

Методика формирования требований к характеристикам информационного обеспечения систем управления беспилотных авиационных транспортных систем

М.В. Мамченко ¹ 

¹ Лаборатория киберфизических систем, Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова
Российской академии наук
ул. Профсоюзная, д. 65, г. Москва 117997, Российская Федерация

✉ e-mail: markmamcha@gmail.com

Резюме

Цель исследования заключается в разработке и описании методики формирования требований к характеристикам информационного обеспечения функционирования системы управления (СУ) беспилотной авиационной транспортной системы (БАТС) для обеспечения безопасности полетов.

Методы. Предлагаемая методика формирования требований к характеристикам информационного обеспечения функционирования СУ БАТС основана на методах системного анализа, когнитивном подходе и методах многокритериального анализа решений.

Результаты. Рассмотрены и описаны основные задачи, решаемые на этапе определения концепции, в том числе оценка требований к показателям функционирования, описание функциональной архитектуры и физической реализации, а также их валидация. В рамках архитектурного проектирования и анализа определен набор подсистем, присутствие которых в СУ БАТС требуется для реализации функций и соответствия функциональным требованиям, а также соответствующий набор модулей каждой подсистемы. Проанализированы преимущества и недостатки различных вариантов функциональной архитектуры подсистем СУ БАТС. На основе результатов формирования концепции и архитектурного проектирования и анализа обобщены и представлены основные и вспомогательные характеристики информационного обеспечения СУ БАТС. Показано, что для решения задачи оценки влияния характеристик информационного обеспечения на показатели функционирования технологий интеллектуальной автоматизации управления БАТС следует применять когнитивный подход и методы многокритериального анализа решений. Применение предложенной методики формирования характеристик информационного обеспечения СУ БАТС показано на примере реальной транспортной задачи.

Заключение. Предложенная методика позволяет формировать требования к информационному обеспечению СУ БАТС и его характеристикам, исходя из целевого назначения системы и ее функциональной архитектуры (в том числе к составу и структуре информационных потоков, формату представления и передачи данных, частоты предоставления информации и т.д.) для обеспечения требуемой адекватности, полноты и своевременности предоставления информации, требуемой для принятия решений.

Ключевые слова: информационное обеспечение; беспилотная транспортная система; система управления; беспилотный летательный аппарат; интеллектуальное управление; автоматизированная система.

Конфликт интересов: Автор декларирует отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией настоящей статьи.

Финансирование: Исследование выполнено в рамках выполнения научно-исследовательской работы на тему «Разработка методического и нормативного обеспечения создания и внедрения перспективных технологий интеллектуальной автоматизации управления функционированием беспилотных авиатранспортных систем в обеспечение приемлемого уровня безопасности полетов», рег. № НИОКТР 123103100009-8.

Благодарности: Автор выражает благодарность и признательность главному научному сотруднику Института проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН д.т.н. Захаровой Алёне Александровне, профессору кафедры «Информатика и программное обеспечение» Брянского государственного технического университета к.т.н. Подвесовскому Александру Георгиевичу и старшему научному сотруднику Института проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН к.т.н. Исаковой Анастасии Олеговне за значительный вклад в подготовку и написание настоящей статьи.

Для цитирования: Мамченко М.В. Методика формирования требований к характеристикам информационного обеспечения систем управления беспилотных авиационных транспортных систем // Известия Юго-Западного государственного университета. 2024; 28(1): 123-147. <https://doi.org/10.21869/2223-1560-2024-28-1-123-147>.

Поступила в редакцию 25.01.2024

Подписана в печать 10.02.2024

Опубликована 27.03.2024

Method of Forming the Requirements to Information Support Characteristics of Control Systems of Unmanned Aircraft Transport Systems

Mark V. Mamchenko ¹ ✉

¹ Cyberphysical Systems Lab., V.A. Trapeznikov Institute of Control Sciences of Russian Academy of Sciences
65, Profsoyuznaya str., Moscow 117997, Russian Federation

✉ e-mail: markmamcha@gmail.com

Abstract

Purpose or research. The aim of the study is to develop and describe a method of forming the requirements to information support characteristics of control systems (CS) of unmanned aircraft transport systems (UATS) to ensure the safety of flights.

Methods. The proposed method of forming the requirements to information support characteristics of UATS CS is based on the methods of system analysis, cognitive approach, and methods of multi-criteria decision analysis.

Results. The paper considers and describes main tasks solved at the stage of concept definition, including analysis of the requirements to performance indicators, functional description, physical implementation description, and design solutions validation. Within the architectural design and analysis, a set of subsystems (the presence of which in UATS CS is required for the implementation of functions and compliance with functional requirements), and the corresponding set of modules of each subsystem have been defined. The advantages and disadvantages of various functional architectures of UATS CS subsystems have been analyzed. Based on the results of the concept formation, and architectural design and analysis, the basic and auxiliary characteristics of UATS CS information support have been generalized and presented. It is shown that in order to solve the problem of assessment of the influence of information support characteristics on the indicators of the functioning of UATS CS intellectual automation technologies it is necessary to use cognitive approach and methods of multi-criteria decision analysis. The application of the proposed method of forming of UATS CS information support characteristics is shown on the example of a real transportation problem.

Conclusion. The proposed method allows forming the requirements to UATS CS information support and its characteristics, based on the purpose of the system and its functional architecture (including the composition and

structure of information flows, output and transmission format, frequency of information delivery, etc.) to ensure the required adequacy, completeness and timeliness of information required for decision-making.

Keywords: information support; unmanned aerial transport system; control system; unmanned aerial vehicle; intelligent control; automated system.

Conflict of interest. The author declare the absence of obvious and potential conflicts of interest related to the publication of this article.

Funding: The reported study has been carried out as part of the research work «Development of methodical and regulatory support of creation and introduction of advanced technologies of intellectual automation of operation control of unmanned aerial transport systems in the provision of acceptable level of flight safety», R&D reg. No. 123103100009-8.

Acknowledgement: The author expresses gratitude and appreciation to Chief Researcher of V.A. Trapeznikov Institute of Control Sciences of Russian Academy of Sciences, Doctor of Technical Sciences Alena A. Zakharova; Professor, Head of Informatics and Software Engineering Department of Bryansk State Technical University, Candidate of Engineering Sciences Aleksandr G. Podvesovskii; and Senior Researcher of V.A. Trapeznikov Institute of Control Sciences of Russian Academy of Sciences, Candidate of Engineering Sciences Anastasia O. Iskhakova for significant contribution to the preparation and writing of this paper.

For citation: Mamchenko M. V. Method of Forming the Requirements to Information Support Characteristics of Control Systems of Unmanned Aircraft Transport Systems. *Izvestiya Yugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta = Proceedings of the Southwest State University*. 2024; 28(1): 123-147 (In Russ.). <https://doi.org/10.21869/2223-1560-2024-28-1-123-147>.

Received 25.01.2024

Accepted 10.02.2024

Published 27.03.2024

Введение

Понятие интеллектуальной автоматизации управления опирается на хорошо известные из теории управления концепции автоматизированного управления и интеллектуального управления [1, 2]. В общем случае автоматизированное управление представляет собой такой вид управления, когда управляемая система является техническим, кибернетическим или киберфизическим объектом, а управляющая система включает комплекс подсистем планирования и управления, а также человека, который принимает наиболее важные и ответственные решения. С развитием методов и технологий искусственного интеллекта наметилась тенденция к ин-

теллектуализации систем управления, которая, как отмечается в [1], призвана решить ряд имеющихся проблем, в том числе нелинейность объекта управления, недостаток или отсутствие информации для построения моделей объекта управления и/или внешней среды, преобладание в управлении слабоформализованного опыта человека-оператора и т.д. Одной из ключевых особенностей интеллектуального управления является использование результатов анализа данных о функционировании управляемой системы, при этом источники таких данных, как правило, являются разнородными и распределенными, а сами данные чаще всего являются слабо-структурированными и непригодными для обработки традиционными методами.

Соответственно, интеллектуальная автоматизация управления представляет собой технологию, в рамках которой:

- в качестве источника входной информации выступает базовая автоматизация управляемого объекта;

- на основе указанной информации и с использованием технологий (в том числе искусственного интеллекта) строится модель процесса, протекающего в управляемом объекте;

- анализируется текущее состояние процесса в модели и на основе этого формируется комплекс управляющих воздействий [3].

Одним из ключевых требований эксплуатации беспилотных авиационных транспортных систем (БАТС) является обеспечение безопасности их функционирования, в первую очередь, безопасности полетов беспилотных летательных аппаратов (БЛА) в ее составе. В свою очередь, одной из важнейших задач в данном контексте является формирование требований к информационному обеспечению СУ БАТС (например, к составу и структуре информационных потоков, форматов представления и передачи данных, частоты предоставления информации и т.д.) для обеспечения адекватности, полноты и своевременного предоставления данных, требуемых для принятия решений. В соответствии с ГОСТ Р 59853-2021 «Информационные технологии. Комплекс стандартов на автоматизированные системы. Автоматизированные системы. Термины и определения» под

информационным обеспечением автоматизированной системы подразумевается «упорядоченная по структуре и формам представления и предназначенная для использования в автоматизированной системе информация, а также совокупность методов и средств ее формирования, хранения, актуализации и предоставления для использования в автоматизированной системе»¹.

С учетом изложенного, задача формирования требований к характеристикам информационного обеспечения для обеспечения безопасности объекта управления полагается актуальной. Целью настоящей работы является разработка и описание методики формирования требований к характеристикам информационного обеспечения функционирования системы управления (СУ) БАТС для обеспечения безопасности полетов БЛА, входящих в состав подобных систем.

Материалы и методы

Компоненты информационного обеспечения автоматизированного управления функционированием объектов БАТС используют главным образом текущую информацию, касающуюся состояния и режимов функционирования БАТС, а также состояния внешней среды. Дан-

¹ ГОСТ Р 59853-2021. Информационные технологии. Комплекс стандартов на автоматизированные системы. Автоматизированные системы. Термины и определения [сайт]. Электронный фонд нормативно-технической и нормативно-правовой информации Консорциума «Кодекс»; 2024 [обновлено 10 января 2024; процитировано 29 января 2024]. Доступно: <https://docs.cntd.ru/document/1200181819>.

ная информация может поступать как из бортовых, так и из внешних источников, при этом предусматривается возможность перераспределения между ними

функций, а также возможность частичного замещения непосредственного наблюдения текущей обстановки ее интеллектуальным прогнозированием [4-8].



Рис. 1. Этапы методики формирования требований к характеристикам информационного обеспечения (на примере СУ БАТС)

Fig. 1. Stages of the method of formation of requirements to the characteristics of information support (on the example of UATS CS)

Методику формирования требований к характеристикам информационного обеспечения (применительно к функционированию СУ БАТС для обеспечения безопасности полетов) возможно представить следующими основными этапами (рис. 1):

– определение концепции;

– архитектурное проектирование и анализ;

– определение характеристик информационного обеспечения;

– оценка влияния характеристик информационного обеспечения на показатели функционирования интеллектуальной автоматизации управления.

Рассмотрим данные этапы подробнее.

1.1. Определение концепции.

В качестве входных данных выступают сформированные требования к показателям (индикаторам) функционирования, имеющаяся технологическая база, а также организационная и правовая инфраструктура, доступная для целей разработки системы. В результате формируется набор функциональных характеристик системы, а также ее концепция (функциональная и физическая архитектуры).

Определение концепции включает в себя:

1. Анализ требований к показателям функционирования. Основной набор требований к настоящему моменту уже сформирован, и в рамках данного вида деятельности может быть выполнено уточнение требований, а также получение их количественных и/или качественных оценок (при наличии возможности).

2. Функциональное описание, в том числе:

- формирование кортежей «функция – компонент системы», определение способов и порядка взаимодействий функциональных элементов системы;

- разработка описаний функций (описание функциональной реализации).

3. Описание физической реализации, в том числе:

- формирование альтернативных подходов и наборов компонентов (с учетом требований к показателям функционирования);

- подготовка проектных моделей, уточняющих и расширяющих архитектуру системы.

4. Валидация (необязательный подэтап), проводимая для оценки соответствия выбранной концепции набору требований, а также уточнение концепции (при необходимости) [9-18].

1.2. Архитектурное проектирование и анализ.

В соответствии с ГОСТ Р 57100-2016¹, архитектура системы – принципиальная организация системы, воплощенная в ее элементах, их взаимоотношениях друг с другом и со средой, а также принципы, направляющие ее проектирование и эволюцию. Понятие архитектуры в значительной мере субъективно и имеет множество противоречивых толкований; в лучшем случае оно отображает общую точку зрения команды разработчиков на результаты проектирования системы [16-21].

Определение подсистем и модулей СУ БАТС, связанных с обеспечением безопасности полетов. Опираясь на имеющиеся показатели обеспечения безопасности полетов и используя результаты анализа и моделирования проектных решений, направленных на реализацию требований к характеристикам и показателям функционирования техно-

¹ ГОСТ Р 57100-2016. Системная и программная инженерия. Описание архитектуры [сайт]. Электронный фонд нормативно-технической и нормативно-правовой информации Консорциума «Кодекс»; 2024 [обновлено 10 января 2024; процитировано 29 января 2024]. Доступно: <https://docs.cntd.ru/document/1200139542>.

логий интеллектуальной автоматизации управления БАТС, следует определить [11, 16, 17-24]:

- необходимый набор подсистем, присутствие которых в СУ БАТС требуется для реализации выделенных обобщенных функций;

- набор модулей, входящих в состав каждой подсистемы, где отдельный модуль отвечает за реализацию одного или нескольких вариантов реализации обобщенных функций.

Функциональное моделирование компонентов СУ БАТС. Описывается функциональное поведение компонентов, в том числе с использованием нотаций BPMN 2.0, IDEF (Integrated Definition), DFD (Data Flow Diagrams), ERD (Entity-Relationship Diagrams), Workflow, средств имитационного моделирования, унифицированного языка моделирования UML и/или интегрированных методологий общего назначения, например, ARIS (Architecture of Integrated Information Systems) [21].

Разработка архитектур и проектных моделей подсистем СУ БАТС, связанных с обеспечением безопасности полетов. На данном подэтапе речь идет о физической архитектуре, и целью разработки является получение следующих видов архитектурных описаний:

- взаимосвязь подсистем СУ БАТС, где возможными типами связей могут быть «часть-целое», передача информации, управление и др.;

- связи подсистем СУ БАТС с внешней средой, включая другие систе-

мы, находящиеся в операционном окружении;

- взаимодействия модулей внутри подсистем [17, 21].

Сравнительный анализ функциональных архитектур СУ БАТС и выбор требуемой архитектуры. На данном подэтапе проводится анализ сформированных вариантов реализации функциональной архитектуры (на основе принципа включения или исключения различных компонентов (подсистем и модулей) из состава структуры СУ БАТС и осуществляется выбор субоптимальной реализации архитектуры, наиболее подходящей под требуемые цель и задачи БАТС. На основе выбранной функциональной архитектуры осуществляется формирование основных и вспомогательных характеристик информационного обеспечения СУ БАТС [25-33].

1.3. Определение основных и вспомогательных характеристик информационного обеспечения (учитывая выделенные подсистемы).

Для технологий автоматизированного интеллектуального управления функционированием объектов БАТС используем следующие характеристики информационного обеспечения [29-31]:

- состав и размерность вектора наблюдения, т.е. набор наблюдаемых и измеряемых показателей (состояние управляемых систем и внешних условий);

- частота и точность измерения указанных показателей;

- способы организации передачи и хранения информации (непосредствен-

но измеренной или обработанной), а также характеристики этих способов по таким показателям, как полнота, оперативность и др.

В контексте решения задач обеспечения безопасности полетов, принципы формирования требований к характеристикам информационного обеспечения функционирования СУ БАТС определяются:

- результатами формирования требований назначения к СУ БАТС;
- составом требований к характеристикам и показателям функционирования технологий интеллектуальной автоматизации управления БАТС;
- результатами обоснования количественных значений требований к показателям функционирования технологий интеллектуальной автоматизации управления БАТС на основе компьютерного моделирования.

1.4. Оценка влияния характеристик информационного обеспечения на показатели функционирования интеллектуальной автоматизации управления БАТС.

Задача оценки влияния характеристик информационного обеспечения на показатели функционирования интеллектуальной автоматизации управления БАТС допускает следующее формальное представление [14, 15-18]:

$$\langle G, X, Q, RG, C, F \rangle, \quad (1)$$

где G – обобщенный показатель функционирования, отражающий некоторую комплексную точку зрения на эффективность функционирования;

$X = \{X_1, X_2, \dots, X_m\}$ – множество альтернатив, в роли которых выступают проектные решения, обеспечивающие выполнение функциональных требований к технологиям интеллектуальной автоматизации управления БАТС в интересах обеспечения безопасности полетов;

$Q = \{Q_1, Q_2, \dots, Q_p\}$ – набор показателей функционирования (детализирующий понятие эффективности функционирования);

$RG = RG(G, Q)$ – отношение, отражающее структуру взаимосвязи и характер взаимовлияния показателей, составляющих набор Q , а также их влияния на обобщенный показатель G , с учетом глобальности или конкретности выражаемых ими свойств, степени важности и т.д.;

$C = \{C_1, C_2, \dots, C_n\}$ – набор элементарных (базовых) показателей (критериев), по которым выполняется непосредственное оценивание альтернатив (данный набор является подмножеством Q , т.е. $C \subset Q$);

$F = \{F_1, F_2, \dots, F_n\}$ – способы оценки альтернатив по критериям из набора C .

В общем случае под механизмом оценивания понимается формализованная процедура получения, обработки и/или преобразования информации с целью получения оценки по соответствующему показателю.

В ходе анализа и формализации задачи (1) выполняются: структуризация набора показателей Q , в ходе которой могут корректироваться и уточняться

сам набор Q (в том числе подмножество базовых показателей C), а также отношение RG ; формализация структуры; структуризация пространства критериальных оценок по набору C , формализация критериальных оценок и выбор алгоритмов оценивания. Формализованное представление рассматриваемого подэтапа зададим следующим образом:

$$\langle R_G \leftarrow \overline{R_G}, F \leftarrow \overline{F} \rangle, \quad (2)$$

где знак « \leftarrow » означает введение формализованной структуры;

$\overline{R_G}, \overline{F}$ – представляют отношение RG и набор F соответственно.

При этом

$$\overline{F} = \{\overline{F_1}, \overline{F_2}, \dots, \overline{F_n}\};$$

$$\overline{F_j} = \langle E_j, M_j, f_j \rangle \quad (j = 1, \dots, n), \quad (3)$$

где E_j – множество возможных оценок по критерию C_j ;

M_j – представление элементов множества E_j ;

f_j – отображение альтернатив X в критериальные оценки E_j .

Формализованное представление следующего подэтапа – оценивания альтернатив и формирование для них критериальных оценок – имеет вид:

$$\langle X, C, \overline{F}; C(X) \rangle, \quad (4)$$

где $C(X) = \|C_j(X_i)\| (i=1, \dots, m; j=1, \dots, n)$ – матрица с формализованными оценками альтернативы X_i по критерию C_j .

После получения формализованных критериальных оценок для имеющихся альтернатив возможно провести анализ альтернатив, включающий в себя [15, 16]:

- формирование оценок альтернатив по показателям из набора $Q \setminus C$;
- уменьшение количества альтернатив X до множества допустимых XU ;
- выработка оценок допустимых по обобщенному показателю G альтернатив из множества XU .

Результаты и их обсуждение

В настоящем разделе представлены результаты применения методики формирования характеристик информационного обеспечения СУ БАТС на примере реальной транспортной задачи с применением БАТС.

Определение концепции функционирования БАТС

Содержательное описание задачи: существует набор «потребителей», распределенных в пространстве (стоки), передающих в центр обработки заявки на получение материальных средств в плановом или срочном порядке. Кроме того, существует также множество пунктов хранения грузов с известными координатами. Доставка грузов осуществляется множеством транспортных БЛА (каждый из которых характеризуется текущим местоположением, состоянием занятости (выполнения задачи), а также набором других и летно-технических и летно-эксплуатационных параметров) по маршрутам (маршрутная сеть) с известными координатами и эшелонами высот.

Целями (ключевыми эксплуатационными характеристиками) СУ БАТС для рассматриваемой задачи являются:

- построение и оптимизация плана транспортировки грузов;
- мониторинг и управление реализацией плана транспортировки;
- обеспечение безопасности полетов (минимизация количества авиационных событий) при реализации плана транспортировки.

Рассмотрим подробнее цель, связанную с обеспечением безопасности полетов. В контексте рассматриваемой задачи она может быть более детально описана с помощью следующего множества частных целей [30-36]:

- предоставление БЛА данных для вылета/захода на посадку, о погодных условиях и др.;
- оценка и выбор воздушных трасс;
- выбор режимов полетов БЛА;
- отслеживание состояния внешней среды;
- контроль периодичности получения, корректности и достоверности данных о местоположении БЛА;
- контроль периодичности получения, корректности и достоверности данных о траектории следования БЛА;
- контроль следования БЛА назначенным маршрутом;
- контроль следования назначенным маршрутом и прохождения контрольных точек;
- контроль параметров полета и навигационных параметров;
- контроль предоставления локальных/глобальных координат элементами воздушного компонента БАТС;

- выявление траекторий и режимов движения, ведущих к столкновению с земной поверхностью и с другими летательными аппаратами, и предполагаемых точек столкновения;

- оценка возможности и сроков совершения БЛА для уклонения от столкновения;

- формирование и выдача команд на увод БЛА от точки прогнозируемого столкновения с другими летательными аппаратами или препятствиями;

- обеспечение кибербезопасности на аппаратном и программном уровнях.

Архитектурное проектирование и анализ

Определим необходимый набор подсистем, присутствие которых в СУ БАТС требуется для реализации выделенных обобщенных функций: отказоустойчивости и надежности, информационной и кибербезопасности, безопасности связи, безопасности навигационного обеспечения и безопасности управления и системы управления.

Определим необходимый набор модулей, входящих в состав каждой подсистемы (табл. 1) [15-21, 26-33].

Выявленные подсистемы и модули БАТС позволяют сформировать четыре варианта (реализации) функциональной архитектуры подсистем СУ БАТС, представленные в табл. 2.

На основе данных из табл. 2 было принято решение о использовании второго варианта (реализации) функциональной архитектуры подсистем СУ БАТС.

Таблица 1. Модули подсистем СУ БАТС, связанные с обеспечением безопасности полетов**Table 1.** Subsystem modules of UATS CS related to flight safety

Подсистема / Subsystem	Набор модулей / Set of modules
Подсистема отказоустойчивости и надежности	Подсистема контроля времени и режимов работы компонентов, элементов и подсистем БАТС
	Подсистема хранения в электронном виде априорных данных о значениях наработки на отказ для компонентов, элементов и подсистем БАТС (в соответствии с паспортами или другой технической документации)
	Подсистема детектирования сбоев/отказов/неисправностей БАТС, ее компонентов, элементов и подсистем
	Модуль хранения данных о критически важных активах БАТС
	Резервные подсистемы (элементы) или информационные потоки БАТС
	Модуль хранения данных о схемах и алгоритмах переключения на резервные подсистемы (элементы) или информационные потоки
	Подсистема классификации сбоев/отказов/неисправностей БАТС и восстановления неисправностей
Подсистема информационной и кибербезопасности	Подсистема журналирования инцидентов безопасности
	Модуль хранения данных об аппаратных и программных уязвимостях
	Модуль сканирования безопасности
	Подсистема текущего контроля СУ БАТС
	Модуль хранения данных о критически важных активах БАТС
	Подсистема детектирования неисправностей БАТС и ее компонентов
	Подсистема классификации неисправностей БАТС и восстановления неисправностей
Подсистема безопасности по связи	Модуль хранения данных о средствах и методах защиты информации и противодействия угрозам
	Подсистема текущего контроля СУ БАТС
	Подсистема оценки уровня сигнала и параметров канала связи
	Подсистема маршрутизации данных
	Подсистема помехоустойчивого кодирования
	Подсистема шифрования и дешифрования данных
Подсистема безопасности по навигационному обеспечению	Модуль хранения данных о резервных каналах и частотах
	Подсистема текущего контроля СУ БАТС
	Подсистема навигации БЛА
	Подсистема корректоров
	Подсистема управления наземной инфраструктуры БАТС
Подсистема безопасности управления и системы управления	Подсистема управления группы/комплекса БЛА
	Подсистема текущего контроля СУ БАТС
	Подсистема принятия решений СУ БАТС
	Подсистема прогнозирования и построения гипотез СУ БАТС
	Подсистема планирования траекторий СУ БАТС
	Подсистема управления воздушным движением СУ БАТС

Таблица 2. Варианты функциональных архитектур СУ БАТС**Table 2.** Variants of UATS CS functional architectures

Показатель функционирования / The indicator of functioning	Набор модулей / Set of modules	Реализация для варианта функциональной архитектуры / Implementation for a variant of the functional architecture			
		1	2	3	4
Отказоустойчивость и надежность	Подсистема контроля времени и режимов работы компонентов, элементов и подсистем БАТС	+	+	+	+
	Подсистема хранения в электронном виде априорных данных о значениях наработки на отказ для компонентов, элементов и подсистем БАТС	+	+	+	+
	Подсистема детектирования сбоев/отказов/неисправностей БАТС, ее компонентов, элементов и подсистем	+	+	+	+
	Модуль хранения данных о критически важных активах БАТС	+	+	+	+
	Резервные подсистемы (элементы) или информационные потоки БАТС	+	+	+	+
	Модуль хранения данных о схемах и алгоритмах переключения на резервные подсистемы (элементы) или информационные потоки	+	+	+	+
	Подсистема классификации сбоев/отказов/неисправностей БАТС и восстановления неисправностей	+	+	+	+
Информационная и кибербезопасность	Подсистема журналирования инцидентов безопасности	+	+	-	+
	Модуль хранения данных из баз знаний об аппаратно-программных уязвимостях	+	+	-	+
	Модуль, отвечающий за сканирование безопасности	+	+	-	+
	Подсистема текущего контроля СУ БАТС	+	+	+	+
	Модуль хранения данных о критически важных активах БАТС	+	+	+	+
	Подсистема детектирования неисправностей БАТС и её компонентов	+	+	+	+
	Подсистема классификации неисправностей БАТС и восстановления неисправностей	+	+	+	+
	Модуль хранения данных о средствах и методах защиты информации и противодействия угрозам	+	+	-	+
Безопасность по связи	Подсистема текущего контроля СУ БАТС	+	+	+	+
	Подсистема оценки уровня сигнала и параметров канала связи	+	+	+	+
	Подсистема маршрутизации данных	+	+	+	+
	Подсистема помехоустойчивого кодирования	+	+	+	+
	Подсистема шифрования и дешифрования данных	+	+	+	+
	Модуль хранения данных о резервных каналах и частотах	-	+	+	-

Показатель функционирования / The indicator of functioning	Набор модулей / Set of modules	Реализация для варианта функциональной архитектуры / Implementation for a variant of the functional architecture			
		1	2	3	4
Безопасность по навигационному обеспечению	Подсистема текущего контроля СУ БАТС	+	+	+	+
	Подсистема навигации БЛА	-	+	+	+
	Подсистема корректоров	-	+	+	+
	Подсистема управления наземной инфраструктуры БАТС	-	+	+	-
	Подсистема управления группы/комплекса БЛА	-	+	+	-
Безопасность управления и системы управления	Подсистема текущего контроля СУ БАТС	+	+	+	+
	Подсистема принятия решений СУ БАТС	+	+	+	+
	Подсистема прогнозирования и построения гипотез СУ БАТС	+	+	+	+
	Подсистема планирования траекторий СУ БАТС	+	+	+	+
	Подсистема управления воздушным движением СУ БАТС	+	+	+	+

Определение основных и вспомогательных характеристик информационного обеспечения (учитывая выделенные подсистемы)

Ключевыми характеристиками информационного обеспечения СУ БАТС будут являться состав и параметры измерения вектора(ов) наблюдения, а также способы организации передачи и хранения информации в СУ БАТС.

Способы организации передачи и хранения информации в СУ БАТС характеризуются следующими основными показателями:

- вероятность сохранения работоспособности при отказе одной или нескольких подсистем;
- устойчивость каналов связи к помехам;

– устойчивость каналов связи к кибератакам;

– степень избыточности каналов связи;

– точность предоставления навигационных данных.

Для выбранного варианта архитектуры определим характеристики информационного обеспечения СУ БАТС для обеспечения безопасности полетов при реализации функций интеллектуального управления [21, 23, 29, 31-36]:

1. Основные:

- состояние функционирования СУ БАТС и ее компонентов – исправно/неисправно;
- прогнозное значение работоспособности СУ БАТС в течение N часов – вероятность X ч-1;

- состояние подсистем (модулей) кибербезопасности – исправно/неисправно;
- количество текущих (совершаемых) атак;
- количество необработанных угроз;
- количество аутентифицированных агентов в сети БАТС;
- отношение сигнал/шум (ОСШ) в канале управления;
- ОСШ сигнала глобальной навигационной спутниковой системы (ГНСС);
- ОСШ в канале управления, телеметрии, передачи видеоданных;
- текущее состояние доступности абонентов (СУ БАТС, лидеры в группах/комплексах и т.д.) – логическое значение;
- текущая и средняя задержка по всем каналам;
- коэффициент потери пакетов по всем каналам;
- доступность/работоспособность инерциальной навигационной системы (ИНС);
- доступность/работоспособность ГНСС;
- доступность/работоспособность магнитометра и высотомера;
- текущая точность определения местоположения (м);
- текущее отклонение реальной траектории движения с запланированной (целевой);
- текущая расчетная вероятность наступления неработоспособности БАТС;
- текущая расчетная вероятность столкновения БЛА в воздухе с другими БЛА/летательными аппаратами/препятствиями.

2. Вспомогательные (дополнительные):

- количество происшествий за период работы;
- прогнозное значение выхода из строя i -го элемента в течение N часов – вероятность X ч-1;
- дата последней проверки аппаратно-программных комплексов СУ БАТС на наличие вредоносного программного обеспечения;
- состояние портов, информационных ресурсов и пр.;
- индикатор совершения атаки DoS («отказ в доступе»);
- количество инцидентов попыток несанкционированной аутентификации субъектов в сети БАТС;
- состояние функционирования модулей связи, трактов и специального программного обеспечения для связи;
- текущая и средняя скорость передачи данных по всем каналам;
- текущее количество абонентов в сети БАТС;
- значения углов крена, тангажа и рыскания, угловые скорости и ускорения – от ИНС;
- точность определения значений углов крена, тангажа и рыскания, угловые скорости и ускорения;
- местоположение объекта в локальных координатах (ИНС);
- местоположение объекта в глобальных координатах (ГНСС);
- данные от наземной станции управления о новом (скорректированном) маршруте полета;

- текущие временные показатели для ПИД-регулятора (нарастание и стабилизация переходного процесса и пр.);
- отклонение при построении траектории полета;
- текущая расчетная вероятность отказа i -го элемента, могущего привести к наступлению авиационного события.

Оценка влияния функциональных требований на целевые показатели функционирования СУ БАТС

Оценка влияния функциональных требований (требований к характеристикам техники и технологий) на целевые показатели функционирования СУ БАТС осуществляется на основе когнитивного подхода и методов многокритериального анализа решений.

Результаты оценки влияния функциональных требований (требований к характеристикам техники и технологий) на показатели функционирования СУ БАТС в интересах обеспечения безопасности полетов получены в виде распределения приоритетов функциональных требований (табл. 3). Приоритеты являются абсолютными, и отражают уровни значимости (степени важности) различных требований для обеспечения целевых значений показателей функционирования с учетом приоритетов последних.

Полученные результаты оценки влияния функциональных требований (требований к характеристикам техники и технологий) на показатели функционирования СУ БАТС дают возможность задать приоритеты реализации модулей в составе подсистем СУ БАТС. Так, пу-

тем выбора и задания границ значений приоритетов выполняется разделение функциональных требований по уровням приоритетности. На основе этого определяются уровни приоритетности реализации функциональных модулей в составе СУ БАТС. Например, можно выделить следующие уровни приоритетности: высокий (обязательная реализация модуля), средний (целесообразная реализация), низкий (опциональная реализация). Затем определяются варианты реализации подсистем в составе СУ БАТС: максимальный (реализация всех заявленных модулей в составе подсистемы); компромиссный (реализация модулей с высоким и средним приоритетом); минимальный (реализация только модулей с низким приоритетом) [14-27].

Выводы

В работе предложена методика формирования требований к характеристикам информационного обеспечения функционирования СУ БАТС для обеспечения безопасности полетов, представлены ее основные этапы. Предложенная методика позволяет формировать требования к информационному обеспечению СУ БАТС и его характеристикам, исходя из целевого назначения системы и ее функциональной архитектуры (в том числе к составу и структуре информационных потоков, формату представления и передачи данных, частоты предоставления информации и т.д.) для обеспечения требуемой адекватности, полноты и своевременности предоставления информации, требуемой для принятия решений.

Таблица 3. Результаты оценки влияния функциональных требований на показатели функционирования СУ БАТС**Table 3.** Results of the evaluation of the impact of functional requirements on the performance of UATS CS

Функциональные требования (средства реализации обобщенных функций/требования к характеристикам техники и технологий) / Functional requirements (means of implementing generalized functions/requirements for the characteristics of equipment and technologies)	Показатели функционирования и их приоритеты / Performance indicators and their priorities					Глобальные приоритеты / Global priorities
	Отказоустойчивость и надежность / Fault tolerance and Reliability	Информационная и кибербезопасность / Information and Cybersecurity	Безопасность по связи / Communication Security	Безопасность по навигационному обеспечению / Navigation Security	Безопасность управления и системы управления / Management and Control	
	0,298	0,158	0,158	0,089	0,298	
Блок контроля времени и режимов работы компонентов БАТС	0,567	-	-	-	-	0,472
Априорные данные о значениях наработки на отказ компонентов БАТС	0,315	-	-	-	-	0,262
Блок детектирования неисправностей БАТС и ее компонентов	0,810	0,567	-	-	-	0,924
Перечень критически важных активов БАТС	0,405	0,315	-	-	-	0,476
Резервные элементы или информационные потоки БАТС	0,729	-	-	-	-	0,606
Схемы переключения на резервные элементы или информационные потоки	0,729	-	-	-	-	0,606
Блок классификации неисправностей БАТС и восстановления неисправностей	0,510	0,567	-	-	-	0,674
Блок журналирования инцидентов безопасности	-	0,810	-	-	-	0,357
Данные из баз знаний об аппаратно-программных уязвимостях	-	0,567	-	-	-	0,250
Сканеры безопасности	-	0,729	-	-	-	0,322
Подсистема текущего контроля СУ БАТС	-	0,441	0,630	0,225	0,567	1,000

Окончание табл. 3 / Table 3 (ending)

Функциональные требования (средства реализации обобщенных функций/требования к характеристикам техники и технологий) / Functional requirements (means of implementing generalized functions/requirements for the characteristics of equipment and technologies)	Показатели функционирования и их приоритеты / Performance indicators and their priorities					Глобальные приоритеты / Global priorities
	Отказоустойчивость и надежность / Fault tolerance and Reliability	Информационная и кибербезопасность / Information and Cybersecurity	Безопасность по связи / Communication Security	Безопасность по навигационному обеспечению / Navigation Security	Безопасность управления и системы управления / Management and Control	
	0,298	0,158	0,158	0,089	0,298	
Средства и методы защиты информации и противодействия угрозам	-	0,6300	-	-	-	0,278
Блок оценки уровня сигнала и параметров канала связи	-	-	0,441	-	-	0,195
Блок маршрутизации данных	-	-	0,405	-	-	0,179
Блок помехоустойчивого кодирования	-	-	0,567	-	-	0,250
Блок шифрования и дешифрования данных	-	-	0,441	-	-	0,195
Резервные каналы и частоты	-	-	0,567	-	-	0,250
Микроконтроллер связи	-	-	0,189	-	-	0,083
Навигационная подсистема БЛА	-	-	-	0,729	-	0,181
СУ наземной инфраструктуры БЛА	-	-	-	0,0900	-	0,022
СУ группы/комплекса БЛА	-	-	-	0,360	-	0,089
ИНС, ГНСС, корректоры БЛА	-	-	-	0,729	-	0,181
Подсистема принятия решений СУ БЛА	-	-	-	-	0,630	0,524
Человеко-машинный интерфейс СУ БЛА	-	-	-	-	0,350	0,291
Подсистема прогнозирования и построения гипотез СУ БЛА	-	-	-	-	0,810	0,674
Подсистема планирования траекторий СУ БЛА	-	-	-	-	0,270	0,225
Подсистема управления воздушным движением СУ БЛА	-	-	-	-	0,270	0,225

Рассмотрены и описаны основные задачи, решаемые на этапе определения концепции, в том числе оценка требований к показателям функционирования, описание функциональной архитектуры и физической реализации, а также их валидация.

В рамках архитектурного проектирования и анализа определен набор подсистем, присутствие которых в СУ БАТС требуется для реализации выделенных обобщенных функций и соответствия функциональным требованиям на основе выбранных целевых показателей. Определен набор модулей, входящих в состав каждой подсистемы и отвечающий за реализацию безопасности СУ БАТС. Проанализированы преимущества и недостатки различных вариантов функциональной архитектуры подсистем СУ БАТС, с учетом функциональных требований. Рассмотрен вариант полнофункциональной реализации всех подсистем, а также варианты частичной реализации модулей в составе подсистем, с учетом приоритетности реализуемых ими функций, а также

различных форм компромисса между обеспечением тех или иных групп функциональных требований.

На основе результатов формирования концепции и архитектурного проектирования и анализа обобщены и представлены основные и вспомогательные характеристики информационного обеспечения СУ БАТС, учитывая набор подсистем и модулей, предусмотренных выбранной функциональной архитектуры системы. Показано, что проблеме оценки влияния характеристик информационного обеспечения на показатели функционирования технологий интеллектуальной автоматизации управления БАТС следует рассматривать как слабо структурированную, и для ее решения целесообразно применение когнитивного подхода и методов многокритериального анализа решений.

Применение предложенной методики формирования характеристик информационного обеспечения СУ БАТС показано на примере реальной транспортной задачи с применением БАТС.

Список литературы

1. Новиков Д.А. Классификации систем управления // Проблемы управления. 2019; 4: 27-42.
2. Синтез интеллектуальных автоматизированных систем управления сложными технологическими процессами / С. Орешкин, А. Спесивцев, И. Дайманд, В. Козловский, В. Лазарев // Автоматизация в промышленности. 2013; 7: 3-9.
3. Качала В.В. Общая теория систем и системный анализ. М.: Горячая линия – Телеком, 2017.
4. Филимонюк Л.Ю. Модели повышения безопасности авиационных систем в условиях критических сочетаний событий // Труды 8-й Всероссийской научно-

практической конференции «Системы управления электротехническими объектами». Тула, 2018; 8: 157-161.

5. Jharko E., Abdulova E., Iskhakov A. Unmanned Vehicles: Safety Management Systems and Safety Functions. *Futuristic Trends in Network and Communication Technologies // FTNCT 2020. Communications in Computer and Information Science*. 2021; 1396: 112-121. https://doi.org/10.1007/978-981-16-1483-5_11.

6. Полтавский А.В., Рякин А.В. Обеспечение безопасности полетов беспилотных летательных аппаратов // *Научный вестник МГТУ ГА*. 2007; 119: 152-157.

7. Прототип системы обеспечения траекторной безопасности полета / Б.С. Аleshин, С.Г. Баженов, В.Г. Лебедев, Е.Л. Кулида // *Труды XII Всероссийского совещания по проблемам управления (ВСПУ-2014)*. М., 2014. С. 3351-3361.

8. Белый О.В., Малыгин И.Г., Цыганов В.В. Интеллектуальные транспортные системы: концептуальные основы построения // *Материалы 7-й Международной конференции «Управление развитием крупномасштабных систем» (MLSD-2013)*. М., 2013; т.1, с. 20-22.

9. Бузиков М.Э., Васильев С.Н. Гибридная технология интеллектуального управления // *Тезисы докладов научной конференции «Ломоносовские чтения»*. М., 2018. С. 112-114.

10. Применение гибридных методов в интеллектуальных системах управления / А.Ф. Пащенко, Ф.Ф. Пащенко, А.Д. Вислогузов, Ф.В. Морозов, Л.Д. Хижинская, С.В. Гуляев // *Датчики и системы*. 2023; 2: 51-58.

11. Евдокименков В.Н., Красильщиков М.Н., Себряков Г.Г. Распределенная интеллектуальная система управления группой беспилотных летательных аппаратов: архитектура и Программно-математическое обеспечение // *Известия ЮФУ. Технические науки*. 2016; 1(174): 29-44.

12. Интеллектуальная система управления автономным беспилотным летательным аппаратом / В.М. Лохин, С.В. Манько, М.П. Романов, И.Б. Гарцев, Д.В. Евстигнеев, К.С. Колядин // *Известия ЮФУ. Технические науки*. 2006; 3: 141-143.

13. Иванец В.М., Лукьянчик В.Н., Мельник В.Н. Особенности управления беспилотными летательными аппаратами в составе беспилотной интеллектуальной авиационной системы на основе технологий искусственного интеллекта // *Военная мысль*. 2022; 9: 100-109.

14. Подвесовский А.Г., Лагереv Д.Г., Коростелев Д.А. Применение нечетких когнитивных моделей для формирования множества альтернатив в задачах принятия решений // *Вестник Брянского государственного технического университета*. 2009; 4(24): 77-84.

15. Подвесовский А.Г., Исаев Р.А. Построение оптимальной метафоры визуализации нечетких когнитивных карт на основе формализованных критериев когнитивной ясности // *Научная визуализация*. 2019; 11(4): 115-129.

16. Захарова А.А., Подвесовский А.Г., Исаев Р.А. Математическое и программное обеспечение поддержки когнитивного моделирования слабоструктурированных организационно-технических систем // *Международная конференция СРТ2019*. Нижний Новгород, 2019. С. 131-141.

17. Zakharova A., Podvesovskii A. Model for Optimization of Heterogeneous Cargo Transportation Using UAVs, Taking into Account the Priority of Delivery Tasks / Agriculture Digitalization and Organic Production. ADOP 2023. Smart Innovation, Systems and Technologies. 2023; 362: 257-268. https://doi.org/10.1007/978-981-99-4165-0_24.
18. Zakharova A., Podvesovskii A. Application of Visual-Cognitive Approach to Decision Support for Concept Development in Systems Engineering // IFAC-PapersOnLine. 2021; 54(13): 482-487. <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2021.10.495>.
19. Щербатов И.А. Автономность функционирования и степень интеллектуальности сложных технических систем // Информатика и системы управления. 2016; 3(49): 105-118. <https://doi.org/10.22250/isu.2016.49.105-118>.
20. Клименко А.Б. Повышение ресурсной эффективности распределенных архитектур систем обработки данных на основе априорных данных о поздних сроках завершения работ // Известия Юго-Западного государственного университета. 2023;27(2):124-139. <https://doi.org/10.21869/2223-1560-2023-27-2-124-139>.
21. Розенберг И.Н. Интеллектуальное управление транспортными системами // Economic Consultant. 2016; 3(15): 26-32.
22. Мартышкин А.И., Кириуткин И.А., Мереняшева Е.А. Автотестирование встраиваемой реконфигурируемой вычислительной системы // Известия Юго-Западного государственного университета. 2023;27(1):140-152. <https://doi.org/10.21869/2223-1560-2023-27-1-140-152>.
23. Агеев А.М., Попов А.С. Требования к надежности бортовых комплексов управления беспилотных летательных аппаратов различного класса // Воздушно-космические силы. Теория и практика. 2018; 7(7): 95-101.
24. Клименко А.Б. Методика выбора способа управления распределенными информационными системами в условиях высокой динамики сетевой инфраструктуры // Известия Юго-Западного государственного университета. 2022;26(1):57-72. <https://doi.org/10.21869/2223-1560-2022-26-1-57-72>.
25. Analysis and Determination of Minimum Requirements of an Autopilot for the Control of Unmanned Aerial Vehicles (UAV). Advances and Applications in Computer Science, Electronics and Industrial Engineering / H. Loya, V. Enríquez, F.W. Salazar, C. Sánchez, F. Urrutia, J. Buele // CSEI 2019. Advances in Intelligent Systems and Computing. 2020; 1078: 129-142. https://doi.org/10.1007/978-3-030-33614-1_9.
26. Макаров М.В., Астафьев А.В., Семенов И.А. Исследование интеллектуальных элементов управления мобильным роботом и обеспечение информационной безопасности процесса его функционирования в динамической среде // Известия Юго-Западного государственного университета. 2022;26(2):72-86. <https://doi.org/10.21869/2223-1560-2022-26-2-72-86>.
27. SongWei F., HongWei B. The application requirement analysis and system design of shipborne small multi-rotors unmanned aerial vehicle // Proceedings 2013 International Con-

ference on Mechatronic Sciences, Electric Engineering and Computer (MEC). 2013; 2812-2816. <https://doi.org/10.1109/MEC.2013.6885508>.

28. Андронов В.Г., Чуев А.А., Юдин И.С. Методика определения отклонений беспилотных летательных аппаратов от заданной траектории по параллаксам изображений подстилающей поверхности // Известия Юго-Западного государственного университета. 2022;26(2):122-141. <https://doi.org/10.21869/2223-1560-2022-26-2-122-141>.

29. Beainy F., Mai A., Commuri S. Unmanned Aerial Vehicles operational requirements and fault-tolerant robust control in level flight // 17th Mediterranean Conference on Control and Automation. 2009; 700-705. <https://doi.org/10.1109/MED.2009.5164625>.

30. Аверченков А.В., Аверченкова Е.Э., Ковалев В.В. Особенности поддержки принятия управленческих решений в системе управления логистическими потоками транспортно-складского комплекса // Известия Юго-Западного государственного университета. 2021; 25(2): 107-122. <https://doi.org/10.21869/2223-1560-2021-25-2-107-122>.

31. Агеев А.М., Макаров И.В. Методика синтеза программно-аппаратных комплексов автоматизированной разработки систем управления полетом беспилотных летательных аппаратов // Журнал СФУ. Техника и технологии. 2016; 8: 1267-1278.

32. Клименко А. Б. Методика выбора способа управления распределенными информационными системами в условиях высокой динамики сетевой инфраструктуры // Известия Юго-Западного государственного университета. 2021; 25(3): 136-151. <https://doi.org/10.21869/2223-1560-2021-25-3-136-151>.

33. Dalamagkidis K., Valavanis K.P., Piegł L.A. UAS Safety Assessment and Functional Requirements. On Integrating Unmanned Aircraft Systems into the National Airspace System // Intelligent Systems, Control and Automation: Science and Engineering. 2012; 54: 91-123. https://doi.org/10.1007/978-94-007-2479-2_5.

34. Андронов В. Г., Чуев А. А., Князев А. А. Модель параметров отклонений маршрута полёта беспилотных летательных аппаратов от заданной траектории // Известия Юго-Западного государственного университета. 2021; 25(4): 145-161. <https://doi.org/10.21869/2223-1560-2021-25-4-145-161>.

35. Инсаров В.В., Тихонова С.В., Дронский С.А. Концепция построения интеллектуальных систем управления автономных беспилотных летательных аппаратов с реализацией функции ситуационной осведомленности // Мехатроника, автоматизация, управление. 2018; 19(2): 111-119. <https://doi.org/10.17587/mau.19.111-119>.

36. Нгуен В.В., Усина Е.Е. Динамические модели управления и стабилизации движения манипулятора беспилотного летательного аппарата // Известия Юго-Западного государственного университета. 2020; 24(4): 200-216. <https://doi.org/10.21869/2223-1560-2020-24-4-200-216>.

References

1. Novikov D.A. Klassifikatsii sistem upravleniya [Classification of control systems]. *Problemy upravleniya = Management Problems*. 2019; 4: 27-42.

2. Oreshkin S., Spesivtsev A., Daimand I., Kozlovskiy V., Lazarev V. Sintez intellektual'nykh avtomatizirovannykh sistem upravleniya slozhnymi tekhnologicheskimi protsessami [Synthesis of intelligent automated control systems of complex technological processes]. *Avtomatizatsiya v promyshlennosti = Automation in Industry*. 2013; 7: 3-9.
3. Kachala V.V. *Obshchaya teoriya sistem i sistemnyi analiz* [General System Theory and System Analysis]. Moscow, Goryachaya liniya – Telekom Publ., 2017.
4. Filimonyuk L.Yu. [Models for improving aviation safety in critical combinations of events]. *Trudy 8-j Vserossijskoj nauchno-prakticheskoy konferencii «Sistemy upravleniya elektrotekhnicheskimi ob"ektami»* [Proceedings of the 8th All-Russian Scientific and Practical Conference "Control systems of electrical facilities"]. Tula, 2018; 8: 157-161 (In Russ.).
5. Jharko E., Abdulova E., Iskhakov A. Unmanned Vehicles: Safety Management Systems and Safety Functions. *Futuristic Trends in Network and Communication Technologies. FTNCT 2020. Communications in Computer and Information Science*. 2021; 1396: 112-121. https://doi.org/10.1007/978-981-16-1483-5_11.
6. Poltavskiy A.V., Ryakin A.V. Obespechenie bezopasnosti poletov bespilotnykh letatel'nykh apparatov [Aviation safety of unmanned aerial vehicles]. *Nauchnyj vestnik MGTU GA = Scientific Bulletin of MGTU GA*. 2007; 119: 152-157.
7. Aleshin B.S., Bazhenov S.G., Lebedev V.G., Kulida E.L. [Flight Path Safety Prototype System]. *Trudy XII Vserossijskogo soveshchaniya po problemam upravleniya (VSPU-2014)* [Proceedings of the XII All-Russian Conference on Management Problems (VSPU-2014)]. Moscow, 2014. P. 3351-3361 (In Russ.).
8. Beliy O.V., Maligin I.G., Tsiganov V.V. [Intelligent Transport Systems: Conceptual Framework]. *Materialy 7-j Mezhdunarodnoi konferencii «Upravlenie razvitiem krupnomasshtabnykh sistem» (MLSD-2013)*. [Proceedings of the 7th International Conference "Managing the Development of Large-scale Systems" (MLSD-2013)]. Moscow, 2013, vol. 10, pp. 1: 20-22 (In Russ.).
9. Buzikov M.E., Vasil'ev S.N. [Hybrid intelligent control technology]. *Tezisy dokladov nauchnoj konferencii «Lomonosovskie chteniya»* [Abstracts of the scientific conference "Lomonosov readings"]. Moscow, 2018, pp. 112-114 (In Russ.).
10. Pashchenko A.F., Pashchenko F.F., Visloguzov A.D., Morozov F.V., Khizhinskaya L.D., Gulyaev S.V. Primenenie gibridnykh metodov v intellektual'nykh sistemakh upravleniya [Application of hybrid methods in intelligent control systems]. *Datchiki i sistemy = Sensors and System*. 2023; 2: 51-58.
11. Evdokimenko V.N., Krasil'shchikov M.N., Sebyakov G.G. Raspredeleonnaya intellektual'naya sistema upravleniya gruppoi bespilotnykh letatel'nykh apparatov: arkhitektura i Programmno-matematicheskoe obespechenie [Distributed Intelligent Group Control System for Unmanned Aerial Vehicles: Architecture and Software and Mathematical Support]. *Izvestiya YuFU. Tekhnicheskie nauki = News of the Southern Federal University. Technical Sciences*. 2016; 1(174): 29-44.

12. Lokhin V.M., Man'ko S.V., Romanov M.P., Gartseev I.B., Evstigneev D.V., Kolyadin K.S. Intellektual'naya sistema upravleniya avtonomnym bespilotnym letatel'nyim apparatom [Intelligent control system for autonomous unmanned aerial vehicle]. *Izvestiya YuFU. Tekhnicheskie nauki = Izvestiya SFU. Technical Sciences*. 2006; 3: 141-143.

13. Ivanets V.M., Lukyanchik V.N., Mel'nik V.N. Osobennosti upravleniya bespilotnymi letatel'nyimi apparatami v sostave bespilotnoi intellektual'noi aviatsionnoi sistemy na osnove tekhnologii iskusstvennogo intellekta [Features of control of unmanned aerial vehicles as part of an unmanned intelligent aviation system based on artificial intelligence technologies]. *Voennaya mysl' = Military thought*. 2022; 9: 100-109.

14. Podvesovskii A.G., Lagerev D.G., Korostelev D.A. Primenenie nechetkikh kognitivnykh modelei dlya formirovaniya mnozhestva al'ternativ v zadachakh prinyatiya reshenii [Applying Fuzzy Cognitive Models to Form Many Alternatives in Decision Making Tasks]. *Vestnik Bryanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta = Bulletin of the Bryansk State Technical University*. 2009; 4(24): 77-84.

15. Podvesovskii A.G., Isaev R.A. Postroenie optimal'noi metafory vizualizatsii nechetkikh kognitivnykh kart na osnove formalizovannykh kriteriev kognitivnoi yasnosti [Constructing an Optimal Metaphor for Visualizing Fuzzy Cognitive Maps Based on Formalized Cognitive Clarity Criteria]. *Nauchnaya vizualizatsiya = Scientific Visualization*. 2019; 11(4): 115-129.

16. Zakharova A.A., Podvesovskii A.G., Isaev R.A. [Mathematical and software support cognitive modeling of loosely structured organizational and technical systems]. *Mezhdunarodnaya konferenciya CPT2019* [International Conference CPT2019]. Nizhniy Novgorod, 2019, pp. 131-141 (In Russ.).

17. Zakharova A., Podvesovskii A. Model for Optimization of Heterogeneous Cargo Transportation Using UAVs, Taking into Account the Priority of Delivery Tasks. *Agriculture Digitalization and Organic Production. ADOP 2023. Smart Innovation, Systems and Technologies*. 2023; 362: 257-268. https://doi.org/10.1007/978-981-99-4165-0_24.

18. Zakharova A., Podvesovskii A. Application of Visual-Cognitive Approach to Decision Support for Concept Development in Systems Engineering. *IFAC-PapersOnLine*. 2021; 54(13): 482-487. <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2021.10.495>.

19. Sherbatov I.A. Avtonomnost' funktsionirovaniya i stepen' intellektual'nosti slozhnykh tekhnicheskikh sistem. Informatika i sistemy upravleniya [Operational autonomy and degree of sophistication of complex technical systems]. *Informatika i sistemy upravleniya = Computer science and management systems*. 2016; 3(49): 105-118. <https://doi.org/10.22250/isu.2016.49.105-118> (In Russ.).

20. Klimenko A.B. Distributed Data Proceeding Systems Architectures Resource Efficiency Improvement on the Basis of Apriory Data about the Jobs Late Completion Times. *Izvestiya Yugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta = Proceedings of the Southwest State University*. 2023; 27(2): 124-139 (In Russ.). <https://doi.org/10.21869/2223-1560-2023-27-2-124-139>

21. Rozenberg I.N. Intel'lektual'noe upravlenie transportnymi sistemami [Intelligent management of transport systems]. *Economic Consultant*. 2016; 3(15): 26-32 (In Russ.).
22. Martyshkin A.I., Kiryutkin I.A., Merenyasheva E.A. Autotesting an Embedded Re-configurable Computing System. *Izvestiya Yugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta = Proceedings of the Southwest State University*. 2023;27(1):140-152 (In Russ.). <https://doi.org/10.21869/2223-1560-2023-27-1-140-152>
23. Ageev A.M., Popov A.S. Trebovaniya k nadezhnosti bortovykh kompleksov upravleniya bespilotnykh letatel'nykh apparatov razlichnogo klassa [Reliability requirements for on-board control systems for unmanned aerial vehicles of different classes]. *Vozdushno-kosmicheskie sily. Teoriya i praktika = Aerospace Forces. Theory and Practice*. 2018; 7(7): 95-101 (In Russ.).
24. Klimenko A.B. A Technique of the Distributed Information Systems Control Method Choice under the High Network Dynamics Conditions. *Izvestiya Yugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta = Proceedings of the Southwest State University*. 2022;26(1):57-72 (In Russ.). <https://doi.org/10.21869/2223-1560-2022-26-1-57-72>
25. Loya H., Enríquez V., Salazar F.W., Sánchez C., Urrutia F., Buele J. Analysis and Determination of Minimum Requirements of an Autopilot for the Control of Unmanned Aerial Vehicles (UAV). *Advances and Applications in Computer Science, Electronics and Industrial Engineering. CSEI 2019. Advances in Intelligent Systems and Computing*. 2020; 1078: 129-142. https://doi.org/10.1007/978-3-030-33614-1_9.
26. Makarov M.V., Astafiev A.V., Semenov I.A. The Study of Intelligent Control Elements of a Mobile Robot and Ensuring Information Security of the Process of Its Functioning in a Dynamic Environment. *Izvestiya Yugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta = Proceedings of the Southwest State University*. 2022;26(2):72-86 (In Russ.). <https://doi.org/10.21869/2223-1560-2022-26-2-72-86>
27. SongWei F., HongWei B. The application requirement analysis and system design of shipborne small multi-rotors unmanned aerial vehicle. *Proceedings 2013 International Conference on Mechatronic Sciences, Electric Engineering and Computer (MEC)*. 2013; 2812-2816. <https://doi.org/10.1109/MEC.2013.6885508>.
28. Andronov V.G., Chuev A.A., Yudin I.S. Methodology for Determining Deviations of Pilotless Aircraft from a Given Trajectory by Parallaxes of Underlying Surface Images. *Izvestiya Yugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta = Proceedings of the Southwest State University*. 2022;26(2):122-141 (In Russ.). <https://doi.org/10.21869/2223-1560-2022-26-2-122-141>
29. Beainy F., Mai A., Commuri S. Unmanned Aerial Vehicles operational requirements and fault-tolerant robust control in level flight. *17th Mediterranean Conference on Control and Automation*. 2009; 700-705. <https://doi.org/10.1109/MED.2009.5164625>.
30. Averchenkov A. V., Averchenkova E. E. Kovalev V. V., Characteristic Features of Support for Making Managerial Decisions in the Management System of Logistics Flows of Transportation and Storage Complex. *Izvestiya Yugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universi-*

teta = *Proceedings of the Southwest State University*. 2021; 25(2): 107-122 (In Russ.). [https://doi.org/ 10.21869/2223-1560-2021-25-2-107-122](https://doi.org/10.21869/2223-1560-2021-25-2-107-122).

31. Ageev A.M., Makarov I.V. Metodika sinteza programmno-apparatnykh kompleksov avtomatizirovannoi razrabotki sistem upravleniya poletom bespilotnykh letatel'nykh apparatov [Method of synthesis of software and hardware complexes of automated development of flight control systems of unmanned aerial vehicles]. *Zhurnal SFU. Tekhnika i tekhnologii = SFU Magazine. Engineering and Technology*. 2016; 8: 1267-1278 (In Russ.).

32. Klimenko A.B. Choosing methodology of how to manage distributed information systems under conditions of high dynamics of network infrastructure. *Izvestiya Yugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta = Proceedings of the Southwest State University*. 2021; 25(3): 136-151 (In Russ.). <https://doi.org/10.21869/2223-1560-2021-25-3-136-151>

33. Dalamagkidis K., Valavanis K.P., Piegł L.A. UAS Safety Assessment and Functional Requirements. On Integrating Unmanned Aircraft Systems into the National Airspace System. *Intelligent Systems, Control and Automation: Science and Engineering*. 2012; 54: 91-123. https://doi.org/10.1007/978-94-007-2479-2_5.

34. Andronov V. G., Chuev A. A., Knyazev A. A. Model of Parameters of the Flight Route Deviation of Unmanned Aerial Vehicles from a Specified Trajectory. *Izvestiya Yugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta = Proceedings of the Southwest State University*. 2021; 25(4): 145-161 (In Russ.). [https://doi.org/ 10.21869/2223-1560-2021-25-4-145-161](https://doi.org/10.21869/2223-1560-2021-25-4-145-161)

35. Insarov V.V., Tikhonova S.V., Dronskiy S.A. Kontseptsiya postroeniya intellektual'nykh sistem upravleniya avtonomnykh bespilotnykh letatel'nykh apparatov s realizatsiei funktsii situatsionnoi osvedomlennosti [Concept of intelligent control systems for autonomous unmanned aerial vehicles with situational awareness function]. *Mekhatronika, avtomatizatsiya, upravlenie = Mechatronics, Automation, Management*. 2018; 19(2): 111-119. <https://doi.org/10.17587/mau.19.111-119> (In Russ.).

36. Nguyen V. V., Usina E. E. Dynamic Models of Unmanned Aerial Vehicle Manipulator Control and Stabilization. *Izvestiya Yugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta = Proceedings of the Southwest State University*. 2020; 24(4): 200-216 (In Russ.). <https://doi.org/10.21869/2223-1560-2020-24-4-200-216>.

Информация об авторе / Information about the Author

Мамченко Марк Владиславович, научный сотрудник лаборатории киберфизических систем, Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова Российской академии наук, г. Москва, Российская Федерация, e-mail: markmamcha@gmail.com, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6366-9786>

Mark V. Mamchenko, Researcher, Cyberphysical Systems Lab., V.A. Trapeznikov Institute of Control Sciences of Russian Academy of Sciences, Moscow, Russian Federation, e-mail: markmamcha@gmail.com, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6366-9786>