]. Это уравнение на практике может быть приведено к виду

$$\dot{\overline{Y}} = \overline{\Phi}^l\left(\overline{Y},t\right) + \overline{u}(t) + \overline{\xi}(t), \quad \overline{Y}(t_0) = \overline{Y}_0. \qquad (16)$$

Тогда с учетом уравнения (16) и условия существования вектора $\overline{Y}$ (15) плотность вероятности не поглощенных к любому моменту времени t реализаций вектора $\overline{Y}$ (реализаций, находящихся в области W_l,) удовлетворяет обобщенному уравнению Фоккера - Планка - Колмогорова [3]

$$\frac{\partial f^{l*}(\overline{y})}{\partial t} = -\sum_{i=1}^{n^l} \frac{\partial}{\partial y_i}\left[F_i^l(\overline{y}) f^{l*}(\overline{y})\right] + \frac{1}{2}\sum_{i,j=1}^{n^l} G_{ij} \frac{\partial^2 f^{l*}(\overline{y})}{\partial y_i \partial y_j} -$$

$$-\sum_{p=1}^{N} v_{lp}^*(\overline{y}) + \sum_{p=1}^{N} w_{pl}^*(\overline{y}), \quad f^{l*}\left(\overline{y},t_0\right) = f_0^l\left(\overline{y}_0\right)., \qquad (17)$$

где $v_{lp}^*\left(\overline{y},t\right)$ - функция поглощения реализации вектора $\overline{Y}$ в l - й структуре за счет перехода в p -ю структуру; $w_{pl}^*\left(\overline{y},t\right)$ - функция восстановления реализации вектора $\overline{Y}$ в l - й структуре за счет перехода в нее из p -й структуры; $F_i^l\left(\overline{y},t\right)$ - элемент вектора сноса $\overline{F}^l\left(\overline{y},t\right)$, который в нашем случае определяется по формуле:

$$\overline{F}^l\left(\overline{y},t\right) = \overline{\Phi}^l\left(\overline{y},t\right) + \overline{m}_u(t) + \overline{m}_{\xi}(t);$$

G_{ij} - элемент матрицы диффузии, определяемой в нашем случае формулой:

$G(t)=G_u+G_\xi;$

$\overline{m}_u, \overline{m}_\xi$ - математическое ожидание векторов $\overline{u}$ и $\overline{\xi}$ соответственно; G_u, G_ξ - матрицы интенсивностей векторов $\overline{u}$ и $\overline{\xi}$ соответственно; $f_0^l(\overline{y}_0)$ - начальное распределение вектора $\overline{Y}$ в момент t_0.

Уравнение (17) должно интегрироваться при нулевых граничных условиях, то есть

$$f^{l*}(\pm\infty,t)=0. \qquad (18)$$

Учет ограничений вида (15) осуществляется посредством функций поглощения и восстановления реализаций $v_{lp}^*(\overline{y},t)$ и $w_{pl}^*(\overline{y},t)$. Функция поглощения $v_{lp}^*(\overline{y},t)$ для случая полного поглощения реализаций вектора $\overline{Y}$ на границе S_l области W_l определяется по формуле [3]

$$v_{lp}^*(\overline{y},t)=\sum_{i=1}^{n^l}\left[\delta\left(y_i-a_i^l\right)sgn\left(\overline{n}^0_{a_i^l}\cdot\overline{y}^0_i\right)+\delta\left(y_i-b_i^l\right)sgn\left(\overline{n}^0_{b_i^l}\cdot\overline{y}^0_i\right)\right]\pi_i^{l*}(\overline{y},t), \qquad (19)$$

где $\delta(\bullet)$ - дельта-функция Дирака; a_i^l, b_i^l - i-е составляющие векторов $\overline{a}^l$ и $\overline{b}^l$ соответственно; $\left(\overline{n}^0_{a_i^l}\cdot\overline{y}^0_i\right)$ - скалярное произведение ортов внешней нормали к границе a_i^l и координатной оси y_i соответственно; $\pi_i^{l*}(\overline{y},t)$ - вектор плотности потока вероятности непоглощенных реализаций вектора $\overline{Y}$, определяемый по формуле

$$\pi_i^{l*}(\overline{y},t)=F_i^l(\overline{y},t)-\frac{1}{2}\sum_{j=1}^{n^l}G_{ij}\frac{\partial f^{l*}(\overline{y},t)}{\partial y_j}.$$

Функция восстановления реализаций $w_{pl}^*(\overline{y},t)$ определяется аналогично.

Вероятность P_l нахождения СУВ в l-й структуре определяется по формуле:

$$P_l=\int_{-\infty}^{\infty}f^{l*}(\overline{y})d\overline{y}. \qquad (20)$$

Дифференцируя формулу (20) по времени и подставляя в полученное выражение производную плотности вероятности из уравнения (5), получим

$$\dot{P}_l=-\sum_{p=1}^{N}\int_{-\infty}^{\infty}v_{lp}^*(\overline{y})d\overline{y}+\sum_{p=1}^{N}\int_{-\infty}^{\infty}w_{pl}^*(\overline{y})d\overline{y},\ P_l(t_0)=P_{l0}. \quad (21)$$

Уравнения (17) и (21) целесообразно преобразовать, введя нормированные плотность вероятности и функции поглощения и восстановления реализаций

$$f^{l}\left(\overline{y}\right)=\frac{f^{l*}\left(\overline{y}\right)}{P_{l}};\quad v_{lp}\left(\overline{y}\right)=\frac{v_{lp}^{*}\left(\overline{y}\right)}{P_{l}};\quad w_{pl}\left(\overline{y}\right)=\frac{w_{pl}^{*}\left(\overline{y}\right)}{P_{p}}.$$

Тогда уравнения (17) и (21) преобразуются к виду

$$\frac{\partial f^{l}\left(\overline{y}\right)}{\partial t}=-\sum_{i=1}^{n^{l}}\frac{\partial}{\partial y_{i}}\left[F_{i}^{l}\left(\overline{y}\right)f^{l}\left(\overline{y}\right)\right]+\frac{1}{2}\sum_{i,j=1}^{n^{l}}G_{ij}\frac{\partial^{2}f^{l}\left(\overline{y}\right)}{\partial y_{i}\partial y_{j}}-$$

$$-\sum_{p=1}^{N}v_{lp}\left(\overline{y}\right)+\sum_{p=1}^{N}\frac{P_{p}}{P_{l}}w_{pl}\left(\overline{y}\right)-\frac{\dot{P}_{l}}{P_{l}}f^{l}\left(\overline{y}\right),\quad f^{l}\left(\overline{y},t_{0}\right)=f_{0}^{l}\left(\overline{y}_{0}\right),\qquad(22)$$

$$\dot{P}_{l}=-P_{l}\sum_{p=1}^{N}\int_{-\infty}^{\infty}v_{lp}\left(\overline{y}\right)d\overline{y}+\sum_{p=1}^{N}P_{p}\int_{-\infty}^{\infty}w_{pl}\left(\overline{y}\right)d\overline{y},\ P_{l}\left(t_{0}\right)=P_{l0}.\qquad(23)$$

Вводя нормированные потоки поглощения и восстановления реализаций

$$q_{lp}\left(t\right)=\int_{-\infty}^{\infty}v_{lp}\left(\overline{y},t\right)d\overline{y},\qquad r_{pl}\left(t\right)=\int_{-\infty}^{\infty}w_{pl}\left(\overline{y},t\right)d\overline{y},$$

запишем уравнение (23) в виде

$$\dot{P}_{l}=-P_{l}\sum_{p=1}^{N}q_{lp}+\sum_{p=1}^{N}P_{p}\overline{r}_{pl},\qquad P_{l}\left(t_{0}\right)=P_{l0}.\quad(24)$$

Таким образом, уравнения (22) и (24) можно рассматривать как общий алгоритм определения закона распределения вектора $\overline{Y}$, характеризующего динамику процесса прицеливания, в l-й структуре СУВ и вероятности того, что СУВ в момент атаки (или в любой другой момент времени) находится в l-й структуре.

Получив закон распределения $\overline{Y}$, не трудно получить и закон распределения вектора $\overline{Z}^{l}$ и задать начальное распределение для уравнения (14). Совокупность уравнений (14), (22) и (24) представляет собой общий алгоритм решения задачи анализа процесса прицеливания.

В основу получения уравнений (22) и (24) положен так называемый метод поглощения и восстановления реализаций, предполагающий интегрирование обобщенного уравнения Фоккера-Планка-Колмогорова в бесконечной области и учета поглощения и восстановления реализаций специально формируемыми функциями поглощения и восстановления типа (7). При этом вектор $\overline{Y}$ рассматривается также в бесконечной области.

Эта же задача может быть решена на основе интегрирования уравнений для плотности вероятности вектора $\overline{Y}$ с учетом поглощающих границ S_{l} областей W_{l}. При этом вектор $\overline{Y}$ рассматривается в ограниченной области W_{l}, что более наглядно характеризует физическое содержание задачи анализа. При этом граничные условия формируются непосредственно на начальном этапе решения задачи анализа.

Следует заметить, что применение обоих подходов приводит к одинаковым конечным результатам. Однако подход, основанный на поглощающих границах, представлен более богатым арсеналом инженерных методов, что важно для анализа сложных систем, и в ряде случаев оказывается более предпочтительным.

Литература

1. Евланов Л. Г. Контроль динамических систем. – М.: Наука, 1979.
2. Казаков И. Е. Статистическая динамика систем с переменной структурой. – М.: Наука, 1977.
3. Краснов А. М. Статистическая теория систем прицеливания и управления вооружением. – М.: ВВИА им. Н.Е. Жуковского, 2003.
4. Мубаракшин Р. В., Балуев В. М., Воронов Б. В. Прицельные системы стрельбы. – М.: ВВИА им. Жуковского, 1973.
5. Краснов А. М. Управление поражением цели в комплексе авиационного вооружения со случайным изменением структуры. – Электронный журнал «Труды МАИ». Выпуск № 49, 2011.

Краснов Александр Маркелович, главный конструктор ЗАО «Технологический парк космонавтики «ЛИНКОС», профессор, заслуженный деятель науки РФ, д.т.н.
тел.: 8-495-780-68-55, phone: 8-495-780-68-55, 8-903-735-79-93, e-mail: a_krasnov@inbox.ru