

ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ И УПРАВЛЯЮЩИЕ СИСТЕМЫ

INFORMATION-MEASURING AND CONTROL SYSTEMS

УДК 519.71

doi: 10.21685/2307-5538-2023-3-1

МОДЕЛЬ УПРАВЛЕНИЯ СОСТОЯНИЕМ ОПТИКО-ЭЛЕКТРОННОГО ТРАКТА ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ И УПРАВЛЯЮЩИХ СИСТЕМ

А. В. Полтавский¹, Н. А. Кузин², Н. К. Юрков³

¹ Институт проблем управления имени В. А. Трапезникова РАН, Москва, Россия

¹ Институт математики, информатики и естественных наук

Московского городского педагогического университета, Москва, Россия

² Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет (МАДИ), Москва, Россия

³ Пензенский государственный университет, Пенза, Россия

¹ avp57avp@yandex.ru, ² sputnik1985nk3y@mail.ru, ³ yurkov_nk@mail.ru

Аннотация. *Актуальность и цели.* Цель работы – исследовать модели и один из подходов при контроле параметров на ранних стадиях испытаний с построением алгоритмов для системы управления фото и видеокамерами оптико-электронных приборов в целях осуществления задач дистанционного наблюдения за объектами. *Материалы и методы.* Методы, модели и алгоритмы для проведения информационного моделирования и исследования задач данных систем, а также контроля и испытаний разрабатываются, как правило, на основе фундаментальных общепринятых подходах, они являются и сегодня первичным звеном обоснования в задачах для предварительного их анализа, в том числе в задачах по управлению различными камерами обнаружения, слежения и опознания объекта. *Результаты.* Разработаны информационные модели к информационно-измерительным и управляющим системам и для электронного тракта – канала связи и управления камерами оптико-электронных приборов (ОЭП) в общей телекоммуникационной сети информационно-управляющей системы, созданы действующие алгоритмы, основанные на процедурах поиска оптимального управления фото и видеокамерой дистанционного наблюдения. Предлагаются интегрированный подход и алгоритмы осуществления задачи поиска управления и контроля с оценкой предварительных испытаний применительно к подсистемам фото/видеонаблюдения ОЭП в составе информационно-измерительных и управляющих систем. *Выводы.* Разработан подход поиска и построения оптимального алгоритма управления в звеньях ОЭП с моделью оценки возможных потенциальных рисков потери информации, а также создана новая информационная технология в задачах предварительных измерений и испытаний объектов систем для видеонаблюдения перспективных и уже имеющихся объектов ОЭП на основе классических методов оптимального управления.

Ключевые слова: оптико-электронный прибор, камера видеонаблюдения, электронный тракт, управление, мониторинг, слежение, объекты ИИУС

Для цитирования: Полтавский А. В., Кузин Н. А., Юрков Н. К. Модель управления состоянием оптико-электронного тракта информационно-измерительных и управляющих систем // Измерение. Мониторинг. Управление. Контроль. 2023. № 3. С. 5–15. doi: 10.21685/2307-5538-2023-3-1

A MODEL FOR CONTROLLING THE STATE OF THE OPTOELECTRONIC PATH OF INFORMATION-MEASURING AND CONTROL SYSTEMS

A.V. Poltavsky¹, N.A. Kuzin², N.K. Yurkov³

¹ V.A. Trapeznikov Institute of Management Problems of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

¹ Institute of Mathematics, Computer Science and Natural Sciences
of Moscow City Pedagogical University, Moscow, Russia

² Moscow Automobile and Road Construction State Technical University (MADI), Moscow, Russia

³ Penza State University, Penza, Russia

¹ avp57avp@yandex.ru, ² sputnik1985nk3y@mail.ru, ³ yurkov_nk@mail.ru

Abstract. *Background.* The purpose of the work is to investigate models and one of the approaches for monitoring parameters at the early stages of testing with the construction of algorithms for the control system of photo and video cameras of optoelectronic devices in order to carry out the tasks of remote monitoring of objects. *Materials and methods.* Methods, models and algorithms for information modeling and research of tasks of these systems, as well as control and testing are developed, as a rule, on the basis of fundamental generally accepted approaches, they are still the primary link of justification in tasks for their preliminary analysis, including in tasks for managing various cameras of detection, tracking and identification of an object. *Results.* Information models have been developed for the IIUS and for the electronic path – the communication channel and control of the cameras of the OEP devices in the general telecommunication network of the information management system (IUS), operating algorithms based on the procedures for finding optimal control of a remote surveillance camera and video camera have been created. An integrated approach and algorithms for the implementation of the task of searching for control and control with the assessment of preliminary tests in relation to photo/video surveillance subsystems of the ECO as part of the IIUS are proposed. *Conclusion.* An approach has been developed to search and build an optimal control algorithm in the links of the ECO with a model for assessing possible potential risks of information loss, and a new information technology has been created in the tasks of preliminary measurements and tests of objects of systems for video surveillance of promising and already existing ECO objects based on classical optimal control methods.

Keywords: optoelectronic device, video surveillance camera, electronic path, management, monitoring, tracking, IIUS object

For citation: Poltavsky A.V., Kuzin N.A., Yurkov N.K. A model for controlling the state of the optoelectronic path of information-measuring and control systems. *Izmerenie. Monitoring. Upravlenie. Kontrol' = Measuring. Monitoring. Management. Control.* 2023;(3):5–15. (In Russ.). doi: 10.21685/2307-5538-2023-3-1

Введение

Функционирование различных систем для информационно-управляющих систем, информационно-измерительных и управляющих систем, оптико-электронных приборов и других связано с контролем испытаний и получением первичных оценок их показателей. Сами испытания завершаются принятием определенного решения. Выработка и принятие этого решения обычно осуществляются в условиях ограниченного числа объектов, отпускаемых на испытания, и ограниченного числа наблюдений за каждым таким объектом. В свою очередь, для испытываемого объекта характерно два возможных состояния, определяемые тем – удовлетворяют ли его показатели качества требованиям заказчика или нет. По оценкам и результатам проводимых испытаний проводится проверка выдвинутых ранее гипотез. В настоящий период времени разработки моделей различных систем контроля испытаний объектов сложных технических объектов и приборов информационно-измерительных и управляющих систем, создание действующих методик, алгоритмов и программных продуктов к ним подразумевают использование интегративных путей их анализа – способов и подходов создания информационных моделей для выявления первичных характеристик [1, 2]. Среди множества объектов для приборов ИИУС рассматриваются разработки моделей к построению системы управления в электронных трактах управления видеокамерами (как правило, вертикальный и горизонтальный каналы наблюдения-слежения) и др. Обоснование алгоритма управления и программ в них, как правило, на имитационных моделях осуществляется на предварительном этапе их проектирования. Данные модели к оптико-электронным приборам (ОЭП) с их алгоритмами обнаружения, распознавания и идентификации объектов (и подвижных, и неподвижных), как было отмечено,

относятся к классу сложных информационных конструкций для технических и эргатических систем, которые в таких постановочных задачах часто рассматриваются как стохастические динамические системы. В свою очередь, эти блоки из программ и динамические модули (модели и алгоритмы) дополняют структуру современных информационно-аналитических систем (ИАС), а также являются неотъемлемой частью контроля испытаний, проводимых измерений при принятии управленческих решений [4, 5]. Вероятностные методы из теории автоматического управления по своей природе сложны и требуют применения современной вычислительной техники. Построение комплекса информационных моделей ИИУС, алгоритмов и программ для анализа динамических модулей в составе информационной системы ИАС предполагает также множество подходов к поиску оптимального управления объектом. Развитие теоретико-множественных и логико-вероятностных методов исследования ОЭП и процессов управления в них является необходимым инструментом при их анализе и синтезе. Практически все нам известные методы исследования автоматических систем управления базируются, как принято, на создании математических моделей динамических систем с оценками измерений и состояний. Понятие для состояния динамической системы (ДС) было ранее введено в 1936 г. Это понятие адекватно минимально необходимой совокупности из оцениваемых параметров, содержащей всю информацию о положении и движении системы в данный момент и дающей возможность судить о ее поведении в будущем, т.е. определить реакцию системы на произвольное возмущение для них. Покажем это применительно к построению динамических модулей и звеньев объектов ИИУС, которые являются необходимым инструментом в структурах сетевой модели ИАС.

Модель управления состоянием информационно-измерительной системы

На ранних стадиях проектирования и разработки объектов управления оптико-электронных приборов, находящихся, как правило, в составе блоков и моделей для информационно-измерительных и управляющих систем [4–6], ставится вопрос по постановке задачи поиска управления конечным состоянием объекта или прибора. Для современных объектов ИИУС характерно то, что многие модели создаются в составе из блоков-модулей сложных технических систем (СТС) и информационно-управляющих систем в сети. Например, для объектов беспилотного воздушного судна характерна имитационная модель для ИИУС в составе объектов ИУС, изображенная на рис. 1. Общепринято, что сама модель должна отражать основные функциональные свойства СТС и ИУС с оценкой основных показателей качества и процесса. Среди показателей имеются показатели функциональной безопасности, которые достаточно тесно связаны с вероятностью правильного функционирования приборного оборудования, вероятности правильной выдачи команд управления и др. Данные процессы сегодня рассматривают в комплексе решаемых задач ИУС. Например, оператор в сети ИУС должен быстро перевести камеру на объект-цель в условиях помех, подать управляющий сигнал объектам ИУС, например на разворот всех беспилотных средств с ОЭС в «одну точку», «построить» их в ряд и т.д.



Рис. 1. Типовая схема построения моделей в телекоммуникационной сети ИУС

Постановка задачи для поиска оптимального управления в моделях выбираемых объектов в ИИУС заключается в следующем. Классическая теория управления – это раздел теории управления (теория управления – составная часть кибернетики), изучающий научно-прикладные задачи анализа и синтеза централизованного автоматического управления одним объектом. Пусть первичная модель объекта для электронного тракта слежения и управляемый случайный процесс в звеньях цепи для ОЭП, находящихся в составе функциональных блоков для ИИУС, описывается уравнениями стохастической динамической системы в следующем виде [7]:

$$\dot{Y}_j = \sum_{i=1}^n a_{ji} Y_i + \sum_{i=1}^r b_{ji} u_i + N_j^y, \quad j = \overline{1, n}, \quad Y_j(t_0) = Y_j^0, \quad (1)$$

где Y , u , N_j – векторы состояния размерности $(n \times 1)$, управления $(r \times 1)$ и помехи $(s \times 1)$; a_{ji} и b_{ji} – известные коэффициенты в информационном моделировании ОЭП.

Как видим, принципиальной особенностью для процесса является то, что он носит случайный характер, об этом свидетельствует наличие помехи N_j^y в правой части, коэффициенты уравнения a_{ji} и b_{ji} являются постоянными. Так как справа имеется помеха, то следует получить оценки для фазового вектора координат, т.е. должен быть измеритель, который описывается также уравнениями, работающий также с помехами (внутренними и внешними). Модель измерителя представляет формула

$$Z_\ell = \sum_{i=1}^m c_\ell Y_i + N_\ell^z, \quad \ell = \overline{1, m}. \quad (2)$$

Функционал качества оптимизации ДС в информационной среде ИАС выглядит

$$J_{OK} = (Y_K, u) = F(Y_1^k, Y_u^k), \quad (3)$$

где $Y_j^{(k)} = Y_j(t_k)$; t_k – конечный момент времени моделируемого процесса в ОЭП. На управление в модели ДС приняты определенные ограничения $|u(t)| \leq d$, $(i = 1, 2)$.

Таким образом, требуется определить u_{opt} , обеспечивающее минимум функционалу качества (3). Решение задачи поиска оптимального управления в такой постановке сводится к реализации действующего алгоритма для модели (1) в виде:

1) функционал качества преобразуем к виду

$$J_{OK} = (Y_K, u) \rightarrow J_o(Y, u);$$

2) сформируем дополнительную фазовую координату в виде

$$\dot{Y}_{n+1} = \Phi_{n+1}(Y, u, t); \quad y_{n+1}(Y, u, t) = J_o(Y, u); \quad (4)$$

3) имеем также формулу

$$J_o(Y, u) = \sum_{j=1}^n \frac{\partial F}{\partial Y_j} \dot{Y}_j; \quad (5)$$

4) учитывая равенство в модели (1), запишем далее следующее выражение:

$$J_o(Y, u) = \sum_{j=1}^n \frac{\partial F}{\partial Y_j} \left(\sum_{i=1}^n a_{ji} Y_i + \sum_{i=1}^r b_{ji} u_i + N_j^y \right);$$

5) следовательно,

$$\Phi_{n+1}(Y, u, t) = \sum_{j=1}^n \frac{\partial F}{\partial Y_j} \left(\sum_{i=1}^n a_{ji} Y_i + \sum_{i=1}^r b_{ji} u_i + N_j^y \right); \quad (6)$$

6) из формулы (1) видно, что

$$\Phi_j(Y, u, t) = \sum_{i=1}^n a_{ji} Y_i + \sum_{i=1}^r b_{ji} u_i + N_j^y; \quad (7)$$

7) на данном шаге алгоритма запишем функцию Гамильтона в форме

$$H = \sum_{j=1}^{n+1} \psi_j \varphi_j, \quad H = \sum_{j=1}^n (\psi_j + \psi_{n+1} \frac{\partial F}{\partial Y_j}) (\sum_{i=1}^n a_{ji} Y_i + \sum_{i=1}^r b_{ji} u_i + N_j^y); \quad (8)$$

8) дифференцируя функцию Гамильтона по фазовым координатам, получим систему из сопряженных уравнений для координаты Ψ

$$\dot{\psi}_v = -\frac{\partial H}{\partial Y_v} = -\sum_{j=1}^n \left[(\psi_j + \psi_{n+1} \frac{\partial F}{\partial Y_j}) a_{vj} + \psi_{n+1} \frac{\partial^2 F}{\partial Y_j \partial Y_v} (\sum_{i=1}^n a_{ji} Y_i + \sum_{i=1}^r b_{ji} u_i + N_j^y) \right];$$

$$\dot{\psi}_{n+1} = 0; \quad (9)$$

9) система, представленная (9), решается при $\psi_v(t_k) = 0, v = \overline{1, n}, \psi_{n+1}(t_k) = -1$.

Так как речь (в постановочной части задачи) идет о стохастической системе, то следует пользоваться стохастическим принципом максимума, т.е. принять в моделировании условное математическое ожидание от функции Гамильтона при фиксированном значении для координаты z , оно будет следующим:

$$M[H(Y, u, \psi, t | z)] = M \left\{ \left[\sum_{j=1}^n (\psi_j + \psi_{n+1} \frac{\partial F}{\partial Y_j}) (\sum_{i=1}^n a_{ji} Y_i + \sum_{i=1}^r b_{ji} u_i + N_j^y) \right] | z \right\}; \quad (10)$$

10) задача состоит в том, чтобы обеспечить максимум для M^* по u

$$\Delta M = M \left\{ \left[\sum_{j=1}^n (\psi_j + \psi_{n+1} \frac{\partial F}{\partial Y_j}) \sum_{i=1}^r b_{ji} u_i \right] | z \right\}$$

или

$$\Delta M = M \left\{ \left[\sum_{j=1}^r u_i \sum_{j=1}^n (\psi_j + \psi_{n+1} \frac{\partial F}{\partial Y_j}) b_{ji} \right] | z \right\}; \quad (11)$$

11) таким образом, имеем выражение

$$\max \Delta M = \sum_{i=1}^r \max \Delta M_i; \quad (12)$$

12) учитывая ограничения и равенства (11), (12), получим управление (рис. 2):

$$u_i^* = d \operatorname{sgn} Mzi,$$

$$Mzi = M \left\{ \left[\sum_{j=1}^n (\psi_j + \psi_{n+1} \frac{\partial F}{\partial Y_j}) b_{ji} \right] | z \right\}. \quad (13)$$

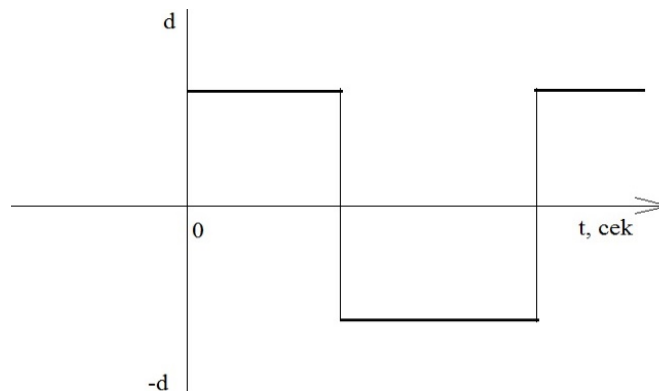


Рис. 2. Схематизация поиска оптимального управления в электронном тракте ОЭП

Приборы ОЭП относятся к классу следящих систем. Как всякая следящая система, состоящая из совокупности различных измерительных устройств, определяющих ошибки измерений (параметров и рассогласований), исполнительных устройств с системами связи и управления, предназначенных для обеспечения желаемого (или требуемого) качества процесса слежения по результатам измерения за измеряемой величиной, является объектом для исследования в составе более сложной системы ИИУС. Изложенный выше подход к оптимизации системы может также применяться к задачам управления электродвигательной установкой для транспортных средств. Разработанная информационная модель и блоки для ИИУС в составе сетевой ИУС построены на принципах открытой архитектуры, что позволяет наращивать общую структуру телекоммуникационной сети связи и управления для ИАС. Для многих исследовательских задач разработчиков ИИУС и используемых схем для ИАС, как правило, создаются отдельные к ним динамические модели и модули-блоки, в которых некоторые частные задачи решаются отдельно как аналитически, так и в составе более сложных систем, например БПЛА (рис. 3). Назначение многоцелевых БПЛА с объектами для ИИУС не ограничивается применением в военной сфере. Достаточно стремительно расширяется их сфера гражданского применения (связь, транспорт, строительство, сельское хозяйство и др.), что придает дополнительные импульсы развитию беспилотной авиации. Такой стремительный рост количества моделей в БПЛА с ИИУС не случаен. Ему способствовали предпосылки, которые связаны, прежде всего, с технологическими успехами в области робототехники:

- появление очень легких достаточно прочных материалов, композитных и др.;
- развитие микроэлектронной компонентной базы: микроконтроллеров и микросистемных навигационных датчиков в ИИУС, приемопередатчиков радиосигналов, различных микросхем СВЧ-устройств, моделей миниатюрных видеокамер и т.д.;
- развитие высокоэффективных источников питания (литиевых аккумуляторов, многокомпонентных топливных элементов, солнечных панелей и др.);
- разработки моделей бесколлекторных электродвигателей, реактивных и мини-поршневых двигателей;
- развитие глобальных спутниковых систем для глобального позиционирования;
- общее развитие вычислительной техники, специальных операционных систем, цифровых интерфейсов, математического и алгоритмического обеспечения ИИУС.

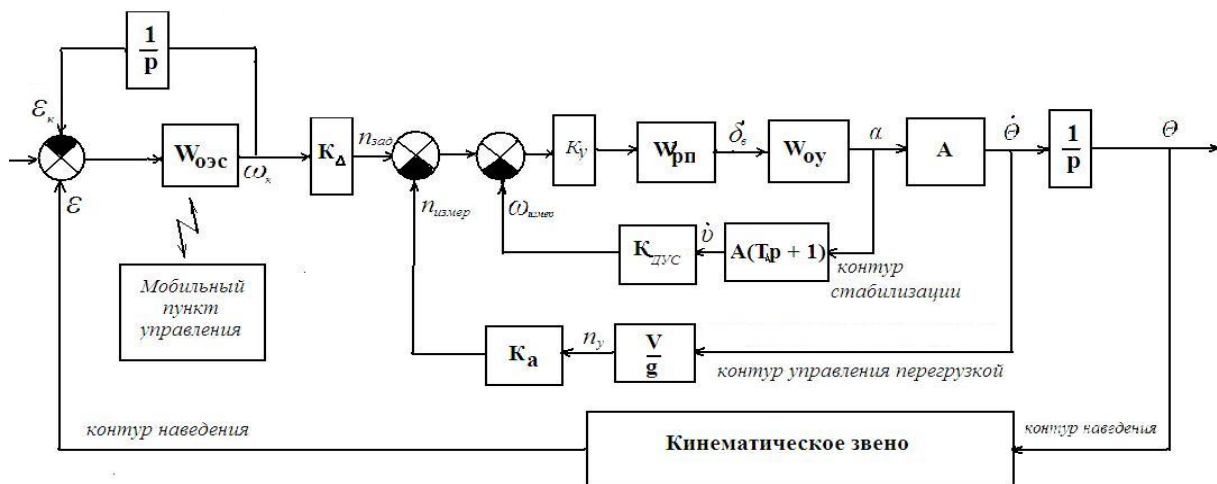


Рис. 3. Схематизация динамических звеньев ИИУС в системе наведения БПЛА

На рисунке обозначены: $W_{оэс}$, $W_{рп}$, $W_{оу}$ – передаточные функции (ПФ) ОЭС, рулевых приводов, объекта управления; $\dot{\epsilon} = \omega_k, \epsilon_k$, ϵ – угловая скорость и углы линии визирования; $n_{измер}$, $\omega_{измер}$ – измерения перегрузки и угловой скорости объекта управления; K_{Δ} , K_{γ} , $K_{дус}$, K_a – коэффициенты усиления ПФ по рассогласованию, усилению, угловой скорости и линейным ускорениям; $A = (C_y^{\alpha} S_{кр} q + P) / mV$, $q = \rho V^2 / 2$, $T_A = 1 / A$; V , ρ , $S_{кр}$ – скорость, плотность атмосферы, площадь крыла судна; δ_v , α , θ – углы отклонения рулей, атаки и наклона траектории движения воздушного судна (вертикальная плоскость).

Приведем один из важных примеров к решению задачи в автоматизированной системе ИАС, связанной с разработкой действующего алгоритма с переменными режимами управления (как с переменными структурами) системой, которые часто возникают у разработчиков на начальной стадии исследований и проектирования подобных информационно-измерительных и управляющих систем в сети ИУС [8].

Дополненная структура модели ДС. Как правило, часто осуществление управления в звеньях к ОЭП, входящих в блоки для ИИУС (применяют к различным моделям для беспилотных систем), производится дистанционно. В компьютеризированной среде из блоков ИАС разработчикам может понадобиться еще одна модель – модель динамического модуля для дистанционного канала связи и управления объектом (фото и видеокamerой ОЭП, приводом антенного блока в ИИУС и др.) в ИУС. В основу разработки информационной модели для блоков канала управления и линии связи пункта дистанционного управления в одном из таких электронных трактов ОЭП положим основные положения из общей теории для систем со случайной структурой [1], признаком для классификации данных стохастических систем ДС является учет характера процесса и наличие фазового вектора состояния $Y(t)$, где время t может быть или непрерывным или дискретным: $t_{(k)} = kT_n$. По этому признаку различают многие стохастические системы с независимой, а также и с зависимой от вектора состояния $Y(t)$ структурой объектов ИИУС. В данном случае информационный процесс влияет на состояние вектора $Y(t)$ ДС, так как при смене номера $s(t)$ происходит прерывание функционирования отдельных подсистем в ДС и подключение других. Известно, что множество известных моделей и систем со случайной структурой разделяют на три основные [1]: с независимой случайной структурой, с зависимой случайной структурой при распределенных переходах в пространстве состояний для вектора $Y(t)$, с зависимой случайной структурой при сосредоточенных переходах на моделируемых гиперплоскостях переключения в пространстве состояний $Y(t)$ к рассматриваемым ДС. В подобных задачах принято рассматривать системы при условиях учета в модели марковских скачкообразных входных воздействий. Уравнения информационной модели для приборов ИИУС с оцениванием стохастической системы (и подсистемы) составляют [1, 7]

$$\dot{Y} = A^{(s)}(t)f^{(s)}(Y) + B^{(s)}(t)u(t) + \{F^{(s)}(t) + g^{(s)}\Psi^{(s)T}(Y)\}\xi(t), (s = 1, \bar{n}), \quad (14)$$

где $s(t)$ – индекс структуры системы – марковская цепь; $f^{(s)}(Y)$ и $\psi^{(s)}(Y)$ – некоторые нелинейные функции Y ; $\xi(t)$ – векторный гауссовский белый шум; $u(t)$ – векторный детерминированный входной сигнал (управляющее воздействие).

Из уравнения (14) несложно перейти к записи его в дискретном представлении динамической системы объектов ИИУС с марковской структурой при $g(\cdot) \equiv 0$ (при отсутствии мультипликативных (параметрических) возмущений) с матрицами $A(\cdot)$ и $B(\cdot)$, которые не зависят от изменения структуры, т.е. индекса $s(k)$:

$$Y(k+1) = A(k+1, k)Y(k) + B(k+1, k)u(k) + F(s(k+1), s(k), k+1, k)\xi(k). \quad (15)$$

В моделировании сетевой ИУС принимается то, что с мобильного наземного пункта управления по каналу радиолинии поступает сигнал управления разворотом камеры в ОЭП. В свою очередь, канал управления и связи в сети ИУС подвергается помехам, которые, как правило, приводят к случайным перерывам передачи команд и информации. Передаваемый управляющий сигнал (как и сами команды для ОЭП) представляет собой некоторую последовательность радиоимпульсов, поступающих через одинаковые промежутки (моделируемые интервалы в ИАС) во времени: $u(k)$ с $k = 0, 1, 2, 3, 4$. Амплитуда для импульсов практически постоянна, в течение всего времени переходного процесса в модели для фильтра $u(k) = u$, длительность для импульса достаточно мала по сравнению с этим временем. Модель для фильтра на входе ИИУС является дискретным аналогом апериодического звена, а вероятности нарушения и восстановления связи равны соответственно q и l ($q + l < 1$). Требуется найти устойчивость и вероятности для исправного и неисправного состояний канала управления и связи пункта с объектом ОЭП, а также определить вероятностные характеристики моментов – математические ожидания и дисперсии передаваемого сигнала на выходе из фильтра при допущении об установившемся режиме работы измерительного прибора и информационном процессе. Представим дискретную модель канала управления и связи в блоках для объектов сетевой ИУС уравнениями следующего вида:

$$Y(k+1) = AY(k) + u^{(r)}(k), 0 < A < 1, \quad (16)$$

где $u^{(r)} \triangleq u(s(k), k)$; $r \triangleq s(k)$ – марковская цепь с двумя возможными состояниями системы ДС ($r = 1, 2$), заданная соответствующими вероятностями переходов в виде

$$\begin{aligned} q^{(sr)} &\triangleq q(s(k+1) | s(k)), (s, r = 1, 2), \\ q^{(11)} &= 1 - q^{(21)}, q^{(22)} = 1 - q^{(12)}, q^{(21)} = q, q^{(12)} = \ell. \end{aligned} \quad (17)$$

Сигнал $u^{(r)}(k)$ имеет значения – $u_1 = (1 - A)u$, $u_2 = 0$; $A = \alpha$, уравнения поиска искомым характеристик в моделировании объекта принимают следующий вид:

$$\begin{aligned} P^{(1)}(k+1) &= (1 - q - \ell)P^{(1)}(k) + \ell, P^{(2)}(k+1) = 1 - P^{(2)}(k+1), \\ \mu^{(1)}(k+1) &= \alpha \left[(1 - q)\mu^{(1)}(k) + \ell\mu^{(2)}(k) \right] + (1 - q)(1 - \alpha)uP^{(1)}(k), \\ \mu^{(2)}(k+1) &= \alpha \left[q\mu^{(1)}(k) + (1 - \ell)\mu^{(2)}(k) \right] + q(1 - \alpha)uP^{(1)}(k), \\ \Phi(k+1) &= \alpha^2\Phi(k) + 2\alpha(1 - \alpha)\mu^{(1)}(k) + (1 - \alpha)^2u^2P^{(1)}(k), \end{aligned} \quad (18)$$

где $\Phi(k+1)$ – переходная матрица состояния в информационной модели ИИУС.

В установившемся состоянии имеем выражения к анализу процесса в виде

$$\begin{aligned} P^{(s)}(k+1) &= P^{(s)}(k) = P^{(s)}, \\ \mu^{(s)}(k+1) &= \mu^{(s)}(k) = \mu^{(s)}, \\ \Phi(k+1) &= \Phi(k) = \Phi. \end{aligned} \quad (19)$$

Искомые характеристики из выражения оцениваемого информационного процесса:

$$\begin{aligned} P^{(1)} &= \frac{\ell}{L}, P^{(2)} = \frac{q}{L}, \\ m &= \mu^{(1)} + \mu^{(2)} = \frac{\ell u}{L}, \\ \Theta &= \Phi - m^2 = \frac{\ell q u}{L^2} \left[1 - \frac{2\alpha(1 - \alpha)L}{(1 + \alpha)(1 - \alpha(1 - L))} \right], L = q + \ell. \end{aligned} \quad (20)$$

Представленная выше информационная дискретная стохастическая модель для каналов навигации, управления и линии связи пункта наблюдения с ОЭП в составе ИИУС имеет упрощенный ее вариант, но в первичных задачах оценивания и поисковых научных исследований, а также и информационного моделирования с получением основных оценок измерений к контролю испытаний она может быть вполне применима. Представленные выше уравнения к решению не сложные. Физическая модель для широкого класса систем ИИУС со случайной структурой принимается следующей (в задачах контроля испытаний и первичных измерений):

- система состоит из ряда звеньев различной или однородной физической природы;
- система является динамической, а ее фазовые координаты состояния изменяются с течением времени;
- система рассматривается как стохастическая, так входные сигналы и возмущения ИИУС являются непрерывными или непрерывнозначными случайными функциями времени, а время изменяется непрерывно или дискретно;
- структура для системы в целом или отдельных ее звеньев и значения параметров скачкообразно изменяются по случайному закону в случайные моменты времени, зависящие или не зависящие от фазовых координат вектора состояния, т.е. система «скачком» переходит от одной структуры в другую;
- состояния или сами структуры, в которых может находиться система, являются детерминированными;
- число рассматриваемых структур, в которых может находиться система, является счетным и конечным.

Проектируемые блоки динамических модулей для ИАС позволяют разработчикам ИИУС проводить ускоренные испытания с дальнейшим принятием решений ЛПР. Наряду с ними, как

правило, в организации принятия управленческих решений в компьютеризированной среде ИАС по предварительным оценкам контролируемых параметров ИИУС применяют методы, модели и алгоритмы из экспертных оценок, например часто в информационных системах ИАС используют дисперсионный или энтропийный коэффициент конкордации $W_{эн}$, который находят по следующей рабочей формуле [9]:

$$W_{эн} = 1 - H/H_{\max}, \quad (21)$$

где H , H_{\max} – информационная энтропия оценивания принимаемых решений в автоматизированной системе ИАС и ее максимум к выбираемой для ЛПР шкале измерений, основанной на известных методах и моделях из экспертных оценок.

Реализуют в информационно-аналитической среде ИАС экспертные методы – Дельфы, Саати, взвешенных сумм, поэтапного ранжирования, уступок и др. [10]. Различные оцениваемые процессы, решения и действия, направленные, прежде всего, на достижение функциональной безопасности для ИУС, они принимаются и проводятся не только на ранних стадиях их разработки, но и на этапах жизненного цикла при эксплуатации любого приборного оборудования к ним.

Заключение

Эволюция измерительной техники, объектов в ИИУС и современный научно-технический прогресс, стремительная цифровизация моделей и блоков аппаратно-программных средств информационно-вычислительных систем открывают широкие возможности по автоматизации информационных процессов с анализом сложных динамических систем в условиях их более полного контроля в ИАС, они позволяют адаптировать алгоритмы к изменению параметрической и структурной неопределенности. Сегодня принято различать стационарную и нестационарную, а также параметрическую и структурную неопределенности объектов управления в моделях сетевой ИИУС.

Стационарная неопределенность не изменяется в процессе функционирования – динамическая система имеет неопределенные постоянные параметры и структуру. Особенностью для таких ДС являются параметрическая и структурная неопределенности в начальный момент времени работы, а также и стохастичность информационного процесса при воздействии случайных входных сигналов и различного рода помех в блоках ИУС. В свою очередь, нестационарная параметрическая и структурная неопределенности объектов, как правило, состоят в изменении их в процессе функционирования системы. Динамические системы с нестационарной параметрической и структурной неопределенностями получили общепринятое свое название – систем со случайно изменяющейся структурой [1]. Информационный процесс по распознаванию входного полезного сигнала ОЭП на фоне скачкообразно изменяющихся помех можно интерпретировать как изменение структуры основного измерителя. Задачи информационного моделирования ОЭП с нестационарной параметрической и структурной неопределенностями стали более интенсивно изучаться и применяться в области решения задач для статистической радиотехники, моделей к объектам робототехники, информационно-управляющих системах и т.д. Актуальными являются сегодня и сетевые объекты в блоках ОЭП для беспилотных систем. Разработки методов анализа и синтеза, а также моделей и алгоритмов этим сложным техническим системам, к которым относятся и ОЭП различного функционального предназначения, составляют интегративный подход и применяются на всех этапах жизненного цикла для изделия. Сочетание известных ранних подходов и классических методов с созданием информационной модели из динамических модулей объектов для ИАС, адекватных процессам, по существу, составляют отдельный и трудоемкий этап предварительных испытаний сложных информационных конструкций.

Выявление первичных оценок для осуществления первичного контроля испытаний для основных параметров и измерения основных показателей качества с дальнейшей их характеристикой в блоках ИИУС, а также построение динамических модулей в компьютерной среде ИАС с формированием оценок мнений экспертов основным показателям при разработке информационно-измерительной системы ОЭП, которые формируют их первичный технический облик – является одним из ключевых этапов в современных информационных системах ИАС [9, 10].

Сложная информационная конструкция ИАС создается для всех этапов жизненного цикла изделий ИИУС и объектов сетевой ИУС.

Список литературы

1. Казаков И. Е., Артемьев В. М., Бухалев В. А. Анализ систем случайной структуры. М. : Физматлит, 1993. 272 с.
2. Казаков И. Е., Мальчиков С. В. Анализ стохастических систем в пространстве состояний. М. : Наука, 1983. 384 с.
3. Гладков Д. И. Оптимизация систем неградиентным случайным поиском. М. : Энергоиздат, 1984. 256 с.
4. Трапезников В. А. Управление и научно-технический прогресс. М. : Наука, 1983. 223 с.
5. Белов В. С. Информационно-аналитические системы. Основы проектирования и применения. М. : Издат. центр ЕАОИ, 2008. 111 с.
6. Полтавский А. В., Юрков Н. К., Нгуен Зуи Фыонг. Телекоммуникация сетевых систем на основе высотных платформ // Надежность и качество сложных систем. 2018. № 1. С. 46–55.
7. Полтавский А. В. Модель измерительной системы в управлении БпЛА // Информационно-измерительные и управляющие системы. 2009. № 10. С. 73–77.
8. Кульба В. В., Микрин Е. Н., Павлов Б. В., Платонов В. Н. Теоретические основы проектирования информационно-управляющих систем космических аппаратов // Институт проблем управления им. В. А. Трапезникова РАН. М. : Наука, 2006. 579 с.
9. Семенов С. С., Харчев В. Н., Иоффин А. И. Оценка технического уровня образцов вооружения и военной техники. М. : Радио и связь, 2004. 552 с.
10. Микони С. В. Теория принятия управленческих решений. СПб. : Лань, 2015. 448 с.
11. Полтавский А. В., Жумабаева А. С., Юрков Н. К. Алгоритм определения индикатрисы излучения подвижного объекта на примерах робототехнического комплекса беспилотных летательных аппаратов // Надежность и качество сложных систем. 2015. № 3. С. 23–30.
12. Полтавский А. В., Юрков Н. К. Модель отказов автоматизированных средств контроля // Надежность и качество сложных систем. 2015. № 1. С. 63–67.

References

1. Kazakov I.E., Artem'ev V.M., Bukhalev V.A. *Analiz sistem sluchaynoy struktury = Analysis of systems of random structure*. Moscow: Fizmatlit, 1993:272. (In Russ.)
2. Kazakov I.E., Mal'chikov S.V. *Analiz stokhasticheskikh sistem v prostranstve sostoyaniy = Analysis of stochastic systems in the state space*. Moscow: Nauka, 1983:384. (In Russ.)
3. Gladkov D.I. *Optimizatsiya sistem negradientnym sluchaynym poiskom = Optimization of systems by non-gradient random search*. Moscow: Energoizdat, 1984:256. (In Russ.)
4. Trapeznikov V.A. *Upravlenie i nauchno-tekhnicheskij progress = Management and scientific and technical progress*. Moscow: Nauka, 1983:223. (In Russ.)
5. Belov V.S. *Informatsionno-analiticheskie sistemy. Osnovy proektirovaniya i primeneniya = Information and analytical systems. Fundamentals of design and application*. Moscow: Izdat. tsentr EAOI, 2008:111. (In Russ.)
6. Poltavskiy A.V., Yurkov N.K., Nguen Zui Fyong. Telecommunications of network systems based on high-rise platforms. *Nadezhnost' i kachestvo slozhnykh system = Reliability and quality of complex systems*. 2018;(1):46–55. (In Russ.)
7. Poltavskiy A.V. Model of a measuring system in UAV control. *Informatsionno-izmeritel'nye i upravlyayushchie sistemy = Information-measuring and control systems*. 2009;(10):73–77. (In Russ.)
8. Kul'ba V.V., Mikrin E.N., Pavlov B.V., Platonov V.N. *Teoreticheskie osnovy proektirovaniya informatsionno-upravlyayushchikh sistem kosmicheskikh apparatov = Theoretical foundations of designing information and control systems of spacecraft*. Moscow: Nauka, 2006:579. (In Russ.)
9. Semenov S.S., Kharchev V.N., Ioffin A.I. *Otsenka tekhnicheskogo urovnya obraztsov vooruzheniya i voennoy tekhniki = Assessment of the technical level of samples of weapons and military equipment*. Moscow: Radio i svyaz', 2004:552. (In Russ.)
10. Mikoni S.V. *Teoriya prinyatiya upravlencheskikh resheniy = Theory of managerial decision-making*. Saint Petersburg: Lan', 2015:448. (In Russ.)
11. Poltavskiy A.V., Zhumabaeva A.S., Yurkov N.K. Algorithm for determining the radiation indicatrix of a mobile object on the examples of a robotic complex of unmanned aerial vehicles. *Nadezhnost' i kachestvo slozhnykh system = Reliability and quality of complex systems*. 2015;(3):23–30. (In Russ.)
12. Poltavskiy A.V., Yurkov N.K. Model of failures of automated control tools. *Nadezhnost' i kachestvo slozhnykh system = Reliability and quality of complex systems*. 2015;(1):63–67. (In Russ.)

Информация об авторах / Information about the authors**Александр Васильевич Полтавский**

доктор технических наук, профессор,
профессор кафедры информатизации образования,
Институт математики, информатики
и естественных наук
Московского городского
педагогического университета
(Россия, г. Москва,
2-й Сельскохозяйственный проезд, 4);
ведущий научный сотрудник,
Институт проблем управления
имени В. А. Трапезникова РАН
(Россия, г. Москва, ул. Профсоюзная, 65)
E-mail: avp57avp@yandex.ru

Aleksandr V. Poltavsky

Doctor of technical sciences, professor, professor
of the sub-department of informatization of
education, Institute of Mathematics, Informatics
and Natural Sciences
of the Moscow City Pedagogical University
(4 2nd Selskokhozyaystvennyy passage,
Moscow, Russia);
leading researcher,
V.A. Trapeznikov Institute of Management Problems
of the Russian Academy of Sciences
(65 Profsoyuznaya street, Moscow, Russia)

Николай Андреевич Кузин

студент,
Московский автомобильно-дорожный
государственный технический
университет (МАДИ)
(Россия, г. Москва, Ленинградский пр-т, 64)
E-mail: sputnik1985nk3y@mail.ru

Nikolai A. Kuzin

Student,
Moscow Automobile and Road Construction State
Technical University (MADI)
(64 Leningradsky avenue, Moscow, Russia)

Николай Кондратьевич Юрков

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

Nikolay K. Yurkov

Doctor of technical sciences, professor,
head of the sub-department of radio equipment
design and production,
Penza State University
(40 Krasnaya street, Penza, Russia)

**Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов /
The authors declare no conflicts of interests.**

Поступила в редакцию/Received 15.05.2023

Поступила после рецензирования/Revised 16.06.2023

Принята к публикации/Accepted 14.07.2023