

## АРСП «Наноль»

Мы представляем результат нашего проекта — автоматизированную радиоэлектронную систему подавления «Наноль», которую мы разработали как технологическое решение, объединяющее анализ спектра радиочастот и автоматизированное включение подавляющего воздействия при появлении в радиоэфире признаков целевого сигнала. В основу работы мы положили наблюдение, что современная обстановка ведения боевых действий существенно трансформировалась по сравнению с опытом локальных конфликтов конца XX — начала XXI века: изменилось соотношение ролей традиционных средств поражения и новых технологических средств разведки и огневого воздействия, прежде всего беспилотных систем тактического уровня. Массовое распространение FPV-дронов как средства дистанционного огневого поражения привело к росту нагрузки на системы противодействия и повысило требования к непрерывности прикрытия, скорости реагирования и устойчивости управления.

Мы исходим из того, что одним из ключевых способов противодействия беспилотным системам выступают средства радиоэлектронной борьбы, включая радиоэлектронное подавление. Однако на практике мы фиксируем несоответствие между динамикой развития угрозы, выраженной в интенсивности и вариативности применения БПЛА/FPV, и возможностями существующих организационно-технических контуров применения РЭБ, поскольку значительная их часть опирается на постоянное участие оператора в анализе радиоэфира, принятии решения и управлении воздействием. Это несоответствие усиливается в условиях длительного дежурства и ограниченного кадрового ресурса: снижается внимательность, растёт вероятность ошибок распознавания и увеличивается время реакции, что критично для задач непрерывного прикрытия и потенциально повышает риски потерь личного состава и техники, а также угрозы объектам критической инфраструктуры.

Актуальность нашей работы мы связываем с необходимостью внедрения автоматизированных систем управления применением средств РЭБ, которые позволяют повысить эффективность защиты подразделений и объектов критической инфраструктуры от атак беспилотных летательных аппаратов при одновременном снижении зависимости результативности от человеческого фактора. В проекте мы формулируем противоречие как расхождение между потребностью в круглосуточном оперативном прикрытии с минимальным временем реакции и ограничениями ручного режима, в котором скорость и устойчивость решения в значительной степени определяются состоянием оператора. Наша цель заключается в обосновании и разработке 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.

Предлагаемую нами систему мы рассматриваем как интегрированный контур управления электромагнитной обстановкой. В этой логике мониторинг радиоэфира и анализ спектра выступают как сенсорный уровень, на котором формируется признак

угрозы; далее следует автоматизированная обработка, позволяющая подтвердить событие и сформировать управленческое решение; после этого исполнительный уровень реализует воздействие, а система возвращается в режим повторного анализа для контроля и продолжения дежурства. Внутри такой модели мы специально акцентируем необходимость механизмов безопасного функционирования, поскольку автоматизация не отменяет требования к подтверждению угрозы, временной логике реагирования и исключению нежелательного влияния на собственные каналы связи.

Продукт «Наноль» мы описываем как автономный комплекс, в котором анализатор радиочастот TinySA Ultra выполняет роль сенсора электромагнитной среды, обеспечивая контроль диапазона и фиксацию появления сигналов, превышающих заданные пороговые значения. Антенна анализатора формирует входной приёмный тракт и обеспечивает преобразование электромагнитных волн в электрические сигналы, пригодные для спектрального анализа.

Система автоматизированного управления на базе микроконтроллера Arduino Nano реализует программную логику: при обнаружении устойчивого радиоизлучения в контролируемом диапазоне и превышении порогового условия она формирует управляющие команды на коммутацию режимов комплекса и на включение исполнительного воздействия. Исполнительным звеном в нашей конфигурации выступает генератор радиопомех диапазона 2,4 ГГц, для которого в проекте используется входная мощность 66,6 Вт и выходная радиочастотная мощность 35,8 Вт; питание комплекса обеспечивается аккумулятором 6S 9000 mAh, что задаёт автономность применения.

Логика функционирования, которую мы заложили в «Наноль», строится вокруг событийного принципа. Мы организуем непрерывный мониторинг спектра и используем пороговое обнаружение как триггер, запускающий автоматизированную последовательность действий. При регистрации события управляющий модуль переводит систему в режим воздействия на заданный интервал времени, после чего воздействие прекращается и комплекс возвращается к мониторингу для повторного анализа радиоэфира. Такой цикл мы рассматриваем как практическую реализацию управляемого процесса, в котором воздействие не является постоянным режимом, а применяется дозированно и привязано к событию обнаружения.

В энергетической части проекта мы обосновываем автономность системы расчётом параметров аккумуляторной батареи. При конфигурации 6S и номинальном напряжении одной ячейки 3,7 В мы принимаем номинальное напряжение батареи 22,2 В, а ёмкость 9000 mAh интерпретируем как 9 Ah. Энергетический запас батареи рассчитывается нами как произведение напряжения на ёмкость и составляет 199,8 Wh, что мы округляем до 200 Wh. Далее мы оцениваем продолжительность работы в условиях суммарной мощности порядка 69 Вт с учётом управляющей электроники и анализатора спектра, получая теоретическую величину порядка 2,9 часа, а реальную автономность — порядка 2,5 часа с учётом эксплуатационных потерь и допустимой глубины разряда.

Отдельное внимание в проекте мы уделяем тепловому режиму исполнительного модуля. Для заявленных параметров генератора радиопомех мы оцениваем эффективность преобразования как отношение выходной радиочастотной мощности к входной электрической и фиксируем, что заметная доля мощности рассеивается в виде тепла. В наших расчётах тепловые потери выражаются как разность между входной мощностью 66,6 Вт и выходной мощностью 35,8 Вт, что даёт 30,8 Вт рассеиваемой мощности и формирует требования к теплоотводу и стабильности работы. Мы также подчёркиваем, что согласование антенны с выходом усилителя является критическим фактором, поскольку несогласование приводит к отражению части энергии обратно в усилительный тракт, снижает эффективность излучения и повышает тепловую нагрузку, тем самым ухудшая надёжность и устойчивость функционирования комплекса.

В целом, в выводах проекта мы утверждаем, что предложенная нами структурно-функциональная модель автоматизированной системы управления применением средств радиоэлектронного подавления позволяет рассматривать противодействие БПЛА не как разовую операцию включения средства воздействия, а как непрерывный управляемый цикл обнаружения, анализа и воздействия с возвратом к мониторингу. Мы связываем практическую значимость нашей разработки с сокращением времени реакции на угрозы, повышением устойчивости решений в условиях длительного дежурства и снижением зависимости результативности от человеческого фактора, поскольку функции оператора в автоматизированном контуре смещаются от непосредственного управления воздействием к контролю работы системы и корректировке параметров. Тем самым «Наноль» в рамках нашего проекта выступает как прототип интегрированного комплекса, объединяющего мониторинг спектра, алгоритмическую обработку и управляющее воздействие в единый технологический цикл с учётом эксплуатационных ограничений, связанных с энергопотреблением, тепловым режимом и согласованием радиочастотного тракта.