

ИНТЕГРАТИВНЫЙ ПОДХОД К ПОСТРОЕНИЮ ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ МОНИТОРИНГА ДЛЯ КОМПЛЕКСОВ БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ

Полтавский А.В., Русяева Е.Ю.

*Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН,
Россия, г. Москва ул. Профсоюзная, д.65
avp57avp@yandex.ru, rusyaeva@ipu.ru, 1779624@mail.ru*

Аннотация: Представлен интегративный подход к формированию характеристик к основным показателям эффективности и качества для сложных технических систем в сфере беспилотной авиации на ранней стадии их разработки. Объектом исследования является информационная математическая модель комплекса с беспилотными летательными аппаратами двойного назначения (многофункциональные)

Ключевые слова: интегративный подход, комплекс беспилотных летательных аппаратов, оптимизация.

Введение

В современном мире сложных крупномасштабных систем невозможно обойтись без комплексных методов, без постоянного совершенствования математических моделей разработки, освоения, применения и модернизации технологий [1]. Это особенно актуально на нынешнем этапе цифровой революции, при создании автономных робототехнических систем, в частности для мониторинга объектов в сфере беспилотной авиации. Активному развитию отрасли беспилотных летательных аппаратов (БЛА) способствовали том числе и условия пандемии, карантина, необходимость дистанционного взаимодействия. И если изначально БЛА больше использовались для военных целей, то теперь многократно возросло их гражданское, коммерческое использование. В науке для исследований в этой области приняты обозначения: объекты двойного назначения, объекты комплекса беспилотных летательных аппаратов (КБЛА). На ранних стадиях предварительного проектирования и анализа объектов двойного назначения используются, как правило, методы, модели и алгоритмы для структурно-параметрической оптимизации стохастических систем объектов, а именно, сложных технических систем (СТС).

Обеспечить необходимые, заданные тактико-технические характеристики (ТТХ) объектов мониторинга возможно с помощью системы имитационного (компьютерного) моделирования и создания систем поддержки принятия управленческих решений в среде информационно-аналитической систем (ИАС). Сами ИАС, как правило, вышли из ранних компьютерных систем-советчиков, но сейчас они все более интеллектуализируются (intellectuality), «обрастают» новыми моделями и широко применяются для анализа различных видов объектов и типов СТС. Это и позволяет комплексно использовать различные методы оценок для СТС.

Качество объектов, составляющих СТС можно рассматривать как совокупность характеристик и свойств, обуславливающих пригодность систем к удовлетворению определённых потребностей. Многообразие этих свойств определяет набор показателей качества объектов крупномасштабных систем. К ним относятся показатели, учитывающие назначение, надёжность, технологичность, стандартизацию и унификацию, транспортабельность, безопасность, а также эргономические, эстетические, экологические, патентно-правовые и экономические показатели объектов СТС.

Кроме понятия о качестве продукции существует также термин технический уровень (ТУ). В соответствии с действующими стандартами ТУ продукции, отражающих степень использования мировых научно-технических достижений для её создания, ТУ *определяется тем же составом показателей, что и качество продукции*, за исключением экономических показателей СТС. Оценки показателей качества продукции СТС достаточно часто приходится получать на основе информационных моделей и путём создания адекватной процессам функционирования системы моделирования. Определение понятий «качество» и «технический уровень» продукции приведено в Межгосударственном стандарте ГОСТ 15467-79 [2]. А пример модели и алгоритмизации процесса формирования информационно-аналитической системы с расчетными результатами по выбираемым показателям оценки технического уровня объекта КБЛА представлен нами в [3].

В данном исследовании акцент ставится на необходимости комплексного, интегративного подхода для построения информационной системы мониторинга объектов комплекса беспилотных летательных аппаратов (КБЛА) [4, 5, 6]. Это важно для повышения уровня желаемых характеристик и качества по функционированию КБЛА двойного назначения (для военных и гражданских целей). Сейчас требуется всестороннее и комплексное исследование проблем для разработки систем,

отвечающих современным требованиям с учётом мировых тенденций развития СТС [4-6]. Многофункциональный КБЛА представляет собой совокупность взаимоувязанных в единую структурно-функциональную систему БЛА и наземных технических средств, обеспечивающих применение БЛА в воздухе и техническую поддержку на земле. Структурный состав объектов для многофункциональных КБЛА может меняться в зависимости от решаемых ими задач, их масштабов, видов действий и условий применения БЛА по назначению [7, 10].

Что касается КБЛА военного назначения, то недавние события в Нагорном Карабахе наглядно продемонстрировали роль БЛА для решения задач нанесения ущерба противнику. Это еще раз подтверждает актуальность комплексного подхода для оценки качества и определения технического уровня на ранних стадиях жизненного цикла данных объектов СТС.

1 Информационная модель анализа технического облика системы

Подходы к разработке информационных моделей анализа технического облика СТС могут быть различными. Можно выделить три основных направления к анализу: построение стохастических моделей, экспертные оценки и гибридные (комбинации) модели [7, 8]. Данные методы, как правило, ориентированы на получение первичных показателей и основных характеристик объектов СТС, связанных с понятием «технический облик». Для реализации первого подхода применяют методы статистической динамики, статистической линеаризации И.Е. Казакова [7], канонических разложений В.С. Пугачева [9] метод НСП Д.И. Гладкова [11] и т.д., разложение в функциональные ряды (метод эквивалентных возмущений) и др.

Под техническим обликом объектов для СТС понимается комплекс оцениваемых показателей в информационно-аналитической системе (ИАС). Проведённый анализ показал, что 80-90% операций, проводимых с применением многофункциональных КБЛА, приходится на пересекающуюся область военного и гражданского назначения. В связи с этим, весьма актуальной является проблема разработки многофункциональных (или двойного назначения) КБЛА, способных решать определённый перечень народнохозяйственных и специализированных военных задач. Многофункциональный КБЛА – это, прежде всего, КБЛА двойного назначения, выполняющий и функции разведки, доставки различных грузов, удара, ретранслятора, мониторинга пространства, патрулирования. Такой комплекс может успешно использоваться в радиационной, химической, бактериологической обстановке, для мониторинга пожаров и пр, пр. Эффективность объектов КБЛА характеризуется степенью результативности проводимых операций. Критерии функциональной эффективности КБЛА выбираются в зависимости от основного назначения комплекса и связаны с вероятностью выполнения задачи, поставленной лицом, принимающим решение (ЛПР).

Оценку вероятности выполнения задачи можно представить $P_{вз}=P(\theta)$, где $P(\theta)$ – вероятность выполнения задачи; θ – событие, которое связано с условием выполнения задач для БЛА, т.е. с конечной целью операции и задачами его функционирования. Случайность события θ является следствием воздействия на весь многофункциональный КБЛА. Для многофункционального КБЛА приняты условия логического вывода (и условия о соответствии исследуемого объекта основным целевым требованиям) в соответствии с проведёнными исследованиями [12, 13]. Событие θ – это сложное событие, зависящее от многих факторов, прежде всего, связанными с основными показателями и ТТХ, условиями применения и др. Многие характеристики для БЛА можно найти в интернете, но вероятностные показатели процесса применения КБЛА, как дать оценку, нет. Вот, собственно, в чем и заключается смысл инновации и комбинированного подхода к анализу данных СТС. Покажем это.

Основные группы задач и показатели функциональной эффективности для современных объектов многофункциональных КБЛА следующие.

- Задачи обнаружения и распознавания объектов-целей (пожары, наводнения, поиск и др.) $P_{вз1}=P_{но}$, где $P_{но}$ – вероятность обнаружения объекта-цели $P_{но}=F(P_{обн}, P_p)$, $P_{обн}$ – вероятность обнаружения объекта-цели в заданных диапазонах условий возможного применения; P_p – вероятность распознавания объекта-цели в заданных диапазонах условий возможного применения.

- Задачи по доставке грузов к объекту-цели $P_{вз2}=P_{ц}$, где $P_{ц}$ – вероятность доставки груза к объекту-цели.
- Задачи контроля (мониторинг) окружающей среды, обнаружения объекта, связанные с вероятностями $P_{ко}$ с задачами ретрансляции данных, постановки помех $P_{рэб}$, радиационная $P_{ррр}$, бактериологическая $P_{рб}$ и химическая разведки $P_{рхр}$, патрулирование границ, поиск пожаров, пропавших людей, а также дополнительное множество других функциональных задач.
- Функционирование автоматизированных систем управления непосредственно связано с информационными процессами, которые обуславливают, как правило, задачи анализа и контроля в получении оценки для смены состояний исследуемого объекта КБЛА. Рост по информативности для данных объектов КБЛА связан с разработкой информационных моделей объектов в среде ИАС, созданием баз данных (БД), баз знаний и т.д. Информационные процессы для оценки показателей многих объектов многофункциональных КБЛА представляют собой совокупность последовательных действий над информацией с целью получения конечного результата.

2 Информационное моделирование

2.1. Построение стохастических моделей

Множество выбираемых показателей качества и эффективности в ИАС функционально связано с выполнением поставленной задачи, т.е. основной и конечной целью в типовой операции – обнаружение, распознавание объекта-цели $P_{по}=F(P_{обн}, P_r)$ и доставка грузов к объекту-цели, оцениваемой вероятностью доставки груза $P_{ц}$, которые примем ведущими к динамическим объектам СТС, к которым относятся КБЛА. Как выше отмечено, подходы к идентификации и оптимизации сложной динамической СТС могут быть разными, мы основываемся на методе НСП, в котором практически все действующие алгоритмы созданы на сравнении [11] выходного сигнала $Y(t)$ динамической системы (ДС) с выходным сигналом желаемого (требуемого) процесса Y_t , т.е. по существу это означает, что в основу для оптимизационных задач положены те признаки, которые связаны с функционированием и задачами динамической системы.

Как принято в математике, формальная связь характеристик входного $X(t)$ и выходного сигналов $Y(t)$ определяется оператором для динамической системы $A(Y, X, t)$. Изменять оператор можно путем изменения некоторых управляющих звеньев СТС. Полагаем, что состояние управляющих звеньев определяется *управляющей матрицей* S_c , в которой физическими элементами могут быть или численные значения некоторых параметров, или события. Сама управляющая матрица S_c имеет блочный вид. Чтобы подчеркнуть зависимость выходного сигнала системы от матрицы S_c запишем, что $Y(t)=A(Y, X, S_c; t)X(t)$. Изменяя оператор $A(Y, X, S_c; t)$ с помощью управляющей матрицы S_c , можно осуществить сближение для $Y(t)$ и Y_t . Управление качеством – это есть, прежде всего, информационный процесс в ИАС, основной задачей которого является сближение $Y(t)$ и Y_t , а наличие отклонения для них свидетельствует в потере качества. Чтобы отклонениям придать свойство измеримости, принимается функция потерь $\iota(Y, Y_t)$ [4,7,8]. Несложными преобразованиями для функции потерь [11,12,13] представим критерий оптимизации $P(\theta|S_c, A_v)_{max}$, в которой параметры управляющей матрицы будут оптимизированными при равенстве $S_o = S_c$ в выбираемой модели A_v (A_v из модельного ряда БД, модельный ряд – набор однородных типовых объектов в КБЛА, характеризующихся именем, признаками, входными, выходными параметрами, а также средой функционирования). Отсюда следует то, что оптимизированные оценки $P_{по}$, $P_{обн}$, P_r , $P_{ц}$ и др. многофункциональным КБЛА находятся также по условию максимума для свёртки критерия $P(\theta)=max P(\theta/S_o)$, изменяющихся под воздействием управляющей матрицы S_c , связанной с событиями для звеньев модельного ряда $A_1, A_2, \dots, A_v, \dots, A_N$, с учётом основных принимаемых в информационном моделировании ограничений (внутренних и внешних) [4, 7, 9].

$$P(\theta|S_o) = \max_{A_v, S_{c1}} F(S_{c1}, A_v), \quad F(S_{c1}, A_v) = \frac{P(A_v|\theta) f_{\theta}(S_{c1}|\theta, A_v)}{P(A_v) f_v(S_{c1}|A_v)}, \quad (v = \overline{1, N}),$$

где SCI – матрица искоемых параметров (часто принимаются коэффициенты закона управления БЛА, коэффициенты алгоритма фильтрации и др.), Av – элементы матрицы модельного ряда и v -го сочетания управляющей матрицы SC , $f\theta(\cdot)$ – плотность вероятности события θ и события Av , $fv(\cdot)$ – плотность вероятности для события Av , $P(Av)$ – вероятность события Av и $P(Av|\theta)$ – условная вероятность события Av .

Практика исследований показала, что достоинством изложенного подхода является получение согласованной информационной модели и системы основных показателей, характеризующей качество структуры ДС с точки зрения функциональной эффективности.

2.2 Структурно-параметрическая оптимизация моделей

Методы и модели к анализу динамических систем, в том числе и к СТС, применимы и к современным объектам КБЛА. Чтобы получить основные вероятностные показатели $P_{по}$, $P_{обн}$, $P_{р}$, $P_{ц}$ и др. для многофункционального БЛА нужна адекватная процессам информационная. Покажем общие черты в ее построении. В структурно-параметрической оптимизации ДС методом НСП принята функция [10, 11]

$$\ell(Y, Y_T) = \begin{cases} \ell_1, & \text{при } \bar{\theta}(Y, Y_T), \\ 0, & \text{при } \theta(Y, Y_T), \end{cases}$$

в которой ℓ_1 – величина потерь; Y_T – требуемый вектор выходных сигналов ДС; Y – моделируемый выходной сигнал; $\theta(Y, Y_T)$ – событие, состоящее в том, что при конкретной реализации входного сигнала X реализация выходного сигнала Y удовлетворяет требованию близости к желаемому (требуемому ЛПП) Y_T . Условное среднее значение функции потерь

$$M[\ell(Y, Y_T)|S_c] = \ell_1 [1 - P(\theta(Y, Y_T)|S_c)],$$

Где $P(\theta(Y, Y_T)|S_c)$ – вероятность события $\theta(Y, Y_T)$ при фиксированных значениях элементов управляющей матрицы S_c , связанной непосредственно с управляющими звеньями системы.

За критерий оптимальности в структурно-параметрической оптимизации ДС процедурами НСП принимается минимальное условное среднее значение функции потерь. Таким образом, при любых значениях ℓ_1 справедливо

$$\rho(S_o) = M[\ell(Y, Y_T)|S_o] = \min_{S_c \in \Omega_c} P(\theta(Y, Y_T)|S_c),$$

S_o – оптимальная управляющая матрица; Ω_c – допустимая область поиска. В соответствии с приятым критерием качества оптимизации системы процедурами НСП называется критерием максимума вероятности события θ , которое отображает направление и цель дальнейшей задачи оптимизации. Критерий является достаточно универсальным при параметрической оптимизации детерминированных и стохастических (линейных и нелинейных, стационарных и нестационарных) систем и удовлетворяет всем требованиям, предъявляемым к системе ДС [11]. В результате решения задачи по оптимизации ДС процедурами НСП определяются оптимальные значения параметров как S_o . Сложное событие θ в имитационном моделировании типовых функциональных задач для БЛА состоит из ряда событий: старта $\theta_{ст}$, θ_n – полета по маршруту, $\theta_{уг}$ – преодоления угроз БЛА, $\theta_{вых}$ – выхода в район объекта-цели (ОЦ), $\theta_{но}$ – правильного обнаружения ОЦ, $\theta_{оц}$ – доставки груза ОЦ и др. Теперь мы видим, что не хватает в компьютеризированной среде ИАС – самой модели, но и модели также совершенствуются. Покажем базис построения модели на основе теории стохастических систем в виде

$$\dot{Y} = \xi^{(s)}(Y, u, N_y; t), \quad Y(t_o) = Y_o, \quad s = \overline{1, S}, \quad (1)$$

где $\xi^{(s)}(Y, u, N_y, t) = A^{(s)}(t)\dot{\varphi}^{(s)}(Y, t) + B^{(s)}(Y, t)u(t) + F^{(s)}(Y, t)N_y(t); A^{(s)}(t)$, $B^{(s)}(Y, t)$, $F^{(s)}(Y, t)$ – заданные нелинейные дифференцируемые функции, Y_o – случайный вектор начального состояния системы, $N_y(t)$ – n -мерный векторный центрированный белый шум, $u(t)$ – r – мерный вектор управления ($r \leq n$).

n). Управление в системе управления БЛА $u(t)$ формируется с учётом наблюдения вектора $Y(t)$ в (1) или его части как

$$Z(t) = C(s)(Y, t) + Nz(t), \quad (2)$$

где $Nz(t)$ – вектор белого гауссова шума, условно не коррелируемый с векторами Ny и Y_0 , $C(Y, t)$ – известная матрица измерителя (или контролируемого процесса из наблюдения).

Критерием оптимизации информационных моделей объектов для БЛА будет

$$J(s)_{ko} = \zeta(s) (Y, Y_T, u; t | Z(t), t_0 \leq \tau \leq t), \quad s = \overline{1, S}, \quad (3)$$

где Y_T – вектор требуемого значения состояния системы в структуре s управления.

Для s структуры, представленной (1), определим вектор управления $u(t)$. В общем случае, для s структуры нелинейного объекта $Y'(t)$, описываемого уравнением (1), функционал качества (3) принимает следующий вид:

$$J(s)_{ko} = MZ[l_1(Y, tk)] + MZ[\int (L(Y, \tau) + u^T(\tau)K - l_1 u(\tau)) d\tau], \quad (4)$$

где $L(Y, \tau)$, $l_1(Y, tk)$ – заданные положительно определенные функции, $MZ[A]$ – математическое ожидание от A , K – диагональная матрица коэффициентов. Оптимальным управлением объектом будет минимизация функционала (4), которая осуществляется при условии:

$$u(s)(t) = - \frac{1}{2} \{K[B(s)(\hat{Y}(s), t)]^T \partial U(\hat{Y}(s), t) / \partial \hat{Y}\}, \quad (5)$$

где $\hat{Y} = MZ[Y, t]$, функция в (5) $U(\hat{Y}^{(s)}, t)$ является решением уравнения $\partial U / \partial t + [\partial U / \partial \hat{Y}]^T \chi^{(s)} + 0.5 \text{tr}[(\partial^2 U / \partial \hat{Y} \partial \hat{Y}^T) \sigma^{(s)}] + 1/4 [\partial U / \partial \hat{Y}]^T B^{(s)} K B^{(s)} [\partial U / \partial \hat{Y}] = MZ[L]$ для определяющего равенства

$$U(\hat{Y}(s), t) = MZ[l_1(Y, tk)]. \quad (6)$$

В выражении для (6) $\chi^{(s)}(\hat{Y}^{(s)}, t)$ – вектор коэффициентов сноса, $\sigma^{(s)}(\hat{Y}^{(s)}, t)$ – матрица диффузии для динамической системы (1). При этом, полученное управление как для линейного объекта, так и для нелинейного объекта БЛА при неизменном векторе состояния будет оптимальным. В системе управления (СУ) и системе наведения (СН) для беспилотного воздушного судна формируются следующие управляющие сигналы [9, 10]:

$$u(s)(t) = - K(s)B(s) \tau \Lambda(s) \hat{Y}(s) \rightarrow |u_i| \leq U_{oi} \rightarrow u(s)(t) = - \text{sat}[K(s)B(s) \tau \Lambda(s) \hat{Y}(s)], \quad (7)$$

компоненты, формирующие сигнал для управления, описываются зависимостями для s этапа $dA^{(s)}/dt = -A^{(s)}A^{(s)T} + A^{(s)}\Lambda^{(s)} + \Lambda^{(s)}B^{(s)T}K B^{(s)}A^{(s)} - \Gamma_2$, $A^{(s)}(t_0) = \Gamma_1$; Γ_2, Γ_1 – известные матрицы,

$$d\hat{Y}^{(s)}/dt = A^{(s)}\hat{Y}^{(s)} + B^{(s)}u^{(s)} + R^{(s)}C^{(s)T}Q^{-1}(Z - C^{(s)}\hat{Y}^{(s)}) + \sum_{r=1}^S (P_r / P_s) \lambda_{rs} (\hat{Y}^{(r)} - \hat{Y}^{(s)}), \quad \hat{Y}(t_0) = \hat{Y}_0,$$

$$dR^{(s)}/dt = F^{(s)}G_y F^{(s)T} + A^{(s)}R^{(s)} + R^{(s)}A^{(s)T} - R^{(s)}C^{(s)T}Q^{-1}C^{(s)}R^{(s)} + \sum_{r=1}^S (P_r / P_s) \lambda_{sr} (R^{(r)} - R^{(s)}), \quad R(t_0) = R_0,$$

$$dP_s/dt = - P_s \sum_{r=1}^S \lambda_{sr}(t) + \sum_{r=1}^S P_r \lambda_{rs}(t); P_r, P_s – \text{апостериорные вероятности состояния, } \lambda_{sr}, \lambda_{rs} –$$

соответствующие интенсивности переходов (уравнения Колмогорова положены в основу исследования информационной вероятностной модели применения БЛА).

Информационная вероятностная модель применения многофункционального БЛА представляет собой обобщённую вероятностную модель процесса в пространстве состояний, она отображает основные этапы применения КБЛА, определяет аналитическую связь для вероятностей состояний и переходных вероятностей. Последние по существу представляют собой вероятности решения задач того или иного этапа применения комплекса с БЛА [10, 12, 13]. Получение предварительных показателей и оценок к характеристикам для многофункциональных КБЛА (для сравнения) можно найти в работах [11, 13, 15]. Таким образом, представленная модель необходима для оценки ТУ в

среде ИАС наряду с экспертными оценками, является комбинацией из методов и моделей (подхода) в компьютеризированной среде ИАС.

3 Выбор первичного варианта разработки систем

Многофункциональность динамической системы для КБЛА в (1) предопределяет многокритериальное оценивание множества показателей качества разработки в технологической компьютерной среде и соответствующей концепции. Критерий (4) задаётся, исходя из смысла решаемой задачи такой СТС. Созданный Д.И. Гладковым метод НСП [7] предназначен для решения широкого круга задач структурно-параметрической оптимизации детерминированных и стохастических (линейных и нелинейных, стационарных и нестационарных) динамических систем и позволяет проводить их оптимизацию.

Для принятия решения в процедурах НСП, входящих непосредственно в компьютеризированную среду ИАС, также следует проводить многокритериальное оценивание показателей функциональной эффективности КБЛА на этапах первичных испытаний и разработки, что позволяет проводить последовательные действия по выбранным критериям для первичного оценивания основных показателей качества при технологическом управлении в среде ИАС. Поиск лучшей модели как альтернативных вариантов из объектов БД для многофункциональных КБЛА также может быть основан, как было отмечено выше, и на экспертной оценке в среде ИАС, что далее в статье будет показано. Многообразие ДС и сложность современных СТС, а также информационная неопределённость в НИОКР всегда создают некоторое поле альтернатив [16], причём своевременный выбор предпочтительной альтернативы и оптимального плана позволяет в среднем на 15% в год поднять эффективность затрат по созданию СТС.

Обозначим через a допустимую альтернативу модели объекта и через A – множество всех допустимых альтернатив. Каждому действию или выбору a из A поставим в соответствие совокупность показателей $J_1(a), \dots, J_m(a)$. Можно считать, что m показателей J_1, \dots, J_m отображает каждое a из A в некоторую точку m -мерного пространства исходов действий (последствий). Очевидно, что во всякой такой точке (J_1, J_2, \dots, J_m) пространства невозможно непосредственно сравнивать величины J_i и J_j при $i \neq j$.

Задача состоит в таком выборе a из A , чтобы получить оптимальный в отношении принятого критерия (4) вариант из $J_1(a), \dots, J_m(a)$, т.е. нужна «свёртка» для критерия, которая бы объединяла всю совокупность $J_1(a), \dots, J_m(a)$ в скалярный показатель предпочтительности, что равносильно заданию некоторой скалярной функции $J(J_1, J_2, \dots, J_m) \geq J(J'_1, J'_2, \dots, J'_m) \Leftrightarrow (J_1, J_2, \dots, J_m) \geq (J'_1, J'_2, \dots, J'_m)$, символ \geq означает «не менее предпочтителен, чем». Показателем, как видим, $J(\cdot)$ будет свертка для критерия (4) при выборе альтернатив и подготовки к принятию управленческих решений в компьютеризированной среде ИАС.

Итак, интегративный подход предполагает необходимость при мониторинге объектов в составе КБЛА комплексный анализ, включающий совмещение с экспертными оценками. В связи с тем, что реализация предложенного подхода по выбору наилучшего варианта БЛА из числа альтернатив связана со значительными временными и денежными затратами, представляет интерес выбора предпочтительного БЛА с использованием блоков ИАС «Оценка и выбор».

Информационная система представляет собой программно-аппаратный комплекс, который подробно описан [17]. Сама ИАС «Оценка и выбор» относится к системам поддержки выбора решений и базируется на использовании упомянутого метода многокритериального анализа и экспертных оценок, который изложен применительно к управляемым авиационным бомбам и их системам наведения и управления. Сущность подхода к оценке ТУ СТС с использованием известных математических методов теории принятия решений с использованием взвешенного суммирования [18, 19] и современных информационных технологий, что подробно изложено в работе [20].

Заключение

Современные информационные технологии, стремительная цифровизация множества объектов информационно-вычислительной техники открывают широкие возможности автоматизации процессов сложных динамических систем в условиях анализа к изменению параметрической и

структурной неопределенности. Общепринято в научном мире различать стационарную и нестационарную, параметрическую и структурную неопределенности объектов управления и системы в целом. Стационарная для СТС неопределенность не изменяется в процессе функционирования – динамическая система имеет неопределенные постоянные параметры и структуру. Особенностью для таких систем являются именно параметрическая и структурная неопределенности в начальный момент времени работы, а также стохастичность информационного процесса при воздействии случайных сигналов и помех. В свою очередь, нестационарная параметрическая и структурная неопределенности состоят в изменении их в процессе функционирования системы. Динамические системы с нестационарной параметрической и структурной неопределенностями получили название систем со случайно изменяющейся структурой. Исследование таких систем можно проводить с помощью имитационного моделирования или на основе аналитической теории, оперирующей, как правило, общими уравнениями к оценке вероятностных характеристик. Научно-практические задачи исследования динамических систем со случайной структурой сложнее соответствующих задач для систем с неизменяемой структурой.

Итак, интегративный подход объединяет методы и модели многокритериального оценивания альтернатив, предлагающие различные пути к идентификации и мониторингу объектов в составе КБЛА, к, собственно, СТС. Теория исследования операций предполагает целый ряд методов и способов формирования единого критерия $J(\cdot)$ как набора частных критериев J_i . Метод введения ограничений на выходные параметры в форме приведенной «свертки» позволяет решать многие задачи анализа и оптимизации.

Преобразование задачи оптимизации с ограничениями в задачу оптимизации без ограничений путём изменения целевой функции является базисом и основой для целой группы методов, часто называемых методами штрафных функций. Алгоритмы поиска параметров и решений (особенно на ранней стадии предварительного анализа, испытаний и проектирования многофункциональных СТС) могут дать не только оптимальные решения выбора для систем и объектов, но и указать на меру их конкурентоспособности. Эти разработки ведутся в соответствии с условием для критерия, формируемого из набора основных показателей качества и функциональной эффективности. Таким образом, исследования объектов ДС и СТС применительно к многофункциональным КБЛА в ИАС, показывает актуальность интегративного подхода, включающего и моделирование стохастических динамических СТС, и применение методов экспертных оценок на начальном этапе их жизненного цикла [21]. По сути, интегративный подход – это тренд нашего времени, ведь сейчас оптимизировать функционал сложных крупномасштабных социально-технических систем, какими и являются КБЛА, возможно лишь с учетом множества характеристик.

Литература

1. *Belov M., Novikov D.* Models of Technologies. Switzerland: Springer International Publishing AG, 2020. – 113с.
2. ГОСТ 15467-79 «Управление качеством продукции. Основные понятия. Термины и определения» (утв. постановлением Госкомстандарта СССР от 26 января 1979 г. N 244), п. 3, 24.
3. *Semenov S., Poltavsky A., Rusaeva E.* Cybernetics Systems: Algorithmization in the Tasks of Primary Evaluation of Objects in a Complex Unmanned Aircraft / Proceedings of the 13th International Conference "Management of Large-Scale System Development" (MLSD). Moscow: IEEE, 2020. <https://ieeexplore.ieee.org/document/9247794>.
4. *Reg A.* Unmanned Aircraft systems. UAVS Design, Development and Deployment / A. Reg // Austin Reg. JohnWiley and Sons, Ltd. Publication, 2010. – 332 p.
5. *Martin J. Dougherty.* Drones. An illustrated guide to the unmanned aircraft that are filling our skies. 2015 Amber Books Ltd.
6. *Jane's.* All the World's Aircraft. 2017-2018. – 458 p.
7. *Казаков, И.Е.* Методы оптимизации стохастических систем / И.Е. Казаков, Д.И. Гладков. – М.: Наука, 1987. – 304 с.
8. *Кульба, В.В.* Теоретические основы проектирования информационно-управляющих систем космических аппаратов / В.В. Кульба, Е.Н. Микрин, Б.В. Павлов, В.Н. Платонов // Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН. – М.: Наука, 2006. – 579 с.
9. *Пугачёв, В.С.* Теория вероятностей и математическая статистика / В.С. Пугачёв. – М.: Физматлит, 2002. – 496 с.
10. *Казаков, И.Е.* Анализ стохастических систем в пространстве состояний / И.Е. Казаков, С.В. Мальчиков. – М.: Наука, 1983. – 384 с.

11. *Гладков, Д.И.* Оптимизация систем неградиентным случайным поиском / Д.И. Гладков. – М.: Энергоиздат, 1984. – 256 с.
12. *Полтавский, А.В.* Многофункциональные комплексы беспилотных летательных аппаратов / А.В., Полтавский А.А. Бурба, А.Е. Аверкин, В.В. Макаров, В.В. Маклаков. // Под ред. Рубиновича Е.Я. – М.: ИПУ РАН, 2015. – 204 с.
13. *Полтавский, А.В.* Информационные процессы в технике: моделирование систем и объектов многофункциональных робототехнических комплексов беспилотной авиации / А.В. Полтавский, С.С. Семенов, А.А. Бурба, Нгуен Зуи Фьонг. Под ред. Вишневого В.М. – Королев: АО «ПСТМ», 2019. – 404 с.
14. *Саркисян, С.А.* Анализ и прогноз развития больших технических систем / С.А. Саркисян, В.М. Ахундов, Э.С. Минаев. – М.: Наука, 1983 г. – 280 с.
15. *Poltavsky, A.V.* Decision making concept to create complex technical systems / A.V. Poltavskiy, A.S. Zhumabaeva, K.A. Ayzharikov, A.V. Pivkin, A.M. Telegin // Надежность и качество сложных систем. – 2016. – № 2(14). – С. 74-84.
16. *Пиявский, С.А.* Прогрессивность многокритериальных альтернатив / С.А. Пиявский // Онтология проектирования. – 2013 – № 4(10). – С. 60-71.
17. *Семенов, С.С.* Оценка технического уровня образцов вооружения и военной техники / С.С. Семенов, В.Н. Харчев, А.И. Иоффин. – М: Радио и связь, 2004. – 552 с.
18. *Hwang C., Yoon K.* Multiple Attribute Decision Making. Berlin/Heidelberg/New-York: Springer-Verlag, 1981. 259 p. <https://doi.org/10.1007/978-3-642-48318-9>.
19. *Han-Lin Li.* Solving Discrete Multicriteria Decision Problems Based on Logic-Based Decision Support Systems. – North-Holland: Decision Support Systems, 1987. – Vol. 3(1). – P.101–119.
20. *Воронов, Е.М.* К оценке технического уровня сложных технических систем с учётом полного жизненного цикла / Е.М. Воронов, В.В. Щербинин, С.С. Семенов // Онтология проектирования. – 2016. – Т. 6, №2(20). - С.173-192. – DOI: 10.18287/2223-9537-2016-6-2-173-192.
21. *Saltykov S., Rusyaeva E.* Identification of the stage in the life cycle of innovation: Matrix, technique and open data / Proceedings of the 10th International Conference "Management of Large-Scale System Development" (MLSD). Moscow: IEEE, 2017., <http://ieeexplore.ieee.org/document/8109680/>.