

Государственное бюджетное общеобразовательное учреждение
средняя общеобразовательная школа № 362 Московского района
Санкт-Петербурга

Тема проекта

«Технология автоматизированного средство радио электронного подавления и
анализа спектра радиоканалов»

Продукт:

**Автоматизированная радиоэлектронная система подавления
«Наноль»**

Проект выполнили:
Лев Олег и Шаденков Кирилл
Ученики 10А
класса

Научный руководитель
проекта: Карпенков Павел
Иванович, преподаватель-
организатор ОБЗР

гор. Санкт-Петербург, 2026 г.

ВВОДНАЯ ЧАСТЬ

Современная обстановка ведения боевых действий характеризуется существенной трансформацией способов вооружённой борьбы по сравнению с опытом локальных конфликтов и операций конца XX — начала XXI века (включая конфликты на Ближнем Востоке, вооружённый конфликт в Нагорном Карабахе, контртеррористические операции на территории Чеченской Республики, а также выполнение задач в Демократической Республике Афганистан). В рамках специальной военной операции фиксируется изменение соотношения ролей традиционных средств поражения и новых технологических средств разведки и огневого воздействия, в том числе беспилотных систем, применяемых на тактическом уровне.

Одним из факторов, определяющих характер современного боя, является широкое распространение FPV-дронов как средства дистанционного огневого поражения. Их использование позволяет реализовывать высокую интенсивность огневого воздействия при сравнительно низких затратах на отдельную единицу, а также снижать необходимость непосредственного контакта личного состава с поражающими факторами. Масштабирование применения FPV-дронов приводит к росту нагрузки на системы противодействия и повышает требования к непрерывности прикрытия, скорости реагирования и устойчивости управления.

В качестве одного из ключевых способов противодействия беспилотным системам рассматриваются средства радиоэлектронной борьбы (РЭБ), включая радиоэлектронное подавление. Вместе с тем наблюдается несоответствие между динамикой развития угрозы (интенсивностью и вариативностью применения БПЛА/FPV) и возможностями существующих организационно-технических контуров применения РЭБ, значительная часть которых опирается на постоянное участие оператора в принятии решения и управлении воздействием. Это повышает вероятность потерь личного состава и техники, а также формирует риски для объектов критической инфраструктуры в условиях длительного дежурства и ограниченного кадрового ресурса.

АКТУАЛЬНОСТЬ ТЕМЫ ПРОЕКТА

Актуальность внедрения автоматизированных систем управления применением средств РЭБ обусловлена необходимостью повышения эффективности защиты подразделений и объектов критической инфраструктуры от атак беспилотных летательных аппаратов при одновременном снижении зависимости результативности от «человеческого фактора».

Существующая практика применения средств РЭБ в ряде случаев включает следующие уязвимости:

- Кадрово-организационные ограничения. Эксплуатация РЭБ требует подготовки квалифицированного сменного персонала и обеспечения взаимозаменяемости. При длительном дежурстве снижается внимательность и точность действий оператора вследствие утомляемости, что критично для задач непрерывного прикрытия.
- Инерционность цикла реагирования. Ручной анализ радиоэфира и последовательность «обнаружение — оценка — принятие решения — включение воздействия» увеличивают время реакции и снижают вероятность своевременного противодействия высокодинамичным угрозам (в том числе FPV-дронам).
- Риски ошибок и недобросовестных действий. Сохраняется вероятность непреднамеренных ошибок (ошибки распознавания, поздняя активация) и риск умышленного бездействия (саботаж, неиницирование подавления при наличии признаков угрозы).

ПРОТИВОРЕЧИЕ

Выявляется противоречие между:

1. необходимостью круглосуточного, оперативного и устойчивого прикрытия подразделений и объектов критической инфраструктуры от атак БПЛА (включая FPV) с минимальным временем реакции.
2. ограниченными возможностями действующего подхода, основанного на постоянном участии оператора в анализе радиоэфира и принятии решения о применении РЭБ, при кадровых ограничениях и неизбежном снижении эффективности человека при длительном дежурстве.

ПРОБЛЕМА

Проблема исследования заключается в недостаточной устойчивости и оперативности принятия решений при применении средств РЭБ в условиях высокоинтенсивного использования БПЛА, обусловленной зависимостью от человеческого фактора и инерционностью ручного контура управления, что снижает эффективность противодействия и увеличивает риск потерь и ущерба.

ЦЕЛЬ

Целью работы является обоснование и разработка (или проектирование концепции) автоматизированной системы управления применением средств РЭБ, обеспечивающей сокращение времени реакции, повышение устойчивости принятия решений и снижение влияния человеческого фактора при противодействии БПЛА/FPV-дронам на уровне подразделений и/или объектов критической инфраструктуры.

ЗАДАЧИ

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

1. Проанализировать характер и динамику угроз, связанных с применением БПЛА/FPV-дронов, и определить типовые сценарии атак, значимые для тактического уровня и объектов критической инфраструктуры.

2. Систематизировать существующие подходы к применению РЭБ против БПЛА, выделив их ограничения по времени реакции, устойчивости, безопасности и ресурсоёмкости.

3. Определить требования к автоматизированной системе управления РЭБ (функциональные, временные, организационные, эксплуатационные), включая требования к режимам работы, порогам принятия решений и сценариям включения/выключения воздействия.

4. Разработать структурно-функциональную модель системы, описывающую контур «мониторинг радиоэфира — обнаружение — классификация — принятие решения — управление воздействием — контроль результата».

5. Обосновать алгоритм (или набор алгоритмов) автоматизации, включая критерии обнаружения и условия активации подавления, а также механизмы защиты от ложных срабатываний и ошибок оператора.

6. Сформировать предложения по организационному внедрению, включая распределение ролей, регламенты дежурства, требования к подготовке персонала и интеграцию в существующую систему обеспечения безопасности/боевого управления.

7. Определить показатели эффективности и методику оценки (время реакции, вероятность своевременного подавления, доля ложных срабатываний, устойчивость при длительном дежурстве, требования к персоналу), а также критерии сравнения с неавтоматизированным подходом.

ГЛАВА I

«Теоретико-исторические основы развития средств радиоэлектронного подавления»

1. Электромагнитный спектр как среда современного противоборства

Развитие вооружённых сил в XX–XXI веках сопровождается устойчивым ростом зависимости управления войсками, разведки и поражения целей от использования электромагнитного спектра. Радиосвязь, радиолокация, радионавигация, системы передачи данных и каналы управления беспилотными аппаратами формируют единую информационную среду боевых действий.

В военной науке это привело к формированию направления радиоэлектронной борьбы (РЭБ), под которой понимается комплекс мероприятий по разведке, подавлению и подрыву защиты радиоэлектронных средств противника, и обеспечению устойчивого функционирования собственных систем.

Исторический опыт показывает, что практически каждый технологический скачок в средствах управления и наведения сопровождался развитием средств противодействия:

- появление радиосвязи вызвало развитие перехвата и радиопомех;
- внедрение радиолокации привело к созданию средств маскировки, активных помех и радиолокационного обмана;
- развитие зенитных ракетных комплексов обусловило формирование миссий подавления ПВО (SEAD);
- распространение цифровых сетей и беспилотных систем превратило электромагнитный спектр в самостоятельную сферу боевых действий.

Таким образом, радиоэлектронное подавление следует рассматривать не как изолированное техническое средство, а как элемент системного управления боевыми возможностями.

2. Понятие и задачи радиоэлектронного подавления

Радиоэлектронное подавление (РЭП) представляет собой целенаправленное воздействие на радиоэлектронные средства противника с целью нарушения их функционирования, снижения эффективности или полного вывода из строя.

В современной научной и военной терминологии РЭП является составной частью радиоэлектронной борьбы, включающей:

Радиоэлектронную разведку (РЭР) – обнаружение источников излучения, определение их параметров, классификация и установление назначения.

Радиоэлектронное подавление (РЭП) – создание помех, искажение сигналов, радиоэлектронный обман и нарушение каналов управления.

Радиоэлектронную защиту (РЭЗ) – обеспечение помехоустойчивости, скрытности и устойчивой работы собственных систем.

Таким образом, подавление является лишь одним звеном замкнутого цикла управления спектром: обнаружение → анализ → воздействие → оценка результата → адаптация.

Эффективность подавления напрямую зависит от точности разведывательной информации, что отражается в профессиональной аксиоме: «Без радиоэлектронной разведки невозможно эффективное радиоэлектронное подавление».

3. Историческое развитие средств радиоэлектронного подавления.

Возникновение предпосылок (конец XIX — начало XX века)

Радиосвязь стала первой технологией, позволившей передавать информацию без проводных линий. Однако её открытая природа обусловила две фундаментальные уязвимости:

- возможность перехвата передачи третьей стороной;
- возможность обнаружения передатчика по излучению.

Военные специалисты быстро пришли к выводу, что помехи могут создаваться преднамеренно, что стало основой будущих средств радиоэлектронного подавления.

Русско-японская война 1904 года как отправная точка РЭП

Одним из первых зафиксированных примеров преднамеренного радиоподавления считается эпизод обстрела Порт-Артура в 1904 году. Русские радиостанции пытались нарушить передачу радиogramм японских корректировщиков артиллерийского огня путём создания мощных искровых помех.

Тактический эффект заключался не в физическом уничтожении противника, а в нарушении цикла управления огнём, что снижало точность стрельбы.

Данный эпизод иллюстрирует классическую модель применения РЭП:

1. обнаружение радиообмена;
2. определение его назначения;
3. создание помех;
4. получение тактического эффекта.

Вставленный текст

Первая мировая война: становление радиоразведки и радиодисциплины

Массовое применение радиосвязи привело к развитию радиоразведки и радиопеленгации. Даже при шифровании сообщений анализ радиообмена позволял определять активность войск и местоположение штабов.

В этот период формируются основы радиодисциплины:

- сокращение времени передачи;
- смена позывных;
- радиомолчание;
- избегание шаблонов передачи.

Эти меры стали важным элементом защиты от радиоэлектронного воздействия.

Межвоенный период: появление радиолокации

Создание радиолокационных станций радикально изменило характер противоборства. Радиолокация позволила обнаруживать цели на больших расстояниях, но одновременно сделала средства ПВО уязвимыми для радиоэлектронного воздействия.

Появились основные направления противодействия:

- активные радиопомехи;
- создание ложных целей;
- пассивная маскировка;
- радиолокационный обман.

Вторая мировая война: системное применение РЭП

В ходе Второй мировой войны радиоэлектронное подавление стало частью комплексных операций.

Наиболее значимые направления:

- подавление радионавигационных систем наведения;
- создание пассивных помех (металлизированные отражатели);
- пеленгация радиосвязи и обнаружение противника;
- организационное оформление служб радиоэлектронного

подавления.

В СССР важным этапом стало постановление Государственного Комитета Обороны №2633сс от 16.12.1942 г., закрепившее создание службы подавления радиостанций противника.

Холодная война: институционализация РЭБ

После 1945 года развитие радиолокации, авиации и ракетных систем привело к оформлению РЭБ как постоянного элемента боевого обеспечения.

Закрепились ключевые задачи:

- разведка радиоэлектронных средств;
- подавление и дезинформация;
- защита собственных систем.

РЭБ стала рассматриваться как непрерывная технологическая гонка между средствами и контрсредствами.

Вьетнамская война и формирование концепции подавления ПВО

Применение зенитных ракетных комплексов привело к развитию миссий подавления ПВО (SEAD). Использование излучений радиолокационных станций как источника координат позволило обнаруживать и подавлять позиции противника.

Сформировалась концепция:

- обнаружение излучения;
- создание помех;
- принуждение к отключению;
- уничтожение.

Конец XX — начало XXI века: управление спектром как элемент операции

К концу XX века радиоэлектронное подавление стало обязательным элементом планирования операций. Основная задача сместилась от полного подавления к снижению эффективности обнаружения, сопровождения и наведения.

В XXI веке распространение цифровых систем управления, спутниковой навигации и беспилотных технологий привело к переходу к концепции операций в электромагнитной среде (ЕМО/EMSO), где управление спектром рассматривается как самостоятельная форма боевых действий.

ВЫВОДЫ ПО ГЛАВЕ

Историческое развитие средств радиоэлектронного подавления демонстрирует их эволюцию от локальных технических приёмов к системному управлению боевыми возможностями через электромагнитный спектр.

Основные закономерности развития:

- зависимость войск от спектра приводит к появлению средств подавления;
- каждое новое средство управления рождает контрмеры;
- эффективность РЭП определяется разведывательной информацией;
- радиоэлектронная борьба является непрерывным циклом управления;
- в XXI веке контроль спектра становится ключевым фактором военного превосходства.

Таким образом, радиоэлектронное подавление представляет собой не отдельное техническое средство, а важнейший элемент комплексного управления боевыми системами.

ГЛАВА II

Конструкторские особенности и архитектура средств радиоэлектронного подавления

Развитие средств радиоэлектронного подавления обусловлено возрастающей зависимостью современных систем управления войсками, разведки и поражения целей от электромагнитного спектра. В этих условиях средства радиоэлектронного подавления рассматриваются не как отдельные технические устройства, а как сложные инженерные комплексы, обеспечивающие управление электромагнитной обстановкой в интересах выполнения боевых задач. Их конструктивное построение определяется необходимостью оперативного обнаружения радиоизлучений, анализа параметров сигналов и последующего воздействия на каналы связи, навигации и управления противника.

Современные комплексы подавления создаются на основе принципов системности, адаптивности и энергетической эффективности. Системность предполагает интеграцию разведывательных, аналитических и воздействующих компонентов в едином контуре управления. Адаптивность обеспечивает возможность работы в условиях динамически изменяющейся радиочастотной обстановки, включая перестройку частот, изменение протоколов передачи и вариативность режимов работы радиоэлектронных средств. Энергетическая эффективность достигается за счёт оптимизации мощности излучения и направленного воздействия, позволяющего обеспечивать требуемый уровень подавления при минимальных затратах ресурсов.

Архитектура средств радиоэлектронного подавления формируется по функциональному принципу и отражает полный цикл работы в электромагнитной среде. В основе комплекса лежит подсистема мониторинга радиоэфира, обеспечивающая непрерывное сканирование частотного диапазона и обнаружение источников излучения. Современные средства используют широкополосные приёмные устройства и цифровые анализаторы спектра, позволяющие выявлять сигналы различной мощности и структуры, включая кратковременные и малозаметные передачи. На данном этапе формируется информационная база для последующей обработки, включающая параметры сигналов, уровень мощности и частотные характеристики.

После обнаружения сигналов осуществляется их цифровая обработка и классификация. Применение методов цифровой обработки сигналов позволяет выделять полезные компоненты на фоне шумов, анализировать структуру модуляции и распознавать типы протоколов передачи данных. В условиях широкого распространения беспилотных систем особое значение приобретает распознавание каналов управления и видеопередачи, а также идентификация навигационных сигналов. Автоматизация процессов

классификации существенно сокращает время распознавания угроз и повышает точность принятия решений.

Центральным элементом архитектуры является подсистема управления воздействием, которая определяет параметры подавления в зависимости от характера выявленного сигнала и степени угрозы. На основе анализа радиочастотной обстановки выбирается диапазон частот, уровень мощности и режим воздействия. При этом учитывается необходимость предотвращения взаимного подавления собственных средств связи и навигации. Традиционно значительная часть решений принималась оператором, однако современная тенденция развития направлена на автоматизацию данного контура управления, что обусловлено необходимостью сокращения времени реакции и снижением влияния человеческого фактора в условиях непрерывного дежурства и высокой динамики угроз

Формирование помехового воздействия осуществляется генераторами сигналов с последующим усилением мощности и излучением через антенную систему. В зависимости от поставленных задач могут применяться различные типы воздействий, включая шумовое подавление, имитацию сигналов, создание ложных целей и направленное подавление в заданном секторе пространства. Выбор типа воздействия определяется характером цели, дальностью её расположения и особенностями используемых противником радиоэлектронных средств.

Антенная система играет ключевую роль в обеспечении эффективности подавления, поскольку именно она определяет пространственные характеристики воздействия. Применение направленных антенн позволяет концентрировать энергию в заданном секторе, повышая дальность и эффективность воздействия. В свою очередь, фазированные антенные решётки обеспечивают электронное управление диаграммой направленности, что позволяет оперативно изменять сектор подавления без механического перемещения оборудования. Использование широкополосных антенн обеспечивает возможность работы в нескольких диапазонах частот, что особенно важно при противодействии современным цифровым системам связи.

Значительные энергетические нагрузки, возникающие при формировании мощных помех, обуславливают необходимость развитых систем электропитания и стабилизации. В мобильных комплексах используются автономные источники энергии и аккумуляторные системы, обеспечивающие длительную работу без внешнего питания. Для стационарных комплексов характерно применение резервных источников электроснабжения, обеспечивающих непрерывность функционирования в условиях длительного дежурства.

Интерфейс управления обеспечивает взаимодействие оператора с системой и визуализацию радиочастотной обстановки. Он позволяет отслеживать обнаруженные сигналы, контролировать режимы подавления и

оценивать эффективность воздействия. В современных комплексах средства управления интегрируются в автоматизированные системы управления войсками и системы безопасности объектов, что обеспечивает централизованный контроль и координацию действий.

Конструктивное исполнение средств радиоэлектронного подавления определяется условиями их применения. Стационарные комплексы используются для защиты объектов критической инфраструктуры и обеспечивают длительную непрерывную работу с высокой энергетической мощностью. Мобильные комплексы размещаются на транспортных платформах и предназначены для прикрытия подразделений в полевых условиях. Переносные системы применяются на тактическом уровне и отличаются высокой оперативностью развертывания при ограниченной дальности воздействия. Встроенные системы устанавливаются на технике и летательных аппаратах, обеспечивая их самозащиту.

Распространение беспилотных летательных аппаратов и FPV-дронов привело к формированию новых требований к архитектуре средств подавления. Современные системы должны обеспечивать обнаружение маломощных сигналов, работу в гражданских диапазонах частот, высокую скорость реакции и подавление каналов управления, передачи видео и спутниковой навигации. Массовость применения БПЛА повышает требования к непрерывности прикрытия и стимулирует развитие автоматизированных контуров управления воздействием.

Современные тенденции развития средств радиоэлектронного подавления связаны с переходом к интеллектуальным системам управления электромагнитной средой. Перспективные направления включают автоматизацию принятия решений, использование алгоритмов машинного анализа сигналов, интеграцию с системами мониторинга воздушной обстановки и создание распределённых сетевых комплексов подавления. В условиях дальнейшей цифровизации поля боя контроль электромагнитного спектра становится одним из ключевых факторов обеспечения оперативного превосходства.

Таким образом, конструктивная архитектура современных средств радиоэлектронного подавления представляет собой многоуровневую систему, обеспечивающую непрерывный цикл работы в электромагнитной среде. Эффективность таких систем определяется интеграцией разведки, анализа и воздействия, адаптивностью к изменяющимся условиям радиочастотной обстановки и степенью автоматизации процессов управления. Развитие данных средств направлено на сокращение времени реагирования, повышение устойчивости принятия решений и снижение зависимости эффективности применения от человеческого фактора.

ГЛАВА III

Структурно-функциональная модель автоматизированной системы управления применением средств радиоэлектронного подавления

Необходимость автоматизации управления средствами РЭП

Современные условия применения беспилотных летательных аппаратов, цифровых систем связи и радиоканалов управления характеризуются высокой динамичностью электромагнитной обстановки и сокращением временных интервалов между обнаружением угрозы и её воздействием. Ручной цикл реагирования, включающий анализ радиоэфира оператором, оценку угрозы и принятие решения о применении подавления, увеличивает время реакции и снижает вероятность своевременного противодействия.

Зависимость эффективности применения средств РЭП от человеческого фактора проявляется в утомляемости операторов при длительном дежурстве, вероятности ошибок распознавания сигналов и инерционности принятия решений. В условиях массового применения FPV-дронов и распределённых каналов управления данные ограничения могут приводить к прорыву защиты и нанесению ущерба объектам и подразделениям.

В связи с этим возникает необходимость создания автоматизированной системы управления применением средств РЭП, обеспечивающей сокращение времени реакции, устойчивость принятия решений и непрерывность прикрытия.

Общая концепция структурно-функциональной модели

Автоматизированная система управления применением средств радиоэлектронного подавления представляет собой интегрированный контур управления, обеспечивающий непрерывный цикл работы в электромагнитной среде. Функционирование системы основано на замкнутом цикле:

- мониторинг среды →
- обнаружение →
- классификация →
- оценка угрозы →
- принятие решения →
- управление воздействием →
- контроль результата →
- адаптация алгоритмов.

Данный цикл обеспечивает переход от реактивного применения подавления к адаптивному управлению электромагнитной обстановкой.

Структурно система объединяет средства мониторинга радиоэфира, аналитические модули обработки сигналов, алгоритмы принятия решений,

исполнительные средства подавления и подсистему контроля эффективности воздействия.

Подсистема мониторинга радиоэлектронной обстановки

Функционирование автоматизированной системы начинается с непрерывного мониторинга электромагнитного спектра. Подсистема мониторинга выполняет широкополосное сканирование радиочастотного диапазона и обеспечивает обнаружение источников излучения.

Современные средства мониторинга способны фиксировать кратковременные передачи, импульсные сигналы и маломощные каналы связи, характерные для беспилотных систем. Обнаруженные сигналы регистрируются с указанием частоты, уровня мощности, временных параметров и пространственного направления.

Полученные данные формируют первичную информационную картину радиоэлектронной обстановки, необходимую для дальнейшего анализа.

Подсистема обработки сигналов и классификации источников излучения

После обнаружения сигналов осуществляется их цифровая обработка и классификация. На данном этапе производится фильтрация шумов, анализ структуры модуляции и определение протоколов передачи данных.

Алгоритмы обработки сигналов позволяют выявлять характерные признаки каналов управления беспилотными аппаратами, видеопередачи и навигационных сигналов. Система сопоставляет полученные параметры с базой сигнатур и определяет тип источника излучения.

Автоматическая классификация существенно сокращает время распознавания угроз и исключает субъективность оценки.

Подсистема оценки угрозы и приоритизации целей

После идентификации сигнала осуществляется оценка степени угрозы. На данном этапе учитываются:

- принадлежность сигнала к каналам управления БА;
- уровень мощности и удалённость источника;
- динамика перемещения источника;
- наличие групповых сигналов;
- близость защищаемого объекта.

Система присваивает приоритет обнаруженным источникам и формирует список целей для воздействия. Приоритизация позволяет рационально распределять ресурсы подавления и предотвращает избыточное энергопотребление.

Подсистема принятия решения

Подсистема принятия решения является ключевым элементом автоматизированного контура управления. Она определяет необходимость и параметры радиоэлектронного воздействия на основе заданных алгоритмов и пороговых условий.

Решение о включении подавления принимается с учётом:

- уровня угрозы;
- вероятности поражения защищаемого объекта;
- текущей радиочастотной обстановки;
- риска воздействия на собственные системы связи;
- режима функционирования системы.

Алгоритмы принятия решения могут предусматривать автоматический, полуавтоматический и ручной режимы работы. Автоматический режим используется при высокоскоростных угрозах, требующих минимального времени реакции.

Подсистема управления радиоэлектронным воздействием

После принятия решения система формирует управляющие команды для средств радиоэлектронного подавления. Определяются диапазон частот, мощность излучения, направленность антенн и режим воздействия.

Система может применять адаптивные режимы подавления, изменяя параметры воздействия в реальном времени в зависимости от реакции цели. Это позволяет повышать эффективность подавления при минимальном энергопотреблении.

Подсистема контроля эффективности воздействия

Контроль эффективности является обязательным элементом автоматизированной системы. После включения подавления производится анализ радиоэфира для оценки результата воздействия.

Критериями эффективности могут служить:

- прекращение передачи сигнала;
- снижение уровня мощности;
- изменение структуры сигнала;
- потеря устойчивости канала связи.

Если подавление оказалось недостаточно эффективным, система корректирует параметры воздействия или применяет альтернативные режимы.

Подсистема защиты от ложных срабатываний и ошибок

Одной из ключевых задач автоматизации является предотвращение ложных срабатываний и нежелательного воздействия на собственные системы.

Для этого используются:

- базы разрешённых частот и дружественных сигналов;
- алгоритмы подтверждения угрозы;
- временные задержки и повторная проверка;
- контроль перекрытия с собственными каналами связи.

Данные механизмы обеспечивают безопасное функционирование системы и предотвращают нарушение работы дружественных средств.

Роль оператора в автоматизированной системе

Несмотря на высокий уровень автоматизации, оператор остаётся важным элементом системы управления. Его функции смещаются от непосредственного управления подавлением к контролю функционирования

системы, корректировке алгоритмов и принятию решений в нестандартных ситуациях.

Автоматизация позволяет снизить нагрузку на оператора, повысить устойчивость работы системы и минимизировать влияние человеческого фактора.

Показатели эффективности функционирования системы

Эффективность автоматизированной системы управления РЭП оценивается по следующим показателям:

- время реакции на угрозу;
- вероятность своевременного подавления;
- устойчивость функционирования при длительном дежурстве;
- доля ложных срабатываний;
- энергетическая эффективность;
- снижение нагрузки на персонал.

Сравнение данных показателей с неавтоматизированным подходом позволяет оценить целесообразность внедрения системы.

ВЫВОДЫ ПО ГЛАВЕ

Структурно-функциональная модель автоматизированной системы управления применением средств радиоэлектронного подавления представляет собой интегрированный контур управления электромагнитной обстановкой, обеспечивающий непрерывный цикл обнаружения, анализа и воздействия.

Автоматизация управления позволяет:

- сократить время реакции на угрозы;
- повысить устойчивость принятия решений;
- снизить зависимость эффективности от человеческого фактора;
- обеспечить непрерывное прикрытие объектов и подразделений;
- повысить эффективность противодействия беспилотным

системам.

Разработка и внедрение подобных систем является ключевым направлением развития средств радиоэлектронной борьбы в условиях цифровизации поля боя и роста интенсивности применения беспилотных технологий.

ГЛАВА IV

Конструкция и функциональная взаимосвязь элементов автоматизированной радиоэлектронной системы подавления «Наноль»

Автоматизированная радиоэлектронная система подавления «Наноль» разработана как компактный автономный комплекс, предназначенный для обнаружения радиоизлучений в заданном диапазоне частот и автоматического включения радиоэлектронного воздействия при выявлении сигналов, соответствующих заданным критериям. Конструкция системы реализует замкнутый контур управления электромагнитной обстановкой, включающий мониторинг радиоэфира, обработку сигналов, принятие решения и формирование подавляющего воздействия.

Функциональной основой системы является анализатор радиочастот TinySA Ultra, выполняющий роль сенсора электромагнитной среды. Устройство обеспечивает непрерывный контроль радиочастотного диапазона и позволяет фиксировать появление сигналов, превышающих заданные пороговые значения мощности. Антенна анализатора формирует входной тракт приёма, обеспечивая согласование с радиочастотным пространством и преобразование электромагнитных волн в электрические сигналы, пригодные для анализа. Таким образом, данный узел выполняет функцию первичного восприятия радиоэлектронной обстановки.

Полученная спектральная информация передаётся в систему автоматизированного управления, построенную на базе микроконтроллера Arduino Nano. Программный алгоритм анализирует параметры сигнала и сопоставляет их с заданными условиями активации. При обнаружении устойчивых радиоизлучений в контролируемом диапазоне и превышении установленного порога система инициирует подачу управляющего сигнала на исполнительный модуль. Такой подход позволяет исключить необходимость постоянного участия оператора и обеспечивает автоматическое реагирование на появление радиоканалов управления.

Исполнительным элементом системы является генератор радиопомех диапазона 2,4 ГГц, обеспечивающий формирование радиоэлектронного воздействия. Устройство характеризуется входной мощностью 66,6 Вт и выходной радиочастотной мощностью 35,8 Вт, что определяет энергетический потенциал создаваемого сигнала. Генератор работает в составе силового контура, который включает коммутационные элементы и систему питания, обеспечивающую устойчивую подачу энергии при включении подавления.

Энергетическую основу комплекса составляет литий-полимерный аккумулятор 6S ёмкостью 9000 мА·ч. При номинальном напряжении одной ячейки 3,7 В суммарное номинальное напряжение батареи составляет 22,2 В. Энергетическая ёмкость аккумулятора определяется выражением:

$$E = U \cdot C$$

где U — номинальное напряжение батареи, C — ёмкость в ампер-часах.

Подставляя значения, получаем:

$$E = 22,2 \times 9 = 199,8 \text{ Вт}\cdot\text{ч}$$

Таким образом, энергетический запас системы составляет приблизительно 200 Вт·ч.

При входной мощности усилителя 66,6 Вт ток потребления от аккумулятора определяется соотношением:

$$I = \frac{P}{U}$$

$$I = \frac{66,6}{22,2} \approx 30 \text{ А}$$

С учётом потребления управляющей электроники и анализатора спектра суммарная мощность системы составляет около 69 Вт. Теоретическая продолжительность непрерывной работы определяется отношением энергетической ёмкости батареи к потребляемой мощности:

$$t = \frac{199,8}{69} \approx 2,9 \text{ часа}$$

С учётом эксплуатационных потерь и допустимой глубины разряда реальное время автономной работы составляет порядка 2,5 часа.

Эффективность преобразования электрической энергии в радиочастотную мощность определяется коэффициентом полезного действия усилителя:

$$\eta = \frac{P(\text{out})}{P(\text{in})} = \frac{35,8}{66,6} \approx 0,54$$

Таким образом, около 54 % потребляемой энергии преобразуется в излучаемую радиочастотную мощность, тогда как оставшиеся 46 % рассеиваются в виде тепла. Тепловые потери составляют:

$$P_{\text{loss}} = 66,6 - 35,8 = 30,8 \text{ Вт}$$

Данное значение определяет требования к теплоотводу и охлаждению усилительного модуля, поскольку продолжительная работа без эффективного отвода тепла может привести к перегреву и снижению надёжности системы.

Выходная радиочастотная мощность усилителя составляет 35,8 Вт, что соответствует приблизительно 45,5 dBm. Фактическая излучаемая мощность определяется также потерями в кабельных соединениях и коэффициентом усиления антенны.

Важным параметром эффективности радиочастотного тракта является согласование антенны с выходом усилителя. Несогласование приводит к отражению части энергии обратно в усилитель, что снижает эффективность излучения и увеличивает тепловую нагрузку. Степень согласования характеризуется коэффициентом стоячей волны (КСВ). Например, при КСВ, равном 1,5, отражается около 4 % мощности, тогда как при КСВ 2,0 отражённая доля энергии возрастает до примерно 11 %. При выходной

мощности 35,8 Вт это может соответствовать возврату до 4 Вт энергии в тракт усилителя, что повышает риск его перегрева и ухудшает энергетическую эффективность системы.

Функциональная взаимосвязь элементов комплекса реализует непрерывный контур управления. Анализатор спектра выполняет роль сенсора среды, микроконтроллер — логического центра принятия решений, силовой модуль — исполнительного звена, а генератор помех — средства воздействия на электромагнитную среду. Аккумуляторная батарея и система питания обеспечивают энергетическую автономность, позволяя системе функционировать независимо от внешних источников энергии.

Таким образом, автоматизированная система «Наноль» представляет собой интегрированный комплекс, в котором мониторинг спектра, алгоритмическая обработка сигналов и радиоэлектронное воздействие объединены в единый технологический цикл. Энергетические расчёты показывают достаточную автономность и приемлемую эффективность преобразования энергии, тогда как требования к согласованию антенны и теплоотводу являются ключевыми факторами надёжности и стабильности работы комплекса.