

ПОЖАРНАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ

Научная статья

УДК 614.841.41; DOI: 10.61260/1998-8990-2025-1-136-145

АСПЕКТЫ БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ РАЗРАБОТКЕ КАНАЛА ДИСТАНЦИОННОГО РАДИОУПРАВЛЕНИЯ РОБОТИЗИРОВАННЫМ АЭРОДРОМНЫМ АВИАТОПЛИВОЗАПРАВЩИКОМ

Задорожный Анатолий Михайлович.

Акционерное общество «Корпорация тактическое ракетное вооружение»,
г. Ахтубинск, Россия.

Тепловодский Александр Владимирович.

Государственный летно-испытательный центр им. В.П. Чкалова
(ГЛИЦ им. В.П. Чкалова) Минобороны России, г. Ахтубинск, Россия.

✉ Гетманцев Алексей Юрьевич.

Государственный летно-испытательный центр им. В.П. Чкалова
(ГЛИЦ им. В.П. Чкалова) Минобороны России;
Филиал «Взлет» Московского авиационного института (технического университета),
г. Ахтубинск, Россия

✉ tomatens@mail.ru

Аннотация. Рассмотрены способы повышения безопасности при роботизации высокоопасного технологического процесса – заправки воздушных судов авиационным топливом. Основное внимание уделено факторам обеспечения безопасной эксплуатации роботизированного авиатопливозаправщика при управлении им по помехоустойчивому радиоканалу. Приведены положения, которые должны учитываться при формировании тактико-технических требований к радиосистеме управления и ее узлам для снижения рисков. Отдельное внимание уделено системе молниезащиты роботизированного авиатопливозаправщика, которая является критическим элементом из-за наличия на нем антенн высотой 2–3 м. Показана усовершенствованная структурная схема радиоканала управления целевым оборудованием роботизированного авиатопливозаправщика при выполнении задач по функциональному назначению.

Ключевые слова: пожарная безопасность, безопасность заправки топливом, роботизированный авиатопливозаправщик, радиоуправление, помехоустойчивое кодирование

Для цитирования: Задорожный А.М., Тепловодский А.В., Гетманцев А.Ю. Аспекты безопасности при разработке канала дистанционного радиоуправления роботизированным аэродромным авиатопливозаправщиком // Проблемы управления рисками в техносфере. 2025. № 1 (73). С. 136–145. DOI: 10.61260/1998-8990-2025-1-136-145.

Scientific article

SAFETY ASPECTS IN THE DEVELOPMENT OF A REMOTE RADIO CONTROL CHANNEL FOR A ROBOTIC AIRFIELD AIR TANKER

Zadorozhny Anatoly M.

Joint stock company «Tactical missile weapons corporation», Akhtubinsk, Russia.

Teplovodsky Alexander V.

V.P. Chkalov state flight test center (V.P. Chkalov GLITZ) of Ministry of Defense of the Russian Federation, Akhtubinsk, Russia.

✉Getmantsev Alexey Yu.

V.P. Chkalov state flight test center (V.P. Chkalov GLITZ) of Ministry of Defense of the Russian Federation, Akhtubinsk, Russia;

Branch «Take-off» of the Moscow aviation institute (technical university), Akhtubinsk, Russia

✉tomamens@mail.ru

Abstract. The article discusses ways to improve safety during the robotization of a highly hazardous technological process – refueling aircraft with aviation fuel. The main attention is paid to the conditions for ensuring the safe operation of a robotic aircraft tanker when controlling it via an interference-resistant radio channel. The provisions that should be taken into account when forming tactical and technical requirements for the radio control system and its nodes to reduce risks are given. Special attention is paid to the robotic aircraft tanker lightning protection system, which is a critical element due to the presence of 2–3 m high antennas on it. An improved block diagram of the radio channel for controlling the target equipment of the robotic aircraft tanker when performing tasks for their functional purpose is shown.

Keywords: fire safety, safety of refueling, robotic aircraft tanker, radio control, noise-resistant coding

For citation: Zadorozhny A.M., Teplovodsky A.V., Getmantsev A.Yu. Safety aspects in the development of a remote radio control channel for a robotic airfield air tanker // Problemy upravleniya riskami v tekhnosfere = Problems of risk management in the technosphere. 2025. № 1 (73). P. 136–145. DOI: 10.61260/1998-8990-2025-1-136-145.

Введение

Эволюционный процесс замены ручного труда на автоматизированные или полностью автоматические технологические процессы активно реализуется путем роботизации производственных операций. Автоматизация имеет приоритетное значение для повышения безопасности работ, выполняющихся во вредных условиях, с большой степенью ответственности, монотонных или повторяющихся, с высоким риском травмирования или гибели людей, а также не допускающих применения ручного труда из-за высокой стоимости устранения ошибок оператора.

Все операции по добыче, переработке, передаче и использованию нефтепродуктов, в том числе специальных топлив и масел, являются высокоопасными процессами. Полная автоматизация и роботизация движения (перемещения) авиационных нефтепродуктов, их учета на всех этапах технологической цепочки: от первичного приема на склад с нефтеперерабатывающего завода до выдачи «в крыло» воздушного судна (ВС) является актуальной задачей [1] («ГАЗПРОМ НЕФТЬ» представила первый роботизированный топливозаправочный комплекс». URL: <http://www.gazprom-neft.ru/press-center/news/gazprom-neft-predstavila-pervyy-robotizirovannyy-toplivozaprovochnyy-kompleks/>). Автоматизированная система управления технологическим процессом топливозаправочного комплекса (АСУТП ТЗК), которая создается в аэропортах России, должна обеспечивать безопасность и связать в единое информационно-управляющее поле все оборудование ТЗК, включая мобильные средства заправки. До настоящего времени, однако, не решен технический вопрос роботизации самого

момента заправки ВС авиатопливом как в случае использования топливораздаточных колонок на местах стоянки ВС, так и при использовании авиатопливозаправщиков (мобильных заправочных цистерн на автомобильном шасси). При заправке ВС привлекаются пожарные расчеты для пресечения возможности возгорания топлива. Дополнительные риски создает объективное стремление минимизировать время заправки ВС путем использования насосов большого давления и заправочных устройств повышенного сечения.

Автоматическое взвешивание передаваемого топлива должно проводиться перед каждым вылетом ВС для определения его центровочных характеристик. Они являются критическими с точки зрения безопасности при взлете, полете и посадке, при применении целевого оборудования ВС. Объемные счетчики топлива имеют существенную погрешность измерения массы из-за различной плотности топлива в зависимости от температуры. Высокоточная заправка ВС является сложным и опасным технологическим процессом, требующим роботизации, однако до сих пор автоматические автономные роботизированные системы заправки являются единичными [2–5]. Потребность внедрения безопасных технологий и средств радиоуправления роботизированными комплексами определяет высокую актуальность статьи. Внедрение элементов цифровой радиотехники при роботизации авиатопливозаправщиков обуславливает новизну и практическую направленность исследования [6–8].

Материалы и методы исследования

Объектом исследования в данной статье являются дистанционно-управляемые роботизированный авиатопливозаправщики (РАТЗ) (рис. 1) для обслуживания пилотируемых и беспилотных ВС.

Предмет исследования – аспекты безопасности при разработке командной радиолинии управления РАТЗ с наземного пункта управления (НПУ).

Методы исследования:

- анализ современных технологий заправки ВС авиатопливом и синтез способов радиоуправления РАТЗ;
- выбор оптимальной структуры радиоуправления с повышенными требованиями безопасности к антенно-фидерным устройствам по молниезащите.



Рис. 1. Пример использования РАТЗ для заправки беспилотного летательного аппарата производства Pelican Cargo (<https://www.flyurka.com/pelican-cargo>)

Основные элементы РАТЗ:

- робот-манипулятор, который вставляет заправочное устройство с требуемой скоростью и точностью по заранее определенной траектории в открытое топливоприемное устройство самолета (рис. 2) по шести координатам (трем линейным и трем угловым);

- топливораздаточный узел с топливным и дренажным насосами;
- самоходное автомобильное шасси (при заправке ВС без топливораздаточной колонки), движение которого синхронизируется с цифровой картой аэродрома [9].

Для управления всеми этими элементами применяется один радиоканал.

Робот-манипулятор – это вид промышленных роботов с функциями движения, аналогичными функциям человеческой руки. Сегменты (звенья) манипулятора имеют соединения, допускающие вращательное или поступательное движение.

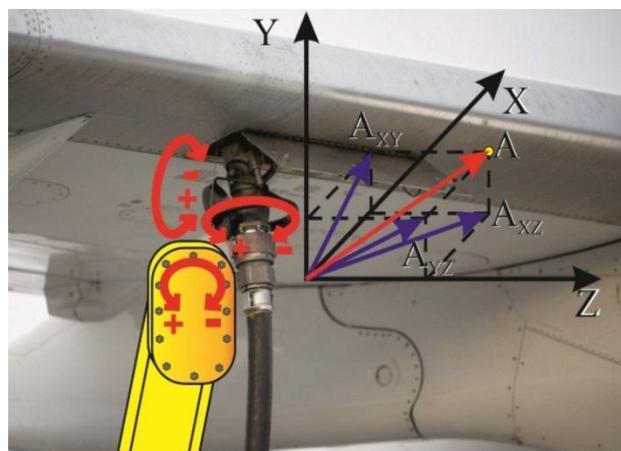


Рис. 2. Примеры возможных смещений и поворотов исполнительного устройства на заданные углы в местной системе координат

К роботам-манипуляторам предъявляются типовые требования [5, 10]:

- непрерывная повторяемость сложных задач в течение долгого времени без частых остановок в работе для технического обслуживания, ремонта, восполнения расходных материалов;
- радиус рабочей зоны больше метра;
- полезная нагрузка – несколько единиц или десятков килограммов;
- высокая точность наведения исполнительного устройства манипулятора (захват, мягкий зажим);
- возможность точного функционирования во вредных или опасных условиях без необходимости участия человека;
- удобство и легкость перенастройки на новые технологические операции.

Для выполнения указанной задачи целесообразно использовать шестизвездный робот-манипулятор на самоходном автомобильном шасси, которое должно быть сориентировано относительно заправляемого ВС по четырем координатам (трем линейным и углу курса).

Управление РАТЗ осуществляется либо автоматизировано при помощи выносного пульта управления, либо полностью в автоматическом режиме в соответствии с цифровой картой аэродрома. Тем самым снижается риск подвергнуть опасности здоровье и жизнь человека.

В настоящее время действуют стандарты ГОСТ Р 18.12.01–2015 «Технологии авиатопливообеспечения. Функциональные и технологические параметры автотопливозаправщиков (топливозаправщиков) аэродромных. Требования заказчика» и ГОСТ Р 60.1.2.2–2016/ИСО 10218-2: 2011 «Роботы и робототехнические устройства. Требования по безопасности для промышленных роботов. Часть 2. Робототехнические системы и их интеграция», в которых не нашли свое отражение рассматриваемые ниже аспекты безопасности.

В данной статье не рассматриваются вспомогательные системы, контролирующие по независимым радиоканалам работу РАТЗ: система технического зрения; интеллектуального анализа видеоданных и машинного обучения; система измерения расстояний до объектов лидарами; система измерения массы переданного топлива; приемник

спутниковой навигационной системы, датчики расхода топлива, датчики исправности аппаратуры и т.д., так как считается, что дистанционное управление РАТЗ осуществляется оператором, а перечисленные системы серийно выпускаются и хорошо изучены.

Таким образом, для РАТЗ требуется управление по десяти параметрам (в положительную или в отрицательную сторону относительно текущего положения), а также управление векторами скорости:

- автомобильной платформы (не менее четырех параметров – скорость движения вперед-назад, скорость поворота вправо-влево отдельно колес передней и отдельно задней оси);
- изменения координат топливораздаточного узла (не менее шести воздействующих параметров);
- режимом работы топливно-дренажной системы (не менее четырех управляющих параметров).

Общее количество параметров, подлежащих передаче через систему радиоуправления, не менее 24.

Результаты исследования и их обсуждение

Предполагается, что окончательными получателями информации системы радиоуправления РАТЗ являются искробезопасные шаговые двигатели (ШД). Вал ШД поворачивается на определенный угол в зависимости от количества поступивших кодовых импульсов следующей полярности: если положительной, то поворот вала происходит на дискретный угол против часовой стрелки, если отрицательной – то по часовой стрелке. Для точного управления ШД используется управляющая плата – контроллер, датчик угла поворота вала – энкодер, а для увеличения допустимой нагрузки, с которой ШД может работать, и повышения точности перемещения манипулятора – понижающий редуктор.

На рис. 3 приведена структурная схема управления РАТЗ.

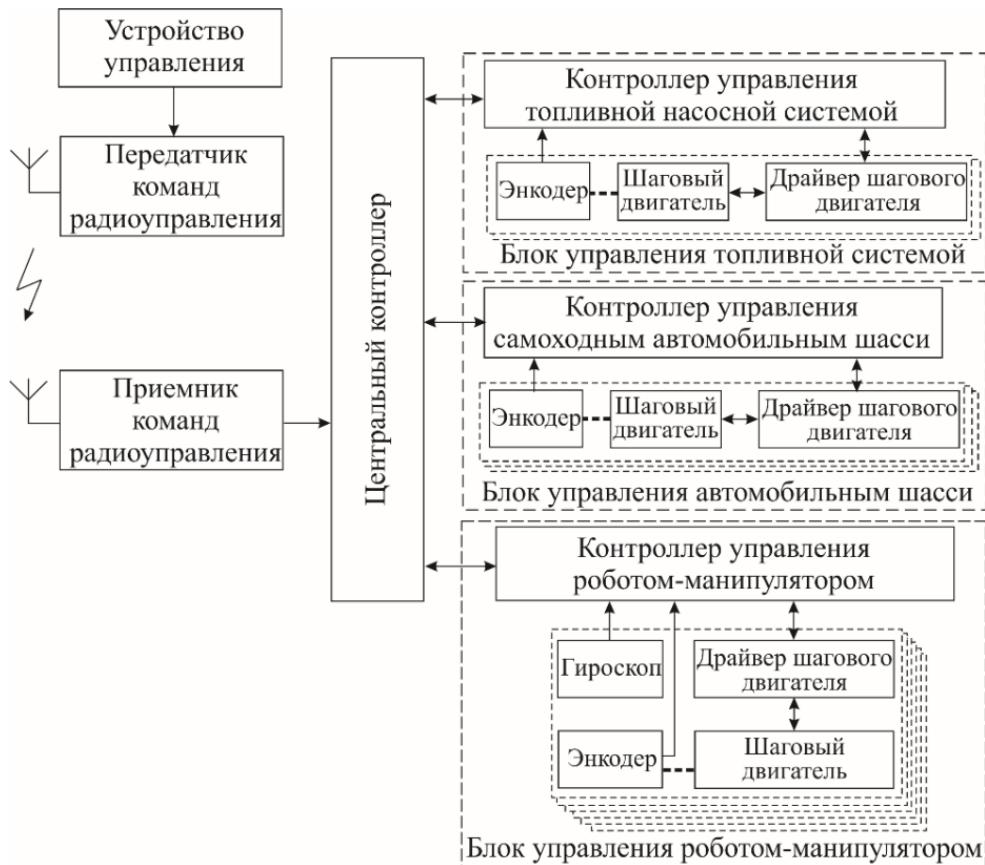


Рис. 3. Структурная схема управления РАТЗ

Основные способы повышения уровня безопасности, которые должны быть реализованы при разработке командной радиолинии управления РАТЗ:

1. Применение радиоканала с высоким уровнем помехоустойчивого кодирования данных и информативностью, обеспечивающей требуемую точность управления элементами РАТЗ в реальном времени [11, 12]. Радиоканал, в отличие от других способов передачи команд управления, обладает большими преимуществами: радиус применения РАТЗ не ограничен длиной проводов и в соответствии с типовыми размерами аэродромов может составлять более 20 км, радиолинии нечувствительны к пыли, туману, предметам на линии визирования. К недостаткам радиолинии управления следует отнести восприимчивость к радиопомехам, уровень которых является высоким в районе аэропорта по причине большого количества применяемых радиолокационных, радионавигационных или радиосвязных систем. Для минимизации радиопомех используются помехоустойчивые коды, цифровые сертификаты или криптозащита. Для недопущения снижения отношения сигнал/шум применяется помехоустойчивое кодирование, например, кодом Боудза-Чоудхури-Хоквингема (БЧХ). Так, код БЧХ (15,7) содержит на каждые 7 информационных бит 8 проверочных бит, и общая длина после помехоустойчивого кодирования становится равной 15 бит. Исходя из этого, кодовая посылка из 210 бит, необходимая для передачи адреса и 24 восьмибитных параметров с датчиков НПУ, разбивается на фрагменты по 7 бит, и каждый фрагмент заменяется 15-битным закодированным сообщением. Общая длина посылки после кодирования составит $N_{БЧХ}=450$ бит. При частоте опроса датчиков в 10 Гц скорость передачи информации равна 4 500 бод (бит/с). 10-битная адресация информации позволяет одновременно применять до 1 024 однотипных РАТЗ или других аэродромно-технических средств.

2. Повышение мощности передатчика для существенного снижения вероятности ошибочного приема данных, применение относительной фазовой манипуляции. Минимальная расчетная мощность передатчика $P_{ПРД\min}=0,1$ мВт. Целесообразно увеличить мощность передатчика до $P_{ПРД}=1$ Вт для повышения соотношения «сигнал/шум», снижения уровня влияния естественных или искусственных помех, имеющих место в аэропорту, тогда отношение «сигнал /шум» станет равным $h_0^2 = 354000$ раз ≈ 56 дБ.

3. Применение технологии разнесенного приема для борьбы с замираниями сигнала из-за переотражений и многолучевости распространения. В связи с невозможностью применить способ разнесения двух приемных антенн на РАТЗ ввиду ограниченности его геометрических размеров следует использовать периодическое переключение передатчика между двумя передающими антennами в случае ухудшения принимаемого сигнала. Расстояние между этими антennами должно быть не менее 10 длин волн несущего колебания:

$$d = 10 \cdot \lambda = 10 \cdot 3 = 30 \text{ м.}$$

4. Использование отдельного радиоканала и центрального микропроцессора управления РАТЗ для предотвращения возможности его перегрузки иной информацией (потоковым видео с контролирующих камер, радиотелеметрической информацией о состоянии РАТЗ и т.д.).

5. Высота антенн должна гарантировать устойчивую связь в пределах прямой радиовидимости. Дальность прямой видимости радиосвязи (в км) с учетом сферической формы Земли и без учета рефракции (огибания) радиоволн определяется по формуле:

$$D = 3,57 \cdot (\sqrt{h_1} + \sqrt{h_2}),$$

где h_1, h_2 – высота (в метрах) антennы НПУ и высота антennы РАТЗ.

Максимальная дальность прямой видимости линии радиосвязи «НПУ-РАТЗ» при высоте подъема антennы на НПУ на 5,5 м и высоте антennы РАТЗ 2 м составляет $D = 20,98$ км, что превышает расстояние, необходимое на аэродроме ($D = 20$ км).

6. Применение технологии непрерывного заземления и подключение к нему молниезащитных элементов антенно-фидерного тракта радиолинии управления РАТЗ.

Приемная полуволновая штыревая антенна размером 1,5 м размещается на РАТЗ на высоте от 0,5 м. Для исключения разряда молнии через антенну приемника РАТЗ необходимо параллельно антенне на 50 см выше ее располагать металлический стержень такой же длины, подключаемый к штатной шине заземления РАТЗ с сопротивлением растекания не более 10 Ом. Для крепления стержня используется изолированная стойка, а для расположения изолированного провода молниезащиты требуемого сечения – диэлектрические штанги из стеклопластика. Защита входа антенны обеспечивается прерывателем грозовым (устройством класса С2 с током отключения 5 кА при максимальном импульсном токе 100 кА). Радиус защиты ориентированно равен высоте молниевывода. Кроме того, во время грозы РАТЗ должен находиться на стоянке аэродромно-технического обеспечения аэродрома или складе горючесмазочных материалов под общей молниезащитой. При сливе топлива РАТЗ подключается к контуру заземления стоянки самолетов (вертолетов).

Исходя из типовых схем построения цифровых радиосистем, предлагается структурная схема, представленная на рис. 4, с устройствами молниезащиты (УМЗ).

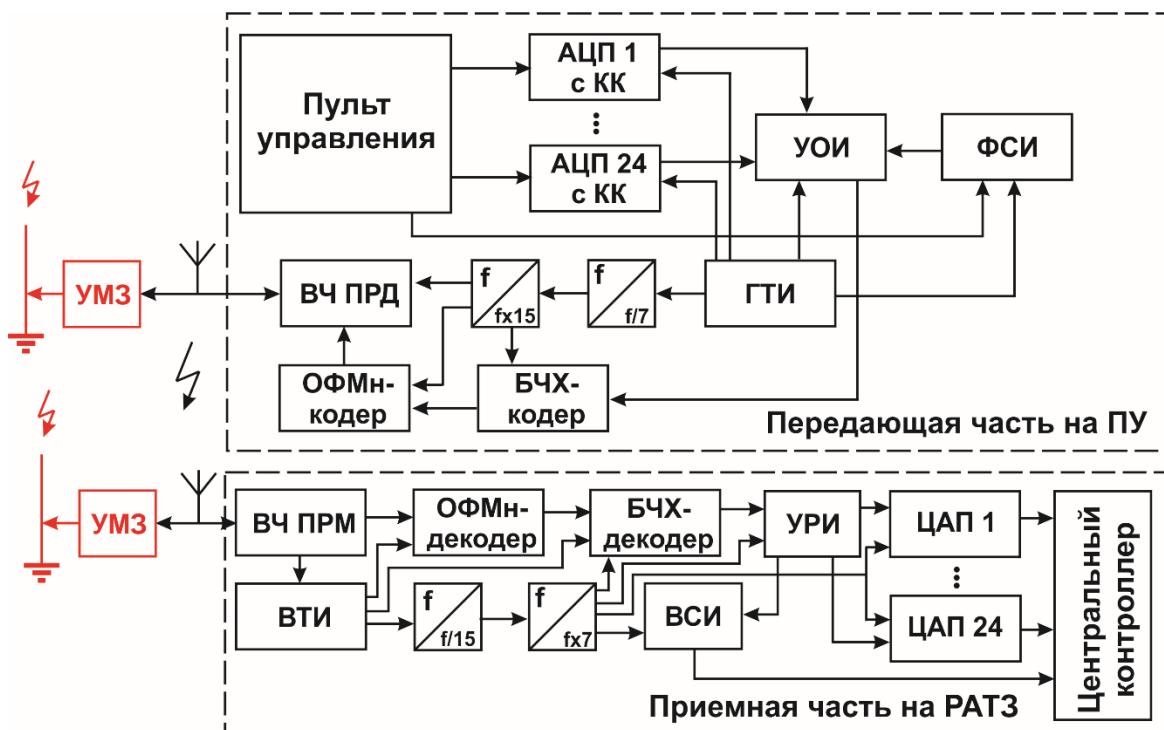


Рис. 4. Структурная схема радиосистемы управления РАТЗ

1. Передающая часть:

- пульт управления РАТЗ – источник аналоговых сигналов по 24 параметрам;
- АЦП по 24 каналам с канальными ключами (КК);
- формирователь служебной информации (ФСИ), содержащий синхроимпульсы и адреса;
- устройство объединения канальной информации (УОИ), в котором соединяется информационный сигнал со служебным;
- генератор тактовых импульсов (ГТИ);
- делитель частоты на 7 и умножитель частоты на 15 для синхронизации кодера БЧХ;
- БЧХ-кодер;
- ОФМн-кодер;
- высокочастотная часть передатчика (ВЧ ПРД);
- антenna;
- блок питания.

2. Приемная часть:

- антенна;
- высокочастотная часть приемника (ВЧ ПРМ);
- ОФМн-декодер;
- делитель частоты на 15 и умножитель частоты на 7 для синхронизации кодера БЧХ и последующих низкочастотных трактов;
- БЧХ-декодер;
- устройство разделения информации;
- ЦАП (по 24 каналам);
- выделитель тактовых импульсов (ВТИ);
- выделитель служебной информации (ВСИ).

Заключение

В целях повышения безопасности применения РАТЗ проработаны следующие особенности радиосистемы управления РАТЗ:

1. Управление по командной радиолинии с требуемой точностью в условиях замираний сигнала за счет установки двух передающих антенн с молниезащитой.
2. Использование помехоустойчивого кода БЧХ.
3. Определение высоты подъема антенн для обеспечения требуемой дальности уверенного приема радиосигнала.

Таким образом, объединение возможностей цифровых командных радиолиний и технологий автоматизированного управления роботизированными системами позволяет создать новые безопасные технические решения в виде роботизированных дистанционно управляемых авиатопливозаправщиков в рамках автоматизированной системы управления технологическим процессом топливозаправочного комплекса.

Список источников

1. Автоматизированная система управления технологическим процессом топливозаправочного комплекса. Современные решения и реализация // ИТНОУ: информационные технологии в науке, образовании и управлении. 2021. № 1. С. 25–29.
2. Кошкаров А.С., Семенова В.П. Основные подходы к автоматизации движения сервисных транспортных средств на территории аэродрома // XIV Общерос. молодежная науч.-техн. конф. «Молодежь. Техника. Космос»: сб. трудов. СПб.: БГТУ «Военмех» им. Д.Ф. Устинова, 2022. С. 192–195.
3. Кошкаров А.С., Семенова В.П. Разработка имитационной модели лидара системы предупреждения столкновений сервисного транспортного средства // Труды МАИ. 2023. № 128. С. 15.
4. Перевозчикова Ю.В. Робототехника в РФ: текущая ситуация и перспективы развития отрасли // Актуальные вопросы современной экономики. 2024. № 5.
5. «ГАЗПРОМ НЕФТЬ» представила робота-заправщика // Бурение и нефть. 2018. № 11.
6. Бородин В.В., Петраков А.М., Шевцов В.А. Анализ эффективности передачи данных в сети связи группировки беспилотных летательных аппаратов // Труды МАИ. 2015. № 81. С. 27.
7. Дорожко И.В., Горохов Г.М., Кириллов И.А. Методический подход к разработке системы поддержки принятия решений оператора автоматизированной системы управления технологическими процессами на основе динамических байесовских сетей // Труды МАИ. 2022. № 125.

8. Свиридов В.В. Методика оценки качества группового взаимодействия робототехнических комплексов в условиях изменяемой фоновоцелевой обстановки // Труды МАИ. 2021. № 121. С. 22.
9. Княжский А.Ю., Плясовских А.П. Цифровая модель движения на аэродроме // Вестник Концерна ВКО «Алмаз – Антей». 2020. № 3. С. 96–106. DOI: 2542-0542-2020-3-96-106.
10. Нгун В.В., Усина Е.Е. Динамические модели управления и стабилизации движения манипулятора БЛА // Известия Юго-Западного государственного университета. 2020. № 24 (4). С. 200–216.
11. Буренко Е.А. Обоснование эффективности использования сигналов с ортогональным частотным разделением каналов в авиационных радиосистемах передачи информации // Труды МАИ. Вып. № 127. С. 1–36.
12. Волков А.С. Разработка имитационной модели канала с группирующими ошибками // Труды МАИ. 2023. № 128. С. 1–35. DOI: 10.34759/trd-2023-128-12.

References:

1. Avtomatizirovannaya sistema upravleniya tekhnologicheskim processom toplivozapravochnogo kompleksa. Sovremennye resheniya i realizaciya // ITNOU: informacionnye tekhnologii v nauke, obrazovanii i upravlenii. 2021. № 1. S. 25–29.
2. Koshkarov A.S., Semenova V.P. Osnovnye podhody k avtomatizacii dvizheniya servisnyh transportnyh sredstv na territorii aerodroma // XIV Obshcheros. Molodezhnaya nauch.-tekhn. konf. «Molodezh'. Tekhnika. Kosmos»: sb. trudov. SPb.: BGTU «Voenmekh» im. D.F. Ustinova, 2022. S. 192–195.
3. Koshkarov A.S., Semenova V.P. Razrabotka imitacionnoj modeli lidara sistemy preduprezhdeniya stolknovenij servisnogo transportnogo sredstva // Trudy MAI. 2023. № 128. S. 15.
4. Perevozchikova Yu.V. Robototekhnika v RF: tekushchaya situaciya i perspektivy razvitiya otrashli // Aktual'nye voprosy sovremennoj ekonomiki. 2024. № 5.
5. «GAZPROM NEFT» predstavila robota-zapravshchika // Burenie i neft'. 2018. № 11.
6. Borodin V.V., Petrakov A.M., Shevcov V.A. Analiz effektivnosti peredachi dannyh v seti svyazi gruppirovki bespilotnyh letatel'nyh apparatov // Trudy MAI. 2015. № 81. S. 27.
7. Dorozhko I.V., Gorohov G.M., Kirillov I.A. Metodicheskij podhod k razrabotke sistemy podderzhki prinyatiya reshenij operatora avtomatizirovannoj sistemy upravleniya tekhnologicheskimi processami na osnove dinamicheskikh bajesovskikh setej // Trudy MAI. 2022. № 125.
8. Sviridov V.V. Metodika ocenki kachestva gruppovogo vzaimodejstviya robototekhnicheskikh kompleksov v usloviyah izmenyaemoj fonocelevoj obstanovki // Trudy MAI. 2021. № 121. S. 22.
9. Knyazhskij A.Yu., Plyasovskih A.P. Cifrovaya model' dvizheniya na aerodrome // Vestnik Koncерna VKO «Almaz – Antej». 2020. № 3. S. 96–106. DOI: 2542-0542-2020-3-96-106.
10. Nguen V.V., Usina E.E. Dinamicheskie modeli upravleniya i stabilizacii dvizheniya manipulyatora BLA // Izvestiya Yugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta. 2020. № 24 (4). S. 200–216.
11. Burenko E.A. Obosnovanie effektivnosti ispol'zovaniya signalov s ortogonal'nym chastotnym razdeleniem kanalov v aviacionnyh radiosistemah peredachi informacii // Trudy MAI. Vyp. № 127. S. 1–36.
12. Volkov A.S. Razrabotka imitacionnoj modeli kanala s gruppirovushchimisya oshibkami // Trudy MAI. 2023. № 128. S. 1–35. DOI: 10.34759/trd-2023-128-12.

Информация о статье:

Статья поступила в редакцию: 04.10.2024; одобрена после рецензирования: 18.11.2024;
принята к публикации: 29.01.2025

The information about article:

The article was submitted to the editorial office: 04.10.2024; approved after review: 18.11.2024;
accepted for publication: 29.01.2025

Информация об авторах:

Задорожный Анатолий Михайлович, специалист Акционерного общества «Корпорация тактическое ракетное вооружение» (416507, г. Ахтубинск, Астраханская обл.), e-mail: zadorozhnyi_anat@mail.ru

Тепловодский Александр Владимирович, специалист Государственного летно-испытательного центра им. В.П. Чкалова (ГЛИЦ им. В.П. Чкалова) Минобороны России (416501, г. Ахтубинск, Астраханская обл.), кандидат технических наук, e-mail: stepl.ah@yandex.ru

Гетманцев Алексей Юрьевич, специалист Государственного летно-испытательного центра им. В.П. Чкалова (ГЛИЦ им. В.П. Чкалова) Минобороны России; доцент кафедры «Радиоэлектронные системы и комплексы летательных аппаратов» филиала «Взлет» Московского авиационного института (технического университета) (416501, г. Ахтубинск, Астраханская обл., ул. Добролюбова, д. 5), кандидат технических наук, доцент, e-mail: tomamens@mail.ru

Information about the authors:

Zadorozhny Anatoly M., specialist of the Joint stock company «Tactical missile weapons corporation», (416507, Akhtubinsk, Astrakhan region), e-mail: zadorozhnyi_anat@mail.ru

Teplovodsky Alexander V., specialist of the V.P. Chkalov state flight test center (V.P. Chkalov GLITZ) of Ministry of defense of the Russian Federation (416501, Akhtubinsk, Astrakhan region), candidate of technical sciences, e-mail: stepl.ah@yandex.ru

Getmantsev Alexey Yu., specialist of the V.P. Chkalov state flight test center (V.P. Chkalov GLITZ) of Ministry of defense of the Russian Federation; associate professor of the department «Radioelectronic systems and aircraft complexes» of the «Vzlet» branch of the Moscow aviation institute (technical university), (416501, Akhtubinsk, Astrakhan region, Dobrolyubova str., 5), candidate of technical sciences, associate professor, e-mail: tomamens@mail.ru