

**МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЕ ПОДХОДЫ К РАЗРАБОТКЕ
ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ АВИАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ
УПРАВЛЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТЬЮ ПОЛЕТОВ***А. А. Кулик¹, А. А. Большаков²**¹Национальный исследовательский университет «МЭИ»,
Москва, Российская Федерация**²Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого,
Санкт-Петербург, Российская Федерация*

Приводится описание нового класса организационно-технических систем – интеллектуальные авиационные системы, принципы функционирования которых предусматривают повышение безопасности полета воздушного судна. Разработка систем этого класса обусловлена, в первую очередь, необходимостью учета статистических данных об основных причинах авиационных происшествий (человеческий фактор – до 87 %, отказ авиационной техники – до 15 %, внешние факторы – 2 % от всех случаев). Сформулирована научная проблема, связанная с актуальностью создания методов оценки и прогнозирования угрозы авиационного происшествия на основе непосредственного контроля изменения величин характеристик, влияющих на безопасность полета. Для этого предлагается использовать методы и средства научно-технического направления искусственного интеллекта, что позволит выявить непосредственные причины авиационного происшествия и предупредить их, используя систему управления безопасностью полетов. Представлены свойства исследуемой системы, обуславливающие принципы ее функционирования: интеллектуальность, информативность, быстродействие, управляемость, взаимозависимость подсистем, безопасность полета, включающая идентификацию угрозы происшествия, ее прогнозирование и парирование. Вышеуказанные принципы функционирования исследуемой системы, входящие в состав методологии управления безопасностью воздушного судна в полете, реализованы в совокупности методов и алгоритмов. Среди них следует отметить интеллектуальный метод оценки угрозы авиационного происшествия, метод прогнозирования угрозы авиационного происшествия, метод поддержки принятия решений экипажем при угрозе авиационного происшествия, а также метод синтеза закона управления парирования угрозы.

Ключевые слова: безопасность полета, воздушное судно, интеллектуальная авиационная система, угроза авиационного происшествия, предотвращение, система управления, искусственный интеллект.

Для цитирования: Кулик А. А., Большаков А. А. Методологические подходы к разработке интеллектуальной авиационной системы управления безопасностью полетов // Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Управление, вычислительная техника и информатика. 2021. № 3. С. 41–48. DOI: 10.24143/2072-9502-2021-3-41-48.

Введение

В настоящее время значительный прогресс в развитии авиационной техники обусловил повышение уровня безопасности полета воздушных судов (ВС) разного вида. На рис. 1 представлена статистика распределения причин авиационных происшествий, согласно которой причиной основной части авиационных происшествий являются человеческий фактор (83 %), отказ авиационной техники (15 %) и внешние воздействующие факторы (2 %) [1], при этом достаточно часто причиной авиационных происшествий является совокупность вышеперечисленных факторов.

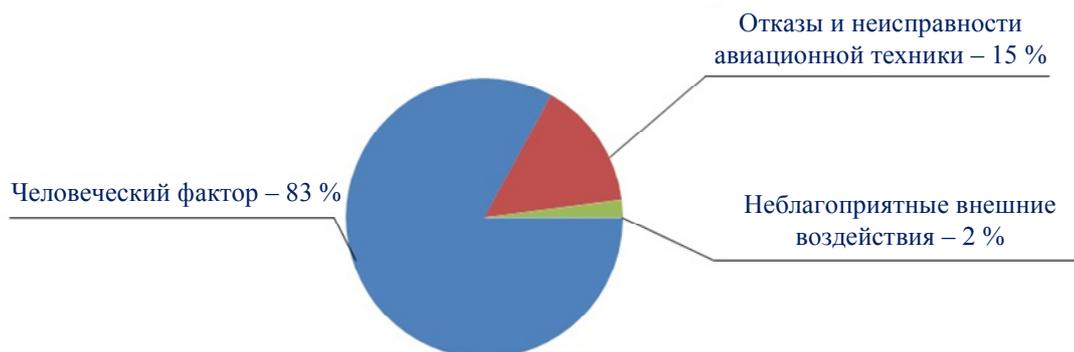


Рис. 1. Распределение причин авиационных происшествий

В настоящее время существуют различные системы обеспечения безопасности полета ВС, действие которых направлено на обнаружение, прогнозирование и парирование угрозы авиационного происшествия [2–7]. Однако эти системы, как правило, позволяют идентифицировать угрозу катастрофической ситуации под воздействием отдельных воздействующих факторов и не учитывают изменение условий полета ВС от сложного состояния до катастрофического. Поэтому создание методов оценки и прогнозирования угрозы авиационного происшествия на базе прямого контроля варьирования величин характеристик, влияющих на безопасность полета, с использованием методов и средств искусственного интеллекта является актуальной научной проблемой, решение которой позволит выявить непосредственные причины авиационного происшествия и парировать их, используя систему управления безопасностью полетов. Для решения этой проблемы требуется создание совокупности принципов, методов и алгоритмов, действие которых направлено на выявление угрозы авиационного происшествия, ее прогнозирование и парирование. При этом для реализации методов и алгоритмов повышения безопасности полета ВС необходимо исследовать новый класс организационно-технических систем – интеллектуальные авиационные системы.

Целью работы является создание методологических основ управления безопасностью полета ВС как совокупности принципов, методов и алгоритмов оценки угрозы авиационного происшествия, ее прогнозирования и парирования, которые реализуются в рамках функционирования интеллектуальной авиационной системы и позволяют повысить эффективность и безопасность управления ВС, осуществляемого в сложных условиях полета.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

- предложить структуру интеллектуальной авиационной системы;
- осуществить системный анализ интеллектуальной авиационной системы;
- разработать методологию безопасности управления ВС.

Разработка интеллектуальной авиационной системы

Предлагается интеллектуальные авиационные системы (ИАС) разрабатывать на базе авиационной транспортной системы, которая представляет собой комплекс взаимодействующих систем, функции которых направлены на обеспечение жизненного цикла ВС. В авиационную транспортную систему (АТС) входят система «экипаж – воздушное судно» («Э – ВС»), система управления воздушным движением, система обеспечения полетов. На рис. 2 представлена структурная схема ИАС с подсистемами, находящимися во взаимодействии.

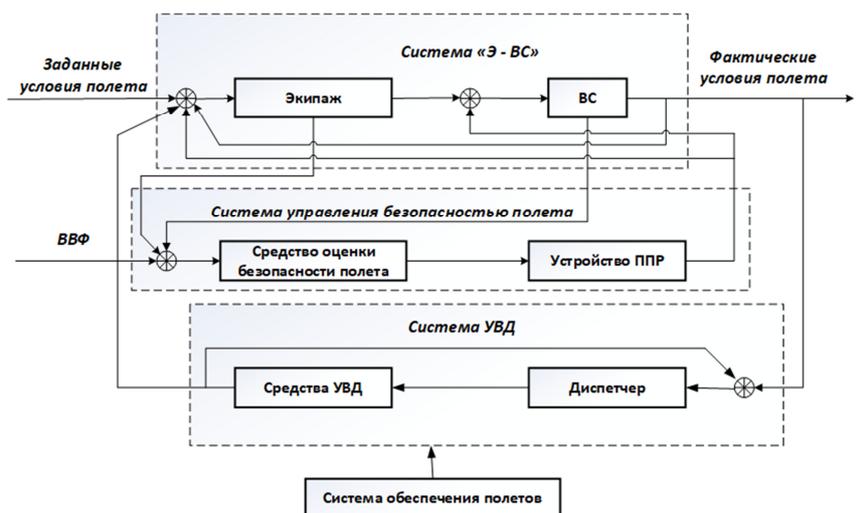


Рис. 2. Структурная схема интеллектуальной авиационной системы:
 ВВФ – внешние воздействующие факторы; ППР – поддержка принятия решений;
 УВД – управление воздушным движением

Система «экипаж – ВС» обеспечивает эксплуатацию ВС. Основная задача экипажа заключается в выполнении полетного задания с учетом состояния авиационной техники и ВВФ. Эффективность экипажа зависит от профессионального уровня и психофизического состояния экипажа. При этом функциональная эффективность ВС определяется его конструкцией, технологичностью и живучестью. Конструкторские и технологические решения ВС создаются в процессе исследований судна на этапах его разработки, изготовления опытных образцов и серийного производства. Основными характеристиками, формируемыми на этапах разработки судна, является его безотказность и надежность.

Система управления воздушным движением обеспечивает полет ВС по заданному маршруту, а также на подходе к аэродрому. Эффективность системы определяется степенью надежности и безотказности технических средств, а также профессиональной подготовки диспетчеров и обслуживающего персонала.

Система обеспечения полетов определяет летную и техническую эксплуатацию ВС. В первом случае деятельность экипажа и других подсистем АТС осуществляется согласно рекомендациям подготовки и выполнения полетов. Во втором – выполняется техническое обслуживание ВС, направленное на своевременное предотвращение отказов его функциональных систем и наиболее важных элементов.

На основе описания структурных элементов АТС можно сделать вывод, что основные работы по обеспечению безопасности полета ВС осуществляются на этапах проектирования, производства и подготовки судна к полету. При этом непосредственно в полете наибольшая нагрузка по противодействию угрозе авиационного происшествия приходится на пилота, действия которого в экстремальных условиях могут привести к ухудшению условий полета и развитию катастрофической ситуации. Поэтому для поддержки действий экипажа при управлении ВС необходимо применение в составе авиационно-транспортных комплексов интеллектуальной системы ППР (СППР), что позволяет ввести понятие ИАС. Отличительной особенностью такой СППР, по сравнению с АТС, является наличие в ней комплекса контроля и управления, функционирование которого связано с обнаружением и устранением летных происшествий, возникающих под воздействием внутренних и внешних факторов на земле и в воздухе, – системы управления безопасностью полетов ВС.

Системный анализ интеллектуальной авиационной системы

Интеллектуальная авиационная система относится к организационно-техническим системам, поэтому ей присущи признаки технических и организационных систем. Эти свойства определяют основные принципы функционирования ИАС, которые направлены на управление безопасностью полета ВС. К числу свойств системы относятся следующие:

1. Сложность. Интеллектуальная авиационная система является сложной системой, состоящей из большого количества разнородных элементов и изменчивых связей между ними.

2. Детерминированность (неопределенность) входных и выходных переменных. В процессе работы ИАС на качество ее функционирования и условия полета ВС оказывают непосредственное влияние входные переменные в виде внешних воздействующих факторов и внутренних факторов безопасности полета. При этом переменные факторы безопасности полета судна, такие как психофизическое состояние экипажа, техническое состояние объекта управления, а также внешние действующие характеристики, являются детерминированными и неопределенными.

3. Многомерность входных и выходных данных системы обусловлена большим количеством переменных, влияющих на ее функционирование.

4. Распределенность/сосредоточенность входных и выходных переменных. Входные переменные, характеризующие психофизическое состояние экипажа и техническое состояние объекта управления, являются сосредоточенными и не зависят от пространственного положения объекта управления. При этом переменные внешних воздействующих факторов относятся к распределенным.

5. Нестационарность системы, которая определяется изменением взаимодействия элементов системы, а также окружающей средой подсистемы «Э – ВС».

6. Динамичность системы. Режимы функционирования системы предполагают изменение ее входных и выходных в режиме реального времени.

7. Безопасность. Функционирование системы должно быть направлено на решение поставленной задачи без угрозы авиационного происшествия, которое выражается в аварийных или катастрофических ситуациях.

На основе свойств ИАС и ее интеллектуальных подсистем предлагаются следующие принципы функционирования системы:

1. Интеллектуальность ИАС обусловлена наличием в ее структуре экипажа, диспетчера, а также СППР. При этом СППР формирует советы, направляя действия экипажа, и генерирует управляющие воздействия по отношению к ВС. Под степенью интеллектуальности ИАС будем понимать относительную величину функций, выполняемых СППР. Количественная оценка этой функции является показателем степени интеллектуальности системы.

2. Информативность. Информативность ИАС определяется полнотой и достоверностью ее входных данных (условий подготовки и выполнения полета ВС, состоянием экипажа, ВС и средств управления воздушным движением, а также выходной информацией СППР). Кроме входных и выходных данных ИАС важное значение имеет полнота и достоверность базы данных СППР.

3. Быстродействие. Система управления должна обладать определенной скоростью переработки информации, которая обеспечивает функционирование авиационной системы в реальном масштабе времени. Поэтому необходимо оперативное получение и анализ текущей информации для выработки соответствующих управляющих и управленческих воздействий.

4. Взаимосвязанность подсистем предусматривает участие элементов системы в обеспечении управления процессом полета ВС, а также обмен данными между ними на этапах подготовки и выполнения полета.

5. Безопасность полета ВС представляет собой комплекс мероприятий, направленных на распознавание угрозы авиационного происшествия и ее предотвращение. Безопасность полета ВС предусматривает:

– идентификацию угрозы авиационного происшествия, что предполагает качественную и количественную оценку разнообразных условий полета ВС, определение разновидности угрозы авиационного происшествия (аварийная или катастрофическая ситуация);

– прогнозирование угрозы авиационного происшествия – прогнозирование изменений переменных внутренних и внешних характеристик, которые влияют на условия полета ВС и, как следствие, определяют степень безопасности процесса;

– парирование угрозы авиационного происшествия как комплекс действий экипажа, бортового оборудования ВС, системы обеспечения полетов и СППР, направленных на предотвращение развития угрозы авиационного происшествия.

6. Управляемость системы предполагает эффективную реализацию процесса полета ВС, что обеспечивается сигналами управления от экипажа, СППР, а также средствами обеспечения полетов: комплексной системы управления и бортового радиоэлектронного оборудования и др.

Таким образом, принципы работы ИАС направлены на эффективное ее функционирование, основным показателем которого является безопасность управления ВС.

Разработка методологических основ безопасности управления воздушным судном

Реализация принципов методологии управления безопасностью ИАС представлена на рис. 3.

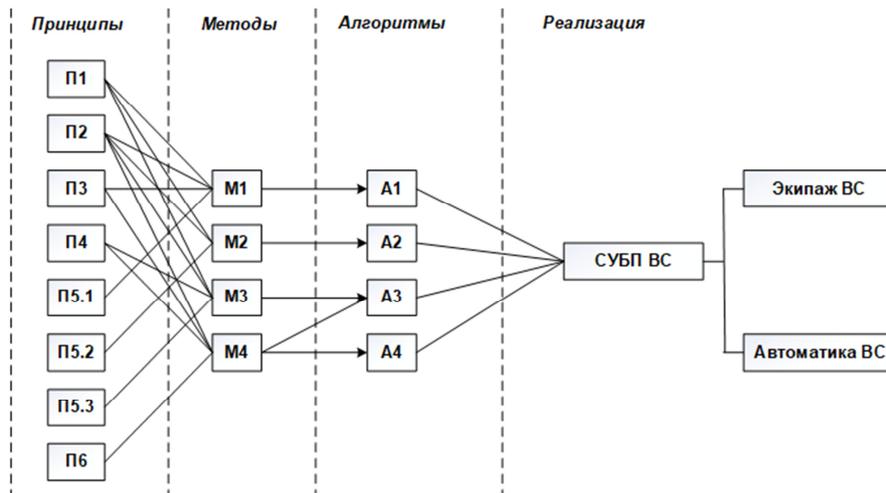


Рис. 3. Схема взаимодействия компонентов методологии управления безопасностью интеллектуальной авиационной системы: П1–П6 – принципы функционирования ИАС; М1–М4 – методы управления безопасностью ВС; А1–А4 – алгоритмы управления безопасностью; СУБП ВС – система управления безопасностью ВС

Структурная схема демонстрирует взаимосвязь принципов, методов и алгоритмов, направленных на повышение безопасности полета ВС.

Из рис. 3 видно, что интеллектуальный метод оценки угрозы авиационного происшествия (М1) базируется на принципах интеллектуальности системы (П1), идентификации угрозы авиационного происшествия (П5.1), информативности (П2) и быстрого действия системы управления (П3). В свою очередь, метод прогнозирования угрозы авиационного происшествия (М2) реализует принципы интеллектуальности системы (П1), быстрого действия системы (П2) и прогнозирования угрозы авиационного происшествия (П5.2). Метод ППР экипажа при угрозе авиационного происшествия (М3) реализует принципы парирования угрозы АП (авиационного происшествия) (П5.3), а также принципы интеллектуальности (П1), информативности (П2) и взаимосвязи подсистем ИАС (П4). Метод синтеза закона управления парирования угрозы АП (М4) базируется на принципах информативности (П2), быстрого действия (П3), взаимосвязи подсистем (П4) и управляемости системы (П6).

Реализация предложенных методов осуществляется программно-аппаратным обеспечением системы управления безопасностью ВС в полете, реализующей следующие алгоритмы [8–11]:

1. Оценка угрозы авиационного происшествия и условий полета ВС (А1).
2. Прогнозирование угрозы авиационного происшествия (А2).
3. Парирование угрозы авиационного происшествия (А3).
4. Реконфигурация комплексной системы управления ВС (А4).

Таким образом, представленная в работе концепция функционирования ИАС направлена на повышение безопасности полета ВС. Отличительная особенность этой концепции заключается в совокупности методов и алгоритмов идентификации угрозы авиационного происшествия и ее парирования с учетом психофизического состояния экипажа, технического состояния объекта управления и внешних действующих характеристик. При этом реализация методов и алгоритмов должна осуществляться на базе средств искусственного интеллекта, образующих систему управления безопасностью ВС в полете [7].

Заключение

Предложен новый класс организационно-технических систем – интеллектуальная авиационная система, функционирование которой направлено на обеспечение безопасности ВС в полете. Анализ интеллектуальной авиационной системы позволил выявить свойства и принципы ее функционирования, на основе которых разработаны методы и алгоритмы, реализующие методологические основы управления безопасностью ВС в полете.

Предложенные в работе методологические основы позволяют найти решение актуальной научно-технической проблемы повышения эффективности и качества управления безопасностью полета ВС, в основе которой содержатся методы оценки угрозы авиационного происшествия, ее прогнозирования и парирования на основе учета психофизического состояния экипажа, технического состояния объекта управления и действующих внешних характеристик.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Попов Ю. В. Показатели безопасности авиационных полетов // Технологии техносферной безопасности. 2014. № 6 (58). URL: <http://agps-2006.narod.ru/ttb/2014-6/10-06-14.ttb.pdf> (дата обращения: 12.04.2017).
2. Шевченко А. М., Начинкина Г. Н., Солонников Ю. И. Моделирование средств информационной поддержки пилота на этапе взлета самолета // Тр. Моск. ин-та электромеханики и автоматики (МИЭА). 2012. № 5. С. 54–64.
3. Технология предупреждения выкатывания самолета за пределы ВВП. URL: <http://www.ato.ru/content/tehnologii-dlya-preduprezhdeniya-vykatyvaniya-vozdushnogo-sudna-za-predely-vpp> (дата обращения: 12.04.2017).
4. Пат. РФ № 220544 G05D1/00. Способ поддержки оператора в опасных ситуациях / Сухолитко В. А.; заявл. 02.10.2001; опубл. 27.05.2003.
5. Пат. РФ № 2339547 B64D 45/00. Автоматизированная высокоинтеллектуальная система обеспечения безопасности полета летательного аппарата / Берестов Л. М., Харин Е. Г. и др.; заявл. 27.03.2007, опубл. 20.01.2009.
6. Clothier R., Walker R. The safety risk management of unmanned aircraft systems. URL: http://www.researchgate.net/publication/255853556_The_Safety_Risk_Management_of_Unmanned_Aircraft_Systems (дата обращения: 12.04.2017).
7. Большаков А. А., Кулик А. А., Сергушов И. В., Скрипаль Е. Н. Разработка системы управления безопасностью полета летательного аппарата // Мехатроника, автоматизация и управление. 2016. № 10. Т. 17. С. 708–715.
8. Большаков А. А., Кулик А. А., Сергушов И. В., Скрипаль Е. Н. Метод оценки угрозы авиационного происшествия на базе искусственного интеллекта // Сб. науч. тр. X Всерос. мультikonференции по проблемам управления «МКПУ-2017» (с. Дивноморское, Геленджик, 11–16 сентября 2017 г.). Ростов н/Д.: Изд-во ЮФУ, 2017. Т. 1. Модели, методы и технологии интеллектуального управления (ИУ-2017). С. 36–38.
9. Большаков А. А., Кулик А. А., Сергушов И. В., Скрипаль Е. Н. Интеллектуальный метод оценки угрозы авиационного происшествия // Вестн. компьютер. и информац. технологий. 2018. № 5 (67). С. 3–9.
10. Большаков А. А., Кулик А. А., Сергушов И. В., Скрипаль Е. Н. Разработка метода прогнозирования авиационного происшествия летательного аппарата // Мехатроника, автоматизация и управление. 2018. Т. 19. № 6. С. 416–423.
11. Большаков А. А., Кулик А. А., Сергушов И. В., Скрипаль Е. Н. Алгоритм поддержки принятия решений по парированию угрозы авиационного происшествия // Математические методы в технике и технологиях. 2019. Т. 1. С. 58–63.

Статья поступила в редакцию 07.04.2021

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Алексей Анатольевич Кулик – канд. техн. наук; доцент кафедры автоматизированных систем управления тепловыми процессами; Национальный исследовательский университет «МЭИ»; Россия, 111250, Москва; kulikalekse@yandex.ru.

Александр Афанасьевич Большаков – д-р техн. наук, профессор; профессор Высшей школы прикладной математики и вычислительной физики; Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого; Россия, 195251, Санкт-Петербург; aabolshakov57@gmail.com.



METHODOLOGICAL APPROACHES TO DEVELOPMENT OF INTELLIGENT AVIATION SAFETY CONTROL SYSTEM

A. A. Kulik¹, A. A. Bolshakov²

¹ *National Research University "Moscow Power Engineering Institute",
Moscow, Russian Federation*

² *Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University,
Saint-Petersburg, Russian Federation*

Abstract. The article describes a new class of organizational and technical systems - intelligent aviation systems, whose operational principles provide the increased safety of an aircraft flight. The development of systems of this class is primarily explained by the need to record statistical data on the main causes of aviation accidents (human factor - up to 87%, failure of aviation equipment - up to 15%, external factors - 2% of all cases). A scientific problem is formulated related to the importance of creating methods for assessing and predicting the threat of an accident based on direct control of changes in the values of characteristics that affect flight safety. For this, it is proposed to use the methods and means of the scientific and technical direction of artificial intelligence, which will reveal the immediate causes of an aviation accident and prevent them using the flight safety management system. The technical characteristics are considered, the properties of the system under study are presented, which determine the principles of its functioning: intelligence, information content, speed, controllability, interdependence of subsystems, flight safety, including identification of the threat of an accident, its prediction and parry. The above principles of the functioning of the system under study, which are part of the methodology for managing the safety of an aircraft in flight, are implemented in a set of methods and algorithms. Among them should be noted the intelligent method for assessing the threat of an aviation accident, the method for predicting the threat of an accident, the method for supporting decision-making by the crew in the event of the threat of an accident, as well as the method for synthesizing the control law for countering the threat.

Key words: flight safety, aircraft, intelligence aviation system, risk of flight accident, prevention, control system, artificial intelligence.

For citation: Kulik A. A., Bolshakov A. A. Methodological approaches to development of intelligent aviation safety control system. *Vestnik of Astrakhan State Technical University. Series: Management, Computer Science and Informatics*. 2021;3:41-48. (In Russ.) DOI: 10.24143/2072-9502-2021-3-41-48.

REFERENCES

1. Popov Iu. V. Pokazateli bezopasnosti aviatsionnykh poletov [Indicators of aviation flights safety] *Tekhnologii tekhnosfernoi bezopasnosti*, 2014, no. 6 (58). Available at: <http://agps-2006.narod.ru/ttb/2014-6/10-06-14.ttb.pdf> (accessed: 12.04.2017).
2. Shevchenko A. M., Nachinkina G. N., Solonnikov Iu. I. Modelirovanie sredstv informatsionnoi podderzhki pilota na etape vzleta samoleta [Modeling pilot information support at take-off stage of aircraft]. *Trudy Moskovskogo instituta elektromekhaniki i avtomatiki (MIEA)*, 2012, no. 5, pp. 54-64.
3. *Tekhnologiya preduprezhdeniia vykatyvaniia samoleta za predely VVP* [Technology to prevent aircraft rolling out of runway]. Available at: <http://www.ato.ru/content/tehnologii-dlya-preduprezhdeniya-vykatyvaniya-vozdušnogo-sudna-za-predely-vpp> (accessed: 12.04.2017).
4. Sukholitko V. A. *Sposob podderzhki operatora v opasnykh situatsiiakh* [Method of supporting operator in dangerous situations]. Patent RF № 220544 G05D1/00; 27.05.2003.

5. Berestov L. M., Kharin E. G. i dr. *Avtomatizirovannaia vysokointellektual'naia sistema obespecheniia bezopasnosti poleta letatel'nogo apparata* [Automated highly intelligent flight safety system for aircraft]. Patent RF № 2339547 B64D 45/00; 20.01.2009.

6. Clothier R., Walker R. *The safety risk management of unmanned aircraft systems*. Available at: http://www.researchgate.net/publication/255853556_The_Safety_Risk_Management_of_Unmanned_Aircraft_Systems (accessed: 12.04.2017).

7. Bol'shakov A. A., Kulik A. A., Sergushov I. V., Skripal' E. N. *Razrabotka sistemy upravleniia bezopasnost'iu poleta letatel'nogo apparata* [Development of safety control system for aircraft flight]. *Mekhatronika, avtomatizatsiia i upravlenie*, 2016, no. 10, vol. 17, pp. 708-715.

8. Bol'shakov A. A., Kulik A. A., Sergushov I. V., Skripal' E. N. *Metod otsenki ugrozy aviatsionnogo proisshestiia na baze iskusstvennogo intellekta* [Method for assessing threat of aviation accident based on artificial intelligence]. *Sbornik nauchnykh trudov X Vserossiiskoi mul'tikonferentsii po problemam upravleniia «MKPU-2017» (s. Divnomorskoe, Gelendzhik, 11–16 sentiabria 2017 g.)*. Rostov-on-Don, Izd-vo IuFU, 2017. Vol. 1. *Modeli, metody i tekhnologii intellektual'nogo upravleniia (IU-2017)*. Pp. 36-38.

9. Bol'shakov A. A., Kulik A. A., Sergushov I. V., Skripal' E. N. *Intellektual'nyi metod otsenki ugrozy aviatsionnogo proisshestiia* [Intellectual method of assessing threat of aviation accident]. *Vestnik komp'iuternykh i informatsionnykh tekhnologii*, 2018, no. 5 (67), pp. 3-9.

10. Bol'shakov A. A., Kulik A. A., Sergushov I. V., Skripal' E. N. *Razrabotka metoda prognozirovaniia aviatsionnogo proisshestiia letatel'nogo apparata* [Development of method for predicting aircraft accident]. *Mekhatronika, avtomatizatsiia i upravlenie*, 2018, vol. 19, no. 6, pp. 416-423.

11. Bol'shakov A. A., Kulik A. A., Sergushov I. V., Skripal' E. N. *Algoritm podderzhki priniatiia reshenii po parirovaniu ugrozy aviatsionnogo proisshestiia* [Decision support algorithm for countering threat of aviation accident]. *Matematicheskie metody v tekhnike i tekhnologiiakh*, 2019, vol. 1, pp. 58-63.

The article submitted to the editors 07.04.2021

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Alexey A. Kulik – Candidate of Technical Sciences; Assistant Professor of the Department of Automated Control Systems for Thermal Processes; National Research University “Moscow Power Engineering Institute”; Russia, 111250, Moscow; kulikalekse@yandex.ru.

Alexander A. Bolshakov – Doctor of Technical Sciences, Professor; Professor of Higher School of Applied Mathematics and Computational Physics; Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University; Russia, 195251, Saint-Petersburg; aabolshakov57@gmail.com.

