

ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК КОМПЛЕКСА БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ

А. В. Полтавский, А. С. Жумабаева, Р. Р. Бикеев

Введение

Комплекс беспилотных летательных аппаратов (КБЛА) ДН представляет собой совокупность взаимоувязанных в единую организационно-техническую систему (ОТС) беспилотных летательных аппаратов (БЛА) и наземных технических средств, обеспечивающих применение БЛА в воздухе, а также техническую эксплуатацию на земле. Структурный состав КБЛА может меняться в зависимости от решаемых задач, их масштабов, видов действий и условий применения БЛА [1].

Повышение качества функционирования КБЛА ДН опирается на комплексное исследование проблем качества их разработки. Задача синтеза системы новых методов и алгоритмов структурно-параметрической оптимизации параметров КБЛА ДН, синтеза новых технических обоснованных решений в ОТС, обеспечивающих заданные ТТХ КБЛА ДН на ранних стадиях предварительного проектирования, является актуальной. Для решения поставленной проблемы необходимы компьютеризированная система аналитико-имитационного моделирования (САИМ) и комплексная компьютеризированная система поддержки принятия управленческих решений (КСППУР). Необходимо создать компьютеризированную технологическую систему оптимизации математических моделей КБЛА ДН, способную отображать работу алгоритма имитационного моделирования в принятой стратегии разработки новых перспективных комплексов БЛА.

Технологическая среда разработки основных характеристик КБЛА ДН

Структура предлагаемой компьютеризированной технологической системы оптимизации математических моделей КБЛА ДН представлена на рис. 1,а. Основные блоки данной системы представлены на рис. 1,б,в, отображена блок-схема процесса оптимизации математических моделей КБЛА ДН процедурами неградиентного случайного поиска (НСП) с поясняющим графиком сущности описываемого явления. В контуре управления процедурами НСП не хватает самой динамической системы, т.е. непосредственно самих объектов оптимизации, адекватных физическим процессам их функционирования [1–3]. Центральным звеном в общей структуре являются модели функционирования и применения БЛА ДН.

Эффективность процесса случайного поиска НСП и оптимизация моделей системы в области определения параметров Ω_{O1} и области решений Ω_{O2} находится согласно [2]

$$P(\theta) = P(\theta | S_{O1}, A_O), \forall S_{C1} \in \Omega_{O1}, \forall A_v \in \Omega_{O2} : P(\theta | S_C) = P(\theta); \quad (1)$$

$$P(\theta | S_C) = P(\theta | S_{C1}, A_v),$$

где $P(\theta)$ – вероятность появления события θ ; S_{O1} – матрица заданных параметров; S_{C1} – матрица искомым параметров, A_v – событие, состоящее в появлении v -го сочетания элементов матрицы S_C , $P(A_v)$ – вероятность появления события A_v ; $P(\theta | S_C)$ – условная вероятность появления события θ ; $P(A_v | \theta)$ – условная вероятность появления события (модели) A_v , $P(\theta | S_{O1}, A_O)$ – условная вероятность появления события θ при заданных параметрах и событий A_O .

Для решения задачи оптимизации и управления сложной системой БЛА ДН как динамическим объектом в s структуре применим модель, входящую в структуру общей математической модели КБЛА ДН (1) [1, 2, 4, 5]

$$\dot{Y} = \xi^{(s)}(Y, u, Ny, t), Y(t_0) = Y_0, s = \overline{1, S}, \quad (2)$$

где $\xi^{(s)}(Y, u, Ny, t) = A^{(s)}(t)\varphi^{(s)}\xi(Y, t)\xi + B^{(s)}(Y, t)u(t) + F^{(s)}(Y, t)Ny(t)$; $\varphi^{(s)}\xi$, $A^{(s)}(t)\xi$, $B^{(s)}(Y, t)$, $F^{(s)}(Y, t)$ – заданные нелинейные дифференцируемые функции, Y_0 – случайный вектор начального состояния системы, $Ny(t)$ – n -мерный векторный центрированный белый шум, $u(t)$ – r -мерный вектор управления ($r \leq n$). Управление в бортовом комплексе управления (БКУ) [3] $u(t)$ формируется с учетом наблюдения вектора состояния $Y(t)$ в (2) или его части как

$$Z(t) = C^{(s)}(Y, t) + Nz(t), \quad (3)$$

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

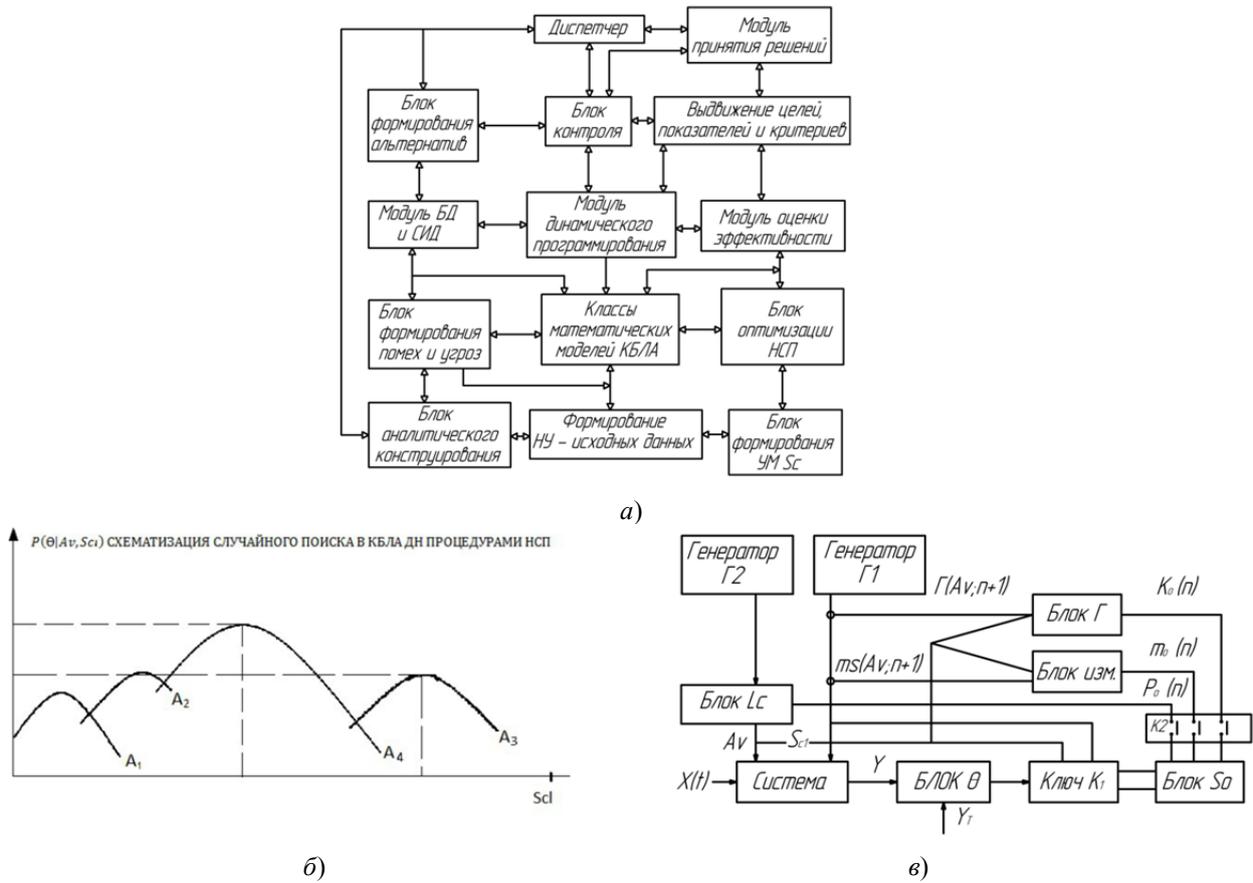


Рис. 1. Схема технологической системы оптимизации моделей объектов КБЛА ДН

Критерием оптимизации моделей объектов управления БЛА ДН будет

$$J^{(s)}ko = \zeta^{(s)}(Y, Y_\tau, u; t | Z(t), t_0 \leq \tau \leq t), s = \overline{1, S}, \quad (4)$$

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

Для s структуры, представленной (2), определим вектор управления $u(t)$. В общем случае для s структуры нелинейного объекта $Y(t)$, описываемого уравнением (2), функционал качества (4) принимает следующий вид:

$$J^{(s)}ko = MZ[l(Y, tk)] + MZ[\int (L(Y, \tau) + u^T(\tau)K^{-1}u(\tau))d\tau], \quad (5)$$

где $L(Y, \tau)$, $l(Y, tk)$ – заданные положительно определенные функции; $MZ[A]$ – математическое ожидание от A ; K – диагональная матрица коэффициентов. Оптимальным управлением объектом будет минимизация функционала (5), которая осуществляется при условии:

$$u^{(s)}(t) = -\frac{1}{2} \{K[B^{(s)}(\dot{Y}^{(s)}, t)]^T \partial U(\dot{Y}^{(s)}, t) / \partial \dot{Y}\}, \quad (6)$$

где $\hat{Y} = MZ[Y, t]$, функция в (6) $U(\hat{Y}^{(s)}, t)$ 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 равенства

$$U(\hat{Y}^{(s)}, t) = MZ[l_1(Y, tk)]. \quad (7)$$

В выражении (7) $\chi^{(s)}(\hat{Y}^{(s)}, t)$ – вектор коэффициентов сноса, а $\sigma^{(s)}(\hat{Y}^{(s)}, t)$ – матрица диффузии для динамической системы (2). При этом полученное управление как для линейного объекта, так и для нелинейного объекта БЛА при неизменном векторе состояния будет оптимальным. В бортовом комплексе управления формируются сигналы

$$u^{(s)}(t) = -K^{(s)} B^{(s)T} A^{(s)} \hat{Y}^{(s)} \rightarrow |u| \leq U_{oi} \rightarrow u^{(s)}(t) = -\text{sat}[K^{(s)} B^{(s)T} \Lambda^{(s)} \hat{Y}^{(s)}], \quad (8)$$

в котором компоненты описываются зависимостями для s этапа управления как $\Lambda \xi^{(s)} = -\Lambda^{(s)} A^{(s)T} + A^{(s)} \Lambda^{(s)} + \Lambda^{(s)} B^{(s)T} K B^{(s)} \Lambda^{(s)} - \Gamma_2$, $\Lambda^{(s)}(t_0) = \Gamma_1$; Γ_2 , Γ_1 – известные матрицы,

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

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

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

ответствующие интенсивности переходов (уравнения Колмогорова положены в основу вероятностной модели применения КБЛА ДН). При построении и исследовании вероятностной модели применения БЛА ДН (рис. 2) может быть использовано описание ее в виде модели условно марковского случайного процесса [1, 2, 4, 5]:

- S_1 – БЛА исправен и находится в ожидании команды на применение ЛПР;
- S_2 – БЛА находится в состоянии ожидания к выполнению полетного задания;
- S_3 – БЛА выполняет полетное задание этапа старта;
- S_4 – решение навигационной задачи при полете БЛА к объекту-цели;
- S_5 – преодоление потенциальных угроз БЛА при полете к объекту-цели;
- S_6 – решение задачи выхода БЛА на объект-цель;
- S_7 – выполнение поставленной задачи БЛА (доставки груза к объекту);
- S_8 – преодоление БЛА угроз при полете на заданный аэродром базирования;
- S_9 – решение навигационной задачи при полете на аэродром базирования;
- S_{10} – БЛА поврежден, но может решать задачу полета в район посадки;
- S_{11} – БЛА потерян на одном из этапов применения;
- S_{12} – БЛА в состоянии выполнения полетного задания назначенной посадки;
- S_{13} – БЛА находится в состоянии ремонта (подготовки к выполнению задач).

Система может находиться в одном из состояний $\{S_1, S_2, \dots, S_n; n = 13\}$ (n – конечное число). В некоторые моменты времени $t_k (k = 1, \dots, \nu)$ система может случайным образом переходить из одного состояния S_i в другое состояние S_j с некоторой интенсивностью $\lambda_{ij}(t)$, которая в общем случае зависит от времени. В стационарном случае эти уравнения и граф вероятностей состояний в модели применения КБЛА ДН имеют вид

$$P_1 = P_{11} \lambda_{11.1} + P_{12} \lambda_{12.1} + P_{13} \lambda_{13.1} - P_1 \lambda_{1.2};$$

$$P_2 = P_1 \lambda_{1.2} - P_2 \lambda_{2.3};$$

$$P_3 = P_2 \lambda_{2.3} - P_3 (\lambda_{3.4} + \lambda_{3.10} + \lambda_{3.11});$$

$$P_4 = P_3 \lambda_{3.4} - P_4 (\lambda_{4.5} + \lambda_{4.11});$$

$$P_5 = P_4 \lambda_{4.5} - P_5 (\lambda_{5.6} + \lambda_{5.11});$$

$$P_6 = P_5 \lambda_{5.6} - P_6 (\lambda_{6.7} + \lambda_{6.8} + \lambda_{6.11});$$

$$P_7 = P_6 \lambda_{6.7} - P_7 \lambda_{7.8};$$

$$P_8 = P_6\lambda_{6,8} + P_7\lambda_{7,8} - P_8(\lambda_{8,9} + \lambda_{8,11});$$

$$P_9 = P_8\lambda_{8,9} - P_9(\lambda_{9,11} + \lambda_{9,12});$$

$$P_{10} = P_3\lambda_{3,10} + P_{12}\lambda_{12,10} - P_{10}\lambda_{10,13};$$

$$P_{11} = P_3\lambda_{3,11} + P_4\lambda_{4,11} + P_5\lambda_{5,11} + P_6\lambda_{6,11} + P_8\lambda_{8,11} + P_9\lambda_{9,11} + P_{12}\lambda_{12,11} + P_{13}\lambda_{13,11} - P_{11}\lambda_{11,1};$$

$$P_{12} = P_9\lambda_{9,12} - P_{12}(\lambda_{12,1} + \lambda_{12,10} + \lambda_{12,11});$$

$$P_{13} = P_{10}\lambda_{10,13} - P_{13}\lambda_{13,1} + \lambda.$$

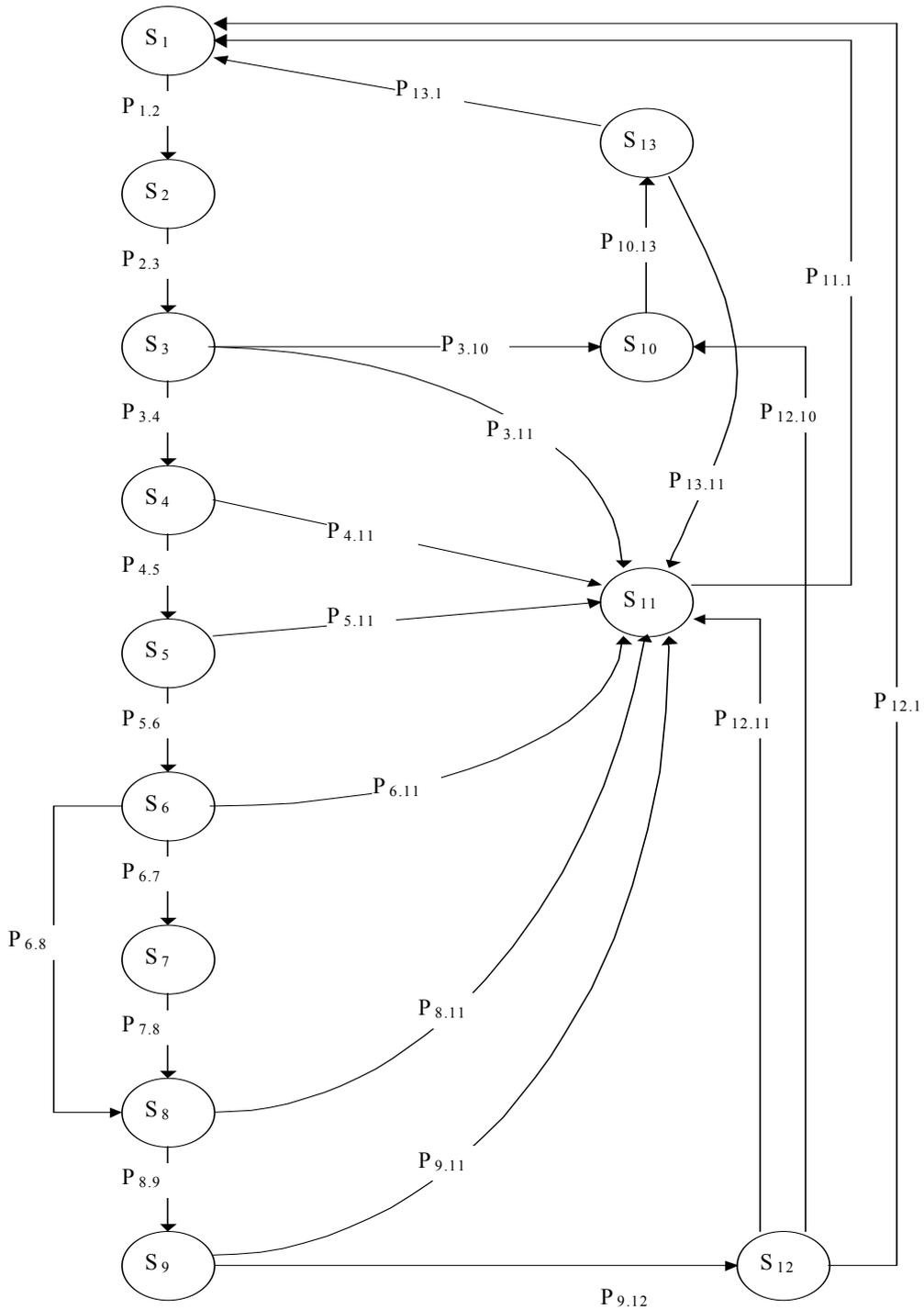


Рис. 2. Вероятности состояний процесса применения БЛА ДН

Добавим к ним нормировочное условие: $\sum_{i=1}^n P_i = 1$.

По смыслу решаемых задач КБЛА ДН интеграл $P_S(t) = \int_{\Omega_y} f(Y, s; t) dY$ и функции $f(Y, s; t)$

имеют смысл нахождения системы (2) в состоянии s (соответствующего этапа модели применения КБЛА ДН), моментными характеристиками в регистрации взвешиваемого компонента (отклонений в системе) h являются зависимости вида [1, 2]

$$M[h^{(s)}] = \int_{\Omega_y} y_h f(Y, s; t) dY \text{ и } K_{hk}^{(s)}(t) = \int_{\Omega_y} (y_h - m_h^{(s)})(y_k - m_k^{(s)}) f(Y, s; t) dY.$$

Вероятностная математическая модель применения БЛА ДН представляет собой обобщенную вероятностную модель процесса в пространстве состояний, отображает основные этапы применения КБЛА ДН и определяет аналитическую связь вероятностей состояний и переходных вероятностей. Последние по существу представляют собой вероятности решения задач того или иного этапа применения комплекса с БЛА ДН [4].

Метод оценивания характеристик КБЛА ДН на этапе проектирования

Многофункциональность динамической системы КБЛА ДН (1) предопределяет многокритериальное оценивание множества показателей качества разработки в технологической компьютерной среде КСППУР и соответствующей концепции (см. рис. 2). Критерий (4) для системы (подсистемы) задается исходя из смысла решаемой на s этапе задачи. Для принятия решения в процедурах НСП, входящего в среду КСППУР, в моделях САИМ предлагается использовать метод *многокритериального оценивания показателей функциональной эффективности* КБЛА ДН на этапе разработки, что позволяет в процессе проводить последовательные действия по выбранным критериям оценивания показателей качества при управлении в (4). Поиск моделей объектов позволяет проводить многокритериальную оптимизацию в КБЛА. Предварительный анализ возможных вариантов их моделей и отсев тех из них, которые являются не формализуемыми, осуществляется с использованием квантификации предпочтений. Таким образом, математическая постановка задачи выглядит так: обозначим через a допустимую альтернативу модели объекта и через A – множество всех допустимых альтернатив. Каждому действию или выбору a из A поставим в соответствие показатели $J_1(a), \dots, J_m(a)$. Можно считать, что m показателей J_1, \dots, J_m отображает каждое a из A в точку m -мерного пространства исходов действий (последствий). Очевидно, что во всякой точке (J_1, J_2, \dots, J_m) пространства последствий невозможно непосредственно сравнивать величины J_i и J_j при $i \neq j$, ибо в большинстве случаев это было бы просто бессмысленно. Задача состоит в таком выборе a из A , чтобы получить оптимальный в отношении принятого критерия (4) вариант $J_1(a), \dots, J_m(a)$. Поэтому нужна такая «свертка» критерия, которая трансформировала бы совокупность $J_1(a), \dots, J_m(a)$ в скалярный показатель предпочтительности. В другой формулировке это равносильно заданию скалярной функции $J(J_1, J_2, \dots, J_m) \geq J(J'_1, J'_2, \dots, J'_m) \Leftrightarrow (J_1, J_2, \dots, J_m) \geq (J'_1, J'_2, \dots, J'_m)$, где символ \geq означает «не менее предпочтителен, чем». Показателем $J(\cdot)$ будет свертка критерия (4) при выборе альтернативы принятия решения. Теория исследования операций предполагает целый ряд способов формирования единого критерия $J(\cdot)$ из набора частных критериев J_i . Метод введения ограничений на выходные параметры в форме «свертки» позволяет решать многие задачи оптимизации в (1). Идея преобразования задачи оптимизации с ограничениями в задачу оптимизации без ограничений путем изменения целевой функции является основой для целой группы методов, называемых методами штрафных функций [2, 4]. Алгоритмы адаптивного поиска (на стадии предварительного проектирования) объектов ОТС методом НСП в системе САИМ могут дать не только оптимальные решения выбора систем (подсистем) КБЛА ДН, но и указать на меру их конкурентоспособности в соответствии с выбранными критериями качества и функциональной эффективности [2, 4, 6].

Имитационное моделирование основных задач функционирования КБЛА ДН

Основными этапами и задачами имитационного моделирования *типовой операции применения* КБЛА ДН и оценки результатов по показателю s -го выполняемого этапа (условные вероятности основных этапов в модели применения (2)) являются:

- успешный старт и выход БЛА на заданную высоту полета ($P(\theta_{ст}) = P_{ст}$);
- полет в заданный район (навигационный этап полета БЛА $P(\theta_{н}) = P_{н}$);
- преодоление зоны ($P(\theta_{пу}) = P_{пу}$) угроз (основных учитываемых рисков для БЛА) радиационного, химического и бактериологического заражения, преодоление грозовых облаков и других возможных угроз (прогнозируемых рисков в среде КСППУР);
- выход в исходное положение в заданной области пространства для решения задачи обнаружения и распознавания объекта-цели $P_{по}(\theta_{по})$;
- доставка груза (сброс-пуск) непосредственно к объекту-цели $P_{ц} = P(\theta_{ц})$;
- контроль сброса, возвращение в назначенный район посадки ($P_{в}$), посадку ($P_{пс}$).

Эффективность применения многофункционального комплекса с БЛА ДН (JW) в типовой операции определяется по следующей «свертке» векторного критерия [6, 7]:

$$JW = P(\theta) = f(P_{ст}; P_{н}; P_{пу}; P_{по}; P_{ц}; P_{в}),$$

где $P_{ст}$ – вероятность успешного старта, $P_{н}$ – вероятность наведения БЛА в заданный район (этап навигации), $P_{пу}$ – вероятность преодоления потенциальных угроз, $P_{по}$ – вероятность правильного обнаружения объекта, $P_{ц}$ – вероятность доставки груза объекту-цели, $P_{в}$ – вероятность возвращения в район назначенной ЛППР посадки БЛА ДН.

Способы определения условных вероятностей $P_{ст}$, $P_{н}$, $P_{пу}$, $P_{по}$, $P_{в}$ достаточно изложены в рецензируемых публикациях по данным исследованиям [5–7]. В этих же изданиях опубликованы основные результаты имитационного моделирования [8–11].

Заключение

Методы автоматизированного случайного (направленного и ненаправленного) поиска в задачах идентификации и оптимизации математических моделей новых объектов в современных комплексах с беспилотными летательными аппаратами (КБЛА) находят широкое применение, особенно на ранней стадии исследований и предварительного проектирования. Исследования данных моделей, как правило, проводятся путем имитационного моделирования и лабораторных испытаний. В практике научных исследований и оптимизации подобных динамических систем часто применяют функцию потерь [1, 2, 4, 8–11], которая в таких задачах является недифференцируемой, и поэтому в этих случаях находит широкое применение метод неградиентного случайного поиска. Наряду с развитыми адаптивными методами управления, например, часто используемые в исследованиях динамических систем координатно-параметрической оптимизации и с распределенными параметрами, автоматизированные процедуры случайного поиска алгоритмами НСП также находят достаточно широкое научно-практическое применение к различным этапам и типам задач в оптимизации широкого спектра динамических систем, которые условно можно разделить на два основных класса. Первый класс оптимизируемых задач – это задачи, связанные с оптимизацией параметров динамической системы, второй – это задачи, связанные с оптимизацией решений (выбором объектов модельных звеньев из баз данных КСППУР).

Список литературы

1. Полтавский, А. В. Модель измерительной системы в управлении БЛА / А. В. Полтавский // Информационно-измерительные и управляющие системы. – 2009. – № 10. – С. 73–77.
2. Казаков, И. Е. Методы оптимизации стохастических систем / И. Е. Казаков, Д. И. Гладков. – М. : Наука, 1987. – 134 с.
3. 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.
4. Казаков, И. Е. Анализ стохастических систем в пространстве состояний / И. Е. Казаков, С. В. Мальчиков. – М. : Наука, 1983. – 247 с.

5. Полтавский, А. В. Комплексная методика оценки эффективности многоцелевых КБЛА / А. В. Полтавский, С. С. Семенов, А. А. Бурба // Боеприпасы. – 2010. – № 2. – С. 34–38.
6. Мубаракшин, Р. В. Бортовые информационно-управляющие средства оснащения ЛА / Р. В. Мубаракшин, Н. В. Ким, М. Н. Красильщиков. – М. : МАИ, 2003. – 134 с.
7. Полтавский, А. В. Управление безопасностью движения беспилотного ЛА / А. В. Полтавский. – М. : Датчики и системы. – 2008. – № 9. – С. 4–8.
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.
9. 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.
10. Полтавский, А. В. Интеграции сигналов когерентной системы ГЛОНАСС/GPS / А. В. Полтавский // Надежность и качество сложных систем. – 2014. – № 2 (6). – С. 46–50.
11. Полтавский, А. В. Методы когерентного контроля подвижных объектов / А. В. Полтавский // Надежность и качество сложных систем. – 2014. – № 3 (7). – С. 22–31.

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

Бикеев Ринат Равхатович

преподаватель,
кафедра воздушной навигации
и боевого применения авиации,
Военный институт Сил воздушной обороны
Республики Казахстан им. Т. Я. Бегельдинова
(463024, Казахстан, г. Актобе, пр. А. Молдагуловой, 16)
E-mail: rinat_bikeev@mail.ru

Аннотация. Показано, что методы автоматизированного случайного (направленного и ненаправленного) поиска в задачах идентификации и оптимизации математических моделей новых объектов в современных комплексах с беспилотными летательными аппаратами находят все более широкое применение. Исследование предложенных методов проведено на основе имитационного моделирования и лабораторных испытаний. Обоснована возможность использования в практике научных исследований и оптимизации подобных динамических систем функции потерь в виде некоторой не дифференцируемой функции. Доказана возможность исследования динамических систем на основе координатно-параметрической оптимизации автоматизированными процедурами случайного поиска.

Ключевые слова: комплекс с БЛА, состав, вооружение, структура, система.

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, Kazakhstan)

Bikeev Rinat Ravkhatovich

lecturer,
sub-department of air navigation
and combat employment of the aviation,
Military Institute of the Air Defense Forces
of the Republic of Kazakhstan
named after T. Ya. Begel'dinov
(463024, 16 A. Moldagulovoy avenue, Aktobe,
Kazakhstan)

Abstract. It is shown that automated methods of random (directional and non-directional) search in the tasks of identification and optimization of mathematical models of new objects in modern complexes with unmanned aerial vehicles are increasingly used. The study proposed methods based on simulation and laboratory tests. Grounded in research and practice of optimization of such dynamic systems function losses as some not differentiable functions. Proven ability to study dynamic systems based on coordinate-parametric optimization automated random search procedures.

Key words: UAV complex, composition, weaponry, structure, system.

УДК 681.036

Полтавский, А. В.

Имитационное моделирование характеристик комплекса беспилотных летательных аппаратов /
А. В. Полтавский, А. С. Жумабаева, Р. Р. Бикеев // Надежность и качество сложных систем. – 2015. –
№ 4 (12). – С. 16–23.