

# Об одной математической модели оценки надежности и обеспечения безопасности полетов при эксплуатации беспилотного воздушного судна

## On a mathematical model for assessing reliability and ensuring flight safety when operating an unmanned aerial vehicle

Полтавский А.В., Ахобадзе Г.Н.  
Poltavsky A.V., Akhobadze G.N.

Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН  
V.A. Trapeznikov Institute of Control Sciences of Russian Academy of Sciences  
avp57avp@yandex.ru



Полтавский А.В.



Ахобадзе Г.Н.

**Резюме.** Излагаются теоретические и прикладные аспекты компьютерного моделирования с учетом современных методов построения информационно-измерительных и управляющих систем (ИИиУС) летательных аппаратов (ЛА) при их эксплуатации. Объекты ЛА и ИИиУС являются высокотехнологическими и сложными техническими системами (СТС), требующими комбинированных подходов к их оценке. Показаны пути формирования основных блоков информационных моделей для получения основных показателей надежности и безопасности ЛА. Приводятся формулы к использованию адекватных процессам информационных технологий и методов оценки технического уровня создаваемых образцов как одноуровневых, так и многоуровневых иерархических систем в сочетании с известными методиками, действующими алгоритмами и программным обеспечением, являющиеся более полными по информативности с вероятностными характеристиками. Теоретические аспекты в работе и формулировки подкреплены вычислительным экспериментом, в ходе которого осуществлялась доставка груза ЛА в заданную область. Результаты работы могут быть полезными разработчикам беспилотных авиационных систем и специалистам в сфере проектирования объектов СТС при прогнозировании их технического состояния с оценкой функциональной безопасности и обеспечения желаемой эффективности.

**Annotation.** The theoretical and applied aspects of computer modeling are described, taking into account modern methods of constructing information, measurement and control systems (IIAs) of aircraft during their operation. The LA and IliUS facilities are high-tech and complex technical systems (CTC) that require combined approaches to their assessment. The ways of forming the main blocks of information models for obtaining the main indicators of aircraft reliability and safety are shown. Formulas are given for the use of adequate information technology processes and methods for assessing the technical level of created samples of both single-level and multi-level hierarchical systems in combination with known methods, operating algorithms and software, which are more complete in information content with probabilistic characteristics. The theoretical aspects of the work and the formulations are supported by a computational experiment, during which the aircraft cargo was delivered to a given area. The results of the work can be useful to developers of unmanned aircraft systems and specialists in the field of designing CTC facilities when predicting their technical condition with an assessment of functional safety and ensuring the desired efficiency.

**Ключевые слова:** информационная модель, сигналы – события, математическое ожидание, вероятностные показатели, коэффициент груза, вектор скорости, высота полета.

**Keywords:** information model, event signals, mathematical expectation, probabilistic indicators, load coefficient, velocity vector, flight altitude.

**Для цитирования:** Полтавский А.В., Ахобадзе Г.Н. Об одной математической модели оценки надежности и обеспечения безопасности полетов при эксплуатации беспилотного воздушного судна // Надежность. 2026. №1 С. 37-43. <https://doi.org/10.21683/1729-2646-2026-26-1-37-43>

**For citation:** Poltavsky, A.V., Akhobadze, G.N. On a Mathematical Model for Assessing Reliability and Ensuring Flight Safety in Unmanned Aerial Vehicle Operation. Dependability 2026;1: 37-43. <https://doi.org/10.21683/1729-2646-2026-26-1-37-43>

**Поступила:** 30.09.2025 / **После доработки:** 06.10.2025 / **К печати:** 01.02.2026

**Received on:** 30.09.2025 / **Revised on:** 06.10.2025 / **For printing:** 01.02.2026

## Введение

Практически все разработки и образцы авиационной техники предполагают обеспечение необходимыми сведениями и данными для организации управления технологическими процессами в народном хозяйстве, требующими достаточно обширных знаний в целях принятия управленческих решений. Значительную часть в процессе принятия решений при создании или модернизации современных объектов сегодня особую роль отводят средствам информационно-измерительных и управляющих систем (ИИиУС) (блоки ИИиУС составляют две основные компоненты – информационно-измерительная система (ИИС) и управляющая система (УС)), которые являются также сложными техническими системами (СТС) или их частями, они составляют также базис и основу для создания более сложных объектов информационно-управляющей системы (ИУС), находящихся в сети СТС.

Подходы к разработке объектов для СТС и им адекватных информационных моделей анализа, оценивания технического облика СТС могут быть различными. Как правило, многие специалисты в этой области исследований выделяют три основных направления: построение стохастических (вероятностных) моделей, модели для динамических модулей к дальнейшей экспертной оценке и комбинированные (интеграционные и гибридные) модели [1]. Для их анализа и реализации исследователями достаточно часто применяют методы и модели исследования из статистической динамики, стохастической индикации, аппроксимации и др. Наряду с ранее известными методами для получения оценки надежности и качества продукции СТС применяют также множество методов из экспертных оценок (эвристические методы) с различными для них подходами, которые также важны в задачах предварительных испытаний и начального проектирования, особенно тогда когда формализовать адекватные процессам модели объектов СТС достаточно сложно. Поэтому для осуществления получения объективных исследований СТС, реализации интеграционного подхода к оценкам надежности и основных показателей качества требуются ее концептуальное описание, а именно – это создание множества информационных моделей и разработок для адекватной процессам информационной системы (ИС) по принятию решений.

Подход к разработке блоков информационной модели СТС и интеграции методов и моделей основан на технологиях по разработкам современных объектов к средствам ИИиУС, обобщенной модели к показателям, например, для беспилотных средств с оптико-электронными приборами (ОЭП) с возможностями автоматизации процессов для дальнейшей поддержки управленческих решений. Для этих целей создаются множество блоков из информационных и имитационных моделей с привлечением теоретико-множественных и логико-вероятностных методов, ведется и выбор методов экспертных

систем с элементами искусственного интеллекта (ИИ). Как правило, изначально аналитические методы расчета оценок основных показателей качества и функциональной эффективности объектов СТС (комплексы с беспилотными летательными аппаратами – БпЛА с ОЭП и блоки к ИИиУС) построены в сочетании с известными методами из экспертных оценок, разработки алгоритмов ИИ с имитационным моделированием дают возможность организовать целенаправленный поиск как информационный процесс к проектированию им основных характеристик [2]. Покажем это на некоторых актуальных направлениях из разработок информационных и компьютерных моделей для этих сложных систем.

## 1. Информационная модель

Как известно, на основные измерители к блокам для ИИиУС возложены задачи, которые связаны с применением по функциональному назначению летательных аппаратов (ЛА). Так, например, в модели вероятность вскрытия объекта-цели оценивается формулой  $P_{\text{вскр}} = P_{\text{нал}}(1 - P_{\text{обн}})P_{\text{мн}}P_{\text{пр}}P_{\text{расп}}$ , в которой:  $P_{\text{нал}}$  – вероятность безотказной работы приборов ИИиУС;  $P_{\text{обн}}$  – вероятность обнаружения объекта-цели;  $P_{\text{мн}}$  – вероятность нахождения объекта-цели в районе поиска;  $P_{\text{пр}}$  – вероятность проявления объекта-цели за время поиска;  $P_{\text{расп}}$  – вероятность распознавания объекта-цели. Здесь видим, практически все эти показатели – вероятностные, и еще недостаточны для реализации экспертных методов. Один из путей – необходимо увеличить диапазон и область получения информации создавая динамические и программные модули (ПМ) из математических моделей для адекватных оценок ИИиУС и СТС. Отметим также, что сегодня любая система ИИиУС, в контуре управления которой находится человек и машина (в составе определяющих управляющих звеньев ЛА), является сложной эргатической системой с элементами ИИ. Так, например, если рассматривать беспилотные летательные аппараты, то наблюдается высокий процент происшествий, связанных с ошибкой летчиков-операторов (внешних пилотов). Поэтому разработки моделей оценки надежности и безопасности летательных аппаратов, а также действия операторов, управляющих этими аппаратами при их эксплуатации несомненно являются актуальными.

На примере доставки грузов посредством БпЛА, исследуем моделирование действия внешних операторов этих технических средств, ибо предполагаемое моделирование является не только необходимым процедурой, но и призвано для решения проблемы функциональной безопасности и надежности, а также в целом и функциональной эффективности. Информационная модель строится на адекватности физическим процессам. Традиционные подходы – методы, модели и алгоритмы исследования и разработки для СТС и для блоков ИИиУС – в основном базируются на теории линейных систем, в то время как в действительности

модель объекта управления является далеко нелинейной, нестационарной, а также многосвязной и многоканальной с вероятностными показателями. В этих условиях применяют общепризнанные в научной сфере методы и модели исследования, основанные на теории анализа для стохастических систем – методы стохастической аппроксимации, статистической линеаризации, методы интеллектуального управления, методы нейронечеткого управления и др. Большинство моделей для СТС [3] и для объектов ИИиУС создается на фундаментальных принципах этих методов, действующих алгоритмов и созданных программных средств. Так, например, часто используется такой принцип анализа, как качество системы. Как известно, всякое отклонение от выходного сигнала  $Y$  системы от требуемого сигнала  $Y_T$  вызывает некоторые потери (учитываемые риски), которые в каждом конкретном случае характеризуются функцией потерь  $\ell = \ell(Y, Y_T)$ . В свою очередь, векторные входной сигнал  $X(t)$  и выходной сигнал  $Y(t)$  связаны с вероятностями  $P(X)$ ,  $P(Y)$  их появления. Поэтому к выходному сигналу  $Y(t)$  предъявляются отдельные особые требования в виде требуемого (или часто желаемого для ЛППР) сигнала  $Y_T$ , связанного с показателями и характеристиками функционирования СТС и ИИиУС. Эти требования, предъявляемые к ним, состоят в необходимости удовлетворения принятых ограничений в моделировании этих систем и выполнения условий как  $E \leq E_T$ , здесь символ  $E = f(|Y - Y_T|)$  – величина, определяющая потребную степень близости для векторов входного и выходного сигналов. Случайные сигналы-события  $X$  и  $Y$ , являющиеся сложными, характеризуются вероятностями и представляются в динамических модулях (отдельными блоками) информационной системы в общепринятом виде [4]. Использование вероятностного выражения дало возможность предположить, что входные события – сигналы  $X_1, X_2, \dots, X_n$  могут составить полную группу событий в модели к динамическим модулям. А также, при условии, когда событие-сигнал  $Y$  может появиться вместе с одним из несовместных событий  $X_1, X_2, \dots, X_m$ , составляющих полную группу, получим выражение, как  $P(Y) = \sum_{i=1}^m P(X_i)P(Y/X_i)$ . Отметим также здесь, что случайные сигналы-события  $X$  и  $Y$  во времени – это случайные функции  $X=X(t)$ ,  $Y=Y(t)$ , которые характеризуются соответствующими им математическим ожиданием (МО)  $M[X(t)] = m_x(t)$  и дисперсией  $D_x(t)$ , а также корреляционной функцией динамического модуля в ИС. Эти зависимости (для модели входного сигнала) можно представить формулой с математическим ожиданием-МО в следующем общепринятом виде [5]

$$M[X(t)] = m_x(t) = \begin{pmatrix} m_1^{(x)}(t) \\ m_2^{(x)}(t) \\ \vdots \\ m_m^{(x)}(t) \end{pmatrix},$$

где  $m_1^{(x)}(t), m_2^{(x)}(t), \dots, m_m^{(x)}(t)$  – компоненты МО. В тоже время согласно формуле, представленной также в [2, 3], МО связано с корреляционной функции информационного процесса.

Для выходного сигнала  $Y(t)$  в принятой информационной модели все выкладки и процедуры будут аналогичные. Для оценки динамики систем (подсистем) и процесса в ИИиУС и СТС наиболее информативными показателями являются именно входной и выходной сигналы, такое определение является общим и предельно справедливым для этих сложных систем.

При заданных характеристиках  $X$  и  $Y_T$  показатель качества системы, как мера близости измерений  $Y$  и  $Y_T$  будет изменяться при изменении условного оператора. Таким образом, сближение векторов  $Y$  и  $Y_T$  – это есть управление качеством ИИиУС и СТС. Отметим, что сигналом  $Y_T$  может быть выходной сигнал для реальной системы (или модели), или сигнал идеальной (абстрактно-теоретической) системы, а также может, принят сигнал из эталона в соответствующей шкале измерений. Как мы уже выше отметили, измерителем отклонения в модели принята функция потерь (как штраф) –  $\ell(Y, Y_T)$ , она связана с некоторым событием  $\theta$ , которое подразумевает собой функциональные возможности для самой системы:

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

где  $\ell_1$  – величина потерь. Событие  $\theta$ , как отмечено, является сложным событием и, кроме близости векторов  $Y$  и  $Y_T$ , учитывает  $\Lambda$  ограничений  $\theta = \prod_{i=0}^{\Lambda} \theta_i$ , здесь  $\theta_0$  – событие, состоящее в требовании к близости векторов  $Y$  и  $Y_T$ ;  $\theta_i$  – событие, удовлетворяющее  $i$ -му ограничению ( $i = \overline{1, \Lambda}$ ). Как видим из этих выкладок, требуется обеспечить максимум вероятности события  $\theta$ , т.е.  $P(\theta) = \max$ , что также необходимо в задачах оптимизации и принятия управленческих решений в информационных блоках-модулях ИС.

Требования к современной продукции ИИиУС и СТС – это, прежде всего, высокое качество и эффективность выполнения поставленных задач, а также безопасность применения в любое время года и суток, информативность каналов, мобильность, многоканальность, интеграция оптических приборов, радиолокационных устройств, надежность механических узлов, электронных схем, программ и т.д. Эти требования должны обеспечивать устойчивость получаемой информации и организации управления в широких условиях применения СТС и ИИиУС по назначению.

Случайность события  $\theta$ , как отмечено, является следствием множества воздействий на СТС и ИИиУС и связана с функцией потерь (средним риском). Как правило, оценивание потерь производится с помощью моделей (большинство систем СТС и ИИиУС сегодня рассматриваются как стохастические) с возможностью

определения их возможных технических условий (ВТУ) с целью выявления степени пригодности к функционированию. Вероятностные показатели и основные характеристики (случайные и неслучайные) являются важными при оценке качества продукции на всех этапах жизненного цикла СТС. Их получают на научно-технологической платформе теоретико-вероятностных методов. В комплекс процедур принятия решений одним из важных этапов по формированию действующих программ создания систем СТС и ИИиУС включен этап совместного выбора вариантов (и их технического облика) и непосредственно состава исследуемой системы на множестве подсистем (и программных модулей)

$M^* = \bigcup_i^k M_i$ , что позволяет сократить время и затраты на разработку. Для данного важного этапа характерно то, что появляется возможность выбора наиболее рациональных проектных решений из множеств подходов. Наряду с известными подходами к оценке ВТУ блоков ИИиУС и для СТС сегодня также широко используются интеллектуальные методы, связанные информационно-энтропийными показателями проводимых испытаний и оценками измерений. Комплексное (системное и интеграционное) моделирование [6] может значительно повысить информативность и достоверность оценок основным показателям качества с ВТУ, что собственно и позволяет выбрать наиболее рациональный путь создания образцов для СТС, в частности многофункциональных комплексов БпЛА и ИИиУС, которые часто рассматриваются как продукция двойного назначения (для задач народного хозяйства и силовых ведомств). Покажем одну из возможных схем создания модели для предварительных испытаний и решении основной задачи для многофункционального БпЛА – доставка грузов в заданную область пространства.

## 2. Компьютерное моделирование

Одной из важных функциональных задач для ИИиУС и для БпЛА является обеспечение доставки различных грузов в заданную область пространства. Основу блока анализа системы (БАС) составляет математическую модель для анализа такой доставки. Запишем уравнения к анализу движения некоторого груза *Б* к БАС, доставляемого БпЛА в проекциях на оси общепринятых измерений *x* и *y* (на первичном этапе процесса рассматривается простая детерминированная модель к информационному блоку БАС для вертикальной плоскости оцениваемого движения беспилотного объекта):

$$\begin{aligned} m \frac{d^2 x}{dt^2} &= -R \cos \theta_v; \\ m \frac{d^2 y}{dt^2} &= -R \sin \theta_v - mg, \end{aligned} \quad (1)$$

где *m* – масса груза, транспортируемого БпЛА;  
*g* – ускорение свободного падения;

$$R = C_x S_k \rho \frac{V^2}{2} - \text{сила лобового сопротивления грузу } B;$$

$C_x, S_k, \rho, V$  – коэффициент сопротивления, площадь поперечного сечения, плотность воздуха и скорость груза соответственно;

$\theta_v$  – угол отклонения вектора скорости  $\vec{V}$  от горизонта;  
 $V_x = V \cos \theta_v, V_y = V \sin \theta_v$  – соответственно моделируемым процессам в ИС горизонтальная и вертикальная составляющие вектора скорости груза, которые в блоке анализа БАС определяются по следующим формулам:

$$\vec{V} = \vec{V}_x + \vec{V}_y; V = \sqrt{V_x^2 + V_y^2}; \theta_v = \arctg \frac{V_y}{V_x}.$$

Для того, чтобы решить уравнения (1) на ПЭВМ, их следует привести к системе Коши (к уравнениям (2)), положив постоянным коэффициент для груза (*B*)  $K_B = (C_x S_k \rho) / 2m$

$$\begin{aligned} \frac{dx}{dt} &= V_x; \\ \frac{dy}{dt} &= V_y; \\ \frac{dV_x}{dt} &= -K_B * V * V_x; \\ \frac{dV_y}{dt} &= -K_B * V * V_y - g. \end{aligned} \quad (2)$$

Данные уравнения решают по шагам, если задаться интервалом времени (или шагом)  $dt \approx \Delta t$ . Для начального шага интегрирования (2) ( $t(0) = 0$ ) получим алгоритм для решения на ПЭВМ

$$\begin{aligned} t &= t + \Delta t; \\ x &= x + V_x * \Delta t; \\ y &= y + V_y * \Delta t; \\ V_x &= V_x - (K_B * V * V_x) * \Delta t; \\ V_y &= V_y - (K_B * V * V_y + g) * \Delta t; \\ V &= \text{SQRT}(V_x^2 + V_y^2). \end{aligned} \quad (3)$$

Условием окончания интегрирования (3), когда  $y(\kappa)$  будет находиться между шагом  $y(n)$  и  $y(n+1)$ , принято  $(y_n - y_\kappa) * (y_{n+1} - y_\kappa) \leq 0$ . Для испытаний модели (2) приведем также рабочую формулу (полагая  $V = V(0) \approx const$ ) в вертикальной плоскости бросания груза с выбором осей оценки измерений *x* и *y* (с изначальной точкой отсчета измерений и моделируемой высоты бросания груза *H* с беспилотного воздушного судна (БпЛА))

$$\begin{aligned} y &= H + \frac{g}{K_B^2 * V^2} * [\ln(1 - K_B * x) + K_B * x], \\ K_B &= \frac{C_x S_k \rho}{2m}. \end{aligned} \quad (4)$$

Результаты имитационного (компьютерного) моделирования представлены на рис. 1. Расчет в информацион-

ной системе производился для груза массой  $m = 100$  кг, груз «сбрасывали» с высоты полета  $H = 2$  км при горизонтальном полете БПЛА (как полет «на площадке») со скоростью полета беспилотного воздушного судна  $V_0 = 200$  м/с; начальные условия (н.у.) принимались следующими:  $g = 9,81$  м/с<sup>2</sup>,  $C_x = 0,25$ ,  $\rho = 1,22$  кг/м<sup>3</sup>,  $S_k = 0,07$  м<sup>2</sup>,  $x(0) = 0$ ,  $y(0) = H$ ,  $\theta_v(0) = 0$ .

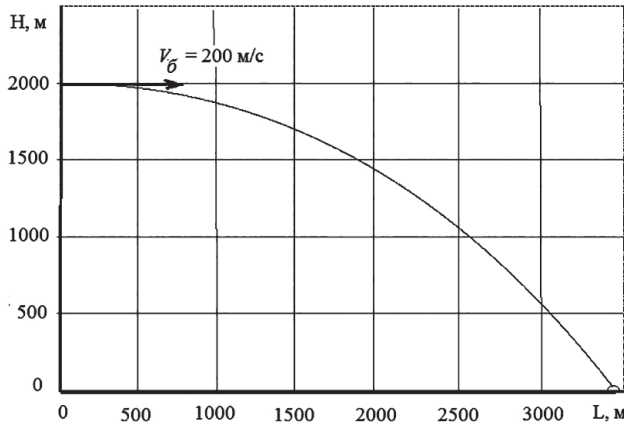


Рис. 1. Имитационное моделирование доставки груза с помощью БПЛА

Следующие «имитационный полет» и расчеты (рис. 2) в ИС доставки груза массой  $m = 500$  кг проводились по условию его сброса с высоты полета БПЛА в  $H = 2,8$  км (принималось, что выполнялся полет также «на площадке») со скоростью судна БПЛА  $V_0 = 285$  м/с). Из рисунков видно, что дальность полета груза к объекту-цели увеличивается с высотой полета БПЛА на момент сбрасывания и также зависит от его скорости, точность попадания груза в заданную область геопространства также зависит от углов ориентации положения груза и самого судна БПЛА (на момент сброса груза с борта БПЛА).

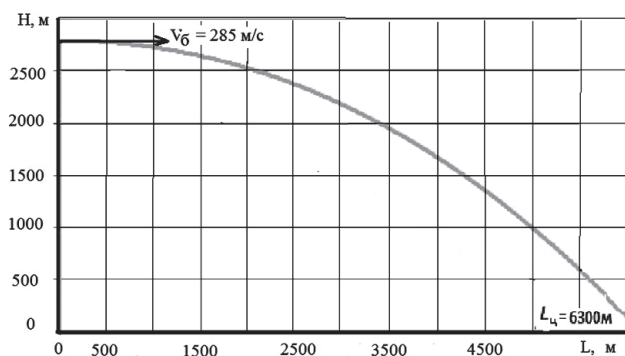


Рис. 2. Компьютерное моделирование доставки груза БПЛА в заданную область массой 500 кг (груз был сброшен с высоты полета беспилотного воздушного судна 2,8 км)

Приведенные выше выражения далее в ИС преобразованы в стохастическую модель путем добавления к уравнениям случайных составляющих из блока условий применения. В качестве события  $\theta$  принималось условие попадания груза в приведенный круг с радиусом

$R_n = 5$  м, расположенному на поверхности земли, вероятность попадания в заданный круг оценивалась по формуле  $P_{oi} = P_{oi}(\rho_r \leq R_n)$ , здесь символ  $\rho_r = E_r$  — промах груза относительно моделируемого центра объекта-цели (момент для времени «встречи» с объектом-целью  $t_r$ ).

### 3. Обсуждение

Оценка точности динамических систем базируется на определении законов распределения  $Y, Y_T$  [7-9]. Общепринято, что положительный корень из величины  $\eta$  (величина непосредственно связана с векторами  $Y, Y_T$ ) называют критерием средней квадратической ошибки, а сама величина  $\eta$  представляет собой начальный момент второго порядка и может быть выражена через математическое ожидание и дисперсию. Если рассматривать промах груза как текущую величину и случайную функцию во времени при подлете к цели, то здесь к оценке доставки груза применяют, как принято в автоматических системах, формулу для средней квадратической ошибки, которую к информационным блокам в ИС (нижний индекс при символе  $E$  оценки промаха груза пока опустим) обуславливают следующие зависимости:

$$\begin{aligned}
 E(t) &= m_E(t) + \overset{0}{E}(t), \quad m_E(t) = M[E(t)], \\
 \overset{0}{E}(t) &= E(t) - m_E(t), \\
 E^T(t) &= m_E^T(t) + \overset{0}{E}^T(t) \rightarrow \\
 \rightarrow M \left[ \left( m_E^T(t) + \overset{0}{E}^T(t) \right) \left( m_E(t) + \overset{0}{E}(t) \right) \right] &= \\
 m_E^T(t) m_E(t) + M \left[ \overset{0}{E}^T(t) m_E(t) \right] + M \left[ m_E^T(t) \overset{0}{E}(t) \right] + & \\
 + D_E(t) \begin{cases} M \left[ \overset{0}{E}^T(t) m_E(t) \right] = 0 \\ M \left[ m_E^T(t) \overset{0}{E}(t) \right] = 0 \end{cases} &\rightarrow \\
 \eta(t) = m_E^T(t) m_E(t) + D_E(t) \rightarrow \sigma_0 = \sqrt{\eta(t)} = & \\
 = \sqrt{m_E^2(t) + \sigma_E^2(t)}. & \quad (5)
 \end{aligned}$$

Таким образом, как видно, в блоках моделирования системы следует обеспечить

$$f(m_E, D_E) = f(M[E], D[E]) = \text{extremum}. \quad (6)$$

Приведенный фрагмент испытаний одного из модулей динамической модели БПЛА является неотъемлемой частью информационных блоков к оценке технического уровня СТС в ИС.

Как правило, модель системы наведения БПЛА с блоками ИИиУС состоит из двух контуров управления — первый контур — это внешний контур управления траекторией движения воздушного судна, а второй контур — внутренний контур, состоящий из каналов управления

перегрузкой и стабилизации углового положения. Разнообразие систем управления для БПЛА, прежде всего, определяется методом наведения. Состав из датчиков (и геодатчиков) для системы автоматического управления и для блоков ИИиУС как основных объектов в автоматических устройствах многоцелевого БПЛА также будет определяться методом наведения.

При учете доставки груза в заданную область с подвижными координатами цели (объект-цель является подвижным) в (2) и алгоритм (3) следует добавить модель ее движения и уточнить формулу для проведения оценки к ошибкам доставки груза (в заданную область). Изложенный выше агрегативно-декомпозиционный подход к моделированию СТС и ИИиУС направлен на разработки по созданию систем поддержки управленческих решений, а также на совершенствование методов оптимизации и имитационного моделирования этих объектов с целью повышения их эффективности еще на ранних этапах замысла проекта.

## Заключение

Количество беспилотных авиационных систем постоянно увеличивается, технологические аспекты технические решения для них – это улучшение системы наведения, повышение устойчивости к помехам и др. Одной из актуальных и важнейших задач для развития измерительных информационных технологий является расширение номенклатуры измеряемых величин, обеспечение адекватных процессам измерений в условиях воздействия внешних факторов этим СТС. Поиск решений для этих задач связано с усложнением структуры средств измерений; созданием комплексов взаимосвязанных средств измерений и технических средств, необходимых для их функционирования [10, 11]. Также, современные объекты ИИиУС и СТС характеризуются большим количеством параметров, требующие контроля и прогнозирования. Для получения информации о параметрах объекта, необходимо проводить комплексные измерения, а значения измеряемых величин получать расчетным путем на основе функциональных зависимостей между ней и величинами, подвергаемыми измерениям. Такие задачи успешно решаются с помощью информационных измерительных систем, получивших свое широкое распространение. Традиционные измерительные подсистемы обладают основными признаками средств измерений и являются их разновидностью, они рассматриваются как составная часть более сложных структур – ИИС, реализующие уже более расширенные функции: измерительные, информационные, логические, диагностики, контроля, вычислительные и др., они связаны непосредственно с задачами УС и организацией управления объектов СТС.

В современных системах ИИиУС и СТС измерительные каналы для них, как правило, выделяют в отдельную подсистему с принятыми границами как со стороны входа, так и со стороны выхода. Априорная область

поиска, как правило, задается из физических соображений (часто от разных компетенций ЛПР) и является экспертно-эвристической в ИС. Все это также требует разработок информационных моделей, математического обеспечения, создания блоков из прикладных программных средств с элементами ИИ, которые часто являются достаточно трудоемким, дорогостоящим процессом и элементами из объектов для всей СТС.

По результатам проведенных исследований можно сделать следующие выводы:

- показаны теоретические подходы и получены оценочные вероятностные характеристики входных случайных сигналов, характеристики выходных, позволяющие прогнозирование функциональной безопасности для беспилотных ЛА (и определить техническое состояние);
- представлен один из возможных подходов и схем к построению математической модели многоцелевым БПЛА с целью определения основных показателей и основных технических характеристик при применении его для решения разных народнохозяйственных задач;
- на базе созданной имитационной модели разработан и исследован алгоритм доставки груза летательным аппаратом в заданную область с подвижными и неподвижными координатами.

В заключении также отметим то, что теория надежности является неотъемлемой частью для интенсивно развивающейся теории безопасности объектам СТС и ИИиУС, которая призвана определять качественные и количественные показатели (и критерии) при исследовании на основе создания систем ИС, организации управления и поиска защиты от опасностей (учет возможных рисков в информационном моделировании СТС). Также отметим и то, что в настоящий период времени, многие известные ИС для СТС претерпевают свои изменения и развиваются в направлении разработок объектов гибридных интеллектуальных ИС (ГИИС)

## Список литературы

1. Пугачев В.С., Синицин И.Н. Структурная теория сложных стохастических систем. Информатика и ее применение, 2011. Т.5. Вып. 2. С. 4-16. EDN: NXKRQZ
2. Самков Т.Д. Теория принятия решений: лекции. Новосибирск: НГТУ, 2010. 107 с.
3. Строгалев В.П., Толкачева И.О. Системный подход к проектированию сложных технических систем // Оборонная техника. 2013. № 9-10. С. 28-32.
4. Угрюмов Е.П. Цифровая схемотехника. СПб.: БХВ – Санкт-Петербург, 2000. 528 с.
5. Борисенок С.В. Корреляционные функции в управляемых системах нелинейной динамики // Известия Российского государственного педагогического университета им. А.И. Герцена. 2006. № 6(15): Физика. С. 229-243.
6. Северцев Н.А., Юрков Н.К. Безопасность динамических систем на этапах жизненного цикла: монография. Пенза: Изд-во ПГУ, 2023. 568 с.

7. Крянев А.В., .В. Метрический анализ и обработка данных. М.: Физматлит, 2010. 280 с. EDN: MUWSOD
8. Петров В.П. Информационные системы. СПб.: Питер, 2002. 688 с.
9. Гладков Д.И. Оптимизация систем неградиентным случайным поиском. М.: Энерго-атомиздат, 1984. 256 с.
10. Трахтенгерц Э.А. Компьютерная поддержка принятия согласованных решений. // Приложение к журналу Информационные технологии. 2002. № 3. 24 с.
11. Дедков В.К. Оптимизация технического решения при проектировании системы. // Надежность и качество сложных систем. 2013. № 2. С. 10-14. EDN: SENCQL

## References

1. Pugachev V.S., Sinityn I.N. Theory of complex stochastic systems. *Inform. Primen.* 2011;5(2):4–16. (in Russ.)
2. Samkov T.D. Theory of decision-making: lectures. Novosibirsk: NSTU; 2010. (in Russ.)
3. Strogalev V.P., Tolkacheva I.O. [A systematic approach to the design of complex technical systems]. *Oboronnaya tekhnika* 2013;9-10:28-32. (in Russ.)
4. Ugryumov E.P. [Digital circuit engineering]. St. Petersburg: BHV – St. Petersburg; 2000. (in Russ.)
5. Borisenok S.V. [Correlation functions in controlled systems of nonlinear dynamics]. *Proceedings of the Herzen University. Physics* 2006;6(15):229-243. (in Russ.)
6. Severtsev N.A., Yurkov N.K. [Safety of dynamic systems at the stages of the life cycle: a monograph]. Penza: PSU Publishing; 2023. (in Russ.)
7. Kryanev A.V. [Metrical analysis and data processing]. Moscow: Fizmatlit; 2010. EDN: MUWSOD. (in Russ.)
8. Petrov V.P. [Information systems]. Saint-Petersburg: Piter; 2002. (in Russ.)
9. Gladkov D.I. [Optimization of systems by non-gradient random search]. Moscow: Energo-atomizdat; 1984. (in Russ.)

10. Trakhtenherts E.A. [Computer support for making coordinated decisions]. *Appendix to the Informatsionnye Tekhnologii journal* 2002;3. (in Russ.)

11. Dedkov V.K. [Optimisation of the technical solution in the design of the system]. *Reliability and quality of complex systems* 2013;2:10-14. EDN: SENCQL. (in Russ.)

## Сведения об авторах:

**А.В. Полтавский** – д.т.н., ведущий научный сотрудник Института проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН (ИПУ РАН). Контактный телефон: 8-905-72-777-39

**Г.Н. Ахобадзе** – д.т.н., ведущий научный сотрудник Института проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН (ИПУ РАН). Контактный телефон: 8-905-72-777-39

## About the authors:

**A.V. Poltavsky**, Doctor of Engineering, Leading Researcher, V.A. Trapeznikov Institute of Control Sciences of Russian Academy of Sciences (IPU RAS). Contact phone number: 8-905-72-777-39

**G.N. Akhobadze**, Doctor of Engineering, Leading Researcher, V.A. Trapeznikov Institute of Control Sciences of Russian Academy of Sciences (IPU RAS). Contact phone number: 8-905-72-777-39

## Вклад авторов

**Авторы внесли равный вклад в подготовку данной работы.** Концептуализация, разработка методологии, проведение исследования, анализ данных и написание рукописи осуществлялись всеми авторами совместно.

## Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.