

Общие вопросы

УДК: 519.711.3:004.946:623.746.4-519:614.8

DOI: 10.31776/RTSJ.10201

С. 85-92

Виртуальные среды для моделирования взаимодействия операторов с БПЛА в закрытых пространствах в потенциально опасных ситуациях

С.Ф. Сергеев^{1✉}, Ю.А. Бубеев², В.М. Усов², М.В. Михайлюк³, М.М. Князьков⁴,
А.В. Поляков², А.И. Мотиенко⁵, А.В. Хомяков⁶

¹Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого (СПбПУ), Санкт-Петербург, Российская Федерация, sergeev_sf@spbstu.ru

²Государственный научный центр Российской Федерации Институт медико-биологических проблем Российской академии наук (ГНЦ РФ ИМБП РАН), Москва, Российская Федерация

³Научно-исследовательский институт системных исследований Российской академии наук (НИИСИ РАН), Москва, Российская Федерация

⁴Институт проблем механики им. А.Ю. Ишлинского Российской академии наук (ИПМех РАН), Москва, Российская Федерация

⁵Санкт-Петербургский Федеральный исследовательский центр Российской академии наук (СПб ФИЦ РАН), Санкт-Петербург, Российская Федерация

⁶АО Центральное конструкторское бюро аппаратостроения (ЦКБА), г. Тула, Российская Федерация

(Материал поступил в редакцию 24 января 2022 года)

Аннотация

Эффективное взаимодействие человека и робототехнических устройств призвано обеспечить своевременное реагирование на потенциально опасные ситуации, возникающие в сложной среде. Одним из примеров является применение человеком-оператором беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) для инспекции закрытых пространств. Эти аппараты позволяют вести поиск и идентификацию целевых объектов, помогая человеку-оператору идентифицировать признаки потенциально опасных событий (ПОС). При этом в закрытом (и часто загроможденном) пространстве для контроля складывающихся ситуаций необходимо привлечение развитых средств ведения пространственной ориентировки на базе технологий искусственного интеллекта, компьютерного зрения, 3D-визуализации, локального позиционирования и навигации и др. Несмотря на достигнутый прогресс в области автономного управления БПЛА, активное участие человека в обнаружении признаков ПОС является важным условием поддержания безопасности внутренней среды контролируемых помещений. Принятие человеком решений в ситуациях высокой неопределенности и неполноты данных во многом зависит от средств улучшения его ситуационной осведомленности (внешние условия деятельности) и профессиональных компетенций (внутренние условия деятельности). Для их формирования необходима разработка методологии и инструментов построения сценариев применения БПЛА для получения операторами необходимого пользовательского опыта на имитационных моделях в виртуальной среде деятельности. В работе исследовались вопросы разработки системы виртуального окружения (СВО) для реализации сценариев применения БПЛА в закрытых пространствах применительно к мультикоптерам, допускающим как автономное, так и ручное управление. В результате проведенного исследования выявлены прототипы БПЛА для инспекции закрытых пространств; показаны перспективы применения квадрокоптеров при различных сценариях ПОС; описан состав перспективных технологий, обеспечивающих применение БПЛА в закрытых средах; предложен способ проектирования и 3D-визуализации сценариев применения БПЛА с использованием оригинальной СВО VirSim. Преимущества предлагаемого подхода к моделированию применения БПЛА в ПОС состоят в многовариантности сценариев деятельности операторов, что способствует накоплению пользовательского опыта взаимодействия человека с летающими роботами.

Ключевые слова

Закрытые пространства, потенциально опасные ситуации, беспилотные летательные аппараты, мультикоптеры, автоматическое и ручное управление, системы виртуального окружения, сценарии деятельности.

Virtual environments for modeling the interaction of operators with UAVs in closed spaces in potentially dangerous situations

Sergey F. Sergeev^{1✉}, Yuri A. Bubeev², Vitaly M. Usov², Mikhail V. Mikhaylyuk³, Maxim M. Knyazkov⁴, Alexey V. Polyakov², Anna I. Motienko⁵, Alexandr V. Khomyakov⁶

¹Peter the Great Saint Petersburg Polytechnical University (SPbPU), Saint Petersburg, Russia, sergeev_sf@spbstu.ru
²Institute of Biomedical Problems (IBMP), Moscow, Russia

³Scientific Research Institute for System Analysis of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

⁴Ishlinsky Institute for Problems in Mechanics of the Russian Academy of Sciences (IPMech RAS), Moscow, Russia

⁵Saint Petersburg Federal Research Center of the Russian Academy of Sciences, Saint Petersburg, Russia

⁶JSC «Central Design Bureau of Apparatus Engineering», Tula, Russia

(Received January 24, 2022)

Abstract

The effective interaction between humans and robotic devices is designed to provide a timely response to potentially dangerous situations arising in complex environments. One example is the use of Unmanned Aerial Vehicles (UAVs) by human operators to inspect enclosed spaces. These units allow the search and identification of target objects, helping a human operator identify signs of Potentially Dangerous Situations (PDSs). At the same time in a closed (and often cluttered) space to control the emerging situations it is necessary to involve developed means of conducting spatial orientation based on Artificial Intelligence Technology, Computer Vision, 3D-visualization, Local Positioning And Navigation, etc. Despite the progress made in autonomous UAVs control, active human participation in detecting signs of PDSs is an important condition for maintaining the security of the internal environment of controlled premises. Human decision-making in situations of high uncertainty and incomplete data largely depends on means to improve his Situational Awareness (external conditions of activity) and Professional Competencies (internal conditions of activity). To form them, it is necessary to develop methodology and tools for building UAVs application scenarios to give operators the necessary user experience on simulation models in the Virtual Environment of Activity. The paper investigated the development of the Virtual Environment Systems (VES) for the implementation of UAVs application scenarios in enclosed spaces in relation to multicopters that allow both autonomous and manual control. As a result of this research, prototypes of UAVs for inspection of enclosed spaces have been identified; the prospects of quadcopters use under various PDSs scenarios have been shown; the composition of promising technologies ensuring UAVs use in enclosed environments has been described; the method of design and 3D visualization of UAVs application scenarios using the original VES (named VirSim) has been proposed. The advantages of the proposed approach to modeling the use of UAVs in PDSs are the multivariate scenarios of operators' activities, which contributes to the accumulation of user experience of human interaction with flying robots.

Key words

Enclosed spaces, potentially dangerous situations, unmanned aerial vehicles, multicopters, automatic and manual control, virtual environments systems, activity scenarios.

Введение

Вопросы применения технологий виртуальных иммерсивных сред для профессиональной подготовки и моделирования деятельности операторов в аварийных ситуациях находятся в фокусе внимания исследователей, и по-прежнему актуальны [1-4]. В практической плоскости эта проблема решается построением тренажеров и имитационных моделей на базе технологий виртуальной и дополненной реальности (англ.: AR&VR), которые обеспечивают безопасность процесса обучения/тренировки и точность имитации при реализации сценариев потенциально опасных ситуаций, что способствует освоению профессиональных компетенций посредством накопления пользовательского опыта. На психологическом уровне такие компетенции проявляются в актуализации ментальных схем рационального поведения в сложной обстановке, при использовании отработанных

ранее действий и навыков с порождением новых способов выявления возможных причин развития аварийной обстановки.

1. Прототипы летающих роботов и их применения в закрытой среде

Для определения характеристик, которые целесообразно воспроизвести средствами виртуальной реальности в цифровых экспериментах прогнозируемых условий реализации различных сценариев использования оператором группы БПЛА для поиска и идентификации признаков опасности, были приняты во внимание аналоги и прототипы летающих аппаратов в закрытых средах, как в наземных приложениях, так и в пилотируемых космических полетах.

По результатам поиска выявлены образцы и аналоги для выполнения виртуального прототипирования применения БПЛА в закрытой среде:

1. В области наземных приложений – это применение БПЛА типа мультикоптеров для инспекции помещений и решения задач разведки, аэрофото- и видеосъемки, оценки последствий аварий и др. [5-8].

2. В области пилотируемых космических полетов – это научные эксперименты НАСА на борту МКС со свободно летающими (автономными) аппаратами (англ.: Free-Flyers Units или FFU, Astrobee) и их предшественниками – аналогами, разной конструкции летающими аппаратами для применения при внутрикорабельной деятельности (ВнуКД) экипажей [9-14].

Особо стоит отметить неослабевающее внимание NASA и других космических агентств к проведению научных экспериментов и испытаний свободно летающих автономных аппаратов в отсеках американского сегмента (АС) МКС. Согласно литературным данным, интерес к разработке БПЛА для ВнуКД связан с поиском путей снижения затрат полетного времени экипажа на операции технического обслуживания, настройки и проверки аппаратуры и на инспекцию обстановки внутри отсеков МКС [9-10]. В этом контексте понятны усилия по разработке конструкций автономных аппаратов, которые могли бы свободно (вследствие своих малых габаритов и принципа воздушного базирования) перемещаться по станции, и при этом не требовали участия экипажа в их постоянном контроле, были способны автоматически состыковываться с зарядным устройством (а после автоматической зарядки – отстыковываться), обладали бы развитыми устройствами и сенсорами контроля рабочей среды, то есть были бы полезны при мониторинге обстановки и документировании событий на МКС.

Согласно работе [14], сегодня можно говорить о появлении исследовательской платформы для изучения возможностей робототехнической поддержки деятельности человека внутри гермообъекта с помощью аппаратов FFU Astrobee. Отмечены также направления развития этой линии – Astrobee Units для проекта NASA's «Gateway Lunar Outpost» [10, 15].

2. Методический подход к улучшению человеко-машинного взаимодействия при моделировании инспекции операторами закрытых пространств с помощью БПЛА

В общем случае повышение качества визуальной обратной связи, как наиболее надежный путь улучшения качества интерфейса «человек – робот» должно быть направлено на расширение зрительного контроля и обеспечение своевременного «подключения» операторов к управлению летающими роботами при обнаружении риска коллизий на основе оперативно получаемых данных об их позиционировании и, тем самым, на существенное улучшение

взаимодействия в команде на основе единой трактовки событий и единой интерпретации информационных сообщений.

Восприятие сложной зрительной сцены, как правило, зависит от следующих условий [16]:

- в какой системе координат ведется определение местоположения аппарата;
- каким образом соотносятся траектории движения аппарата в рабочем пространстве с целевым объектом контроля.

Из этого положения вытекают требования обеспечить оператору:

- возможность изменять точку обзора в соответствии с задачей мониторинга;
- доступ к информации о пространственном положении БПЛА относительно окружающей среды;
- передачу видеопотока с учетом ориентации аппаратов в пространстве;
- селективный доступ к отображенной информации с возможным запоминанием текущих данных для последующего сравнения;
- выделение методами инженерной психологии значимой информации для привлечения внимания оператора.

Таким образом, при проведении цифровых экспериментов с моделированием перемещений БПЛА внутри помещений предлагается применять сценарий, в котором динамически обновляются актуальные знания о состоянии внутренней среды по итогам происходящих событий и/или по «вводным исходным данным» от постановщиков экспериментов и/или методистов обучения.

Рассмотрим особенности разработки сценариев применения мультикоптеров на базе разработанной оригинальной системы виртуального окружения (СВО) VirSim. В интересах методического и информационного обеспечения формирования компетенций в виртуальной среде в настоящей работе выполнено исследование, позволившее адаптировать ранее созданные программные средства для моделирования применения квадрокоптера, как одного из видов БПЛА, допускающего различные режимы управления и навигации в условиях гермообъекта.

Большинство из требуемых компонент СВО VirSim для решения задач, поставленных темой данного исследования, было разработано ранее применительно к реализации в составе имитационно-тренажерных комплексов и достаточно детально представлено в работе [17].

Применительно к задачам настоящего исследования потребовались разработать новые компоненты СВО для имитации режимов автоматического, супервизорного и ручного управления БПЛА типа квадрокоптеров, которые были интегрированы в состав модифицированной СВО VirSim.

Как показал опыт, применяемые СВО должны обеспечивать решение следующих задач моделирования рабочей среды, связанных с перемещением летательных аппаратов:

- 3D конструирования и высоко реалистичного визуального воспроизведения внутренних интерьеров (возможно, перестраиваемой) внутренней среды помещения;
- отработки сценариев инспекции рабочей среды с помощью мобильных аппаратов и способов построения дистанционного управления и локальной навигации на принципах человеко-ориентированного распределения функций.

При этом в рамках разработки новых модулей имитационного моделирования в составе СВО VirSim сформированы компоненты, ответственные за:

- интерактивное априорное планирование маршрутов бесконфликтных перемещений БПЛА и циклограммы работ каждого отдельного аппарата в каждой заранее выделенной локации, включая генерацию отчета о прохождении опорных точек по маршруту движения;
- автоматическое управление полётом одиночного БПЛА или группы БПЛА согласно предписанному маршруту в отведенный период времени с генерацией представления маршрута на 2D электронной карте;
- автоматическую генерацию отчетов и срочных сообщений пользователю о невозможности дальнейшего перемещения из-за риска коллизий с автоматическим переводом в состояние ожидания дальнейших команд пользователя;
- автоматический перевод всех аппаратов в состояние ожидания дальнейших команд пользователя (ситуация «Всем стоп!») при нестандартном развитии событий;
- переключение из режима автоматического управления в режим ручного пилотирования;
- автоматическое выполнение предписанных планами траекторий движения в заданную пользователем локацию из текущего положения конкретного аппарата;
- работу систем автоматического, супервизорного и ручного управления;
- работу систем локального позиционирования и навигации БПЛА;
- сбор и передачу данных для отображения информации с бортовых систем БПЛА;
- генерацию 3D представления интерьера и синхронизацию отображения с местоположением конкретного аппарата на 2D электронной карте рабочей среды;
- синхронизацию данных электронных карт и видеопотока в многопортовом режиме на системе отображения информации;
- автоматическое выполнение задач обнаружения и облёта препятствий с индикацией этих событий

на символно-цифровом дисплее для оператора;

- автоматическое предотвращение коллизий посредством приостановки движения конфликтующих за ресурсы доступного пространства аппаратов, подачу сигналов опасного сближения и ожидание команд пользователя.

По результатам исследования для программного комплекса VirSim были созданы модели автоматического управления БПЛА с переходом в ручной режим пилотирования для обследования закрытых пространств. Теория вопроса изложена в работах [11, 18], в которых показано, каким образом может осуществляться управление движением квадрокоптера.

3. Возможности СВО для моделирования режимов навигации и управления квадрокоптером

При дальнейшем освещении данного круга вопросов принимается существенное условие постоянного участия человека в коррекции постановки задач и задании условий на позиционирование и локальную навигацию летающих роботов. Один из принципиально важных вопросов построения человеко-машинных интерфейсов состоит в том, каким образом оператор может обучить мобильного робота ориентированию, организовать построение точной 3D модели внутренней среды помещений (с учетом возможного текущего изменения расположения в них объектов), конкретизировать маршруты перемещения и точки контроля.

В типичном варианте построения системы отображения информации на рабочем месте оператора распространенные типы интерфейсов сочетают отображение видео в реальном времени с одновременным двухмерным отображением электронной карты, позволяющей пользователям выполнять ручное управление, если проблемы возникают в процессе навигации по путевым точкам [12, 19].

В настоящей работе для навигации и управления квадрокоптером был принят ряд упрощающих предположений об автономной локальной навигации БПЛА.

В частности, исходя из данных проектирования конструкции гермообъекта предполагается, что:

- имеется точная пространственная модель внутренней среды помещений, по которой можно заранее построить сеть опорных точек для разрешенных маршрутов летающих аппаратов, что необходимо для локальной навигации;
- дополнительно предусмотрены средства для локального позиционирования БПЛА, также размещенные в заранее известных 3D координатах;
- летающие аппараты имеют оборудование, позволяющее считывать маркеры различного типа для локального позиционирования;
- имеется встроенное оборудование на самом

аппарате, позволяющее контролировать расход энергии как операторам (в дистанционном режиме), так и программам низкого уровня на аппаратах для завершения сеанса перемещения;

– имеется встроенное оборудование на самом аппарате, позволяющее обнаруживать присутствие человека и оповещать его при сближении на критически опасную дистанцию;

– имеется информационная поддержка режимов планирования маршрутов БПЛА и составления расписания на плановый период активности.

По последнему пункту требуется небольшое уточнение. Предлагается способ формализации задания конструкторов специального вида – скриптов, с помощью которых можно практически полностью описать режимы автоматического локального позиционирования и навигации. Каждый замкнутый маршрут перемещения имеет идентификатор для хранения в базе данных и представляет собой связанный набор опорных точек в 3D пространстве, посредством линейного перемещения между которыми аппарат выполняет маршрутную часть задания. Некоторые точки имеют дополнительные признаки, а именно, идентификацию локаций, в которых аппарат должен выполнять определенные виды работ. Такими операциями могут быть причаливание и стыковка с зарядной станцией, выполнение фото и киносъемки, передача инструментальных данных измерений состояния бортовой аппаратуры с точной привязкой по времени конкретных операций циклограммы работ и др.

Исходя из перечисленных посылок, специалистами НИИСИ РАН решались вопросы 3D-моделирования квадрокоптера, 3D-моделирования пульта управления для ручного управления, имитационные модели ручного управления движением квадрокоптера с этого пульта и др. [20].

Обсуждение и заключение

Из результатов проведенного исследования следует возможность виртуального воспроизведения на цифровой платформе (с помощью имитационных моделей и систем визуализации) сложной рабочей обстановки с демонстрацией режимов, каким образом летающие аппараты способны не только в плановом порядке выполнять осмотр и документирование состояния целевых объектов поиска и инспекции, но и перестраивать порядок проводимых ими

инспекционных работ по предписаниям операторов.

Главный итог этого исследования состоит в демонстрации возможности реалистичного виртуального 3D представления внутренней среды помещения при наблюдении в системе координат внешнего наблюдателя и при отображении видеопотока с видеокамер робота в системе координат, связанной с контролируемым мобильным объектом. Эта возможность существенным образом улучшает пространственно-ситуационную осведомленность оператора, необходимую для быстрой ориентировки в происходящих событиях и своевременного осознания угроз и рисков непредвиденного развития событий по начальным признакам изменения обстановки в ходе мониторинга.

Выводы

1. Для исследования сложной междисциплинарной проблемы совершенствования методов и средств обеспечения безопасности человека при возникновении потенциально опасных ситуаций в закрытых пространствах выбор имитационного моделирования является одним из лучших вариантов изучения сценариев применения БПЛА с помощью иммерсивных виртуальных сред.

2. Современное состояние разработок БПЛА свидетельствует о существенном прогрессе в области разработки средств автоматической локальной навигации и управления. При этом, с точки зрения человеко-ориентированной концепции распределения функций, важно предусматривать возможность оперативного вмешательства человека в вопросы организации и планирования инспекции и контроля, в частности, при непредвиденных опасных ситуациях.

3. Моделирование сценариев опознания признаков возникновения и развития потенциально опасных ситуаций в иммерсивной виртуальной среде может стать методической базой для формирования у оператора способности адекватного реагирования и рационального принятия решений в нестандартных условиях применения БПЛА в закрытых пространствах. Это дает возможность достижения высоких уровней готовности человека эффективно применять цифровые технологии для поддержки живучести закрытых (в том числе, герметически замкнутых) объектов и безопасности функционирования сложных эргатических систем.

Литература

1. Сергеев С.Ф. Обучающие и профессиональные иммерсивные среды / С.Ф. Сергеев. – Москва: Народное образование, 2009. – 432 с. – Текст: непосредственный.
2. Сергеев С.Ф. Человеческий фактор в самолетах 6-го поколения: проблемы техносимбиоза / С.Ф. Сергеев // Мехатроника, автоматизация, управление. – 2018. – Т. 19. – № 12. – С. 806-811. – DOI: 10.17587/mau.19.806-811 (дата обращения: 10.06.2022). – Текст: электронный.
3. Виртуальные среды обучения в задачах освоения Луны с помощью роботов / С.Ф. Сергеев [и др.] // Ро-

бототехника и техническая кибернетика. – 2020. – Т. 8. – № 3. – С. 165-174. – DOI: 10.31776/RTCJ.8301 (дата обращения: 10.06.2022). – Текст: электронный.

4. Компьютерное моделирование жизнеугрожающих ситуаций и проведения аварийно-спасательных, медицинских и эвакуационных мероприятий на лунной базе / А.В. Поляков [и др.] // *Авиакосмическая и экологическая медицина*. – 2019. – Т. 53. – № 3. – С. 13-19. – DOI: 10.21687/0233-528X-2019-53-3-13-19 (дата обращения: 10.06.2022). – Текст: электронный.

5. О возможности использования робототехнических летательных аппаратов при выполнении оперативного плана ликвидации аварии на шахтах / М.Л. Ким [и др.] // *Уголь*, 2018. – № 1. – С. 34-38. – Текст: непосредственный.

6. Система автоматического управления траекторным движением шахтного беспилотного летательного аппарата / М.Л. Ким [и др.] // *Горная промышленность*. – 2019. – № 3 (145). – С. 60-64. – DOI: 10.30686/1609-9192-2019-3-145-60-64 19 (дата обращения: 10.06.2022). – Текст: электронный.

7. Адамов А.П. Анализ эксплуатации мультикоптеров с позиции надежности и безопасности / А.П. Адамов // *Надежность и качество сложных систем*. – 2017. – № 3 (19). – С. 86-93. – Текст: непосредственный.

8. Архипов О.П. Алгоритм обследования замкнутого помещения автономным мобильным роботом / О.П. Архипов [и др.] // *Системы и средства информатики*. – 2018. – Т. 28. – Вып. 4. – С. 10-21. – DOI: 10.14357/08696527180402 (дата обращения: 10.06.2022). – Текст: электронный.

9. Smart SPHERES: a Telerobotic Free-Flyer for Intravehicular Activities in Space / Fong T. [et al.] // *In AIAA Space 2013 Conference and Exposition*, pp. 5338-5352, San Diego, CA, USA. – DOI: 10.2514/6.2013-5338 (дата обращения: 10.06.2022). – Text: electronic.

10. Astrobees: A New Platform for Free-Flying Robotics Research on the International Space Station: [2016 Conference: Proc. Int. Symp. on AI, Robotics, and Automation in Space (ISAIRAS)] / Smith T. [et al.]. – Text: electronic // *Nasa*: [site]. – URL: <https://ti.arc.nasa.gov/publications/31584/download/> (дата обращения: 01.06.2022).

11. Astrobees: A New Tool for ISS Operations: [In Proc. SpaceOps (AIAA 2018-2517)] / Bualat M. [et al.]. – Text: electronic // *Nasa*: [site]. – URL: https://www.nasa.gov/sites/default/files/atoms/files/bualat_spaceops_2018_paper.pdf (дата обращения: 01.06.2022).

12. Szafer D. Designing planning and control interfaces to support user collaboration with flying robots / Szafer D., Bilge Mutlu, Fong T. // *The International Journal of Robotics Research*, 2017, № 36, pp. 514-542. – DOI: 10.1177/0278364916688256 (дата обращения: 10.06.2022). – Text: electronic.

13. Astrobees Free-Flyers: Integrated and Tested. Ready for Launch! [In: IAF Space Systems Symposium (2019). Cooperative and Robotic Space Systems. Paper ID: 52291. IAC-19, D1,6,4, x52291] / Carlino, R. – Text: electronic // *Nasa*: [site]. – URL: <https://iafastro.directory/iac/paper/id/52291/abstract-pdf/IAC-19,D1,6,4,x52291.brief.pdf> (дата обращения: 01.06.2022).

14. Fluckiger L. Astrobees Robot Software: Enabling Mobile Autonomy on the ISS / Fluckiger L., Coltin B. – Text: electronic // *Nasa*: [site]. – URL: <https://www.nasa.gov/sites/default/files/atoms/files/fluckiger2018astrobees.pdf> (дата обращения: 01.06.2022).

15. Cognitive Architectural Control for Free-Flying Robots on the Lunar Orbital Platform-Gateway / Serrano J. [et al.] // *Proceedings: 12th International Conference, ICSR 2020, Golden, CO, USA, November 14-18, 2020, Proceedings January 2020. Lecture Notes in Computer Science*. – DOI:10.1007/978-3-030-62056-1 (дата обращения: 10.06.2022). – Text: electronic.

16. Бубеев Ю.А. Способность оператора к ведению пространственной ориентировки при дистанционном управлении беспилотными аппаратами в виртуальной среде / Ю.А. Бубеев [и др.] // *Авиакосмическая и экологическая медицина*. – 2021. – Т. 55. – № 3. – С. 16-27. – DOI: 10.21687/0233-528X-2021-55-3-16-27 (дата обращения: 10.06.2022). – Текст: электронный.

17. Михайлюк М.В. Система виртуального окружения VirSim для имитационно-тренажерных комплексов подготовки космонавтов / М.В. Михайлюк [и др.] // *Пилотируемые полеты в космос*. – 2020. – № 4(37). – С. 72-95. – DOI: 10.34131/MSF.20.4.72-95 27 (дата обращения: 10.06.2022). – Текст: электронный.

18. Bouabdallah S. Design and Control of quadrotors with application to autonomous flying // *MSc thesis, Dept. Autonomous system Eng., Aboubekr Belkaid Univ. Tlemcen, Algérie Université Belkaid*. – DOI:10.5075/epfl-thesis-3727 (дата обращения: 10.06.2022). – Text: electronic.

19. Obstacle Detection and Navigation Planning for Autonomous Micro Aerial Vehicles / Nieuwenhuisen M. [et al.] // *2014 International Conference on Unmanned Aircraft Systems, ICUAS 2014*, pp. 1040-1047. – DOI: 10.1109/ICUAS.2014.6842355 (дата обращения: 10.06.2022). – Text: electronic.

20. Страшнов Е.В. Моделирование режимов полета квадрокоптера в системах виртуального окружения / Е.В. Страшнов, И.Н. Мироненко, Л.А. Финагин // *Информационные технологии и вычислительные системы*. – 2020. – № 1. – С. 85-94. – Текст: непосредственный.

References

1. Sergeev, S.F., 2009. *Obuchayushchie i Professional'nye Immersivnye Sredy [Educational and Professional Immersive Environments]*. Moscow: Narodnoe obrazovanie Publ., p.432. (in Russian).
2. Sergeev, S.F., 2018. Helovecheskiy faktor v samoletah 6-go pokoleniya: problemy tekhnosimbioza [The human factor in the aircraft of the 6th generation: problems technosymbiosis]. *Mekhatronika, Avtomatizatsiya, Upravlenie [Mechatronics, Automation, Control]*, 19(12), pp.806-811. DOI: 10.17587/mau.19.806-811. (in Russian).
3. Sergeev, S.F. et al., 2020. Virtual'nye sredy obucheniya v zadachah osvoeniya Luny s pomoshch'yu robotov [Virtual learning environments in the tasks of lunar exploration using robots]. *Robototekhnika i Tekhnicheskaya Kibernetika [Robotics and Technical Cybernetics]*, 8(3), pp.165-174. DOI: 10.31776/RTCJ.8301. (in Russian).
4. Polyakov, A.V. et al., 2019. Komp'yuternoe modelirovaniye zhizneugrozhayushchih situatsiy i provedeniya avarijno-spasatel'nyh, medicinskih i evakuatsionnyh meropriyatij na lunnoj baze [Computer simulation of life-threatening situations and rescue, medical and evacuation activities on a lunar base]. *Aviakosmicheskaya i Ekologicheskaya Meditsina [Aerospace and Environmental Medicine]*, 53(3), pp.13-19. DOI: 10.21687/0233-528X-2019-53-3-13-19. (in Russian).
5. Kim, M.L. et al., 2018. O vozmozhnosti ispol'zovaniya robototekhnicheskikh letatel'nykh apparatov pri vypolnenii operativnogo plana likvidatsii avarii na shahtah [On the possibility of using robotic aircraft in the implementation of the operational plan for the elimination of an accident in mines]. *Ugol' [Coal]*, 1, pp.34–38. (in Russian).
6. Kim, M.L. et al., 2019. Sistema avtomaticheskogo upravleniya traektornym dvizheniem shahtnogo bespilotnogo letatel'nogo apparata [Automatic trajectory motion control system for mine unmanned aircrafts]. *Gornaya promyshlennost' [Mining]*, 3(145), pp.60-64. DOI: 10.30686/1609-9192-2019-3-145-60-64. (in Russian).
7. Adamov, A.P., 2017. Analiz ekspluatatsii mult'kopterov s pozitsii nadezhnosti i bezopasnosti [Analysis of the operation of multicopters from the standpoint of reliability and safety]. *Nadezhnost' i Kachestvo Slozhnykh Sistem [Reliability and Quality of Complex Systems]*, 3(19), pp.86–93. (in Russian).
8. Arkhipov, O. et al., 2018. Algoritm obsledovaniya zamknutogo pomeshcheniya avtonomnym mobil'nym robotom [Enclosed room exploration algorithm for an autonomous mobile robot]. *Sistemy i Sredstva Informatiki [Systems and Means of Informatics]*, 28(4), pp.10–21. DOI: 10.14357/08696527180402. (in Russian).
9. Fong, T. et al., 2013. Smart SPHERES: a telerobotic free-flyer for intravehicular activities in space. In: *AIAA Space 2013 Conference and Exposition*, pp.5338–5352. DOI: 10.2514/6.2013-5338.
10. Smith, T. et al., 2016. Astrobee: A new platform for free-flying robotics research on the international space station. In: *Proc. Int. Symp. on AI, Robotics, and Automation in Space (ISAIRAS)*. Available at: <<https://ti.arc.nasa.gov/publications/31584/download/>> (Accessed 01 June 2022).
11. Bualat, M., et al., 2018. Astrobee: A new tool for ISS operations. In: *Proc. SpaceOps (AIAA 2018-2517)*. Available at: <https://www.nasa.gov/sites/default/files/atoms/files/bualat_spaceops_2018_paper.pdf> (Accessed 01 June 2022).
12. Szafir, D., et al., 2017. Designing planning and control interfaces to support user collaboration with flying robots. *The International Journal of Robotics Research*, 36, pp.514–542. DOI: 10.1177/0278364916688256.
13. Carlino, R., 2019. Astrobee free-flyers: integrated and tested. ready for launch! In: *IAF Space Systems Symposium. Cooperative and Robotic Space Systems*. Available at: <<https://iafastro.directory/iaac/paper/id/52291/abstract-pdf/IAAC-19,D1,6,4,x52291.brief.pdf>> (Accessed 01 June 2022).
14. Fluckiger, L. and Coltin, B., 2019. *Astrobee Robot Software: Enabling Mobile Autonomy on the ISS*. Available at: <<https://www.nasa.gov/sites/default/files/atoms/files/fluckiger2018astrobee.pdf>> (Accessed 01 June 2022).
15. Serrano, J. et al., 2020. Cognitive architectural control for free-flying robots on the lunar orbital platform-gateway. In: *Proceedings: 12th International Conference, ICSR 2020*. DOI:10.1007/978-3-030-62056-1.
16. Bubeev, Yu.A. et al., 2020. Sposobnost' operatora k vedeniyu prostranstvennoj orientirovki pri distantsionnom upravlenii bespilotnymi apparatami v virtual'noj srede [The ability of the operator to maintain spatial orientation during remote control of unmanned aerial vehicles in a virtual environment]. *Aviakosmicheskaya i Ekologicheskaya Meditsina [Aerospace and Environmental Medicine]*, 55(3), pp.16-27. DOI: 10.21687 / 0233-528X-2021-55-3-16-27. (in Russian).
17. Mikhayluk, M.V. et al., 2020. Sistema virtual'nogo okruzheniya VirSim dlya imitacionno-trenazhernykh kompleksov podgotovki kosmonavtov [VirSim virtual environment system for simulated cosmonaut training complexes]. *Pilotiruemye Polety v Kosmos [Manned Spaceflights]*, 4(37), pp.72-95. DOI: 10.34131/MSF.20.4.72-95. (in Russian).
18. Bouabdallah, S., 2007. *Design and Control of Quadrotors with Application to Autonomous Flying*. MSc, Dept. Autonomous system Eng., Aboubekr Belkaid Univ. Tlemcen, Algérie Université Belkaid. DOI:10.5075/epfl-thesis-3727.
19. Nieuwenhuisen, M., et al., 2014. Obstacle detection and navigation planning for autonomous micro aerial vehicles. In: *2014 International Conference on Unmanned Aircraft Systems*, pp.1040–1047. DOI: 10.1109/ICUAS.2014.6842355.
20. Strashnov, E.V., 2020. Modelirovaniye rezhimov poleta kvadrokoptera v sistemah virtual'nogo okruzheniya [Simu-

lation of flight modes of a quadcopter in virtual environment systems]. *Informatsionnye tekhnologii i Vychislitel'nye Sistemy [Information Technologies and Computing Systems]*, 1, pp.85–94. (in Russian).

Информация об авторах

Сергеев Сергей Федорович, д.псх.н., профессор, Санкт-Петербургский Политехнический университет Петра Великого (СПбПУ), заведующий лабораторией, 195251, Санкт-Петербург, ул. Политехническая, д. 29, тел.: +7(911)995-09-29, sergeev_sf@spbstu.ru, ssfpost@mail.ru, ORCID: 0000-0002-6677-8320

Бубеев Юрий Аркадьевич, д.м.н., профессор, Государственный научный центр Российской Федерации Институт медико-биологических проблем Российской Академии наук (ГНЦ РФ ИМБП РАН), заместитель директора по научной работе, 123007, Москва, Хорошёвское шоссе, д. 76-А, стр. 4, тел.: +7(499)195-03-73, aviamed@inbox.ru

Усов Виталий Михайлович, д.м.н., профессор, ГНЦ РФ ИМБП РАН, в.н.с., 123007, Москва, Хорошёвское шоссе, д. 76-А, стр. 4, тел.: +7(910)495-48-02, khoper.1946@gmail.com, ORCID: 0000-0001-9759-3444

Михайлюк Михаил Васильевич, д.ф.-м.н., профессор, Федеральное государственное учреждение «Федеральный научный центр Научно-исследовательский институт системных исследований Российской академии наук» (ФГУ «ФНЦ Научно-исследовательский институт системных исследований РАН»), заведующий отделом, 117218, Москва, Нахимовский пр., д. 36, к. 1, тел.: +7(499)129-28-30, mix@niisi.ras.ru, ORCID: 0000-0002-7793-080X

Князьков Максим Михайлович, к.т.н., Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт проблем механики им. А.Ю. Ишлинского Российской академии наук (ИПМех РАН), с.н.с., 119526, Москва, пр. Вернадского, д. 101, к. 1, тел.: +7(495)495-434-77-66, ipm_labrobotics@mail.ru, ORCID: 0000-0002-5863-4079

Поляков Алексей Васильевич, к.м.н., ГНЦ РФ ИМБП РАН, заведующий отделом, 123007, Москва, Хорошёвское шоссе, д. 76-А, стр. 4, тел.: +7(916)131-80-85, apolyakov@imbp.ru

Мотиенко Анна Игоревна, к.т.н., Федеральное государственное бюджетное учреждение науки «Санкт-Петербургский Федеральный исследовательский центр Российской академии наук» (СПб ФИЦ РАН), с.н.с., 199178, Санкт-Петербург, 14-я линия В.О., д. 39, anna.gunchenko@gmail.com, ORCID: 0000-0002-0315-9485

Хомяков Александр Викторович, к.т.н., АО «Центральное конструкторское бюро аппаратостроения», генеральный директор, 300034, г. Тула, ул. Демонстрации, д. 36, тел.: +7(4872)55-40-90, cdbae@cdbae.ru

Information about the authors

Sergey F. Sergeev, Doctor of Psychological Science, Professor, Peter the Great Saint Petersburg Polytechnical University (SPbPU), Head of Laboratory, 29, Politekhnicheskaya ul., Saint Petersburg, 195251, Russia, tel.: +7(911)995-09-29, sergeev_sf@spbstu.ru, ssfpost@mail.ru, ORCID: 0000-0002-6677-8320

Yuri A. Bubeev, Doctor of Medical Science, Professor, Institute of Biomedical Problems (IBMP), Deputy Director for Science, building 4, 76-A, Khoroshevskoe shosse, Moscow, 123007, Russia, tel.: +7(499)195-03-73, aviamed@inbox.ru

Vitaly M. Usov, Doctor of Medical Science, Professor, IBMP, Leading Research Scientist, building 4, 76-A, Khoroshevskoe shosse, Moscow, 123007, Russia, tel.: +7(910)495-48-02, khoper.1946@gmail.com, ORCID: 0000-0001-9759-3444

Mikhail V. Mikhaylyuk, Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Professor, Scientific Research Institute for System Analysis of the Russian Academy of Sciences, Head of Department, 36-1, Nakhimovsky pr., Moscow, 117218, Russia, tel.: +7(499)129-28-30, mix@niisi.ras.ru, ORCID: 0000-0002-7793-080X

Maxim M. Knyazkov, PhD in Technical Sciences, Ishlinsky Institute for Problems in Mechanics of the Russian Academy of Sciences (IPMech RAS), Senior Research Scientist, 101-1, pr. Vernadskogo, Moscow, 119526, Russia, tel.: +7(495)495-434-77-66, ipm_labrobotics@mail.ru, ORCID: 0000-0002-5863-4079

Alexey V. Polyakov, PhD in Medical Sciences, IBMP, Head of Department, building 4, 76-A, Khoroshevskoe shosse, Moscow, 123007, Russia, tel.: +7(916)131-80-85, apolyakov@imbp.ru

Anna I. Motienko, PhD in Technical Sciences, Saint Petersburg Federal Research Center of the Russian Academy of Sciences, Senior Research Scientist, 39, 14 line V.O., Saint Petersburg, 199178, Russia, anna.gunchenko@gmail.com, ORCID: 0000-0002-0315-9485

Alexandr V. Khomyakov, PhD in Technical Sciences, JSC «Central Design Bureau of Apparatus Engineering», General Director, 36, ul. Demonstracii, Tula, 300034, Russia, tel.: +7(4872)55-40-90, cdbae@cdbae.ru